

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Sciences Economiques**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Laure FRACHET

Thèse dirigée par **Pr Bernard RUFFIEUX**
codirigée par **Dr Valérie LESGARDS**

préparée au sein du **Laboratoire GAEL**
dans **l'École Doctorale de Sciences Economiques**

Tarifs résidentiels pour la réduction de la consommation électrique : une évaluation expérimentale d'acceptation et d'impact.

Thèse soutenue publiquement le **31 janvier 2013**
devant le jury composé de :

Mr François LEVEQUE

Professeur des Mines ParisTech, CERN, Président du Jury.

Mr Stéphane ROBIN

Chargé de recherche, CNRS, Rapporteur.

Mr Laurent DENANT-BOEMONT

Professeur des Universités, Université Rennes 1, Rapporteur.

Mr Bernard RUFFIEUX

Professeur des Universités, Université de Grenoble, Membre du Jury.

Mme Valérie LESGARDS

Docteur en Economie, EDF, Membre du Jury.



L'Université de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Celles-ci doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

REMERCIEMENTS.

Je tiens tout d'abord à remercier le Professeur Bernard Ruffieux, directeur de cette thèse, pour son encadrement durant ces trois années que je considère comme étant les plus éprouvantes de mon parcours. Son soutien, ses conseils empreints de sagesse, sa disponibilité, son calme à toute épreuve et sa tolérance face à mes questions de béotienne m'ont énormément aidée à surmonter les nombreux obstacles que j'ai pu rencontrer.

Je remercie également le Dr Valérie Lesgards, qui a été ma co-encadrante au sein d'EDF R&D, pour son appui face à mon ignorance complète du monde des systèmes électriques, son immense disponibilité, ses conseils et contacts précieux, son temps accordé à relire, corriger, étayer mes travaux, mais aussi et surtout pour avoir cru en moi et en mon travail d'un bout à l'autre de ce chemin de croix qu'a été la réalisation de cette thèse.

Une partie de ce travail de recherche s'est déroulée au sein du laboratoire GAEL, où j'ai eu la chance également de trouver une aide précieuse auprès de certains membres de l'équipe. Je pense notamment à Céline Jullien, pour son appui lors de ma première année de thèse, spécialement pour son aide bibliographique, mais également Mariane Damois, Jean-Loup Dupuis, Jeanine Barba, Laurent Muller sans qui les sessions expérimentales de janvier 2012 n'auraient jamais eu lieu.

Du côté EDF, je tiens également à adresser un immense remerciement à Anne-Christine Eiller, que j'ai eu la chance et le plaisir de côtoyer au quotidien à Clamart. Sa générosité, sa sagesse, sa philosophie de vie, son humour et sa gentillesse m'ont aidée à traverser bien des épreuves.

Je remercie également Sylvie Douzou, Karine Berthonnet, Catherine Kasbi, Eric Mathieu, Stéphanie Muller, membres de mon comité de pilotage de thèse, ainsi que Sophie Laville, Antoine Daubet, Christallan Briend, pour avoir répondu à mes appels à l'aide et m'avoir fourni de nombreuses informations sur des points précis de mes recherches.

Je remercie Charles Plott, Ahmad Faruqi, qui m'ont accordé quelques heures de leur temps précieux pour me recevoir dans leurs locaux californiens et de me présenter leurs travaux, Ingrid Bran pour son dévouement à l'occasion de ma visite à l'EPRI, l'équipe de l'*Economic Science Institute (Chapman University)* et plus particulièrement Bart Wilson et Steven Gjerstad pour leur accueil chaleureux lors du *16th IFREE's Annual Visiting Graduate Student Workshop in Experimental Economics* auquel j'ai eu la chance de prendre part en janvier 2010.

Mais le parcours d'une thèse, c'est avant tout une épreuve au quotidien. C'est pourquoi je remercie également énormément Jérôme pour sa patience à mon égard et son soutien *vraiment* à toute épreuve, ma famille et mes parents pour m'avoir toujours poussée vers l'avant, pour leurs encouragements et leur contribution inestimable au travail fastidieux de la relecture ; Yann et Caroline, piliers de la première heure, mais aussi Laurie, Méryl, Charlène, Salim dont l'amitié m'a permis de garder tant bien que mal le moral lors des périodes les plus difficiles de ces dernières années ; Cécile et Henri qui en plus de m'apporter leur bonne humeur et leur motivation au quotidien, m'ont offert depuis 18 ans la plus oxygénante des échappatoires, avec l'aide du fringant Paolito, mon rêve de gosse réalisé.

Je dédie ce travail de thèse à mes grands-mères Yvette et Marie-Paule, à mon grand-père Noël, ainsi qu'à la mémoire de mon grand-père Roger trop tôt disparu : ils sont mes racines et avoir pu grandir à leurs côtés est un immense privilège.

TARIFS RESIDENTIELS POUR LA REDUCTION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE : UNE EVALUATION EXPERIMENTALE D'ACCEPTATION ET D'IMPACT.

Thèse préparée conjointement :

Au laboratoire GAEL de l'Université de Grenoble

UMR GAEL

1241 rue des résidences - Domaine Universitaire

38400 Saint Martin d'Hères

Sous la direction du Pr. Bernard RUFFIEUX



Au centre EDF R&D, département EFESE

EDF R&D

1, avenue du Général de Gaulle

92140 Clamart

Sous la direction du Dr Valérie LESGARDS.



MOTS-CLEFS

Electricité ; demand response ; économie expérimentale ; consommateur résidentiel ; contrat incitatif

RESUME

Face à des enjeux à la fois économiques, politiques et environnementaux, les compagnies électriques développent des outils incitatifs visant à réduire la demande des consommateurs, en particulier lors des périodes de pointe de demande. Chez les clients résidentiels, ces outils sont, pour l'essentiel de nature soit tarifaire (tarification dynamique ou horo-saisonnière), soit informative (feedbacks sur la consommation en temps réel ou passée via divers types de supports).

Afin d'évaluer l'efficacité de tels dispositifs auprès de la clientèle, les compagnies électriques développent des protocoles d'études, notamment des expérimentations de terrain appelées 'pilotes'. Durant ces pilotes, les offres dites de *demand response* sont implémentées sur un échantillon important de population chez laquelle on observe les effets qu'elles induisent. Ces études sont longues et coûteuses. Elles donnent lieu à des analyses quantitatives et qualitatives dont nous avons ici compilés les résultats afin de tenter d'en extraire des enseignements généralisables. Nous mettons également en avant les limites méthodologiques de ces pilotes.

Dans l'optique de proposer un éventuel substitut à ces lourdes expérimentations, nous avons examiné le potentiel des méthodes de l'économie expérimentale pour étudier la *demand response* aux outils incitatifs. L'économie expérimentale a pour objet d'évaluer l'efficacité d'institutions comme les marchés, mais aussi d'étudier les comportements effectifs et leurs déterminants : préférences, croyances, biais cognitifs, consentements à payer, etc. Nous avons élaboré un protocole expérimental visant à mesurer l'acceptabilité de différentes offres de la *demand response*. Au-delà de ces résultats, que nous présentons dans cette thèse, nous montrons que l'économie expérimentale, si elle ne peut constituer un substitut partiel aux pilotes de terrain, peut intervenir en tant que méthodologie exploratoire à l'amont ou en complément de ces derniers, facilitant l'approche préalable des comportements des clients résidentiels.

ASSESSING INCENTIVE CONTRACTS FOR REDUCING RESIDENTIAL ELECTRICITY CONSUMPTION: NEW EXPERIMENTAL METHODS FOR NEW RESULTS.

KEYWORDS

Electricity ; demand response ; experimental economics, residential consumer, incentive contract.

ABSTRACT

Facing economic, political and environmental stakes, electricity providers are nowadays developing incentive tools, in order to reduce consumer's demand, particularly during peak demand periods. For residential customers, these tools can be tariffs (dynamic pricing of time-of-use tariffs), or informative devices or services (feedbacks on historical or real-time consumption, given on various media). They might go along with automatization systems that can help cutting of some electric devices when needed.

In order to evaluate the capacity of these settings among their customers, electricity utilities are developing quite a few studies, which are mainly field experiment often called pilots. During these pilots, demand response tools are implemented on a population sample. These long and expensive studies led to quantitative and qualitative analysis. We have compiled about 40 of them and extract from this survey some generalizable teachings. We have shown what these results were and highlighted pilot programs' methodological limits.

In order to propose a substitute to these heavy experimentations, we assessed the capacity or experimental economics. This relatively new discipline's objective is to evaluate the efficiency of institutions, like markets, but also to study what animate economic agents' behaviour, e.g. preferences, beliefs, cognitive biases, willingness to pay... We were also able to elaborate an experimental protocol dedicated to the evaluation of some demand response contracts' acceptability. The results collected during 14 experimental sessions gave us some innovative clues and insight on these contracts acceptability. But, beyond these results, we have demonstrated that even if experimental economics can't obviously be a substitute for field experiments, it can represent an interesting exploratory methodology. To sum up the experimental economics can take part of residential customers' behaviour understanding, performing upstream or in complement of pilot programs.

SOMMAIRE

Tarifs résidentiels pour la réduction de la consommation électrique : une évaluation expérimentale d'acceptation et d'impact.....	1
Mots-Clefs.....	2
Résumé.....	2
Assessing incentive contracts for reducing residential electricity consumption: new experimental methods for new results.....	3
Keywords.....	3
Abstract.....	3
Glossaire.....	9
Introduction générale.....	13
Partie 1. Les études pilotes sur la réaction de la demande (<i>demand response</i>) : Résultats et limites de grands programmes internationaux.....	23
Chapitre 1. La maîtrise de la consommation électrique en tendance et en pointe.....	25
1.1 Les pointes de consommation électrique, contexte de la problématique : pourquoi et comment cherche-t-on à réduire la consommation d'électricité résidentielle, en particulier pendant les périodes de forte demande ?.....	25
1.2 La tarification électrique : du principe de tarification universel au tarif incitatif. Analyse et enjeux.....	60
1.3 Les conditions et difficultés de mise en œuvre pratique de la tarification incitative. Comment inciter les clients à réduire leur consommation d'électricité, un produit aux usages multiples, cachés, inconscients et permanents ?.....	83
Chapitre 2. Le pilote comme outil d'évaluation de la <i>demand response</i>	92
2.1 Les outils incitatifs de la maîtrise de la demande : typologie.....	92
2.2 La nécessité de déployer des pilotes de terrain : 30 ans d'expérimentations.....	108
Chapitre 3. Quatre grands cas de pilotes.....	123
3.1 EDRP : Un programme complet européen.....	123
3.2 Powercents DC : analyse et comparaison de systèmes d'incitations sous formes de pénalités et de récompense avec étude approfondie des calculs de <i>baseline</i>	143
3.3 Anaheim, ou l'échec du calcul de <i>baseline</i> en Californie.....	156
Le logo du programme <i>Spare the Power Days Rebate Program</i>	162
3.4 <i>Olympic Peninsula Project</i> : un design tarifaire innovant basé sur un marché virtuel des charges auquel participaient les appareils domestiques dans l'état de Washington.....	163
Chapitre 4. Des résultats saillants et beaucoup d'incertitudes.....	180

4.1	Les feedbacks : peu de résultats fiables et d'effets marqués lorsqu'ils sont utilisés seuls.	181
4.2	Tarification : l'impact effectif du prix sur le comportement du client.	189
4.3	Considérations qualitatives : comment garantir des résultats robustes en termes de réduction de consommation ?	206
Chapitre 5. Les pilotes : apports et limites d'une méthodologie indispensable.		211
5.1	Les pilotes : moment indispensables d'élaboration d'une offre commerciale....	211
5.2	La question de la transposabilité des résultats : Peut-on réutiliser les résultats des pilotes passés et internationaux ?.....	212
5.3	Le manque de flexibilité des pilotes de terrain.....	228
5.4	Vers une forme d'expérimentations plus légère : l'expérimentation en laboratoire.	234
Partie 2 : La <i>demand response</i> en laboratoire : conception et apport d'un protocole d'économie expérimentale.		240
Chapitre 1. L'Économie expérimentale : Une alternative Méthodologique possible ?...242		
1.1	La théorie économique traditionnelle face aux préférences des consommateurs.	242
1.2	Économie expérimentale et <i>Behavioural Economics</i> : la naturalisation des hypothèses classiques.	247
1.3	Les grands thèmes de l'économie expérimentale.....	250
1.4	L'étude des comportements en laboratoire : les bases méthodologiques de la discipline.	259
1.5	Économie expérimentale et <i>demand response</i>	261
Chapitre 2. Évaluer des contrats de <i>demand response</i> : L'Élaboration d'un protocole expérimental.		265
2.1	Les possibilités d'une expérimentation en laboratoire sur la question des outils incitatifs à la réduction de consommation d'électricité.	266
2.2	Choix méthodologiques : le principe du <i>beauty contest</i> et choix des individus-types présentés aux sujets.	272
2.3	Le choix des contrats à proposer aux sujets.	279
Chapitre 3. Déroulement de la phase expérimentale.		294
3.1	Structure et portrait du protocole.	294
3.2	Recrutement des sujets : une étape pratique mais cruciale.	305
3.3	Le déroulement des sessions.	309
Chapitre 4. Résultats.		315
4.1	<i>Critical peak pricing (Eco Pointe)</i> contre <i>Peak time rebate (Bonus à l'effacement)</i> . Quel est le type de contrat le plus acceptable?	317

4.2	Design de contrat d’effacement : quelles sont les caractéristiques idéales pour les clients ?	331
4.3	Perception globale des contrats d’effacement : quel accueil par la clientèle ?	344
4.4	Les effets des caractéristiques propres aux sujets sur leurs réponses : l’exemple de l’aversion au risque.....	350
4.5	Usages et comportement : Au-delà de l’adoption du contrat, quels reports sont envisagés et économies acceptées par les clients ?.....	357
4.6	Synthèse des résultats obtenus.	367
Chapitre 5. Quelle place possible pour l’économie expérimentale chez E.D.F.....		370
5.1	Validité externe des résultats en économie expérimentale : les lacunes et avantages du laboratoire.....	370
5.2	Généralisation des résultats : le cas de notre expérience.....	373
5.3	Recommandations : L’économie expérimentale pour E.D.F, un complément plus qu’un substitut.	376
Conclusion Générale.....		383
1.1	Rappel des enjeux de la problématique de la maîtrise de la consommation électrique, en particulier lors des périodes de pointe de demande.	383
1.2	Synthèse des méthodes abordées et résultats obtenus.	384
1.3	Généralisation des résultats, apports et limites.	386
Bibliographie.....		389
Annexes.....		405
1.1	Contrats d’effacements non proposés aux sujets.....	405
1.2	Elasticités et demande électrique.....	410
1.3	Tableau de croisement des expérimentations de terrain	416
1.4	Algorithme de calcul des consommations individuelles de référence du pilote de NYISO : un calcul de baseline élaboré.	418
1.5	Tentative de modélisation du comportement du consommateur d’électricité. .	424
1.6	Individus Paul et Betty.....	425
1.7	Formulaire de recrutement pour les sessions expérimentales de janvier 2012.	429
1.8	Protocole expérimental.....	431

GLOSSAIRE

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
Agrégateur	Compagnies qui proposent des solutions de demand response et qui se situent entre les producteurs d'électricité et les consommateurs. Ils proposent à l'un comme à l'autre des services facilitant la gestion de l'énergie et la capitalisation des effacements.
Baseline	Niveau de consommation de référence (pour calculer un effacement de consommation)
Beauty Constest	Méthodologie d'économie expérimentale consistant au cours d'une expérience collective à rémunérer un sujet en fonction de son aptitude à découvrir une « cible » quand cette cible est fonction des décisions simultanées des autres participants à cette expérience. Par extension, interroger les sujets non pas sur leur choix personnel mais sur le choix d'un groupe.
BET1, BET2	Bonus à l'Effacement de type 1 (sans majoration d'abonnement), Bonus à l'Effacement de type 2 (avec majoration d'abonnement). Offres proposées aux sujets lors de notre expérimentation de janvier 2012.
Commercialisateur (d'électricité)	Fournisseur d'électricité.
Courbe de charge	Relevé sur une période donnée de la consommation (demande) d'électricité d'un foyer, ou d'un ensemble de foyer (courbes de charges agrégées)
CPL	Courant Porteur de Ligne : technologie de communication utilisant les lignes électriques comme réseau.
CPP	Cf Critical Peak Pricing.
CRE	Commission de Régulation de l'Energie. Autorité administrative indépendante chargée de veiller au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz en France
Critical Peak Pricing	Tarifcation de pointe critique : lors des phénomènes dits de « pointe » (durée de quelques instants à une journée), le prix du kWh est plus élevé.
Demand response	Toutes les initiatives qui cherchent à d'agir sur le volume d'énergie demandé en temps réel en modifiant les usages courants des consommateurs finaux (réduction, report des consommations), dans le but de favoriser à tout

	moment le bon fonctionnement des systèmes électriques. Par extension, ces changements de comportement eux-mêmes.
Display (in-home display)	Appareil de feedback présentant les informations de consommation sur un écran au sein du foyer du client.
EDRP	Energy Demand Research Project : pilote de l'OFGEM (GB)
Effacement	Réduction de consommation temporaire.
EnR	Energie(s) Renouvelable(s).
EPRI	Electric Power Research Institute.
ERDF	Électricité Réseau Distribution France. Compagnie indépendante, filiale à 100% EDF, en charge de la gestion de la plus grande partie du réseau de distribution d'électricité en France.
Ex-ante	Relatif à la période précédant l'adoption d'une offre de demand response.
Ex-post	Relatif à la période consécutive à l'adoption d'une offre de demand response.
Feedback	Information sur les consommations du foyer (historiques de consommation (feedback indirect) ou consommation en temps réel (feedback direct))
FERC	Federal Energy Regulatory Commission. Agence du gouvernement federal des Etats-Unis.
Focus Group	Séance collective durant laquelle un produit ou un concept est présenté à un groupe, qui peut alors donner son avis, intervenir, réagir, échanger autour de ce produit ou concept.
Fuel poor	Ce terme se réfère aux foyers dont 10% ou plus de la facture énergétique total sont dédiés au maintien d'une température acceptable dans le logement
HC/HP	Heures Creuses/Heures Pleines. Tarification TOU réglementée en France.
IBR	Cf Increasing Blocks Rate.
Increasing Blocks Rate	Tarifification progressive de l'électricité (le prix marginal du kWh croit avec le volume consommé sur une période donnée)
kWh	Unité de volume d'électricité.
OFGEM	Office of Gas and Electricity Markets : le régulateur pour les marchés du gaz et de l'électricité en Grande-Bretagne
OPP	Olympic Peninsula Project. L'un des pilotes de terrain ayant eu lieu aux Etats-Unis.

Opt-in	Offre opt-in : une offre à laquelle le client doit faire le choix d'adhérer.
Opt-out	Offre opt-out : une offre établie par défaut chez les clients, ils peuvent alors faire le choix de la quitter.
Peak Time Rebate	Tarifification de bonus à l'Effacement. Les kWh non consommés par rapport à la baseline sont récompensés d'un bonus financier.
Pointe (de consommation, de demande)	Niveau de consommation (de demande) particulièrement élevé.
Pricing	Tarifification.
PRISM	PRicing Impact Simulation Model, logiciel développé par le Brattle Group dans le but de simuler et d'évaluer les effacements réalisés dans le cadre de pilotes de tarification dynamique résidentiels.
PTR	Cf Peak Time Rebate.
P-value	Valeur P. Probabilité de faire une erreur en rejetant l'hypothèse nulle. Nous rappelons qu'une <i>P-value</i> inférieure à α signifie que nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle $H_0 =$ « les proportions de clients souhaitant adopter le contrat ou ne souhaitant pas l'adopter sont égales » avec moins de α de chances nous tromper.
Real Time Pricing	Tarifification en temps réel : tarification pour laquelle le tarif change au minimum toutes les heures.
Risk averse	Caractérise un individu averse à la prise de risque.
Risk neutral	Caractérise un individu neutre (rationnel) face à la prise de risque.
Risk Taker	Caractérise un individu affectionnant la prise de risque.
RTE	Réseau de Transport d'Electricité. Filiale d'EDF, qui gère le réseau public de transport d'électricité français de la métropole.
RTP	Cf Real Time Pricing.
Shifting	Action de changer de fournisseur d'électricité (dans notre contexte)
Smart Grids	Réseau électrique intelligent. Un tel réseau utilise des technologies informatiques visant à optimiser la production, la distribution et la consommation. Il a pour objectif de mieux coordonner l'offre et la demande ; les producteurs et les consommateurs d'électricité.
Smart meter	Compteur d'électricité intelligent, communicant, de dernière génération.
TAR	Test d'Aversion au Risque.

Time Of Use	Tarifcation dite horo-saisonnière ou à blocs horaires. Les tarifs varient selon la tranche horaire de la journée, comme c'est le cas pour Heures Creuses/Heures Pleines.
TOU	Cf Time Of Use.
Trade-off	Lors d'une analyse trade-off, on évalue la sensibilité au prix de même que diverses caractéristiques du produit en termes d'intentions ou de préférences vis-à-vis de diverses options ou variantes d'un même produit. Toutes les caractéristiques d'un produit peuvent ainsi être décomposées en choix binaires ou discrets, ce qui permet de déterminer la valeur que les clients attachent à chaque attribut.
Utility	Compagnie électrique (US)
VaasaETT	Vaasa Energy Think Tank. Groupe européen de réflexion et de travail rassemblant des experts et des industriels autour des smart grids, des marchés de l'électricité et de la demand response (entre autres).

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, rares sont les problématiques pour lesquelles les enjeux économiques, politiques et environnementales se rejoignent. La réduction de la demande d'électricité, et plus particulièrement la réduction des pointes de consommation, en fait partie. Au premier abord, il peut sembler paradoxal pour une filière de production et de commercialisation de chercher à diminuer la quantité de produits vendus : c'est pourtant, depuis plus d'une décennie, le cas de la filière électrique. Actuellement en pleine mutation, les réseaux de distribution, qui constituent les véritables systèmes sanguins de cette dernière, évoluent vers ce que nous appelons les *smart grids*¹. Tirant parti des nouvelles technologies de communication, les réseaux électriques deviennent donc intelligents, communicants, prennent en compte l'intégralité des acteurs du système. Ils ne sont plus seulement le lien physique entre le producteur et le consommateur, mais permettent d'optimiser cette singulière relation entre l'offre et la demande d'un produit bien particulier.

L'électricité est un bien dont la gestion de la production et l'acheminement sont des problématiques complexes. Jusqu'à présent, il s'avère que ce produit n'est pas stockable². C'est de là que découlent la plupart des enjeux que nous allons évoquer dans les pages suivantes. En effet, de cette caractéristique naît le besoin d'ajuster en permanence, à chaque instant et en temps réel, l'offre et la demande. Nous n'entrerons pas ici dans les rouages précis de cette mécanique complexe. Traditionnellement, comme dans la plupart des autres filières, le principal levier d'ajustement consistait à adapter l'offre à la demande : produire davantage lorsque la demande est forte, et produire moins lorsqu'elle est réduite. Cependant, comme nous le verrons dans les premiers chapitres de cette thèse, la demande d'électricité, en France mais également dans les autres pays, est extrêmement variable. La périodicité de ses variations est multiple, et elle fluctue selon les saisons, les jours, les heures, les minutes, tout en affichant, d'année en année, une tendance haussière générale. Or, la production électrique, elle, n'affiche pas une telle flexibilité. Il faut pour comprendre cela s'intéresser aux modes de production de l'électricité. Nous verrons que différentes possibilités existent et sont exploitées sur notre territoire, chaque mode de production présentant ses propres caractéristiques de coûts, de flexibilité, d'avantages et d'inconvénients. Rares sont les moyens de production permettant une grande variabilité de l'intensité de production ; et les filières de production les plus flexibles se révèlent également être les plus coûteuses et les plus polluantes.

¹ Définition CRE : *L'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication aux réseaux les rendra communicants et permettra de prendre en compte les actions des acteurs du système électrique, tout en assurant une livraison d'électricité plus efficace, économiquement viable et sûre.*

Le système électrique sera ainsi piloté de manière plus flexible pour gérer les contraintes telles que l'intermittence des énergies renouvelables et le développement de nouveaux usages tels que le véhicule électrique. Ces contraintes auront également pour effet de faire évoluer le système actuel, où l'équilibre en temps réel est assuré en adaptant la production à la consommation, vers un système où l'ajustement se fera davantage par la demande, faisant ainsi du consommateur un véritable acteur.

² A échelle industrielle.

D'autres filières présentent d'autres désagréments, comme une production intermittente et peu contrôlable (nous pensons ici aux filières de production d'électricité renouvelables), ou encore une acceptabilité de plus en plus problématique (comme la filière nucléaire). De plus, l'acheminement de l'électricité passe par des réseaux physiques nécessitant un nivellement par le haut pour être en mesure de convoyer l'électricité durant les périodes de faible comme de forte demande.

Puisque l'adaptation de l'offre à la demande est à la fois coûteuse, en termes de coûts de production et d'investissements nécessaires, polluante en termes d'émissions de CO2 et autres gaz à effet de serre, et sujette à polémique, lorsqu'il s'agit de scarifier le paysage à coups de lignes haute tension et autres centrales thermiques, la solution envisagée et développée depuis plus d'une décennie³ maintenant est de retourner le problème, et de tenter, dans un même temps, d'adapter autant que possible la demande à l'offre. Bien entendu il ne s'agit pas ici de réguler la demande en électricité pour qu'elle adhère au schéma de production du pays, mais davantage de parvenir à la maîtriser lorsqu'elle risque de mobiliser des ressources auxquelles il est néfaste de faire appel, comme les polluantes et coûteuses unités de production de pointe, voire même quand elle risque de dépasser les capacités d'acheminements, risquant de plonger une région dans un blackout paralysant. Si l'on parvient à maîtriser la demande à la baisse, il serait également intéressant de parvenir à la reporter vers les périodes où la consommation globale est plus basse, cette fois-ci pour tirer parti des moyens de production dont on dispose et qui produisent à niveau quasi constant une électricité peu coûteuse (comme les centrales nucléaires). On entre donc idéalement dans un schéma d'optimisation de l'ajustement offre/demande : l'optimisation de l'utilisation des ressources tout en limitant les externalités négatives de la filière.

Seulement, moduler à l'envi la demande pour un produit aussi indispensable au développement de nos sociétés actuelles qu'est l'électricité n'est pas une tâche aisée. Ses usages desservent aussi bien l'économie globale du pays que le bien-être de ses citoyens. Si des solutions automatisées existent depuis longtemps pour les secteurs industriels pour réduire et reporter leur consommation lorsque c'est nécessaire, le secteur résidentiel, pourtant le plus important et le plus fortement pourvoyeur de phénomènes de pointes de consommation, n'est pas encore dompté. C'est à ce secteur bien particulier que nous nous intéresserons dans cette thèse ; c'est lui qui mobilise toutes les recherches en matière de maîtrise de la demande électrique actuellement. C'est bien entendu le plus difficile à aborder : chez le consommateur résidentiel, l'électricité est un produit à l'usage caché, masqué par ses multiples utilisations finales. On n'achète pas de l'électricité, mais on chauffe son logement, on allume sa télévision, on met en route son lave-linge. On n'achète pas des kilowattheures (kWh), mais on paye périodiquement une facture qui semble parfois dématérialisée, décorrélée de la vie quotidienne qui la justifie.

Comment, dès lors, parvenir à réduire, soit de manière globale (réduction tendancielle), soit de manière ponctuelle (réduction des pointes) la consommation d'électricité des ménages, étant donné leur infinie diversité et le caractère inconscient de sa consommation ? Les paramètres qui font varier la demande électrique d'un foyer à l'autre sont nombreux ; on peut citer le type de logement, le taux d'occupation du logement, le niveau d'efficacité énergétique du logement, ainsi que de nombreux paramètres bien plus subjectifs, tels que le revenu, la sensibilité écologique, le

³ Bien que des mécanismes de maîtrise de la demande aient été mis en place dès les années 1960, comme ce fut le cas en France. Cf section 1.2 de cette partie.

rythme de vie de ses occupants. Nous comprenons qu'une solution globale pour la maîtrise de la demande électrique, en pointe comme en tendance, est difficile à concevoir.

Les outils de la maîtrise sont la plupart du temps ordonnés dans une typologie qui découle de leur mode d'action. On compte trois grands axes majeurs qui rassemblent ces outils : inciter, informer et automatiser.

Le premier axe consiste à inciter les consommateurs à réguler leur demande de manière globale parfois mais surtout lors des périodes de pointe en réponse à des signaux tarifaires précis : il s'agit de tarifications différenciées, soit selon un motif temporel (tarification variant selon les heures de la journée), soit selon le volume croissant de consommation (tarification progressive). Il s'agit donc de faire varier les prix en espérant qu'un prix plus élevé induira chez les consommateurs une demande plus faible, selon les mécanismes classiques des lois de l'offre et de la demande. Par abus de langage, et en opposition aux tarifs dits « de base » (uniformes) de l'électricité, ces tarifications incitatives sont souvent dites « dynamiques ». L'élaboration de tarifications pour un produit tel que l'électricité est un processus impliquant l'ensemble des acteurs de la filière électrique, mais aussi les pouvoirs publics et des entités externes. La liberté de mouvement est très restreinte : entre nécessité de rentabilité d'une part et maintien de l'accès à un service public payant de l'autre, la marge de manœuvre est faible.

La seconde possibilité pour agir sur le comportement des consommateurs est de leur fournir un apport d'information (*feedback*) sur leurs consommations. Puisque ces dernières sont cachées et souvent inconscientes, les mettre en lumière, les révéler, et accroître leur existence matérielle par le biais de données de consommations précises, pourrait aider le client à faire des efforts de sobriété électrique, voire de réduire momentanément ses consommations, lorsque les signaux informatifs sont ponctuels ou couplés à une tarification dynamique. Fournies aux clients via des supports papier, sur Internet, ou encore via des appareils électroniques de displays en temps réel, on suppose que les informations de consommation leur permettent, par un mécanisme d'apprentissage cyclique, de modifier leurs habitudes dans un effort de sobriété électrique.

Enfin, il est possible d'automatiser les usages d'appareils électriques au domicile des particuliers. Tous les usages ne sont pas automatisables, mais certains, extrêmement gourmands en électricité (comme le chauffage électrique ou les ballons d'eau chaude, ou encore les lave-linge), peuvent l'être par l'adjonction d'appareils de thermostat, de programmateurs ou de « pilotage à distance ». Parfois, c'est une entité tierce qui prend le contrôle de ces appareils et peut alors procéder ce que l'on appelle des « effacements » de consommation, c'est-à-dire des réductions substantielles momentanées de la consommation électrique du foyer.

Ces trois mécanismes majeurs d'action sur la demande électrique résidentielle peuvent également être combinés, ainsi, le couplage d'une tarification dynamique, d'un système de pilotage qui coupera certains appareils lorsque les prix de l'électricité sont élevés, et d'un appareil informatif prévenant de la situation tarifaire ponctuelle, peut être envisagé. Lorsqu'un ou plusieurs de ces outils sont employés par les acteurs de la filière électrique, on attend une réaction, ou réponse, des consommateurs, sous forme d'un effacement momentané, d'un report ou éventuellement d'une réduction globale de la consommation. C'est ce phénomène de réaction à des signaux

(principalement incitatifs) que nous appelons la **demand response**⁴ : « Cela comprend toutes les modifications intentionnelles des patterns de consommation électrique des consommateurs finals dans le but de modifier le moment, le niveau de consommation instantanée, ou la consommation globale ». (d'après Albadi and El-Saadany, (2007)). Dans cette thèse, nous nous intéresserons principalement au recours à la *demand response* pour le lissage des pointes de consommation, même si nous évoquerons également les possibilités de maîtrise de la demande globale via les outils évoqués.

La *demand response* constitue une véritable réserve sur le plan de l'ajustement, pour peu que l'on arrive à la mettre en place et la fiabiliser. En effet, en dehors de tout système d'automatisation, le potentiel des mécanismes incitatifs repose sur les modifications de comportement des usagers au sein de leur foyer, en réponse aux signaux informatifs et/ou tarifaires. Comment s'assurer que les mécanismes proposés parviendront à pénétrer l'intimité des habitudes quotidiennes des consommateurs résidentiels ? L'électricité fait partie de chaque instant du quotidien mais sait se faire oublier, encapsulée dans des routines semi conscientes ; toute tentative de modifier ces dernières est donc potentiellement incertaine. Or, l'incertitude n'a pas sa place dans les rouages d'un système comme celui de l'équilibre sur le réseau électrique, d'autant plus que les mécanismes incitatifs peuvent être coûteux à mettre en place. Comment, dès lors, mesurer l'impact des outils de type tarifaires ou de feedback auprès de la clientèle résidentielle ? Comment les calibrer pour qu'ils soient à la fois efficaces en termes de réduction de la consommation et acceptables du point de vue des consommateurs ?

Aujourd'hui, il existe différentes méthodes à disposition des compagnies électriques pour évaluer les performances et l'attractivité des outils de la *demand response*. De manière marginale, des études de type enquêtes sociologiques, ou méthodes d'analyse conjointe, permettent d'estimer leur acceptabilité. Mais la méthodologie d'investigation principale autour des offres tarifaires incitatives et des offres de services de feedback est aujourd'hui l'expérimentation sur le terrain. Egalement appelés pilotes de terrain, ou démonstrateurs, par les différents acteurs de la filière électrique, ils consistent essentiellement à implémenter les offres de *demand response* chez un échantillon de la clientèle, puis, sur une période plus ou moins étendue, à étudier et mesurer les modifications de la consommation induites chez ces clients.

Ces pilotes de terrain ont accompagné les balbutiements de la *demand response* dès la fin des années 1960, aux quatre coins du monde, partout où l'équilibre entre l'offre et la demande électrique est un défi à relever. Dans cette thèse, nous en effectuons une méta-analyse, croisant les résultats quantitatifs et qualitatifs de dizaines de pilotes en France et à l'international. Nous mettons en relief les grands enseignements de ces expérimentations de terrain en termes d'efficacité des différentes offres incitatives, tentant de décrypter les variables qui favorisent la réussite de ces outils vis-à-vis des objectifs de réduction de consommation en pointe, ou en tendance. Nous effectuerons ainsi un tour d'horizon de l'existant dans le domaine des pilotes de terrain, lesquels sont aujourd'hui observés de près par de nombreux spécialistes, qui compilent et comparent leurs résultats.

⁴ Le terme de Demand Response revêt différentes significations précises selon les documents de références, d'où l'importance de clarifier notre position. La définition initiale insiste davantage sur l'aspect réduction des pointes mais la tendance européenne actuelle tend à intégrer un objectif de réduction globale de la consommation électrique à la problématique de la *demand response*.

Mais les pilotes de terrain, désormais indispensables au design des offres de la *demand response*, sont des démarches mobilisant énormément de moyens humains et financiers, d'une durée pouvant s'étaler sur plusieurs années de recherche. Dans un monde où les phénomènes s'accroissent sans cesse, ce timing peut constituer un problème. De plus, les limites des pilotes de terrain sont nombreuses, en termes de possibilités d'implémentation au sein des foyers, protégés par le contexte juridique qui encadre les pratiques de la filière électrique, mais aussi et surtout de validité interne et externe des résultats. Peut-on extrapoler les conclusions des études portant sur un échantillon à l'échelle d'une région, d'une population ? C'est maintenant la méthodologie elle-même que nous questionnons. Ne serait-il pas intéressant de chercher à développer d'autres techniques d'évaluation des offres incitatives ?

Parmi les méthodologies utilisées dans le monde de la recherche pour appréhender le comportement des consommateurs en général, il en est une qui a retenu l'attention de la compagnie Electricité de France (EDF), plus importante compagnie électrique au monde. Issue de l'exploration des théories classiques de la microéconomie via la reproduction des comportements des agents économiques en laboratoire, l'économie expérimentale permet depuis environ 50 ans l'étude d'un grand nombre de phénomènes et de comportements de consommateurs. Cette discipline s'adresse aux questions les plus théoriques, comme aux plus appliquées. Les techniques élaborées par les économistes expérimentalistes offrent la possibilité de révéler des consentements à payer, d'élucider des préférences et croyances, de mettre en lumière les rouages des décisions des agents économiques, y compris autour de produits de la vie quotidienne, via des expériences auprès de sujets financièrement rétribués en fonction des choix qu'ils effectueront, stratégiquement ou non, lors des séances en laboratoire, appelées sessions. Les données qui y sont récoltées, une fois traitées, permettent de comprendre et d'anticiper les comportements, dans un laps de temps relativement restreint par rapport au temps nécessaire pour le développement et la réalisation d'expérimentations de terrain telles que les pilotes de la *demand response*.

Le questionnement autour duquel s'articule cette thèse est donc le suivant : Est-il possible d'employer les méthodes de l'économie expérimentale dans le but d'analyser le comportement du consommateur résidentiel face à des incitations à réduire sa demande en électricité, en particulier lors des périodes de pointe ? L'économie expérimentale peut-elle se substituer aux pilotes de terrain que nous avons étudiés ?

Les intérêts de développer des protocoles expérimentaux qui permettraient d'évaluer l'acceptabilité ou l'efficacité des outils de la *demand response* sont multiples. L'économie expérimentale constitue une méthodologie plus légère à mettre en place qu'un pilote, une série de sessions autour d'une problématique donnée est moins coûteuse en moyens financiers, techniques et humains, mais surtout en temps, que les démonstrateurs sur le terrain. Les marges de manœuvre sont également bien plus grandes en laboratoire, où il est possible de décortiquer chacune des variables supposées avoir un impact auprès des consommateurs. Il est également possible de tester des offres en marge de l'existant, qu'il serait inconcevable d'implémenter aujourd'hui, mais qui nous permettraient de d'explorer les frontières de l'acceptable, tout comme on étudie en mathématiques les comportements aux limites d'une fonction dont les racines sont les seuls points utilisables directement. L'économie expérimentale permet – elle d'aller au-delà des pilotes de terrain pour observer la réaction des consommateurs face aux offres de la *demand response* ?

Ingénieure en informatique et mathématiques appliquées de formation, c'est dans l'optique d'explorer les possibilités de l'économie expérimentale autour de la problématique de la *demand response* que j'ai entrepris cette thèse sous contrat CIFRE au sein du centre de Recherche et Développement de EDF en collaboration avec le laboratoire GAEL de l'Université de Grenoble, en octobre 2009. Passionnée par les démarches scientifiques depuis des années, j'ai été particulièrement séduite par le concept expérimental et la quête de validité scientifique prônés par la discipline, que j'ai découverte au fur et à mesure de mes recherches pour cette thèse, tout comme le fonctionnement complexe et les enjeux des systèmes électriques. Cette position de béotienne a constitué à la fois un inconvénient, lorsqu'il m'a fallu notamment embrasser les possibilités de la discipline, et un avantage, me dotant d'un regard nouveau et d'une curiosité propice à l'investigation. Ma posture d'ingénieur m'incite à la recherche de solutions pratiques pour des problèmes concrets, en forte adéquation avec le sujet de cette thèse.

Dans le large éventail des sujets déjà étudiés par l'économie expérimentale, le comportement des consommateurs résidentiels d'électricité ne fait pas d'apparition. La discipline a déjà contribué à maintes reprises à la compréhension et au design des marchés de gros de l'électricité. La libéralisation récente et progressive de ces derniers, dans l'objectif de limiter leur volatilité, favoriser la concurrence et dans l'espoir d'atteindre une baisse des prix globale, a été et demeure l'occasion d'investigations expérimentales variées, permettant de juger de l'efficacité des cadres institutionnels des marchés de gros de l'électricité. Les thématiques de la *demand response* sont elles aussi abordées par l'économie expérimentale, toujours dans une approche axée design de marché, en intégrant dans les mécanismes les possibilités d'effacements du côté de la demande. Mais jamais l'aspect « consommateur final » de la *demand response* n'a été abordé, ni dans son acceptabilité, ni dans son efficacité : c'est là que se situe notre contribution qui alimente cette thèse.

La découverte de l'économie expérimentale dans son ensemble, ses principes de bases et ses particularités, puis l'exploration des possibilités offertes par sa composante *behavioural economics*, telles que l'étude des préférences inter-temporelles, de l'aversion au risque des individus, des croyances et consentements à payer, nous a conduits petit à petit à l'élaboration puis à la construction pratique d'un protocole expérimental, dans l'optique de répondre aux deux questions majeures qui portent ce travail de thèse :

L'économie expérimentale peut-elle se substituer aux méthodes traditionnelles d'investigation du comportement des consommateurs résidentiels d'électricité face aux outils de la *demand response*, ou encore contribuer à son exploration ?

Je soutiendrai dans ce présent rapport la thèse selon laquelle les méthodes de l'économie expérimentale ne peuvent pas se substituer aux expérimentations de terrain qui constituent aujourd'hui le cœur de la recherche autour des comportements des clients face aux mécanismes incitatifs de la *demand response*, mais peut s'avérer particulièrement utile pour combler les lacunes des pilotes *grandeur réelle*, examiner plus profondément les variables et leur comportements limites. Il s'agira davantage d'une méthode exploratoire complémentaire, voire préalable aux pilotes de terrain, dans une démarche de calibrage et de design des offres de *demand response*. Il s'avèrera

probablement difficile, voire impossible d'encapsuler les comportements de routines de consommation électrique des clients résidentiels au sein d'un laboratoire. Le lien distendu entre l'instant de l'achat d'électricité et la réception de la facture n'est pas aisément modélisable lors de sessions expérimentales durant lesquelles la durée limitée et la déconnexion de la vie quotidienne restreignent la reproduction des mécanismes de consommation de ce produit particulier.

Nous avons été également conduits à mener d'un bout à l'autre une démarche expérimentale en adéquation avec les champs de recherche actuels du centre de recherche et développement d'EDF, c'est-à-dire établir un protocole, animer des sessions en laboratoire et analyser les résultats recueillis, ce qui nous permet de répondre à la problématique suivante : **Les consommateurs résidentiels préfèrent-ils une offre de tarification incitative présentant un prix de l'électricité majoré durant les périodes de pointe de consommation (tarification dite *critical peak pricing*) ou une offre promettant une réduction sur la facture proportionnel au nombre de kWh économisés durant ces périodes de pointe (tarification dite *peak time rebate*) ? Quels facteurs impactent l'attractivité de ces deux types d'offres (en ce qui concerne à la fois le design de ces offres et les caractéristiques propres aux clients) ?**

Je soutiendrai donc, d'après une analyse approfondie des résultats obtenus lors de mon expérimentation déroulée en janvier 2012, la thèse selon laquelle l'acceptabilité des contrats de type *critical peak pricing* est plus grande pour les consommateurs résidentielles que celle des contrats de type *peak time rebate*, pour des schémas tarifaires symétriques, du fait de l'asymétrie des comportements face aux risques de pertes et de gains probabilistes. De plus, une économie substantielle sur la facture électrique est nécessaire pour déclencher une motivation suffisante pour induire des changements de comportements. Quoi qu'il en soit, les offres tarifaires incitatives sont perçues comme un facteur de stress difficile à intégrer aux contraintes du quotidien de certains foyers⁵.

Dans un souci d'uniformité du protocole que nous avons élaboré, et en axant nos travaux dans la lignée prospective au sein de la compagnie EDF, nous n'avons pas étudié en laboratoire le comportement des consommateurs d'électricité face aux outils informatifs de feedback⁶. Les difficultés potentiellement rencontrées pour la construction d'un protocole évaluant les modifications de comportements induites par ces mécanismes incitatifs seront les mêmes que celles que nous avons relevées. En revanche, l'étude de leur acceptabilité, voire des consentements à payer pour des services de feedback, tout comme l'intérêt des consommateurs pour des appareils d'automatisation, pourront, selon nous, donner lieu à des expériences en laboratoire dans les mois ou années à venir, et pourraient venir compléter les résultats déjà obtenus par les pilotes de terrain qui s'attachent à évaluer leur efficacité en termes de réduction de la consommation lors des périodes de pointe et en tendance.

⁵ Nous verrons que nous avons utilisé dans le cadre de notre expérimentation des exemples de foyers-types, pouvant paraître stéréotypés (célibataire vivant seul en appartement citadin ; couple avec enfants vivant en pavillon dans une petite bourgade périurbaine...) mais nous apparaissant comme suffisamment différenciés pour observer l'incidence des caractéristiques des clients sur leur réaction face à des offres de *demand response*.

⁶ Une expérimentation mineure portant sur les croyances associées aux consommations électriques a été réalisée par nos soins en juin 2010 dans le cadre de cette thèse, et intégrait une composante évaluant les consentements à payer des sujets pour des appareils de display en temps réel des consommations électriques. Cette expérience avait principalement un but didactique pour moi-même. Basés sur les réponses d'un très petit nombre d'étudiants, les résultats n'ont pas fait l'objet de publication, mais le déroulement de l'expérimentation nous a convaincus de la faisabilité mais surtout de la pertinence d'un projet de plus grande envergure.

Dans la première partie de ce rapport de thèse, nous allons explorer le domaine des méthodes d'investigation utilisées de nos jours par les compagnies électriques comme EDF pour évaluer les réactions des consommateurs résidentiels face aux outils incitatifs de la *demand response*.

Nous dépeindrons d'abord un portrait de la filière électrique en insistant sur les caractéristiques de la production et de la consommation électrique en France, afin de comprendre d'où émergent les enjeux de l'ajustement de l'offre et de la demande sur les marchés actuels, qu'ils soient politiques, économiques ou environnementaux. Nous aborderons ensuite les concepts de la tarification électrique, et comment elle peut devenir un outil incitatif à la réduction de consommation électrique.

Puis dans un second temps nous aborderons ce qui constitue le cœur d'étude de cette première partie : les pilotes de terrain déployés par les compagnies électriques pour évaluer les outils de la *demand response*. Nous présenterons ici une typologie complète des outils incitatifs étudiés par ces expérimentations de terrain, en déclinant les diverses tarifications incitatives possibles, mais également les différents types de feedback plus ou moins interactifs proposés au public ci ou là dans le monde, et démontrerons la nécessité de savoir anticiper leur impact avant de les implémenter à grande échelle, chez les clients.

Afin de mieux comprendre comment ils sont mis en place, quelles sont les difficultés qu'ils soulèvent et quels paramètres peuvent constituer des obstacles à leur déroulement, nous étudierons quatre cas de grands pilotes présentant des caractéristiques qu'il nous a semblé intéressant de mettre en avant dans l'optique de mieux cerner les possibilités et les limites de la méthodologie. De la Grande Bretagne à la Californie, de l'état de Washington à l'état du Maryland, nous verrons quels types de résultats ils peuvent fournir et quel est la granularité de l'analyse qui en découle.

Ces pilotes ne sont pas les seuls à avoir retenu notre attention, aussi nous présenterons ensuite une analyse croisée et combinée de plusieurs dizaines de pilotes en France et à l'international. Nous montrerons la grande variance des résultats, due aux cadres très divers de ces expérimentations, et la difficulté que nous avons à pouvoir comparer les résultats. Cependant, des grandes tendances semblent se dégager : cela pourra constituer une base de référence lors de la collecte de résultats via les méthodes de l'économie expérimentale.

Enfin, nous prendrons un certain recul par rapport à ces résultats, en nous intéressant cette fois-ci aux apports de cette étude croisée d'une multitude d'expérimentations de terrain à propos de la méthodologie elle-même. Car, au-delà des chiffres exprimant des taux de réduction de consommation, ce sont les méthodologies que nous confrontons et comparons. Nous montrerons quelles sont les limites des pilotes de terrain. Leur lourdeur, le manque de contrôle exercé sur les variables clés de la consommation électrique, et l'incertitude fréquente concernant la pertinence et la validité externe des résultats collectés peut inciter à la recherche de méthodologies d'investigation nouvelles.

Dans la seconde partie de cette thèse, nous présentons donc une alternative potentielle aux pilotes de terrain pour l'évaluation de la réaction des consommateurs face aux outils de la *demand response* : l'économie expérimentale.

Tout d'abord, il nous faut présenter cette discipline relativement récente, de sa naissance durant les années 1960 issue de la remise en question des grandes théories classiques de la microéconomie. Nous verrons comment les expérimentalistes ont, d'une part, recréé en laboratoire le fonctionnement des marchés économiques, mettant en évidence et décortiquant des phénomènes observés dans le monde réel, puis travaillant au design de nouvelles institutions de marchés, et d'autre part, révélé les anomalies comportementales d'individus supposés rationnels face aux décisions de choix économiques, déconstruisant l'image de l'*homo economicus* dont le champ d'existence se limiterait en fait au domaine de la théorie. L'économie expérimentale s'adresse de nos jours à des questions extrêmement appliquées, étudiant les comportements des consommateurs face à une multitude de produits introduits au sein des laboratoires, ce qui nous laisse espérer que la discipline sera à même d'aider à la conception des outils de la *demand response* de demain.

La découverte des grands principes de l'économie expérimentale, abordés dans ce premier chapitre, nous permet de passer à l'acte et de construire notre propre protocole expérimental autour des offres incitatives à la réduction de consommation. Nous présenterons les difficultés rencontrées, principalement liées à l'impossibilité de faire pénétrer ni le produit électricité au sein des laboratoires, ni les usages de la vie quotidienne qui induisent sa consommation : il nous paraît donc difficile de réaliser un protocole mesurant des modifications de comportements de routines ayant pour cadre les foyers des sujets dans ces conditions. Nous avons donc choisi de construire un protocole autour de l'étude de l'acceptabilité de différentes solutions tarifaires, que nous appelons contrats d'effacements, inspirés de notre connaissance de l'existant à l'international, et évoqués plus haut dans cette introduction de notre rapport de thèse. Ces solutions sont centrées autour d'un objectif de réduction de la pointe de consommation électrique hivernale en France, et de la tranche horaire critique 18h-20h, période où la demande atteint généralement des records sur notre territoire, du fait de la synchronisation des comportements des usagers, mais présentent des mécanismes différents dont le protocole établi nous permettra de révéler l'acceptabilité.

Nous présentons ensuite la version finale du protocole tel qu'il a été utilisé pour les 14 sessions expérimentales que nous avons animées en janvier 2012 au sein du laboratoire GAEL. Divisé en quatre grandes parties, il confronte tour à tour les sujets aux offres incitatives *critical peak pricing* et *peak time rebate*, au travers des choix économiques réalisés par l'intermédiaires de deux individus types fictifs, Paul et Betty, eux aussi présentés aux sujets durant les sessions.

La collecte des résultats nous a permis de réaliser une analyse statistique impliquant le tri et l'organisation des données issues des sessions expérimentale. Nous proposons donc une interprétation de ces résultats, suivant plusieurs axes de recherche. Nous montrons que les consommateurs présentent une plus grande acceptabilité pour les offres de type *critical peak pricing* que pour les offres de type *peak time rebate*, nous laissant entendre que la perspective de recevoir des bonus financiers en cas de sobriété énergétique avérée n'est pas suffisante à contrer le rejet lié à un surcoût potentiel de l'abonnement électrique, alors qu'une tarification majorée lors des heures de pointes n'enraye pas l'attrait des clients auxquels on propose en échange une baisse effective de

l'abonnement électrique. Nous montrons également que dans le cas d'une tarification *critical peak pricing*, une certaine prise de risque, matérialisée par des tarifs extrêmement élevés du kWh en période de pointe de demande, est tolérée (toujours en contrepartie d'une réduction du prix de l'abonnement), alors qu'en cas de tarification *peak time rebate*, c'est le risque minimal qui remporte les suffrages. Nous mettons en évidence une cohérence entre les comportements des clients face aux tarifications incitatives tels que nous les observons, et les principes de la théorie des perspectives de D. Kahneman, l'un des pères fondateurs de l'économie expérimentale. L'acceptabilité globale et qualitative des contrats d'effacement est également abordée : nous montrons que quel que soit le mécanisme incitatif proposé, le sentiment de stress est évoqué par les sujets, qui expriment une certaine réticence à ajouter à leurs contraintes et soucis du quotidien la vigilance imposée par ce type de solutions. Cela nous laisse penser que l'acceptabilité des solutions tarifaires pourrait être améliorée si elles sont accompagnées d'appareils d'automatisation des usages simples ; nous révélons enfin quels sont les usages que les clients seraient susceptibles ou non de souhaiter interrompre automatiquement durant les périodes de pointes de consommation.

Enfin, comme nous l'avons expliqué précédemment, l'objectif de cette thèse n'est pas seulement d'analyser les résultats d'un protocole axé sur l'étude de quelques offres incitatives, mais également d'évaluer quel pourrait être la contribution de l'économie expérimentale dans le domaine du design et du développement des outils de la *demand response*. Nous discuterons donc la validité externe des résultats des expérimentations de laboratoire ; nous montrerons que cette problématique est commune à toute discipline expérimentale et n'est pas uniquement limitée au laboratoire, puisque toute étude impliquant l'utilisation d'un échantillon de population ou infléchissement par rapport à la réalité des situations observée doit également se poser la question de la possibilité d'extrapolation de ses résultats. Nous concluons cette thèse en affirmant que l'économie expérimentale trouve tout à fait sa place dans le champ de recherche et de conception des offres de la *demand response* en complément des études de terrain, voire en amont de ces programmes expérimentaux grandeur réelle, dans l'optique de les affiner, de les calibrer, mais également d'explorer les limites du possible en matière de solutions incitatives, et ce, au travers d'un prisme permettant de décomposer l'acceptabilité, voire l'efficacité des offres en de multiples variables.

Tel est organisé le contenu de cette thèse, dans une logique qui a été la mienne à l'abord de ces deux domaines qui m'étaient inconnus. Bien que la découverte des enjeux de l'équilibre de l'offre et de la demande en électricité et celle de l'économie expérimentale aient été menées en parallèle, les deux parties de ce plan constituent finalement des rétrospectives des travaux de recherche que j'ai pu mener durant ces quelques années au sein d'EDF et du laboratoire GAEL, et dénotent, au fil des chapitres, la prise de recul effectuée vis-à-vis des méthodologies abordées.

PARTIE 1. LES ETUDES PILOTES SUR LA REACTION DE LA DEMANDE (*DEMAND RESPONSE*) : RESULTATS ET LIMITES DE GRANDS PROGRAMMES INTERNATIONAUX.

Incontestablement, la France arrive aujourd'hui à un tournant dans l'histoire de son système de fourniture d'électricité pour les consommateurs finaux. Il s'agit d'un mouvement à l'échelle internationale : suivant de près la libéralisation des marchés de l'électricité, la tendance généralisée au déploiement de systèmes de comptage intelligents, prélude à l'essor certain des *smarts grids* dans les prochaines décennies. Cet essor est orchestré par les urgences économiques et environnementales, poussé par les recommandations des instances politiques. De nombreuses révolutions sont en route dans l'organisation des systèmes électriques, depuis la production jusqu'aux usages au sein des foyers.

Nous quittons la très traditionnelle image d'une arborescence dont la racine serait l'ensemble des unités de production, injectant des KWh de sève énergétique au travers des ramifications des réseaux de transport et de distribution en direction des feuilles représentant la multitude des consommateurs finaux. Nous voyons s'établir un véritable réseau intelligent (les fameux *smart grids*) où la communication et les échanges entre les acteurs se font dans les deux sens. Chacun est amené à interagir avec le nouveau système afin d'optimiser la production et la répartition de l'énergie, pour assurer au mieux l'équilibre offre/demande à chaque instant.

En France, c'est en ce moment même que s'amorce cette phase de transition entre l'ancien système électrique et les futurs *smart grids*, avec le lancement de l'installation de nouveaux compteurs communicants dès le premier semestre 2010. A titre d'expérimentation de terrain, ERDF⁷ installe en Indre et Loire et dans l'agglomération lyonnaise une première version du compteur dénommé Linky, capable de transmettre des informations de consommation vers un concentrateur qui les traite et les transmet aux serveurs d'information centraux. L'objectif premier est de réduire les coûts de facturation d'électricité, en rendant possibles les relevés à distance et donc en limitant les interventions humaines chez les clients finaux. Le système en cours de déploiement permettra aussi de circonscrire les fraudes, et d'intégrer au réseau les sources d'énergies intermittentes, comme les panneaux photovoltaïques, dont le raccordement sera possible au travers de Linky qui possède à la fois des index de production et de consommation. Enfin, les réseaux intelligents

⁷ ERDF : Électricité Réseau Distribution France. Compagnie indépendante, filiale à 100% EDF, en charge de la gestion de la plus grande partie du réseau de distribution d'électricité en France.

apporteront une nouvelle dimension au service de fourniture d'électricité, puisque qu'ils permettront aux clients de suivre et de contrôler plus facilement leur consommation, et aux fournisseurs de construire de nouvelles offres mieux adaptées. Ils s'inscrivent ainsi parfaitement dans les dynamiques des stratégies énergétiques actuelles.

L'introduction du concept de *demand response* constitue l'un de ces bouleversements de l'approche globale des systèmes électriques catalysés par l'essor des *smart grids*. Ce terme récent regroupe toutes les initiatives tentant d'agir sur le volume d'énergie demandé en temps réel en modifiant les usages courants des consommateurs finaux (réduction, report des consommations), dans le but de favoriser à tout moment le bon fonctionnement des systèmes électriques (entre autres, l'équilibre offre/demande sur le réseau). Par extension, nous utiliserons dans cette étude le terme de *demand response* pour qualifier également des modifications de comportements de consommation réalisées sur la durée, dans le but d'économies globales d'électricité⁸. La *demand response* intervient en alternative aux méthodes traditionnelles qui consistent à moduler, adapter les quantités produites et injectées sur le réseau. Désormais, on compte sur la possibilité d'intervenir dynamiquement sur les charges, via différents leviers que nous détaillerons plus tard, pour contribuer entre autres à réaliser cet équilibre et garantir une fourniture d'électricité en adéquation avec les besoins répartis sur l'ensemble du réseau. Prendre en compte la demande dans ce calcul d'équilibre consistait jusqu'à ces dernières années à intégrer une composante d'estimation prévisionnelle de la demande afin d'adapter la production. Aujourd'hui, la demande en électricité n'est plus considérée comme une composante exogène du système électrique, mais comme un acteur en interaction avec le réseau. Cette réactivité du côté aval des *smart grids* constitue sans conteste un outil d'intervention face aux challenges qui émergent du contexte énergétique actuel, à condition de savoir mobiliser les utilisateurs finaux.

⁸ On parle également de maîtrise de la demande. Le terme de *demand response* revêt différentes significations précises selon les documents de références, d'où l'importance de clarifier notre position. La définition initiale insiste davantage sur l'aspect réduction des pointes mais la tendance européenne actuelle tend à intégrer un objectif de réduction globale de la consommation électrique à la problématique de la *demand response*.

Chapitre 1. La maîtrise de la consommation électrique en tendance et en pointe.

L'électricité est un produit particulier, qui cache notamment de multiples enjeux. Enjeux économiques bien entendu : de sa production à sa consommation, un certain nombre d'acteurs interviennent, contrôlent, régulent, profitent de sa commercialisation. Enjeux politiques ensuite : l'électricité est, comme nous le verrons, considérée comme un service public. Enjeux environnementaux enfin : comme de nombreux produits, sa production et sa consommation ont un impact direct sur l'environnement, bien qu'elle soit aujourd'hui ancrée par l'imaginaire collectif dans l'univers des énergies « propres ». Ces composantes sont intrinsèquement liées et aboutissent à un système complexe impliquant à la fois de produire de manière rentable, durable et de commercialiser de manière socialement acceptable. Or, l'électricité est un produit non stockable, et aux contraintes de production fortes, et par conséquent liées à la demande en temps réel. Nous allons voir que cette demande électrique est, elle aussi, régie par des facteurs parfois peu prévisibles et maîtrisables. On voit alors poindre les avantages que présenteraient le fait de parvenir à maîtriser cette demande, au-delà d'une simple prévision ou anticipation de cette dernière. Nous allons en explorer les enjeux dans ce chapitre, et dépeindre les solutions possibles et actuelles pour gérer la demande électrique, et particulièrement la demande électrique résidentielle, qui fait l'objet de cette thèse.

1.1 Les pointes de consommation électrique, contexte de la problématique : pourquoi et comment cherche-t-on à réduire la consommation d'électricité résidentielle, en particulier pendant les périodes de forte demande ?

Il peut apparaître paradoxal, au premier abord, pour une compagnie commercialisant de l'électricité tant pour les professionnels que pour les particuliers, de chercher à réduire la consommation d'électricité, c'est-à-dire la demande, à un moment donné. En effet, dans l'imaginaire collectif, plus une compagnie vend de produits, plus elle gagne d'argent, et elle n'a aucun intérêt à souhaiter réduire la demande de ses clients. Afin de comprendre pourquoi et avant de voir comment on souhaite maîtriser, c'est-à-dire limiter, voire réduire la quantité d'électricité consommée, nous allons effectuer un rapide tour d'horizon des particularités de la demande électrique, en nous intéressant plus particulièrement à la demande électrique résidentielle (française), c'est-à-dire la portion de la demande électrique réalisée par les foyers résidentiels et non par les commerces et industries, ou les transports. Puis nous verrons quels sont les enjeux qui incitent les compagnies

électriques de par le monde, et plus particulièrement en France, à tenter de réduire la demande en électricité, et quels sont les moments cruciaux où cette problématique devient fondamentale.

1.1.1 Le contexte de la demande électrique et les moyens de production mis en œuvre pour la production électrique : un duo difficile à accorder.

Avant de songer à réduire la consommation électrique résidentielle et d'imaginer les méthodes afin d'y parvenir, nous allons nous intéresser à ce qui constitue la base du marché de l'électricité, en nous basant sur le cas français : les moyens de production de l'électricité, ou dans un sens plus large, l'origine de l'électricité commercialisée en France. On pourrait rétorquer que dans bien des cas, et à fortiori dans celui de l'électricité où la problématique de la gestion de la demande vient renverser la logique chronologique de la chaîne de commercialisation, l'unité de production n'est pas forcément la base, le socle du système. Mais, dans notre cas, il est important de comprendre d'où découlent les enjeux de la maîtrise de la demande, en commençant par donner les grandes lignes et caractéristiques de la production du produit électricité, de nos jours.

1.1.1.1 *Les différents moyens de production électrique et leurs spécificités.*

Il existe plusieurs typologies possibles des moyens de productions d'électricité. L'une des possibilités consiste à s'intéresser à quelle énergie primaire est à l'origine du processus de fabrication. On définit ainsi quatre grands groupes dont nous détaillerons les particularités par la suite mais pour lesquels nous pouvons d'ores et déjà évoquer les caractéristiques majeures. (NB : il s'agit d'un descriptif succinct visant à présenter les principales caractéristiques des moyens de production les plus courants dans le monde et particulièrement en France. Les points de détails n'y sont pas abordés).

- **La production thermique.**

Ce terme regroupe tous les moyens de production thermique par combustion d'un composé fossile (pétrole, charbon, gaz). C'est, à travers le monde, la première source d'électricité produite dans le monde (voir graphique ci-dessous). L'avantage majeur de ces moyens de production est leur flexibilité : ils peuvent être mobilisés ou stoppés en quelques minutes à quelques heures. En revanche, ils sont, d'une part, polluants (rejets massifs de CO₂, oxydes de soufre, d'azote et de suies), et d'autre part, issus de ressources dont l'épuisement est inexorable si leur utilisation se poursuit.

- **La production nucléaire.**

La production nucléaire est la troisième source de production électrique au monde. A proprement parler, il s'agit d'électricité d'origine thermique, la chaleur étant cette fois-ci produite par l'énergie libérée lors d'une réaction de fission des noyaux d'uranium et de plutonium. Tout comme pour les centrales à énergie fossile évoquée ci-dessus, la chaleur permet de vaporiser de l'eau qui, sous forme gazeuse, fait tourner les turbines d'un générateur, qui fournit alors un courant électrique : à partir de là, le principe est le même que celui d'une dynamo de vélo. Le volume des déchets produits par la filière nucléaire est contrôlé et *relativement faible*, mais leur durée de vie est très longue : plusieurs millénaires. Cette source de production nécessite d'énormes investissements initiaux, mais le coût de production du kWh est le plus faible du marché. D'autres questions s'ajoutent cependant à celle du traitement des déchets radioactifs lorsqu'on évoque les avantages et inconvénients du nucléaire : les risques technologiques et environnementaux (accidents dans les centrales nucléaires, fuites, extraction des matières premières...) mais aussi des risques politiques (notamment l'ambiguïté entre le nucléaire civil et le nucléaire militaire). Enfin, il est important de préciser que par sa nature même (réactions de fission nucléaires en chaîne) et les très hautes températures et pressions mises en œuvre dans les centrales, la production nucléaire est très peu flexible : une semaine environ est nécessaire pour réaliser l'arrêt à froid d'une tranche nucléaire⁹. Les arrêts des centrales doivent donc être planifiés et ne peuvent être réalisés pour adapter en temps réel la production à la demande, seules des modulations saisonnières sont réalisées.

- **La production hydraulique.**

La production hydraulique, bien que renouvelable, est la plupart du temps classifiée séparément, car elle est intervenue bien plus tôt que les énergies renouvelables « actuelles » : dès la fin du XIX^{ème} siècle, les turbines, dans les Alpes, utilisaient ce qu'Aristide Bergès a dénommé la « houille blanche » pour produire de l'électricité. C'est aujourd'hui dans le monde la 2^{ème} source de production électrique. Il est à noter que 2 types de production hydroélectrique coexistent :

- Les centrales au fil de l'eau, qui utilisent en général le débit d'un cours d'eau pour faire tourner leurs turbines, et ne réalisent pas ou très peu de retenue d'eau. Ces centrales sont amenées à produire en permanence autant d'électricité que le courant le leur permet, sans quoi l'énergie est « perdue » c'est ce que l'on appelle la production « fatale » d'électricité (à l'image de l'électricité photovoltaïque : si on n'utilise pas le rayonnement solaire à l'instant t, il est perdu).
- Les centrales à retenue d'eau (centrales éclusées et centrales à lac), qui permettent de stocker l'électricité... sous forme d'un certain volume d'eau dont l'énergie potentielle est contenue dans une retenue avant d'être lâchée au moment voulu. Ces barrages permettent une flexibilité saisonnière, ou même journalière, et donc des adaptations rapides aux pointes de demande. Ces centrales sont donc extrêmement intéressantes sur le plan de la production, de l'ajustement, et ne produisent pas (ou très peu¹⁰) d'émissions de composés

⁹ Source : interview du journaliste scientifique Michel Chevalet, pour EDF (edf.fr)

¹⁰ Il est possible que la stagnation des eaux dans les barrages hydroélectriques favorise la prolifération de bactéries émettant du méthane, dans les régions les plus chaudes.

polluants... mais, comme les centrales au fil de l'eau, leur nombre sur un même territoire est limité, du fait de l'impact environnemental des ouvrages alors réalisés. Les lacs de retenue englobent parfois des villages et des terres agricoles dont la destinée aurait pu être autre que celle d'une Atlantide fantôme. Ce sont des écosystèmes entiers qui peuvent alors s'en trouver perturbés. Nombreux sont les cas d'abus de par le monde¹¹.

- **Les énergies renouvelables (hors hydraulique).**

Sous le terme d'énergies renouvelables (abrégié EnR), on regroupe tous les moyens de production électrique dont l'utilisation ne diminue pas de manière significative l'étendue des ressources. On retrouve ainsi différentes EnR (hors hydraulique) : production photovoltaïque, éolienne, géothermique, par la biomasse¹²... Hormis dans quelques pays où elles sont majoritaires (comme au Danemark), les EnR sont encore trop souvent anecdotiques, et présentent pour certaines (le solaire et l'éolien par exemple) une intermittence qui rend difficile leur intégration sur le réseau électrique, leur production fluctuante nécessitant des moyens de production de *back-up* pour assurer une offre en réponse à une demande dont la fluctuation n'est, elle, nous le verrons, pas nécessairement liée à l'intensité avec laquelle souffle le vent !

Ces différents moyens de production électrique possèdent donc tous des caractéristiques qui leur sont propres, en termes de coût de mise en œuvre, de réactivité, de volumes produits, d'impacts environnementaux, de ressources nécessaires... Nous les récapitulons dans le tableau ci-dessous.

Principaux critères et spécificités						
Principales filières de production électrique.	Approvisionnement en ressources (pour le cas français)	Coût de production (France) indice base 100 = nucléaire ¹³ .	Impact environnemental	Flexibilité	Intermittence	Autres
Pétrole	100% importé, marché fluctuant et dépendant du	400-1600 Tendance à la	800 à 1kg de CO2 émis par	Forte flexibilité, utilisation en	Non	

¹¹ On peut citer par exemple la destruction de la Cascade des Sept Chutes, à la frontière entre le Brésil et le Paraguay, en 1982. Avant cette date, il s'agissait des chutes d'eau les plus importantes du monde.

¹² D'autres EnR sont constamment à l'étude, ce secteur faisant l'objet, pour des raisons évidentes, de nombreuses recherches de nos jours.

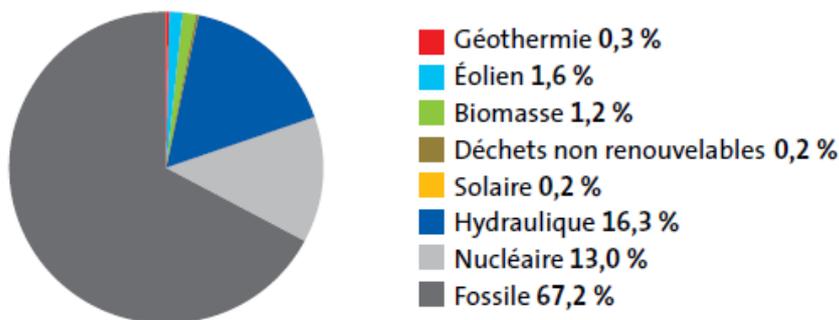
¹³ Les données chiffrées sont données par rapport à l'indice du coût de production d'un kWh par un EPR (réacteur nucléaire) situé en bord de mer. Ces données proviennent du rapport « Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique » du ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'énergie (2011). Les chiffres donnés sont ici à titre indicatif et arrondis pour plus de clarté : ils sont là pour donner un ordre de grandeur. Ils dépendent de l'amortissement choisi et d'une multitude de paramètres qu'il n'est pas idéal de détailler dans cette thèse, leur complexité devant faire l'objet d'une étude approfondie. Ce tableau a également été complété avec des informations issues de « Du gâchis à l'Intelligence. Le bon usage de l'électricité », les Cahiers de Global Chance, n°27, janvier 2010, ISSN 1270-377X.

	contexte géopolitique.	hausse, très variable.	kWh produit.	pointe.		
Charbon	Réserves mondiales hors Europe.	110 Prix stables dans la durée mais volatilité.	800 à 1kg de CO2 émis par kWh produit.	Flexibilité correcte, utilisation en semi base.	Non	
Gaz	Gisements de plus en plus lointains, 95% importé	125 Forte volatilité potentielle.	400g de CO2 émis par kWh produit.	Flexibilité correcte, bonne adaptabilité.	Non	Rendement excellent (électricité/ énergie primaire)
Nucléaire	Production en pays stables	100 Le combustible représente seulement 5% du coût de production. L'investissement initial est énorme.	Production de déchets nucléaires à la durée de vie millénaire et fortement contaminants. 4g de CO2 émis par kWh produit.	Pas ou très peu de flexibilité.	Non	Fort impact des accidents dans l'acceptabilité générale.
Hydraulique	Potentiel saturé	30-100 Le coût est extrêmement dépendant de la taille et de la situation des ouvrages, mais en France, les ouvrages sont considérés comme amortis.	Pas d'émission mais impact visuel, et sur les écosystèmes.	Centrales au fil de l'eau : pas de flexibilité. Centrales à retenue : forte flexibilité, utilisation en pointe.	Au fil de l'eau : non. Retenus : oui.	Très bonne image auprès du grand public : l'énergie propre par excellence.
EnR	Potentiel important, exploitation illimitée	Eolien : 70-120 Photovoltaïque : 220 – 670 Les EnR sont actuellement subventionnés et les couts sont	Impact visuel et/ou sonore, dégradation des écosystèmes possible. Manque d'informations sur l'impact	Pas de flexibilité mais moyens de production décentralisés : le problème est ailleurs.	Oui (subie et non choisie)	Paramètres en constante évolution grâce à la recherche.

		amenés à décroître (notamment le solaire) en raison des progrès de la recherche et de l'industrie dans ce domaine.	environnemental des filières de production des matériaux de construction des unités de production.			
--	--	--	--	--	--	--

Actuellement dans le monde, les proportions des différents moyens de productions d'électricité utilisés sont les suivantes :

Structure de la production d'électricité – 2010



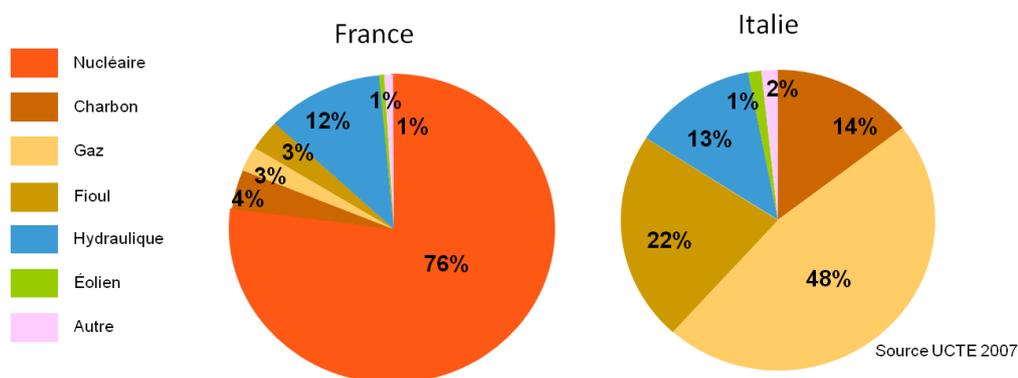
(Source : *La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde*, collection Chiffres et Statistiques, Observ'ER et EDF).

Ces moyens de production présentent des avantages et des inconvénients qui peuvent être complémentaires. C'est pourquoi, dans la majorité des pays, on utilise ce que l'on appelle un mix énergétique : différents moyens de production dont l'utilisation est permanente, ou déclenchée lorsqu'elle semble opportune.

1.1.1.2 La notion de mix énergétique.

L'utilisation combinée de différents moyens de production, à tout moment, est omniprésente dans une très grande majorité de pays. La composition par filière de production de l'électricité consommée à l'instant t dans un pays (ou sur une moyenne annuelle par exemple) est appelée le mix énergétique. Ce mix énergétique est différent pour chaque pays, et varie en fonction des ressources naturelles, de l'avancement technologique, ou encore des politiques énergétiques (autorisation ou non du nucléaire, par exemple ; de nombreux pays ayant révisé leurs politiques énergétiques au sortir de la catastrophe nucléaire de Fukushima). Ainsi on peut comparer les mix énergétiques moyens de la France, pays abondamment nucléaire, et de l'Italie, où toute production

nucléaire a été stoppée suite à différents incidents nucléaires¹⁴ (Tchernobyl, 1986, et Fukushima, 2011).



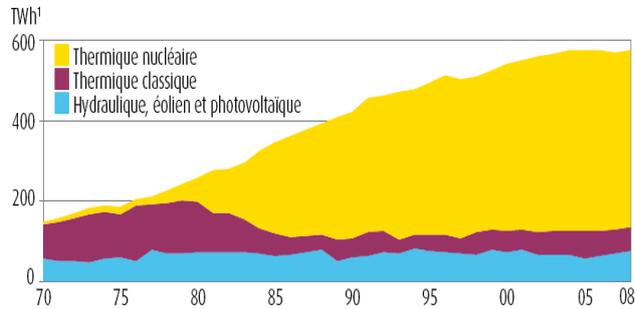
Comparaison des mix énergétiques (2007) de la France et de l'Italie.

On constate qu'en l'absence de production nucléaire, qui assure en France toute la production dite de base, l'Italie produit majoritairement son électricité à l'aide de centrales à énergie fossiles. Son indépendance électrique n'est pas totale. L'Italie importe ainsi jusqu'à 13% de l'électricité qu'elle consomme, achetant de l'électricité en France, en Suisse, en Autriche et en Slovénie. Cette dépendance, via des lignes appelées interconnexions, a déjà été à l'origine de blackouts de grande échelle (par exemple le 28 septembre 2003) ; à chaque mix énergétique correspond un ensemble d'avantages et d'inconvénients précis.

En réalité, le mix énergétique d'un pays n'est pas constant : il varie en permanence, tout au long des années, au fil de l'évolution des installations du pays.

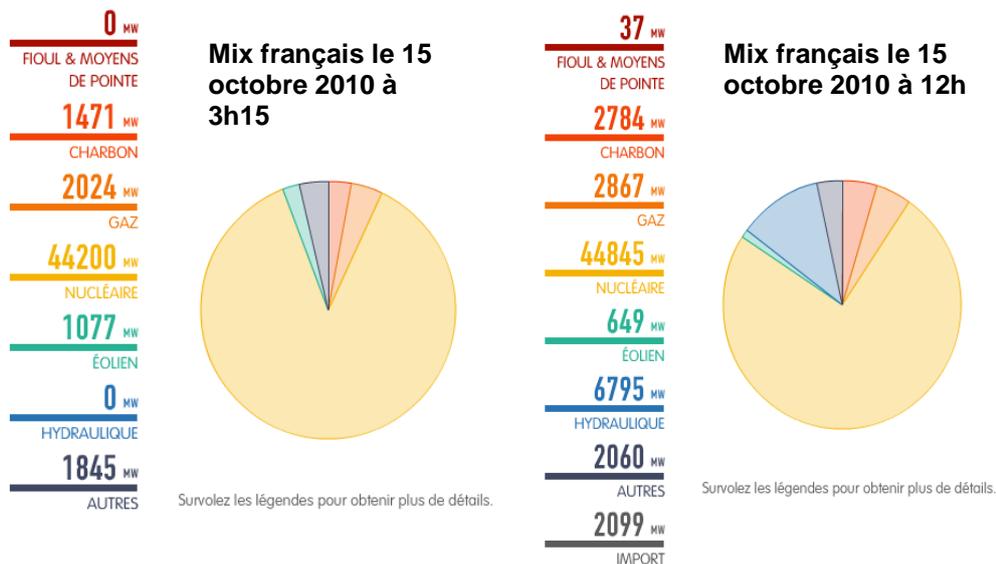
¹⁴ Cette décision a récemment été confortée par référendum : le peuple a rejeté à plus de 95% le projet de réintroduction nucléaire en juin 2011, à la base destiné à renforcer l'indépendance électrique du pays.

Production brute d'électricité



La production brute d'électricité en France en TWh par type de centrale de 1970 à 2009 (Source : Commissariat général au développement durable; Chiffres clés octobre 2010). On constate la stabilité du parc hydraulique, et la part prépondérante que prend le nucléaire dans le mix énergétique, au détriment du thermique « classique » à énergie fossile, ce qui traduit bien l'évolution du parc des centrales française au fil des ans.

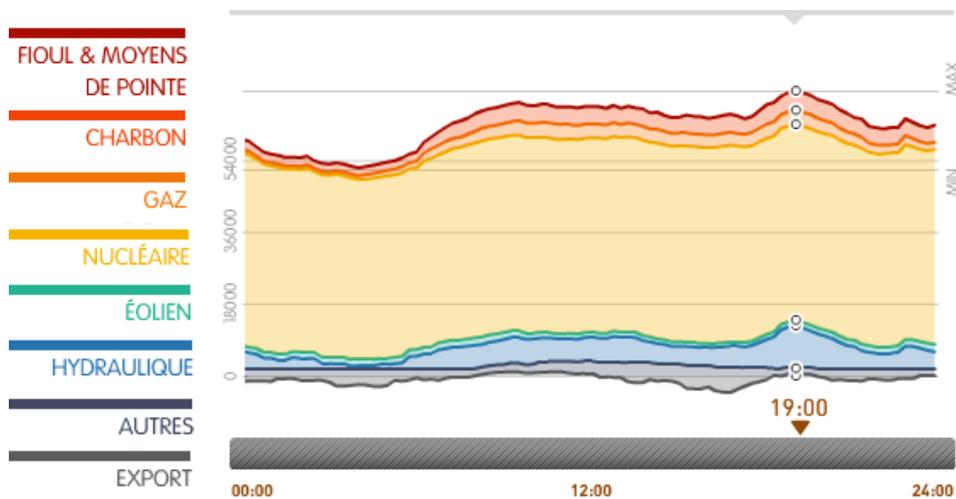
Mais, beaucoup plus intéressant, le mix varie aussi et surtout en fonction des conditions météorologiques, des saisons, des jours, et même des heures. Les différents moyens de production sont mis en route selon ce que l'on appelle le *merit order*, c'est-à-dire par coûts de production croissants. Ainsi, à tout moment, on fait appel (de manière simplifiée et sous réserve des contraintes liées à la rapidité de mise en route et d'extinction des unités de production) à l'unité dont le coût de production sera le moins cher parmi celles disponibles ; en intégrant le coût de l'électricité sur les marchés voisins (pays en interconnexion) et donc une possibilité d'importation dans le *merit order*. En France, lorsque la demande est faible, ce sont donc les moyens de production peu coûteux (Hydraulique, nucléaire...) qui sont utilisés. En revanche, lors des pointes de consommation électrique, les moyens dits « de pointe » potentiellement très coûteux (comme les centrales à pétrole) peuvent être mises en route rapidement pour subvenir aux besoins de la population. Voici un exemple illustré des mix énergétiques à deux instants d'une même journée :



Mix énergétique français relevés le 15 octobre 2010 à 3h15 et 12h00 par RTE¹⁵. Source : outil ECO2Mix, <http://www.rte-france.com>.

On constate qu'en heure creuse (la nuit), les moyens de production dits de base (Nucléaire principalement, et production fatale comme l'éolien) sont utilisés. En heures méridiennes (considérées comme des heures de «semi-pointe», les moyens de production de pointe (fioul), l'hydraulique à retenue, sont mobilisés, alors que la production nucléaire est quasi-constante pour les raisons évoquées précédemment. On remarque également qu'en heures de pointe, la France importe de l'électricité : bien que cela ne soit pas considéré comme un moyen de production, cet apport contribue lui aussi au mix énergétique, et permet d'équilibrer l'offre et la demande. De même, lors des heures creuses, la France revend une partie de l'électricité qu'elle produit à bas coût grâce à ses centrales nucléaires aux pays voisins, comme à l'Italie, qui elle ne possède pas les moyens de production de base que sont les centrales nucléaires. On peut alors observer les proportions du mix énergétiques représentées sur une journée complète :

¹⁵ RTE est la compagnie de transport d'électricité en France (Réseau de Transport d'Electricité), responsable des lignes HT (Haute Tension) et THT (Très Haute Tension) sur le territoire. C'est une filiale d'EDF, qui est responsable de l'équilibre offre-demande à tout moment en France.



Détail par filière de la production française pour la journée du lundi 29 octobre 2012, en MW au fil des heures. (Source : ECO2Mix, RTE).

Ce graphique confirme ceux présentés plus haut : lors des heures de pointe (comme au moment mis en évidence par le curseur, 19h), les moyens de production de pointe (ici hydraulique de pointe majoritairement) sont mis en œuvre, et laissés au repos lors des heures creuses (entre 2 et 6h environ). On constate que le 29 octobre, la France n'a pas seulement importé, mais exporté de l'électricité (c'est le solde import/export qui apparaît alors sur ce graphique en gris foncé). Lors des heures de pointe ou de « semi-pointe », en fin de matinée et en début de soirée, le solde est devenu négatif et de l'électricité a été achetée aux pays voisins, car il était plus intéressant, selon le merit order ou pour des raisons techniques, de le faire à ce moment là.

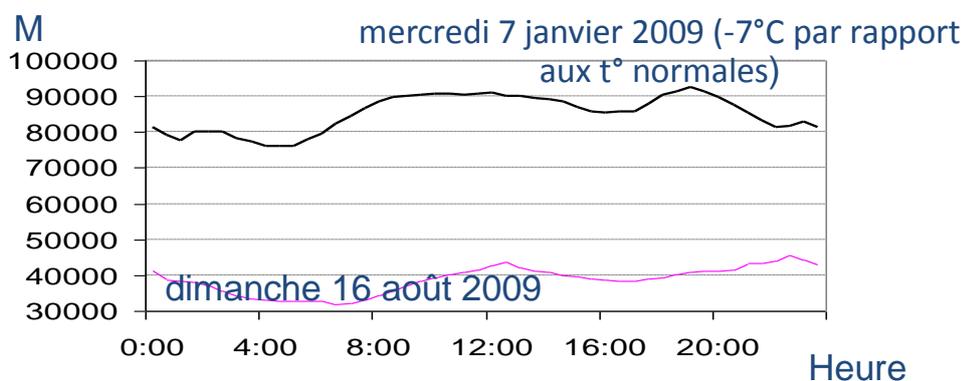
Si le mix énergétique varie, ce n'est donc pas seulement au gré du vent, du soleil et du débit des fleuves, mais surtout parce que la demande varie. Sans dresser un portrait exhaustif de la demande électrique française, il est indispensable d'en connaître les particularités et les facteurs principaux, ainsi que les particularités de sa composante résidentielle, qui est celle qui nous intéresse dans cette thèse.

1.1.1.3 La demande électrique en France : caractéristiques et facteurs clés.

Afin de tenter d'agir sur la demande, il est indispensable de connaître ses caractéristiques et variations. Nous allons, comme dans la suite de cette thèse, principalement nous intéresser au cas français, tout en évoquant les possibilités de différences avec l'international. La demande électrique française varie selon différentes échelles temporelles, montrant une périodicité liée soit aux

conditions climatiques, soit, plus important encore, au cumul de comportements individuels synchronisés, dont les effets agrégés sont déterminants dans les phénomènes de pointe.

Elle varie tout d'abord tout au long d'une même année. En France, du fait de l'utilisation massive du chauffage électrique, la demande électrique enregistre des niveaux beaucoup plus élevés l'hiver que l'été, durant lequel, de plus, on utilise les éclairages (publics ou privés) sur de moins longues plages horaires. Ainsi, les jours les plus froids de l'hiver sont ceux qui montrent de plus hautes courbes de charges globales (c'est-à-dire le graphique temporel de la puissance électrique appelée par l'ensemble des consommateurs). Lorsqu'on les compare avec les courbes de charge des jours chauds, la différence est sans appel.



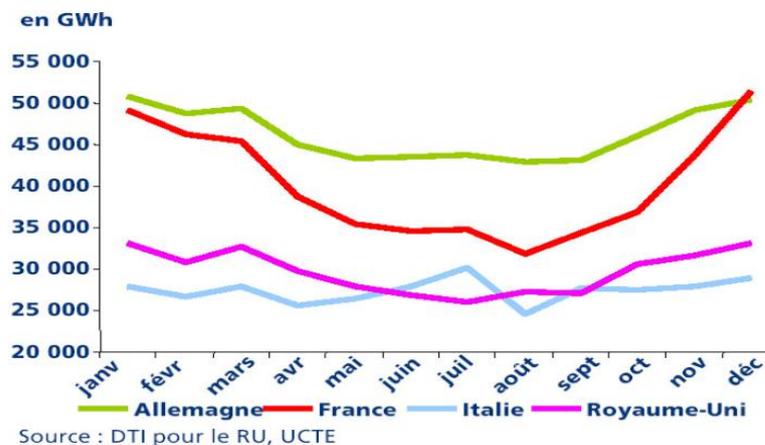
Courbe de charge minimale et maximale en France sur l'année 2009. Source : RTE.

Ce graphique met en évidence la différence entre les deux courbes de charge les plus extrêmes de l'année 2009 : la puissance, appelée, à tout moment, lors du 7 janvier 2009, était plus du double de la puissance appelée le dimanche 16 août 2009. On constate également que les courbes ne présentent pas le même profil absolu : alors que le dimanche 16 août, les pointes de consommation ont eu lieu autour de 13h (heure du repas dominical probablement) et de 22h (heure où les français allument les lumières et télévisions), le 7 janvier, la consommation a montré une pointe majeure entre 18 et 20h, heure de retour au domicile, ainsi que durant les heures ouvrables de la journée (entre 8h et 16h), où les bureaux sont chauffés et éclairés, et les industries en route.

On voit poindre alors quelques facteurs majeurs influençant la consommation électrique française :

- La saison (et donc les conditions météorologiques et la luminosité)
- Le jour de la semaine (weekend ou semaine, voire jours fériés)
- L'heure de la journée

La saisonnalité de la consommation électrique française n'est pas générale : la preuve en est offerte par la comparaison des courbes de charge annuelle de différents pays.

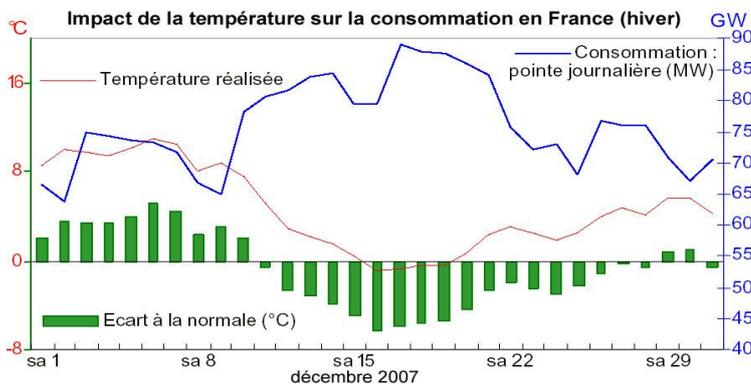


Consommation électrique de l'année 2005 pour différents pays Européens.

Nous constatons que la France est le pays affichant une plus forte saisonnalité des comportements de consommation électrique, avec un hiver particulièrement énergivore. Cette particularité est due au taux de pénétration des chauffages électriques, particulièrement élevé en France¹⁶. Au Royaume-Uni, la consommation électrique relativement faible et peu sensible aux saisons, traduit un mode de chauffage principalement au gaz. Leur courbe de charge est réduite en été également du fait d'une baisse de l'activité économique. En Italie, en revanche, non seulement les hivers n'affichent pas une demande électrique vraiment plus élevée, mais une pointe de consommation apparaît en été : ce n'est pas le chauffage, mais l'usage de la climatisation, qui régit la saisonnalité de la consommation électrique italienne. La Grèce et l'Italie font figure d'exception parmi les pays d'Europe où la pointe est hivernale (Spark Consulting (2011)). La saisonnalité de la demande électrique est donc bien propre à chaque pays, voire même à chaque région d'un même pays lorsque celui-ci présente une diversité climatique marquée.

En France, la consommation électrique est donc essentiellement thermosensible : une mise en regard de la demande en fonction des températures sur un mois froid nous permet de le confirmer.

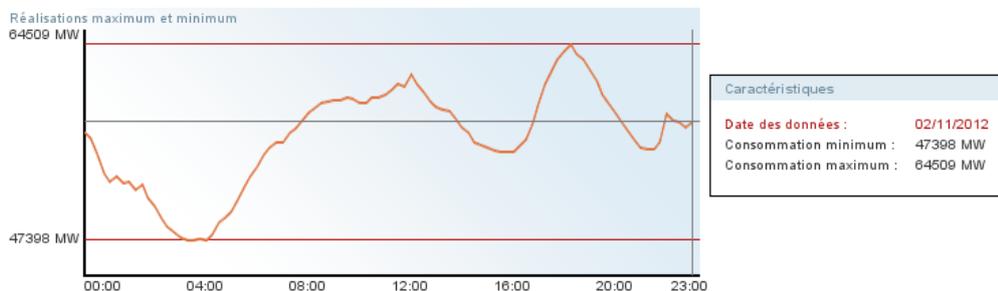
¹⁶ Où l'électricité est encore à un prix peu élevé par rapport à ses voisins européens. Aujourd'hui, le chauffage électrique équipe 31% des foyers français, et 80% des nouveaux logements construits (Source : ADEME.)



Courbe de charge du mois de décembre 2007 en lien avec la température réalisée Source : RTE.

On constate que la pointe de consommation électrique est inversement liée à l'écart de température par rapport aux normales saisonnières. On parle d'ailleurs de sensibilité de la consommation à la température ; du fait du développement du chauffage électrique, cette sensibilité a doublé en 15 ans¹⁷, pour atteindre un gradient de 1800 à 2100 MW/C° selon les études.

Enfin les variations de la demande suivent un pattern journalier caractéristique, qui dépend bien entendu de la saison mais qui admet des profils-types, comme celui observé en France lors des jours froids :



Courbe de charge nationale lors de la journée du vendredi 2 novembre 2012. Source : Outil en ligne RTE.

Cet exemple extrait de la multitude de jours présentant le même type de profil illustre parfaitement les spécificités de la courbe de charge française lors d'un jour de la période hivernale. On retrouve, chronologiquement :

- Une consommation nocturne en baisse, minimum de la journée (entre 1h et 5h du matin)
- Une consommation en hausse rapide jusqu'au début de la matinée, heure d'ouverture des bureaux et début de la journée de travail (autour de 8h30)
- Une première pointe de consommation à midi, heure de la pause du déjeuner
- Une consommation en creux l'après-midi, où la luminosité est maximum, jusqu'à 16h

¹⁷ Source : Association NégaWatt, 2009.

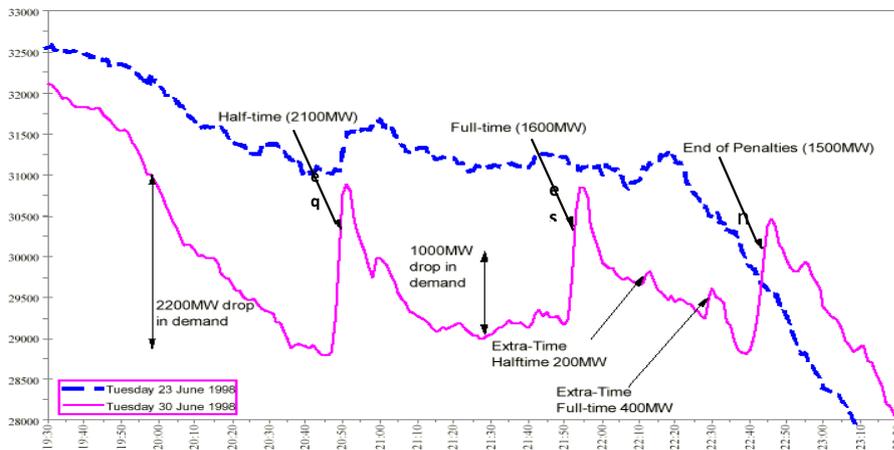
- Une consommation en hausse très rapide en fin d'après-midi (entre 16 et 18h)
- Une pointe maximale de consommation entre 18 et 20h, heure des retours à la maison, les appareils électriques et l'éclairage, ainsi que le chauffage, sont mis en marche massivement dans les foyers.
- Une baisse lente et non homogène des consommations jusqu'à retrouver un niveau « creux » de nuit.

La périodicité des variations de la demande (en France) est donc multiple (tableau Spark Consulting (2011) retravaillé) :

Périodicité	Description	Facteurs
<u>Annuelle</u>	La saison froide (octobre à mars enregistre les plus fortes consommations) L'été enregistre une courbe de charge plus faible.	La température joue un rôle fondamental : le froid a une incidence directe sur les consommations. Les jours de grand froid sont propices aux consommations record. La baisse de la luminosité contribue aussi aux fortes consommations, alors que l'humidité peut renforcer l'effet des basses températures. L'été, l'activité économique en baisse, la plus forte luminosité et la douceur des températures impliquent des consommations plus faibles.
<u>Hebdomadaire</u>	Les week-ends, la consommation est plus faible.	L'activité économique faible réduit la consommation globale et la présence des particuliers chez eux modifie la courbe de charge. Le gradient de sensibilité aux températures est en revanche plus élevé.
<u>Quotidienne</u>	La nuit est une période creuse, des pointes de consommations ont lieu entre 12 et 13h, et autour de la période 18-20h.	Lors de la période hivernale, la pointe 18-20h est accentuée.

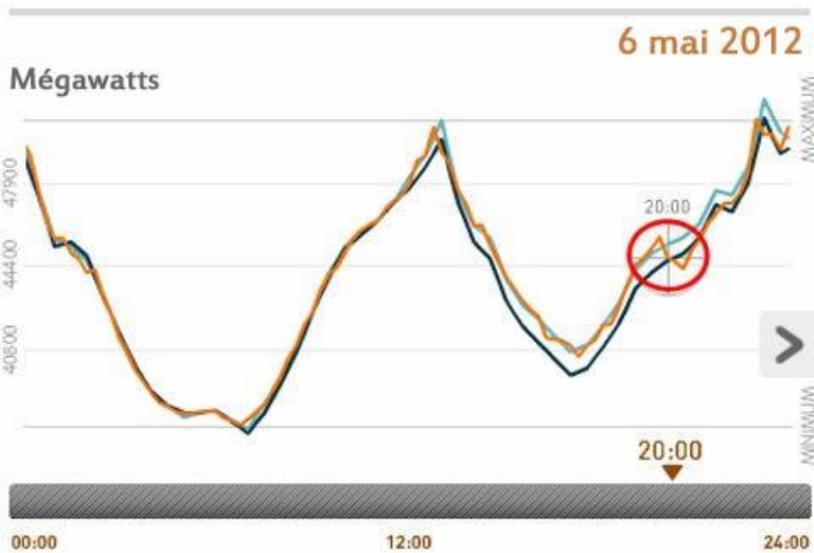
C'est le caractère coordonné, de milliers, de millions de comportements de consommation individuels qui est à l'origine de la formation de ces profils de charge caractéristiques.

Il arrive que des évènements viennent perturber la régularité relative de ces profils de charge, et dévient la réalité des prévisions (réalisées en France par RTE principalement, destinées à favoriser l'équilibrage offre/demande à tout moment). C'est le cas par exemple d'un match de foot de coupe du monde :



Consommation électrique au Royaume-Uni durant le match de coupe du monde Angleterre-Argentine, 30 juin 2010. Source : Department of Energy & Climate Change.

On constate qu'à chaque fin de période de jeu, la consommation augmente brusquement : encore une fois le cumul de millions de comportements individuels des téléspectateurs profitant des pages de publicités pour vaquer à leurs occupations est visible « à l'œil nu » sur la courbe de charge, ici présentée en comparaison de celle de la veille. On comprend dès lors que **pour modifier la courbe de charge et tenter d'éviter les trop fortes pointes de consommation, il est indispensable d'agir sur les comportements individuels**, de les modifier. L'agrégation d'une multitude d'actions individuelles est, ici aussi, loin d'être anodine. Un dernier exemple tiré de l'actualité française confirme ce constat :



Consommation française le 6 mai 2012, date des dernières élections présidentielles. Source : données RTE, mise en forme Au-delà Des Lignes, blog RTE.

Cette courbe de charge montre en orange la consommation électrique réalisée le jour du second tour des élections présidentielles de 2012, la consommation prévue par RTE étant donnée en bleu. On constate un décrochement remarquable de la consommation enregistrée entre 19h et 21h. RTE explique : « *La consommation d'électricité marque [...], une baisse d'environ 1 000 à 1 500 MégaWatts par rapport à une soirée habituelle ! Ce qui représente à peu près l'équivalent de la consommation d'électricité d'une ville comme Marseille et son agglomération.* ». Il semblerait que la population française se soit en partie devant les petits écrans plutôt que de vaquer aux occupations potentielles d'un dimanche soir (lessives, cuisine...). La synchronisation des comportements, principalement résidentiels, est donc à l'origine de ces fameuses pointes de consommation contre lesquelles nous luttons.

1.1.1.1 Les pointes de la demande électrique.

Nous en savons à présent assez pour aborder la question précise de la caractérisation des pointes de la demande en électricité, ces phénomènes contre lesquels œuvrent les mécanismes de la *demand response*, en reprenant les éléments que nous avons commencé à entrevoir ci-dessus.

Les pointes de consommation électrique sont simplement les consommations électriques agrégées les plus élevées. Elles sont de plusieurs types selon la période ou la zone observée.

- La pointe journalière : il s'agit de la pointe synchrone nationale. Elle porte le nom de synchrone car elle résulte de la synchronisation des comportements des consommateurs, principalement résidentiels. En été, elle a lieu vers 13h, et en hiver, elle a lieu deux fois : à 12h (faible) et autour de 19h (forte). Ces pointes journalières nécessitent la sollicitation des moyens de production de pointe (que nous avons vus dans les sections précédentes de ce chapitre), et ce, même lorsque la moyenne de consommation de la journée est basse, de par leur brièveté.
- La pointe saisonnière : c'est un cas spécifique à chaque pays, à son équipement thermique et à son climat. Cette pointe est sensible à la température extérieure ; en France, elle est due, comme nous l'avons vu, au fort taux d'équipement électrique. Elle s'étend de plusieurs semaines à plusieurs mois, et est très intense lors des périodes de grand froid. On constate même un effet d'inertie après une vague de froid particulièrement importante : la pointe se poursuit après la fin de la vague de froid.
- Les pointes locales : elles sont observées, elles, à l'échelle des réseaux de distribution, mais nous verrons qu'elles peuvent s'avérer, elles aussi, problématiques. Elles correspondent à des modes de vie régionaux, et sont dues à un problème de dimensionnement du réseau à un point stratégique. C'est le cas en France de la Bretagne et de la région PACA, qui sont surnommées « péninsules électriques ».

Les pointes dites « records » interviennent lorsque les pointes (1) et (2) coïncident, plusieurs jours par an. Les extrêmes pointes sont les pointes exceptionnellement importantes, qui repoussent les records de puissance appelée. Ainsi, le 8 février 2012, lors d'une vague de froid d'une intensité

rare, le niveau de puissance appelée record de 102100MW a été enregistré à 19h. De nouveaux records sont régulièrement battus, d'année en année : en effet, la consommation électrique globale française augmente (+19% depuis 1996, source RTE), mais de plus, la demande électrique en pointe augmente encore plus rapidement (+40% depuis 1996), ce qui est parfaitement illustré par ce graphique :

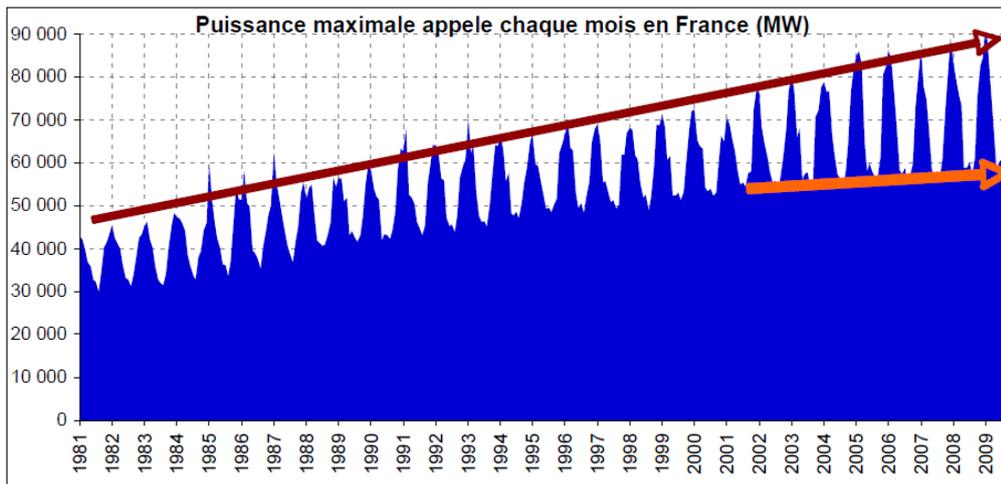


Figure 2 : Evolution de la puissance appelée (maximum mensuel)
Source : MEEDDM SOeS

L'évolution linéaire de des puissances appelées lors des hivers, en pointe, est plus forte que celle observée lors des étés (consommation dite de base dans le rapport de Négawatt présentant ces résultats) : les pointes de demande deviennent de plus en plus importantes relativement à la demande de base. Or, nous avons vu que les moyens de production d'électricité en base et en pointe n'étaient pas les mêmes : on voit poindre l'une des premières problématiques liées aux pointes, que nous développerons dans une section ultérieure de ce chapitre.

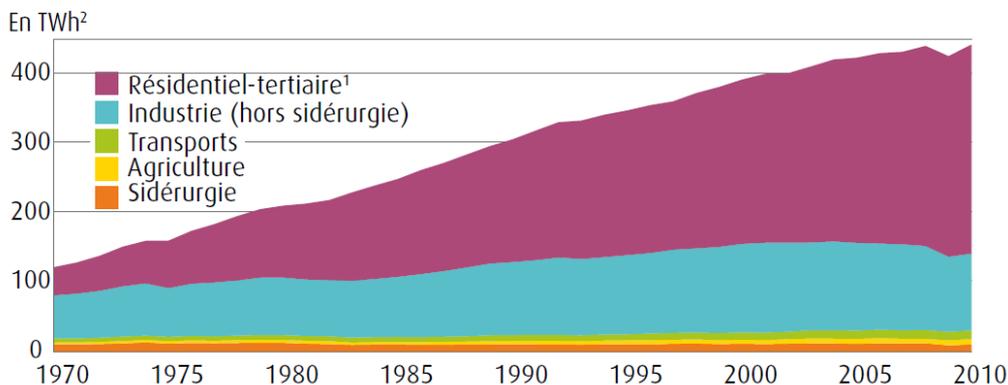
Les facteurs majeurs influençant la pointe sont, nous l'avons vu, la température, la nébulosité, l'activité économique et l'activité des particuliers du pays. De ces facteurs, seulement deux sont potentiellement des leviers pour tenter d'éviter des phénomènes de consommation de pointe : l'activité économique et l'activité des particuliers. L'industrie est déjà, de nos jours, intégrée au mécanisme d'équilibre offre-demande régi par RTE, au titre parfois de Responsable d'Equilibre. D'autres mécanismes, notamment de délestage, sont en place. Des tarifications spéciales existent depuis longtemps et remplissent depuis des années leur rôle efficacement. Il nous paraît donc indispensable de nous intéresser au secteur résidentiel : quel rôle joue-t-il exactement dans la courbe de charge agrégée de la France ?

1.1.1.2 Le secteur résidentiel comme préoccupation majeure.

Si nous nous intéressons au secteur résidentiel, ce n'est pas seulement parce qu'il s'agit de la dernière portion de la demande qui n'ait pas encore été maîtrisée réellement, mais aussi et surtout

parce qu'elle représente la plus grosse portion de la consommation électrique française. De plus, cette proportion est en constante augmentation depuis les années 1970 :

Consommation finale d'électricité par secteur (corrigée du climat)

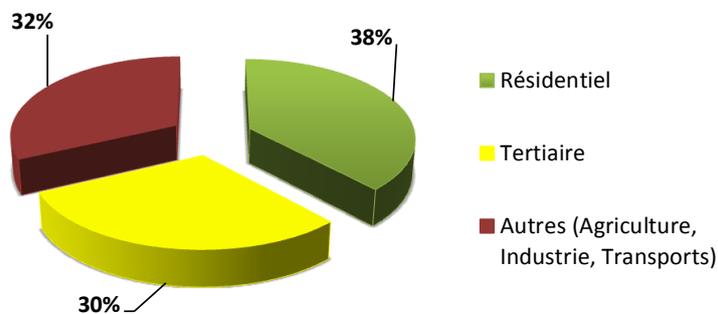


Source : Chiffres Clés de l'Energie 2011, Commissariat Général au Développement Durable (Décembre 2011).

Sur ce graphique, et comme très souvent, les données de consommation du tertiaire et celle du résidentiel sont agrégées : elles sont liées aux mêmes pratiques et souvent aux mêmes appareils électriques, et ces deux secteurs sont, contrairement aux autres, reliés au réseau basse tension. Il est certain que la croissance du secteur tertiaire par rapport à l'industrie ou à l'agriculture contribue également à cette part, mais il est possible de trouver des données séparant clairement tertiaire et résidentiel. Il nous paraît indispensable d'établir cette distinction, la consommation réalisée par le secteur tertiaire étant beaucoup plus fortement due au chauffage électrique que ce n'est le cas pour le résidentiel. De plus les modes de comportement y sont très différents, de même que les rôles des différents décideurs : il ne s'agit clairement pas de la même problématique.

Les chiffres varient de quelques points selon différentes sources pourtant supposées fiables (ADEME, EDF, Negawatt...), mais on peut retenir la répartition suivante pour l'année 2010 :

Consommation électrique par secteur



Source : EDF 2010

Les facteurs qui influencent la croissance de la part de consommation électrique par le secteur résidentiel sont identifiés. Premièrement, la démultiplication des appareils dit « d'usages spécifiques » (électroménager, multimédia, télécommunications) vient compenser et même surpasser leurs progrès en sobriété énergétique. Ensuite, depuis le début des années 2000, l'essentiel du parc immobilier neuf a été équipé de chauffage électrique (par convecteurs). Cela va être amené à changer : depuis 2012, la loi impose un effort de sobriété énergétique aux nouveaux constructeurs immobiliers¹⁸. Enfin, la population française continue de croître, et le nombre d'habitants par foyer, lui, diminue¹⁹. Inexorablement, il y a davantage de foyers, et donc, suivant une logique implacable, davantage de consommation électrique.

La consommation électrique des foyers dépend de plusieurs facteurs :

- Des facteurs sociodémographiques
 - o Nombre de personnes vivant dans le foyer.
 - o Localisation géographique du foyer.
 - o Taille et type de logement.
- Des facteurs technologiques
 - o Niveau d'équipement en appareils électriques
 - o Durée d'utilisation et comportements routiniers
 - o Puissance des appareils électriques du foyer.
- Des facteurs techniques et thermiques :
 - o Mode de chauffage du foyer et dans le cas où il s'agit de chauffage électrique : qualité de l'isolation thermique du foyer
 - o Mode de cuisson du foyer

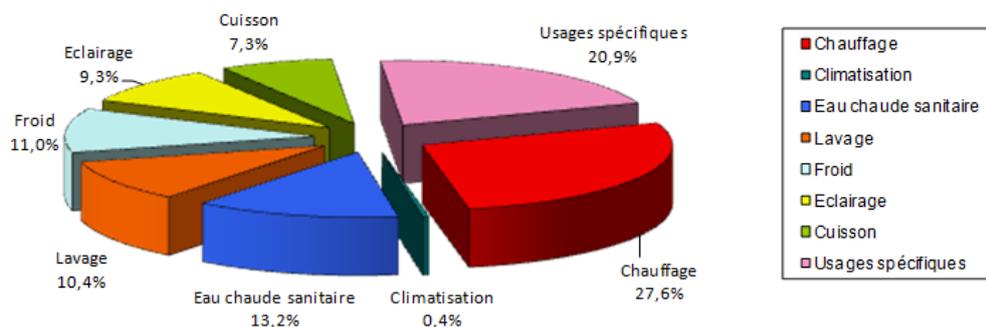
¹⁸ La Réglementation Thermique 2012 (RT 2012) « limite les consommations du chauffage, de la production d'eau chaude sanitaire, de l'éclairage, de la climatisation et de la ventilation à 50 kWh d'énergie primaire par m² et par an en moyenne (selon les logements). Le facteur de conversion d'un kWh électrique en kWh primaire étant de 2,58, ce seuil de consommation équivaut à 19,3 kWh/m²/an d'énergie finale pour l'électricité. Cette réglementation s'applique aux logements résidentiels à partir du 1er janvier 2013 ». Source : blog RTE « Au Delà Des Lignes », article du 22 octobre 2012.

¹⁹ Source : RTE, blog « Au-Delà des Lignes », article du 22 octobre 2012.

- Production d'eau chaude (gaz, solaire, ou électrique principalement).

La consommation électrique moyenne des foyers français se découpe ainsi (Données NegaWatt 2007)²⁰

Répartition de l'électricité consommée par usages dans le secteur résidentiel français en 2007

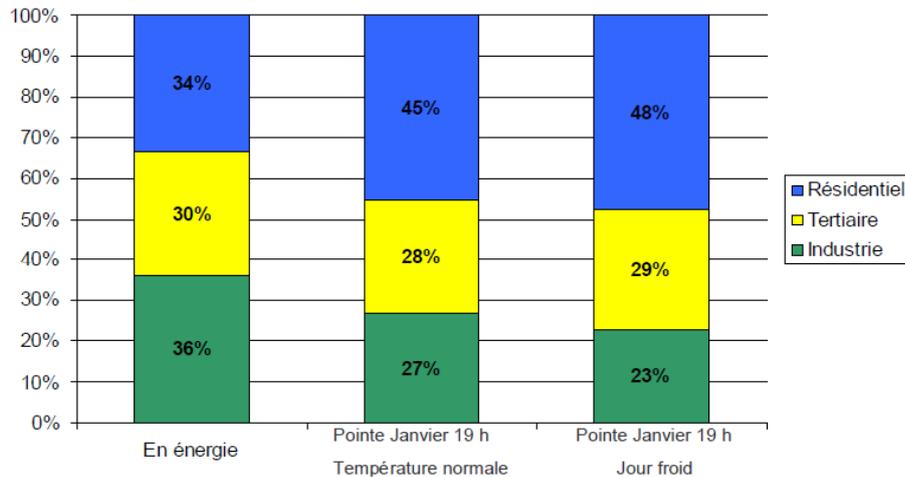


Une partie des usages électriques du foyer sont dits « substituables », c'est le cas du chauffage lorsqu'il est électrique, de l'eau chaude sanitaire et des appareils de cuisson (48,1% de la consommation totale sur notre graphique). Des alternatives existent. Une autre partie est considérée comme « reportable », comme le lavage (appareils « blancs »), et certains usages spécifiques (aspirateur, fer à repasser...) (, ce sont ceux dont l'utilisation peut être décalée de quelques heures à quelques jours sans altérer outre mesure les conditions de vie du foyer. Nous verrons que ces usages revêtiront une importance primordiale lorsqu'il s'agit pour les foyers de réduire leur consommation électrique lors des périodes de pointe.

Nous savons donc que le secteur résidentiel est devenu ces dernières années le secteur consommant le plus d'électricité en France, et nous avons vu que sa part semblait continuer à croître. Il est un dernier point qui justifie notre intérêt pour la *demand response* chez les consommateurs résidentiels : à eux seuls ils sont responsables de plus de 40% des consommations en pointe, et, selon des données RTE, cela peut monter jusqu'à 50% lors des extrêmes pointes.

²⁰ Encore une fois à la recherche de chiffres fiables concernant la répartition de la consommation résidentielle par secteur, nous avons trouvé de nombreuses petites variations. D'autres sources donnent les chiffres concernant uniquement les foyers non chauffés électriquement et chauffés électriquement séparément. Les classifications des usages par types est également variable. Nous avons arrêté notre choix sur ces données de 2007 dont la typologie par usage nous convenait parfaitement.

Répartition des consommations d'électricité



Source : Groupe de Travail sur la Maîtrise de la Pointe Electrique, novembre 2009, contribution RTE.

Les chiffres de bases ne sont pas ceux utilisés (ici la part moyenne du secteur résidentiel dans la consommation électrique française est estimée de 34% avant 2009). D'autres rapports étudient les contributions usage par usage des pointes de consommation électrique chez les consommateurs résidentiels, comme Sidler O. (2009) et (1997), qui nous montrent par ailleurs que les pointes de la demande résidentielle en France n'est pas une problématique émergeant aujourd'hui.

Le secteur résidentiel voit donc son importance dans la responsabilité des pointes croître par rapport aux autres secteurs : une fois de plus, c'est donc les usagers finaux, au sein de leurs foyers, auxquels il convient de s'intéresser dans les années à venir si l'on souhaite parvenir à maîtriser les pointes de la demande électrique.

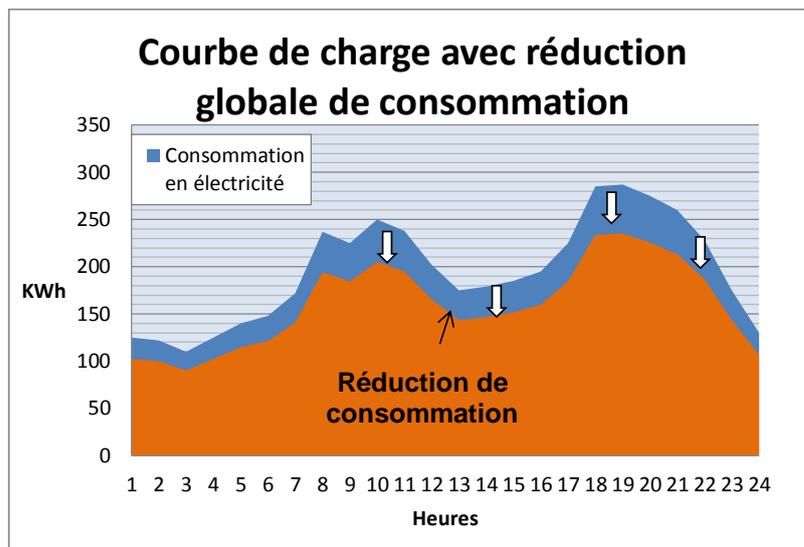
1.1.2 Les enjeux de la maîtrise de la consommation électrique en France et à l'international.

Nous avons abordé dans la section précédente un portrait de l'offre et de la demande électrique française, et plus particulièrement la demande résidentielle, afin de mieux comprendre pourquoi, de nos jours, paradoxalement, les compagnies électriques cherchent à réduire la demande de leurs clients à certains moments (lors des pointes de consommation que nous avons décrites ci-dessus) ou en tendance (réduction globale de la consommation). La maîtrise de la demande, que nous appelons *demand response* en gardant bien à l'esprit que ce terme ne fait pas uniquement référence à la demande en pointe, fait donc face à deux objectifs majeurs de réduction de consommation d'électricité, en pointe et en tendance, soutenus par les enjeux politiques, écologiques, économiques, qu'ils soient généraux ou bien propres à chaque pays. Les avantages

proposés par la *demand response* à l'échelle mondiale et dans le cas particulier de certains pays sont traités de manière complète dans de nombreux documents, rapports et articles parus récemment, comme Chardon A., Almèn O. Lewis P. E., Stromback J. et Château B. (2008) ou Lesgards et Laville (2009). Nous pouvons cependant les rappeler succinctement et les identifier clairement dans le cadre européen, et plus précisément français, afin de terminer le rappel du cadre général de cette thèse.

1.1.2.1 La maîtrise de la consommation tendancielle.

Lorsqu'on parle de maîtrise de la consommation tendancielle, on évoque le fait de tenter de réduire la quantité totale d'électricité, consommée sur une période donnée. Le plus souvent il s'agit d'une moyenne annuelle, ou saisonnière, que l'on cherche à abaisser par rapport à un niveau de référence (souvent un niveau de consommation initial). Pour une illustration plus nette, nous pouvons observer une réduction globale de la demande sur une journée :



C'est bien le volume global d'électricité consommé qui est affecté, et non seulement la puissance appelée à certains moments.

A l'échelle européenne, on assiste cette dernière décennie à une augmentation graduelle de la consommation d'électricité, à la mesure de l'augmentation du PIB moyen des états. Selon les schémas prévisionnels, on s'attend en moyenne à une poursuite de l'augmentation de consommation, de l'ordre de 15% d'ici à 2020 pour l'Union Européenne. En France, selon divers scénarios d'évolution du contexte réglementaire et des politiques de maîtrise de la demande en énergies (MDE), une augmentation globale de 4,1% à 8,4% est attendue²¹. Il est à noter que cette

²¹ Sources : Synthèse « Défis climatiques : Nouveaux enjeux électriques », 2009, Union Française de l'Electricité. Les scénarios sont basés sur les données RTE et prennent en compte divers niveaux de politiques MDE, avec des augmentations de consommations annuelles variant entre +0,4% et +0,8%. Le ministère de

croissance est particulièrement portée par le secteur résidentiel et tertiaire, lequel représente une part grandissante du total de la demande²². Face à cette croissance inexorable, les enjeux principaux poussant à contrôler la demande globale de l'électricité via des leviers de la *demand response* sont au nombre de trois.

1.1.2.2 Enjeux économiques et systémiques.

Tout d'abord, réduire la demande en électricité, ou, à minima, limiter sa croissance, est un enjeu économique et technique pour les compagnies électriques. Une demande globale de plus en plus forte implique soit la construction de nouvelles unités de production d'électricité, soit d'augmenter la quantité d'électricité importée.

La création de nouvelles unités de production n'est pas une tâche aisée. En effet, lorsqu'on parle d'une augmentation globale de la consommation, il est sous-entendu qu'il s'agit de renforcer la production dans son ensemble. Or, en France, les unités de production de base sont essentiellement les centrales nucléaires. Actuellement, 19 centrales nucléaires sont en fonctionnement sur notre territoire. Une 20ème centrale, l'EPR de Flamanville, est actuellement en construction. Initialement prévue pour 2012, sa mise en route a été reportée à 2016. Aucun autre projet de construction n'est actuellement confirmé : le dernier projet en date, l'EPR de Penly, a été annulé en 2012²³. Deux raisons majeures entravent la réalisation de nouvelles centrales. D'une part, leur construction est extrêmement coûteuse. A titre d'exemple, l'EPR de Flamanville, qui devait coûter 3 milliards d'euros, a vu son coût total réévalué à 6 milliards d'euros. D'autre part, l'acceptabilité des nouveaux projets de constructions de centrales est extrêmement limitée. Ce rejet est encore accentué depuis l'incident de la centrale nucléaire de Fukushima en 2011, qui a lourdement ébranlé la confiance en ce mode de production d'électricité. Si les autorités françaises ont confirmé leur intention de poursuivre l'utilisation du nucléaire, de nombreux pays ont alors annoncé l'amorce de leur dénucléarisation (comme nos voisins allemands, suisses et belges).

Les importations, quant à elles, sont coûteuses et risquent, avec la dénucléarisation de nos voisins européens, de devenir aléatoire voire difficile : cette piste, pour la France, n'est pas une solution.

Enfin, la hausse constante de la demande électrique implique de renforcer le réseau de transport d'électricité, car une demande globale en hausse implique une demande en pointe en hausse : il est nécessaire de pouvoir acheminer de plus en plus d'électricité à la fois dans toutes les régions de France, or, les réseaux ont un débit limité : bien que cette problématique soit en lien avec

l'écologie et du développement durable proposent une hausse de 0,7% annuelle : voir « Rapport au Parlement : Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité Période 2009 – 2020 ».

²² Avec plus de 65% du total, le secteur résidentiel + tertiaire est le premier poste de dépenses électriques de la France, et cette consommation a augmenté de 1,8% par exemple entre 2006 et 2007 (Source : ressources enseignement EDF). Cela représente 40% de la demande énergétique totale en France, et une croissance constante depuis de nombreuses années (1,4% an). Source : Les Cahiers de Global Chance, hors-série n°1, janvier 2003, Petit memento énergétique : Éléments pour un débat sur l'énergie en France. Fiche n°11 – La maîtrise de l'énergie dans l'habitat et le tertiaire.

²³ Juillet 2012 : la ministre de l'écologie Delphine Batho confirme l'abandon du projet.

les pointes de consommation que nous abordons dans la section suivante, la hausse globale de la demande la soutient également.

1.1.2.3 *Enjeux environnementaux.*

L'aspect environnemental des enjeux de la réduction de consommation globale d'électricité est simple : alors qu'aujourd'hui, la production hydraulique en France a atteint son maximum, et que les énergies renouvelables sont encore trop anecdotiques et trop intermittentes pour constituer une solution dans les années à venir. Une augmentation de plus en plus rapide des consommations électriques implique donc, pour le moment, un accroissement de la production via les filières « traditionnelles » : principalement le nucléaire, mais également par les centrales à énergie fossile. Cela correspond donc à davantage de rejets de CO₂ et autres gaz à effet de serre, davantage de déchets radioactifs.

De plus, la multiplication des unités de production implique un impact visuel, voire sonore : qui souhaite habiter à côté d'une centrale électrique ? Même la production éolienne, énergie propre et renouvelable, connaît ses détracteurs, l'accusant de défigurer le paysage, de représenter une nuisance sonore, et de perturber les écosystèmes.

Maîtriser la croissance de la demande électrique pourrait permettre de limiter l'implantation de nouvelles unités de production, et donc, de limiter ces nuisances multiples pour l'environnement. Si l'ajustement offre/demande passe par une réduction à l'aval, du côté de la demande, cela ne peut avoir qu'un impact positif pour l'environnement. Et, tout comme le cumul des comportements synchrones de millions de consommateurs résidentiels constitue cette demande globale et ses pointes, le cumul de comportements de sobriété de quelques millions de clients peut, également, avoir un impact positif sur l'avenir environnemental du pays.

1.1.2.4 *Enjeux politiques.*

Si les enjeux économiques et environnementaux semblent évidents et, pour une fois, concorder, les compagnies sont également encouragées par les gouvernements, et même, dans notre cas, par la Commission Européenne, qui fixe divers objectifs via des circulaires européennes et des décrets d'application nationaux. Les états ont donc la mission de faire appliquer les lois et de se conformer aux injonctions des directives européennes²⁴ et aux législations nationales²⁵, qui requièrent la mise en place de la maîtrise de l'augmentation de la demande ainsi que la de réduction

²⁴ Directive européenne 2006/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 5 avril 2006, relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, premier point : « *Dans la Communauté, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité énergétique au stade de l'utilisation finale, de maîtriser la demande d'énergie[...]* » ; « Trois 20% » de mars 2007 : Le Conseil souligne qu'il est nécessaire d'accroître l'efficacité énergétique dans l'UE afin d'atteindre l'objectif visant à économiser 20% de la consommation énergétique de l'UE par rapport aux projections pour l'année 2020 [...].

²⁵ Loi POPE du 13 juillet 2005 ; Lois Grenelle 1 et 2. Loi n° 2009-922 du 7 août 2009.

des émissions des gaz à effet de serre et plus particulièrement de CO₂, lesquelles risquent de s'accroître si la consommation globale poursuit sa tendance à la hausse

Nous pouvons dresser une liste (non exhaustive et en perpétuelle mutation) des textes de la réglementation nationale et internationale faisant mention d'une sommation à la réduction globale de la consommation électrique. Certains textes adoptent le point de vue des producteurs d'électricité, utilisant principalement un argumentaire environnemental, alors que d'autres se positionnent du côté du consommateur, avec des préconisations permettant à ce dernier de réaliser des objectifs de sobriété énergétique.

Date	Nom du texte de réglementation	Extraits de contenu résumés
16 février 2005	Protocole de Kyoto	Objectifs de réduction, entre 2008 et 2012, de 5,2 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de six gaz à effet de serre dont le dioxyde de carbone. Un nouveau protocole devrait être mis au point en 2013 au plus tôt.
13 juillet 2005	Loi POPE ²⁶	« Le premier axe de la politique énergétique est de maîtriser la demande d'énergie afin de porter le rythme annuel de baisse de l'intensité énergétique finale à 2 % dès 2015 et à 2,5 % d'ici à 2030. »
5 avril 2006	Directive européenne 2006/32/CE du Parlement Européen et du	Directive relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, premier point : « <i>Dans la Communauté, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité énergétique au stade de l'utilisation finale, de maîtriser la demande d'énergie[...]</i> »
12 décembre 2008	Paquet « 3 fois 20% »	Le Conseil Européen souligne qu'il est nécessaire d'accroître l'efficacité énergétique dans l'UE afin d'atteindre l'objectif visant à économiser 20% de la consommation énergétique de l'UE par rapport aux projections pour l'année 2020 [...].
3 août 2009	Loi Grenelle 1	Facteur 4 (énergie et transports) : division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Des mesures d'efficacité énergétique dans les nouveaux logements construits limitent le développement à

²⁶ Loi POPE : loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique de la France (13 juillet 2005), ayant pour but de fixer 4 objectifs majeurs : contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement, assurer un prix compétitif de l'énergie, préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre et garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès à tous à l'énergie.

		outrance du chauffage électrique couplé à une mauvaise isolation : « Porter la consommation d'énergie à 50 KWh/m2/an, et sous certaines conditions, la consommation d'énergie primaire [...] pour les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2012 [...]. »
12 juillet 2010	Loi Grenelle 2	Article 79 : Ajout de complément à l'article L. 224-1 du code de l'environnement. « 4°- Prescrire aux fournisseurs d'électricité, de gaz naturel ou de chaleur l'obligation de communiquer périodiquement aux consommateurs finals domestiques un bilan de leur consommation énergétique accompagné d'éléments de comparaison et de conseils pour réduire cette consommation et une évaluation financière des économies éventuelles. »
27 octobre 2010	Décret RT (Règlementation thermique) 2012	Équipement des logements individuels d'outils permettant la connaissance précise de la consommation électrique (entre autres)
7 décembre 2010	Loi NOME	Bien que la loi NOME, du point de vue de la maîtrise de la demande, soit plutôt consacrée à la maîtrise des pointes, l'article 18 prévoit un accès facilité du consommateur à ses données de consommation.
25 octobre 2012	Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique	Nécessité pour les pays membres de mettre en place des <i>smart meters</i> qui permettent aux consommateurs d'accéder à des informations les plus complètes possibles (en temps réel par exemple) sur leurs consommations. Ces informations devront être gratuites. « [les états-membres] <i>devront s'assurer que les objectifs d'économie d'énergie et de bénéfices du côté du consommateur final soient parfaitement pris en compte lorsque sera établie la liste des fonctionnalités minimum des compteurs et les obligations imposés aux acteurs du marché</i> » (traduction personnelle)

Le clivage entre les objectifs généraux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de maîtrise de la consommation en général, et la maîtrise de la consommation du point de vue du consommateur, qui passe, comme nous le voyons, par des mesures d'information du client et

d'incitation à l'efficacité énergétique, n'est en réalité que l'abord par deux faces différentes d'un même problème global. Il s'agit aujourd'hui de faire converger l'amont et l'aval de la question de la maîtrise de la demande électrique.

Enfin, il est à noter qu'en marge des lois, décrets et directives présentés ci-dessus, de nombreuses mesures gouvernementales soutiennent également cette cause. Nous pouvons citer à titre d'exemple les AMI (Appels à Manifestation d'intérêt) de l'ADEME, ou encore les programmes gouvernementaux (ministère de l'écologie) d'appel à projets concernant les CEE (Certificats d'Economie d'Energie, en application de la loi POPE de 2005), qui visent à sélectionner des projets innovants ou prometteurs visant, entre autres, à favoriser la maîtrise de la demande en électricité (entre autres énergies).

Si nous estimons maintenant qu'il est utopique de parvenir à réduire la consommation globale d'électricité d'un pays (hors phénomène de grave crise économique), il apparaît primordial de parvenir à limiter son augmentation grâce à la *demand response*, car les enjeux économiques et environnementaux, soutenus par les institutions nationales et internationales, sont à la fois convergents et primordiaux pour préserver à la fois l'environnement et la pérennité des systèmes électriques.

1.1.3 La problématique des pointes de consommation d'électricité

Alors que la maîtrise de la demande globale est une problématique principalement intégrée à la globalité des mesures environnementales visant à la réduction des émissions de gaz polluants, la problématique des pointes de consommation d'électricité revêt des enjeux supplémentaires, plus pointus, et pour laquelle le champ d'action est plus restreint. Ne serait-ce pas suffisant de parvenir à maîtriser la demande globale, et ainsi, espérer réduire les pointes de consommation ce faisant ? Nous avons vu que ces pointes de consommation, qui apparaissent sur la courbe de charge agrégée du pays, sont aujourd'hui en forte croissance, et, d'année en année, battent de nouveaux records. Bien que, ayant effectué un tour d'horizon des moyens de production qui permettent de subvenir à ces instants de demande record, nous allons dresser un portrait des enjeux qui rendent, aujourd'hui, la mise en place des mécanismes de la *demand response*, dans le but de limiter leur impact néfaste à l'ensemble des acteurs majeurs des systèmes électriques et à l'environnement.

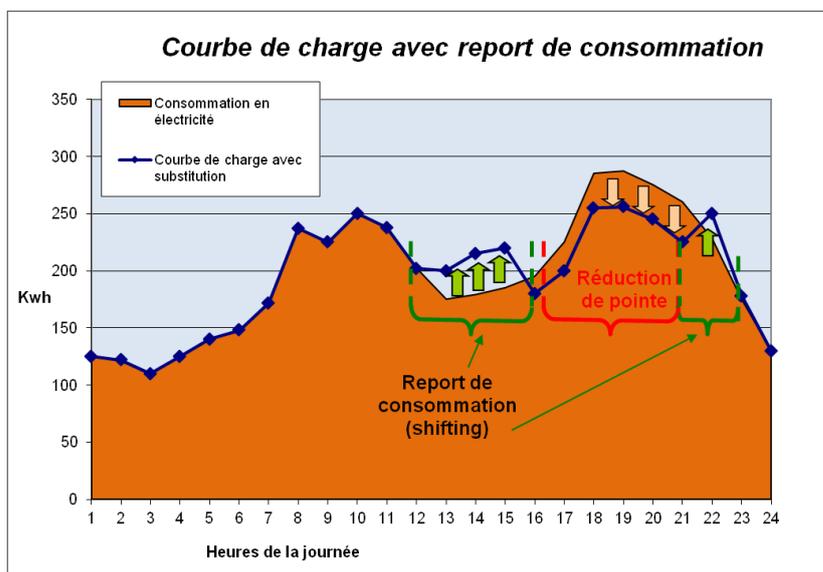
Comme nous l'avons vu, la part de la demande d'électricité amenée à croître le plus fortement est la demande dite « de pointe ». Selon divers scénarios, d'ici à 2020, les niveaux de pointe en France présenteront une hausse de 14%²⁷. Les pointes de demande sont principalement liées aux conditions climatiques et au rythme de la vie quotidienne, qui imposent aux individus de pratiquer les mêmes activités gourmandes en énergie au même moment de la journée (mise en

²⁷ Source : Ministère de l'écologie et du Développement Durable. « Rapport au Parlement : Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité Période 2009 – 2020 ».

route d'appareils de chauffage, de machines dans les industries, utilisation d'appareils de cuisson, éclairage...): c'est la fameuse synchronisation des comportements dont nous parlons dans les sections précédentes.

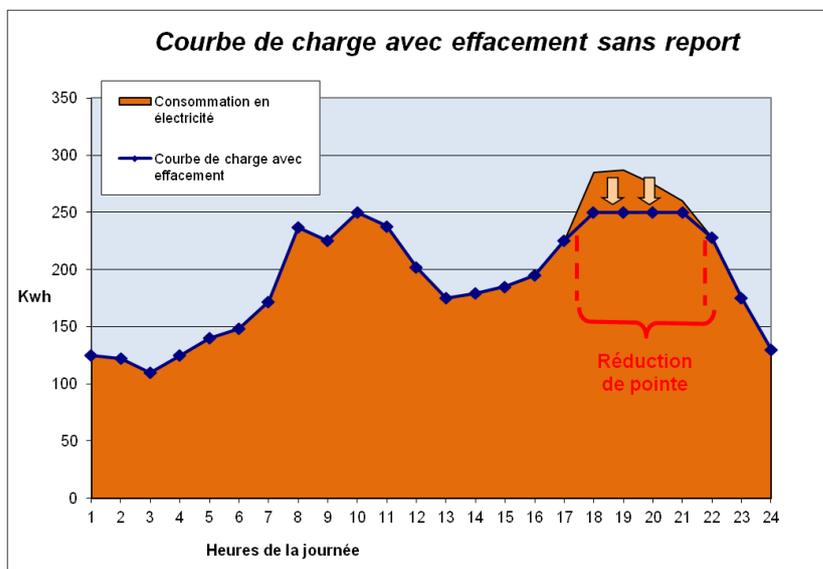
Cette demande de pointe nécessite la mise à disposition rapide sur le réseau électrique d'un grand volume d'énergie issue d'unités de production spécifiquement dédiées à cette fonction de part leurs propriétés technologiques (centrales à combustibles fossiles dont mise en route est rapide, par exemple), d'achats sur les marchés de gros ou bien d'importations d'électricité. En effet, l'équilibre doit être maintenu en permanence sur le réseau électrique: un ajustement permanent est indispensable, sans quoi, de par les propriétés physiques de l'électricité, on aboutirait à des dysfonctionnements sur le réseau (chutes de tension par exemple). En France, RTE est le garant de l'équilibre offre/demande sur le réseau, orchestrant les ajustements réalisés par une multitude de responsables d'équilibres (producteurs et consommateurs), lesquels modifient alors leurs injections et soutirages sur le réseau: c'est le mécanisme général de l'ajustement, réalisé en temps réel, qui permet le maintien du système²⁸.

Une solution alternative à l'ajustement via les quantités produites consiste à solliciter les consommateurs pour les inciter à réduire leur consommation lors des moments « critiques ». Il est par exemple possible pour eux de reporter une partie de leurs usages dans le temps, vers des tranches horaires dites « creuses », et donc de redessiner leur profil de consommation journalière, heure par heure. On parle alors de report de consommation, de *shifting* de charges, ou encore de lissage (aplanissement) de la courbe de charge, lorsqu'il s'agit de déplacer la consommation d'un moment vers un autre (anticipation ou report de consommation: on parle également de substitution temporelle). La consommation peut également être tout simplement effacée (on parle alors de *peak shaving*) sans être reportée.



Cas de figure d'un lissage de la courbe de charge avec un déplacement des consommations (anticipation et report ultérieur)

²⁸ Ce mécanisme a été mis en place en 2003. Source: CRE.



Cas de figure d'un lissage de la courbe de charge avec un effacement des consommations (l'électricité non consommée durant la pointe n'est pas consommée à un autre moment).

Une dernière possibilité existe pour la réduction des volumes absolus atteints lors des pointes de consommation : il s'agit tout simplement de la réduction globale de consommation abordée dans la section précédente. En effet, si la consommation est moindre à tout moment, par définition elle le sera aussi lors des périodes de pointe.

Limitier les pics de consommation est un challenge pour les marchés de l'électricité, le résoudre par le biais de la réduction de la demande en pointe permettrait d'atteindre plusieurs objectifs capitaux, et de contourner les difficultés et complications d'une approche traditionnelle du marché de l'électricité, on souhaite réaliser l'équilibre offre/demande en considérant le problème par l'amont, du côté de la production.

1.1.3.1 Enjeux économiques et systémiques.

Du point de vue des acteurs des systèmes électriques, la problématique des pointes de consommation revêt différents aspects majeurs.

Tout d'abord, limiter les pointes de demande permet d'éviter des investissements en infrastructures de transport et de distribution, qui nécessitent un nivellement par le haut en termes de capacités d'acheminement. La couverture de l'approvisionnement lors des pointes implique également la construction de toujours davantage de moyens de production de pointe, comme les centrales à énergie fossile. Ces unités de production, qui ne tournent alors que quelques dizaines d'heures par an, ne sont pas rentables, mais pourtant indispensables. Selon EDF R&D, où la question

de la valorisation des effacements de consommation lors des périodes de pointe est d'actualité, « *Un effacement court (2 à 4h) de 200MW économise la construction d'une TAG (turbine à gaz) à horizon 2020* ». Selon une étude Cap Gemini (2009), en Europe, un potentiel d'effacement de pointe de 28 à 72 GW représenterait une économie de 20 à 50 milliards d'€ en investissements évités.

De plus, nous l'avons vu, le coût de production d'un kWh d'électricité issu des centrales de pointe est bien plus élevé qu'un kWh produit par les moyens de production de base, c'est-à-dire souvent issu des centrales nucléaires : l'utilisation des centrales à énergie fossile implique un fort coût marginal. Il existe une alternative potentielle ou complémentaire à la mise en route d'unités de production de pointe : l'importation d'électricité en provenance des pays voisins. Cependant, le prix de gros est alors soumis aux aléas de la loi du marché de l'électricité. On imagine facilement qu'en période de pointe (l'hiver par grand froid par exemple), le kWh peut vite atteindre les prix record, surtout dans une Europe post-Fukushima dans laquelle nos voisins se désengagent du nucléaire, électricité bon marché par excellence.

Ainsi, durant les pics de consommation, du fait de la tarification linéaire, au moins pour certains types d'usages, les écarts entre la valeur du produit pour le consommateur et ses coûts de production peuvent être très élevés et, dès lors, conduire à une grande inefficacité du marché, coûteuse pour une majorité des acteurs du système électrique.

Au-delà de toute problématique liée aux coûts des pointes de consommation pour le système, il existe un risque de congestion sur les réseaux électriques lors de ces instants cruciaux. Limiter les pointes de la demande permettrait en effet de résoudre les divers problèmes de fourniture d'électricité à l'ensemble des clients, et d'éviter les engorgements sur le réseau de transport et de distribution. Lors des pointes, le risque de *blackout* existe, favorisé par la dérégulation du système. On oublie trop souvent que l'électricité nécessite un transport physique et que, comme un flux d'eau dans une canalisation, il n'est pas possible d'en acheminer davantage que le permettent les lignes du réseau d'acheminement. Sur la majorité du territoire français, le maillage du réseau est tel que les problèmes sont extrêmement rares, l'électricité pouvant être re-routée en cas de défaillance. Mais dans les zones appelées péninsules électriques, comme la Bretagne et la région PACA²⁹, une défaillance ou une congestion sur une ligne haute ou très haute tension peuvent conduire à un *blackout*.

Enfin, parvenir à une certaine maîtrise des pointes, contrôler le report ou l'effacement des consommations permettrait d'optimiser l'usage des moyens de production de base existants par le comblement des périodes creuses de consommation. Augmenter la flexibilité de la demande est une condition sine qua none de l'introduction sur les *smart grids* des nouvelles technologies émergentes et au développement certain lors des prochaines décennies :

- Une flexibilité de la demande suffisante est nécessaire pour utiliser au mieux les unités de production d'énergies renouvelables intermittentes (éolien, solaire).
- Un contrôle des comportements de consommation permettra d'accompagner l'insertion sur le réseau d'usages très spécifiques comme les véhicules électriques, ou

²⁹ Un renforcement du maillage du réseau électrique est en cours dans la région PACA, et devrait être opérationnelle d'ici à 2015 selon RTE.

encore des pompes à chaleur, qui peuvent favoriser le lissage de courbe de charge tout comme amplifier les phénomènes de pointes critiques, selon les plans de *demand response* élaborés dans les années à venir, selon le moment où ils sont mis en charge ou en fonctionnement.

Sans un contrôle de la demande de pointe et des comportements synchronisés qui les engendrent, le système électrique français risque donc dans les années à venir une forte perte d'efficacité et une aggravation des phénomènes de congestion sur les réseaux.

1.1.3.2 Enjeux environnementaux.

Les enjeux environnementaux liés à la mise en place de la *demand response* sont encore plus pointus que ceux qui entourent la maîtrise de la demande globale. En effet, non seulement les moyens de production de pointe (hors hydraulique de pointe) sont les plus coûteux, mais ce sont également les plus polluants. L'objectif est donc, du point de vue environnemental, de limiter les émissions de CO₂ liées à l'utilisation des unités de production de pointe (centrales à charbon ou autres combustibles fossiles beaucoup plus polluantes que des moyens de production de base comme le parc nucléaire). L'Europe, qui vise selon les objectifs des « trois 20% » une réduction d'émissions de CO₂ de 20% d'ici à 2020, pourrait potentiellement réaliser entre 25 et 50% de cette réduction cible grâce à l'activation des mécanismes de *demand response*³⁰. Les émissions de gaz polluants comme les NO_x ou SO₂ seraient également potentiellement réduites. Certains travaux (E. Mansur, S. Holland, (2006)) révèlent des disparités d'impacts à court terme de la réduction des pointes de consommation sur l'environnement, en fonction des régions et des moyens de production locaux.

L'environnement ne connaît pas les frontières, et, au-delà des émissions de notre propre pays, il convient de prendre en compte également l'impact des productions de pointe des pays voisins auxquels la France achète de l'électricité dont l'origine n'est pas toujours propre puisque dans ces pays les problématiques économiques sont du même ordre.

Enfin, tout comme pour la maîtrise de la demande globale, l'impact environnemental de la construction d'un réseau de transport capable de supporter les pointes de la demande est à prendre en compte. Si les niveaux de consommation record continuent d'augmenter à la vitesse actuelle, ce sont de nouveaux écosystèmes, de nouveaux paysages qui risquent de subir l'implantation de nouvelles lignes à haute ou très haute tension.

³⁰ Source : Rapport VaasaETT/Enerdata, 2008, voir (**Erreur ! Signet non défini.**).

1.1.3.3 Enjeux politiques.

Conscientes de la problématique des pointes depuis de nombreuses années, les autorités, et particulièrement la commission européenne, ont œuvré pour produire des textes de loi obligeant les états à intervenir en faveur de la *demand response*.

Au niveau Européen, deux directives contiennent des éléments de préconisation pour la mise en place de maîtrise de la demande globale et de pointe, ainsi que des tarifications dynamiques incitatives.

- **Directive 2005/89/CE** : mesures visant à garantir la sécurité de l'approvisionnement en électricité et les investissements dans les infrastructures, adoptée le 18 janvier 2006.

Cette première directive préconise la gestion de la demande comme outil d'équilibrage offre/demande avec entre autres : « *des mesures encourageant l'adoption de technologies de gestion de la demande en temps réel telles que des systèmes de comptage faisant appel à des technologies de pointe* » ; « *l'établissement d'un cadre pour le marché de gros fournissant des signaux de prix appropriés pour la production et la consommation* » (article 5).

- **Directive 2006/32/CE** : l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, adoptée le 5 avril 2006.

Cette seconde directive encourage la mise en place de dispositifs visant à permettre des économies d'énergie au travers de la gestion de la demande, comme alternative à de nouveaux approvisionnements énergétique et afin de protéger l'environnement. Elle incite par exemple les états à alléger les législations concernant les outils financiers d'incitation aux économies d'énergies (article 9). Le paragraphe 28 et l'article 13 préconisent l'installation de compteurs intelligents à l'échelle globale (« *recours généralisé à des innovations technologiques rentables, par exemple à des relevés électroniques.*»), et/ou d'un feedback informationnel indirect sur les relevés de comptage, comportant par exemple des comparaisons avec les données historiques de consommation.

Il est important de remarquer que la directive exige que les Etats veillent à la clarté et à la comparabilité des tarifs destinés aux clients résidentiels (paragraphe 6) : d'éventuelles offres tarifaires élaborées, comme le CPP ou le RTP devront s'accompagner de d'informations et repères simples destinés à aviser les consommateurs. L'Europe rappelle également l'importance de concevoir des offres socialement acceptables pour tous : « *Lorsque l'efficacité énergétique est recherchée par le biais de changements d'ordre technologique, comportemental et/ou économique, il faudrait éviter des incidences négatives notables sur l'environnement et respecter les priorités sociales.* »

D'autres éléments ont précédé ou appuient ces directives. Ainsi, dès novembre 2000, le Livre Vert de la Commission Européenne³¹ appelait déjà à une politique de maîtrise de la demande

³¹ Livre Vert de novembre 2000, **Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique.** « Le Livre vert esquisse le schéma d'une stratégie énergétique à long terme selon lequel : - L'Union doit rééquilibrer la politique de l'offre par des actions claires en faveur d'une politique de la demande.

d'énergie. En mars 2007, le Conseil de l'Union Européenne a fixé des objectifs de réduction de la consommation énergétique globale de manière à réaliser 20% d'économies par rapport aux prévisions effectuées pour 2020, ainsi que d'intégration des énergies renouvelables à hauteur de 20% du mix énergétique pour l'UE³², tout en incitant au changement des comportements, davantage axé sur les consommations de pointe.

Plus récemment, en juillet 2007, le Sénat a publié un rapport intitulé « L'Europe sous tension », dont une partie concerne la maîtrise de la demande en Europe, et plus précisément la nécessité de parvenir à modifier les comportements des consommateurs. Sont plébiscités, parfois en écho avec les observations effectuées lors des pilotes réalisés à l'international :

- Une information accrue des consommateurs au sujet de leur consommation d'électricité et des moyens à mettre en œuvre pour parvenir à des économies : « *les pouvoirs publics ont un devoir d'alerter les populations des enjeux. L'État doit ensuite jouer un rôle de source d'informations fiables des citoyens afin de clarifier les problématiques, et enfin apporter des solutions que chacun pourra mettre en œuvre à son niveau.* » (ce premier axe concerne donc la maîtrise de la demande globale).
- Une réduction de la demande de pointe via les compteurs intelligents et des outils incitatifs qu'il supporte : « *Les dernières évolutions législatives incitent à développer des compteurs permettant aux clients des distributeurs d'avoir une meilleure connaissance de leur consommation, [...] de proposer à leurs clients des prix différents selon les périodes de l'année ou de la journée et incitant les utilisateurs de réseaux à limiter leur consommation pendant les périodes où la consommation de l'ensemble des consommateurs est la plus élevée* »
- Une facturation basée sur les consommations réelles et l'installation de feedbacks directs avec un affichage réalisé en unité monétaire. « *La possibilité de connecter aisément au compteur un équipement d'affichage en direct du coût payé en euros doit être prévue.* »
- La possibilité d'automatisation des équipements tout en maintenant la possibilité d'y déroger.

L'application de ces directives est donc en cours, avec le *rollout* prévu, initié ou même terminé selon les Etats. La commission Européenne est également partenaire de plusieurs projets visant à étudier, mesurer, mettre en place (entre autres) des processus de gestion active de la demande d'électricité³³ : EFFLOCOM (2002-2004)³⁴, dont nous avons rassemblé certains résultats

En effet, les marges de manœuvre sur un accroissement de l'offre communautaire sont faibles au regard des besoins alors que celles sur la demande apparaissent plus prometteuses. - Au regard de la demande, le Livre vert appelle à un véritable changement des comportements des consommateurs [...] en vue d'orienter la demande vers des consommations mieux maîtrisées et plus respectueuses de l'environnement »

³² Ce sont deux des trois objectifs « Trois 20% pour 2020 » de mars 2007.

durant l'élaboration de ce document et ADDRESS (2008-2012)³⁵ en sont des exemples à grande échelle. L'Europe est donc un terrain extrêmement favorable pour l'élaboration de pilotes de tarifications dynamiques et le programmes de *demand response*. L'UE s'avère être en retard par exemple par rapport aux Etats-Unis, mais en ébullition depuis 2006 (surtout dans les pays scandinaves). L'ensemble des directives et préconisations encourage à la conception, puis à la mise en place d'outils incitatifs construits grâce à des retours d'expériences des programmes pilotes déjà réalisés.

La France était l'une des premières à croire en la tarification dynamique, avec la mise en place des offres incitatives de type *demand response* comme Heures Creuses, EJP puis Tempo puis dès les années 80 (sur lesquelles nous reviendrons dans la section 1.2.3, mais le fonctionnement globalement satisfaisant des systèmes électriques depuis, contrairement à celui des Etats-Unis qui ont subi des phénomènes de *blackout*, n'a pas poussé à l'innovation précoce poursuivie dans ce domaine.

Les politiques publiques en matière d'énergie sont mises en œuvre à l'échelle nationale. En France, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, la CRE³⁶ et l'ADEME³⁷ sont les principaux régisseurs de ces politiques publiques. Maîtriser la demande d'énergie est l'un des axes de travail majeur de ces institutions. Certains éléments des textes de loi sont directement en lien avec la mise en place de la *demand response*. Ainsi, la loi POPE³⁸ prévoit (article 74) que les dispositifs de comptage mis en œuvre par les gestionnaires de réseaux de distribution permettent aux fournisseurs « **de proposer à leurs clients des prix différents selon les périodes de l'année ou de la journée et incitant les utilisateurs de réseaux à limiter leur consommation pendant les périodes où la consommation de l'ensemble des consommateurs est la plus élevée** ».

Un avant projet de loi, prélude à la loi NOME, ouvert à consultation en janvier 2010, propose que « *la structure et le niveau des tarifs réglementés de vente d'électricité hors taxes [soient] fixés afin d'inciter les clients à limiter leur consommation aux périodes où la consommation de l'ensemble*

³⁴ EFFLOCOM : *Energy EFFiciency and LOad curve impacts of COMmercial development in competitive markets*. Ce projet s'est déroulé de 2002 à 2004, basé sur les retours d'expérimentation de pilotes issus de 6 pays Européens (Norvège, Danemark, Finlande, France, Angleterre et Suède), comprenant des études de l'impact de feedbacks, tarifications de pointe, automatisations. Voir EU/SAVE 132/01 EFFLOCOM report no. 7, "Results from the EFFLOCOM Pilots", 2004.

³⁵ ADDRESS : *Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS*. Ce projet a débuté en 2008 et se termine en 2012. Son but est de préparer l'intégration de la demande active dans le contexte du développement des Smarts Grids en Europe.

³⁶ CRE : Commission de Régulation de l'Energie. Autorité administrative indépendante chargée de veiller au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz en France. Ses missions concernent en particulier l'accès au réseau électrique, et la régulation des marchés. Elle possède un droit d'avis sur la formulation des tarifs réglementés d'électricité ainsi que sur les mécanismes tarifaires à visée sociale.

³⁷ ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. L'ADEME est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Son but est la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable, ainsi que d'encourager la recherche publique dans ses domaines.

³⁸ Loi POPE : loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Energétique de la France (13 juillet 2005), ayant pour but de fixer 4 objectifs majeurs : contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement, assurer un prix compétitif de l'énergie, préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre et garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès à tous à l'énergie.

des consommateurs est la plus élevée »³⁹. Face aux réactions de la presse qui s'est fait le relais de cette information en suggérant une forte hausse des prix l'hiver, lors des vagues de froid, alors que le chauffage est indispensable, le ministère a affirmé qu'il ne s'agissait que de renforcer le dispositif Heures Creuses, Heures Pleines du tarif réglementé⁴⁰.

Cet événement dénote une certaine réticence de la population française, des associations de consommateurs et des médias face à la généralisation des tarifications de pointe comme le CPP. Il apparaît donc primordial d'accompagner tout lancement d'incitations tarifaires à la réduction de consommation d'une campagne d'information insistant sur les économies potentielles que pourront réaliser les consommateurs résidentiels. L'un des axes de travail concernera donc la mise en avant des bénéfices financiers des mécanismes tarifaires pour les utilisateurs finaux, afin de circonscrire les réactions de méfiance.

La loi NOME a finalement vu le jour le 7 décembre 2010, et a pour objectif principal de définir un nouveau cadre pour le marché de l'électricité en France. Elle est surtout connue (et controversée) pour son intervention dans la concurrence entre les différents producteurs et fournisseurs d'électricité du pays, obligeant le producteur historique EDF à revendre une partie de sa production issue des centrales financées par l'état dans les précédentes décennies aux fournisseurs d'électricité alternatifs (ARENH : Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique). Mais la loi NOME propose également un cadre législatif aux mécanismes d'effacement afin de réduire les pointes de consommation chez l'ensemble des consommateurs, dans le but d'assurer entre autres, la sécurité de l'approvisionnement pour tous les clients. De plus, cette loi prévoit une évolution des tarifs réglementés pour qu'ils reflètent davantage la réalité des marchés : c'est-à-dire une tarification dynamique présentant des coûts plus élevés lors des périodes de pointe, et plus faible lors des périodes creuses, le texte de loi contenant l'exacte citation du projet de loi évoqué plus haut⁴¹.

Afin d'atteindre ces objectifs principaux tout en parvenant à proposer des offres commercialement attractives sur le plan concurrentiel et innovantes, de nombreux outils incitatifs ont été et sont mis en place de nos jours, testés ou utilisés à travers le monde pour maîtriser la demande. Nous nous intéressons dans cette thèse à la gestion de la demande résidentielle, mais il est à noter qu'un certain nombre des incitations présentées sont également utilisables et utilisées dans les cadres de l'industrie et du secteur tertiaire.

La gestion active de la demande est donc, depuis le début des années 2000, une préoccupation à l'échelle mondiale. Les raisons de la mise en œuvre de politiques de gestion de la demande active, ou *demand response*, varient d'un pays à l'autre selon les environnements réglementaires des marchés de l'énergie, les lois en vigueur du point de vue écologique ou encore les caractéristiques des parcs de production et des réseaux de transport électriques. Les valorisations

³⁹ Article 2 de l'avant-projet de loi dite «de réforme du marché de l'électricité»

⁴⁰ Extrait du communiqué de presse du 20 janvier 2010, « Précision sur les tarifs de l'électricité », livré par le cabinet du ministre d'Etat au à l'Ecologie, l'Energie, au Développement Durable et à la Mer : « Il n'est pas question d'une quelconque augmentation des tarifs de l'électricité lors de pics de consommation (saison hivernale ou pas), l'article 2 propose de pérenniser, dans le cadre de cette réforme, ce que les Français connaissent déjà, les tarifs heures creuses / heures pleines »

⁴¹ Loi NOME du 7 décembre 2010, article 13.

sont différentes selon les nations, mais on s'accorde sur l'aspect primordial de la gestion de la demande et des pointes de consommation.

Face à ces enjeux, les énergéticiens développent des expérimentations de terrain, des pilotes, afin de tester divers programmes de *demand response*, et d'évaluer la réactivité des consommateurs face à ces politiques de manière qualitative mais surtout quantitative. Les moyens utilisés sont de natures variées, même si les schémas incitatifs restent souvent similaires. On retrouve de manière générale des programmes de tarification dynamique, combinés ou non à des systèmes d'automatisation des usages électriques et outils destinés à informer, éduquer le consommateur. Nous en aborderons de nombreux exemples dans la suite de cette thèse, mais avant de comprendre comment parvenir à réduire la demande, et pour comprendre pourquoi les enjeux que nous venons de présenter ne sont pas simples à prendre en compte, nous allons entrer plus en détails dans les caractéristiques d'utilisation et de commercialisation de ce produit si particulier : l'électricité.

1.2 La tarification électrique : du principe de tarification universel au tarif incitatif. Analyse et enjeux

Le marché de l'électricité comprend donc un certain nombre d'enjeux à l'amont, qui imposent une gestion très fine de sa régulation et de son équilibre, en ajustant en permanence demande et production. Mais de par ses caractéristiques intrinsèques et sa place dans la société actuelle, la commercialisation d'électricité revêt d'autres dimensions, celle d'un facteur du progrès social et de la croissance industrielle. Historiquement, le lien entre consommation énergétique d'un pays et croissance de son PIB a été établi à de nombreuses reprises (Ferguson *et al.* (2000)). La corrélation est encore plus forte lorsqu'on considère le lien entre consommation électrique seulement, et la création de richesse : l'énergie électrique est un agent inéluctable du développement économique d'un pays, permettant l'amélioration de la productivité industrielle et tertiaire, et alimentant le développement des nouvelles technologies. Ainsi, le processus de développement économique d'un pays implique une transition de la consommation d'énergie depuis les niveaux les plus bruts (énergies fossiles) vers les niveaux les plus élevés, l'électricité devenant prédominante (Toman et Jemelkova (2003)). Ce glissement vers l'électricité est encore en cours où à son commencement dans de nombreux pays en voie de développement (Afrique subsaharienne par exemple), mais dans d'autres pays l'explosion du niveau de consommation électrique est transcrit directement par la construction massive de moyens de production (comme par exemple en Chine, devenue le premier consommateur d'électricité mondial, où sont renouvelées et modernisées les centrales existantes, et créés de nouvelles unités de production d'énergie « renouvelable »⁴²). A l'issue de la transition économique d'un pays, on observe même des situations paradoxales où l'économie requiert moins d'énergie mais davantage d'électricité (Rosenberg (1998)).

⁴² Cf note du 6 juillet 2012 de l'Ambassade de France en Chine : « Contexte énergétique chinois », <http://www.ambafrance-cn.org/l-Contexte-energetique-chinois.html>

Mais la consommation d'électricité est également en lien direct avec le développement humain d'un pays et l'amélioration de la qualité de vie des individus. Dans cette thèse, nous nous intéressons uniquement au comportement des consommateurs résidentiels, c'est pourquoi cet aspect du produit électricité est celui qui nous intéresse le plus. En quoi ce produit est-il indispensable ? En quoi sa commercialisation ne peut-elle suivre les règles d'un produit classique ? De ses caractéristiques propres découlent un mode de vente, une tarification particulière, déclinée aujourd'hui en France en diverses versions que nous aborderons dans les sections suivantes. Quelle est la place d'une nouvelle tarification pour ce produit si particulier ?

1.2.1 L'électricité : un produit de première nécessité pour les consommateurs résidentiels et indispensable au développement humain.

L'électricité est partout présente dans la nature. Issue du déplacement des particules chargées de la matière au sein d'un matériau conducteur, elle est à l'origine ou participe à des phénomènes les plus minimes comme la cohésion de la matière (via notamment les interactions électromagnétiques), le transport des influx nerveux... mais elle est également génératrice de phénomènes de très grande échelle, tels que la foudre ou le champ électromagnétique terrestre. Depuis plus de 2600 ans l'homme s'attache à décrire et apprivoiser cette énergie, mais ce n'est qu'en 1879, il y a moins de 150 ans, qu'a été construite la première unité de production électrique⁴³, innovante conscrute de l'ampoule à filament incandescent⁴⁴, elle-même devenue symbole de cette énergie nouvelle.

Bien qu'elle ne soit pas vitale au même titre que l'eau et la nourriture, l'électricité est aujourd'hui indispensable au développement économique et social de tout individu. Même si cette affirmation est encore plus particulièrement soulignée dans les pays développés, elle tend à devenir vraie dans tous les pays en voie de développement, où l'accession à l'électricité pour tous constitue un indice de développement significatif. Sa consommation n'est pas directe, mais secondaire, au travers d'un immense panel d'usages quotidiens conscients et inconscients. Que ce soit au travers de l'éclairage, son emblème historique, du chauffage, de la cuisson, de la réfrigération, des télécommunications, des médias, ou encore, de plus en plus, des transports, elle est présente partout, à chaque instant, et son manque se fait vite sentir lorsqu'une coupure survient. Se déplacer, se chauffer, s'informer, travailler, consommer : les composantes de la vie d'un individu lui sont intimement liées.

Certains usages électriques sont dits « nobles » ou encore spécifiques, lorsqu'il n'existe pas de substitut à l'énergie électrique pour leur fonctionnement, du moins dans le commerce⁴⁵. Ce sont

⁴³ Centrale hydraulique de 7kW construite à St. Moritz (Suisse).

⁴⁴ Présentée par Thomas Edison en 1879 également.

⁴⁵ Cf. « *Du gâchis à l'intelligence. Le bon usage de l'électricité* » ; Les Cahiers de Global Chance, n°27, janvier 2010 ; 148 pages, coédité avec l'association NegaWatt dédiée à l'efficacité énergétique

tout d'abord les réfrigérateurs⁴⁶, congélateurs, lave-linges, sèche-linges, éclairages de toutes sortes. Ces derniers ont connu ces dernières années de profondes améliorations en termes de sobriété énergétique, avec notamment la généralisation des ampoules basse-consommation⁴⁷ et des étiquetages énergétiques pour l'électroménager⁴⁸. Mais ce sont également, et de plus en plus, les technologies de télécommunications et audiovisuelle, le matériel informatique : des usages nés bien après l'électricité, ils ont été pensés avec elle, et le besoin créé pour eux chez les individus est né dans un monde où l'électricité est omniprésente et ne peut pas « ne pas être ».

Pour d'autres usages, dits *substituables*, des sources d'énergies autres peuvent être utilisées, c'est le cas par exemple pour les transports, où les énergies thermiques sont encore très largement utilisées, ou encore pour la cuisson, le chauffage (réalisés grâce au gaz). Même s'il existe des alternatives, elles tendent parfois à être délaissées au profit de l'électricité. Ainsi les prochaines années devraient voir se démocratiser les véhicules électriques, le prix du pétrole et le souhait de polluer moins constituant un excellent moteur à leur déploiement. De même, des équipements comme les pompes à chaleur (PAC), s'ils ne peuvent être qualifiés de chauffages électriques, nécessitent cette dernière pour fonctionner (principalement pour comprimer le liquide frigorigène contenu dans la PAC et libérer ainsi de l'énergie). Ainsi, il est tout à fait possible que certains usages substituables ne le soient quasiment plus d'ici quelques années ou dizaines d'années pour les clients résidentiels, augmentant encore le caractère indispensable de l'électricité.

Au-delà de la typologie présentée ci-dessus, nous pouvons distinguer les appareils électriques (du foyer résidentiel) dont l'usage est conscient (typiquement, une lampe que l'on allume et l'on éteint, une télévision, un four...) des appareils dont l'usage est inconscient et transparent pour l'utilisateur (réfrigérateur, chauffage une fois mis en marche en début de saison, box internet...). Ces derniers contribuent à rendre l'usage d'électricité plus ou moins caché : déjà pour les premiers ce ne sont pas des kWh qui sont consommés, mais du temps d'utilisation des divers appareils ; pour les seconds il s'agit d'un fonctionnement ambiant et contribuant au confort global sans qu'il soit question de durée d'utilisation. Du point de vue du client, l'électricité constitue donc souvent au mieux en un flux continu et immuable provenant d'un réseau, au pire, en une énergie infinie semblant sortir des prises murales. Nous verrons ultérieurement comment cela peut poser problème lorsqu'on tente d'impacter les comportements de consommateurs des clients résidentiels, lorsqu'ils ne sont pas forcément conscients et informés de cette consommation.

Qu'ils soient nobles ou substituables, conscients ou inconscients, les usages électriques sont donc aujourd'hui totalement indispensables. Ainsi l'électricité est élevée au rang de service public, son acheminement égalitaire à l'ensemble des citoyens constituant une mission de l'Etat à tous les usagers, pour garantir l'égalité et le développement au sein du pays, au même titre que le raccordement à l'eau courante, ou les transports publics. Cette caractéristique fondamentale du produit électricité est génératrice de contraintes fortes lorsqu'il s'agit de bâtir des tarifs de vente pour le consommateur. La tarification doit à la fois assurer des recettes aux entreprises impliquées dans la vente d'électricité, et rester socialement acceptable et équitable. Ainsi, en France, les prix de

⁴⁶ Bien qu'il en existe des versions à gaz, pour les caravanes et camping-cars notamment

⁴⁷ En France, suite au Grenelle Environnement de 2007.

⁴⁸ « Etiquettes-Energies » imposées par directives du conseil Européen depuis 1992, 92/75/CEE.

vente de l'électricité ont été pensés en adéquation avec ces principes, selon un processus rythmés par les grandes évolutions du système de production, distribution et commercialisation.

1.2.2 Principes historique de la tarification de l'électricité en France : du monopole vers la dérégulation.

La filière électrique est aujourd'hui divisée en trois grands secteurs : la production, le transport, et la distribution. C'est le transport et la distribution de ce produit particulier qui, de par les contraintes qu'ils génèrent (aucun stock possible, ajustement offre/demande permanent...) imposent un réseau extrêmement fiable et développé. De manière générale, toute activité commerciale utilisant un réseau physique est d'autant plus efficace que l'utilisation de ce réseau est maximale. Cette règle prévaut davantage encore lorsque les coûts d'exploitation et d'investissement liés à ce réseau sont grands, comme c'est le cas pour le réseau électrique. Le système électrique, dans un cadre général (et non seulement en France) est donc une branche d'activité en situation de monopole naturel : toute situation de concurrence autour de la distribution d'électricité dans une même zone géographique n'est ni optimale, ni stable. Historiquement, la filière électrique a ainsi traversé plusieurs phases organisationnelles, dont les tarifs de l'électricité, combinés au caractère de service public du produit, sont les conséquences logiques.

Dans le cas de la France, les débuts de la constitution d'une filiale française de l'électricité est datée de 1944. Dans les années antérieures, un grand nombre de compagnies de production (1450 compagnies) également propriétaires de leurs propres réseaux locaux gèrent plus de 20000 concessions électriques sur le territoire français. Au sortir de la seconde guerre mondiale, le Conseil National de Résistance (CNR) prévoit dans son programme un ensemble de mesures visant à relancer le développement social et la productivité de la France après la Libération. La reconstruction, et la relance de l'économie nécessite avant toute chose de solides ressources énergétiques. Ainsi, en 1944 le CNR publie un Programme comprenant, entre autres, la nationalisation des compagnies électriques. Si la nationalisation du réseau de transport est immédiatement évidente, le choix est pris de nationaliser également la production d'électricité ainsi que la distribution, c'est à dire intégrer l'ensemble de la filière autour de la couche réseau et en faire un monopole public. En effet sans intégration globale de la filière, risques liés à un monopole de couche réseau en situation de monopsonne pour l'achat à l'amont et monopolistique pour la revente à l'aval. L'électricité est un bien vital et non substituable : prendre ce risque n'est pas envisageable. Ainsi, le 8 mai 1946 est créée conformément à la loi en vigueur l'entreprise Electricité De France, au statut



*Logo initial de l'entreprise
Electricité De France*

d'Établissement Public à Caractère Industriel, et regroupant un monopole sur la production électrique⁴⁹, ainsi qu'un monopole sur les transports et réseaux de distributions⁵⁰.

A partir de cet instant, et jusqu'en 2004, E.D.F a conservé ce statut de monopole public verticalement intégré. Les tarifs actuellement proposés au public (résidentiel) et appelés « Tarifs Bleus » réglementés par l'Etat n'ont pas changé structurellement lors de ce changement ni lors de la libéralisation du marché résidentiel en 2007, que nous évoquerons plus tard ; c'est pourquoi il reste intéressant de comprendre comment ont été bâties les fondations tarifaires de l'électricité chez EDF.

Dans une situation de monopole, le risque à considérer serait une tarification des biens visant à maximiser le profit de l'entreprise. Or, l'électricité est un service public, et le rôle de l'Etat à la tête de la filière est de garantir l'approvisionnement de manière égalitaire et accessible à tous. Ainsi, l'objectif de la tarification de l'électricité est de concilier l'efficacité productive maximale et le bien-être des consommateurs. De plus, dans le cas de l'électricité apparaît la nécessité d'une péréquation tarifaire (équité), aussi connue sous le nom de « principe du timbre poste » : une personne résidant au fond du Vercors ne doit pas payer l'électricité à un prix qui reflète le coût réel de son acheminement, sans quoi à consommation équivalente sa facture serait démultipliée par rapport à celle d'un citoyen logé dans un immeuble parisien, dont le raccordement personnel n'implique que peu de déploiement matériel. Des règles sont donc fixées afin de venir préciser les modalités de fixation des prix des diverses prestations offertes, la théorie économique venant guider le choix de ces règles.

Ainsi, la solution proposée dans le but de minimiser le prix du produit et maximiser la richesse collective est d'imposer une tarification au coût marginal. Le coût marginal est défini comme étant le coût supporté par la collectivité pour la consommation d'une unité supplémentaire de bien. Le prix plafond fixé pour une unité vendue est donc le coût marginal. Cette solution est entre autres à l'origine de la tarification horo-saisonnière (créée en 1962 chez EDF), ayant pour but de rapprocher le prix de vente au consommateur et les coûts de production plus élevés (Fremaux V. et Lederer P. (1986), nous reviendrons ultérieurement sur ce tarif)

Mais dans le cas de monopoles naturels ayant un très fort investissement initial, les coûts unitaires sont forcément décroissants, et la tarification au coût marginal ne permet pas à EDF d'être rentable, que l'on considère les coûts marginaux de long ou court terme. La tarification au coût marginal ne rémunère pas les dépenses engagées et les investissements ; or le monopole public est obligé de respecter une contrainte d'équilibre budgétaire. C'est donc une solution dite d'optimum de second rang, ou « solution du moindre mal » qui doit donc être adoptée. Dès 1950, M. Boiteux (par la suite dirigeant d'EDF de 1967 à 1987) propose des règles de structuration tarifaires permettant de maximiser le bien-être des consommateurs sous contrainte de rentabilité. On pourra voir à ce sujet Boiteux, (1956), dans lequel il expose un modèle considéré comme fondateur de la théorie de l'optimum de second rang. La règle dite de Ramsey-Boiteux stipule qu'un monopole naturel doit, d'une façon ou d'une autre établir ses tarifs au-delà du coût marginal. Boiteux (1956) propose

⁴⁹ Pour les installations d'une capacité supérieure à 8kW.

⁵⁰ les E.L.D, (Entreprises Locales de Distribution) ont été tolérées, gardant leur rôle de fournisseur d'électricité ou de gestionnaire de réseau de distribution d'électricité qui a conservé sur leur territoire de desserte (généralement municipal), comme par exemple Gaz Electricité de Grenoble (GEG).

d'établir un prix d'autant supérieur au coût marginal que la demande est élastique⁵¹. Cette règle n'est pas applicable en l'état et, appliquée directement, consisterait à faire payer l'électricité d'autant plus cher qu'elle est indispensable, voguant à contresens de tout élan social en augmentant le prix d'un bien de première nécessité. Cependant, le concept d'un prix convenablement supérieur au coût marginal, ainsi que les principes de discriminations sont conservés, et aujourd'hui encore les clients payent un abonnement EDF d'autant différencié selon leur puissance souscrite, le prix par kW souscrit étant globalement inversement proportionnel à la puissance souscrite. Cette règle renforce aussi le principe des tarifications horosaisonnnières ou de pointes critiques, qui propose des prix hauts aux périodes de pointe de demande : c'est-à-dire aux moments où l'électricité coûte le plus cher à produire, mais, en fin de compte, cette solution n'est pas, elle non plus, à elle seule, la solution au problème de la filiale électrique.

En troisième pierre angulaire de la tarification électrique, et dans un vecteur beaucoup moins direct, c'est la solution de la fiscalisation des investissements qui a permis à la France de développer son parc de production électrique depuis les années 1950. Même si le prélèvement par voie fiscale présente divers inconvénients, entre autres les distorsions liées à des considérations politiques sans fondements économiques, ce système garantit le maintien d'une production et d'une distribution électrique de qualité, ainsi que la planification de projets continue. Aujourd'hui, c'est par le biais de taxes que sont le TURPE⁵², la CTA⁵³, et la CSPE⁵⁴ entre autres que sont assurés des principes comme la péréquation tarifaire sans souci de pertes.

Alors que cette structure était en place depuis la fin de la seconde guerre mondiale, dès 1996, avec les directives européennes 96/92/CE du 19 décembre 1996 et 2003/54/CE du 26 juin 2003, l'ère des monopoles naturels verticalement intégrés prend fin. Alors que la couche « réseau » de la filière demeure, pour des raisons d'optimalité à tout point de vue, un monopole, les secteurs de la production de la commercialisation s'ouvrent peu à peu à la concurrence : on assiste à ce que l'on pourrait nommer une « dé-intégration verticale » (*unbundling*), avec pour objectif la maximisation du surplus collectif et de construire un marché de l'énergie à l'échelle européenne.

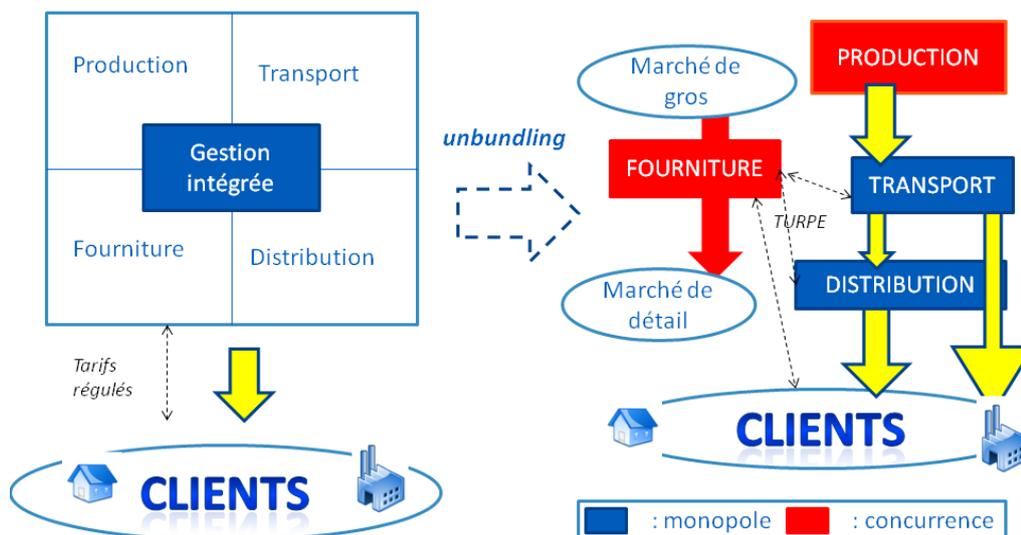
⁵¹ « Les écarts entre prix et coût marginal doivent être proportionnels aux variations de prix qui entraîneraient un même accroissement relatif de la demande de tous les biens produits par l'entreprise », Boiteux (1956)

⁵² Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité, qui vise à compenser les charges d'exploitation, de développement et d'entretien des réseaux électriques et donc à financer RTE et ERDF.

⁵³ Contribution Tarifaire d'Acheminement.

⁵⁴ Contribution au Service Public d'Electricité, taxe permettant de financer, entre autres, la péréquation tarifaire, le tarif de première nécessité et le développement des énergies renouvelables

Désintégration verticale autour d'un réseau en monopole naturel.



Ce schéma présente (de la gauche vers la droite), la structure de la filière électrique avant/après la désintégration verticale.

Ce processus, initié dès 1996 et terminé en 2007 par l'ouverture à la concurrence de la fourniture d'électricité aux particuliers, n'est pas encore rodé. Des lois sont mises en place encore à l'heure actuelle pour en huiler les rouages, c'est le cas par exemple de la loi NOME, entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2011, dans le détail de laquelle nous n'entrerons pas dans cette section (nous l'évoquons en section 1.1).

Parallèlement à ces mutations structurelles, en 2004, EDF perd son statut d'Établissement Public à Caractère Industriel pour devenir une Société Anonyme à Capitaux Publics : ce changement juridique s'accompagne donc d'un passage en bourse, permettant à chacun de devenir, s'il le souhaite, investisseur de l'entreprise. L'État possède plus de 84% des parts d'EDF SA et reste donc l'investisseur le plus largement majoritaire. Un contrat de service public (CSP), signé avec l'État, continue de garantir aux clients, entre autres, un accès fiable au réseau électrique et le maintien de tarifs régulés ou réglementés.

Actuellement, la filiale commercialisatrice d'EDF SA propose donc à ses clients résidentiels à la fois un tarif réglementé dans le cadre du CSP, nommée *Bleu Ciel*, et une offre dite « à prix de marché », nommée *Mon Contrat Électricité*, semblable à ce que les concurrents d'EDF sont en mesure de proposer (GDF Suez, Poweo, ...). Dans le cadre de cette thèse CIFRE, j'ai travaillé uniquement dans le cadre de l'étude de l'évolution des tarifs réglementés et non des offres à prix de marché proposés par EDF SA. C'est donc l'offre *Bleu Ciel* qui nous intéresse présentement, puisque

c'est celle en vigueur aujourd'hui, et celle qui est encore aujourd'hui plébiscitée par 94,5% des clients résidentiels⁵⁵. Cette offre est composée d'un panel de 4 tarifs, dont l'un n'est plus proposé aux nouveaux clients, et d'un tarif dit de « première nécessité » (TPN) destiné aux foyers les plus démunis. Ces tarifs construits par la Commission de Régulation de l'Énergie (la CRE, instance de régulation française) et approuvés par le ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie⁵⁶ sont aujourd'hui encore basés sur les principes énoncés ci-dessus : la péréquation tarifaire, l'optimum de second rang sont encore de mise, même s'ils transparaissent de plus en plus difficilement au travers de la structure tarifaire actuelle dans toutes ses déclinaisons, telle que nous l'abordons dans la section suivante.

1.2.3 Tarifs régulés d'aujourd'hui.

La facture du client résidentiel français aujourd'hui dépend de divers facteurs :

- Tout d'abord le fournisseur d'électricité auprès duquel il a souscrit une offre. Ce peut être EDF Bleu Ciel (offre EDF régulée), EDF Mon Contrat Electricité (offre EDF à prix de marché), GDF Suez, Poweo, Direct Energie...
- L'offre à laquelle il souscrit chez ce fournisseur. Dans le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire EDF Bleu Ciel, 4 options existent, dont 3 sont encore commercialisées à l'heure actuelle. Ces offres peuvent varier selon la structure de la tarification du kWh, ou encore, d'une manière plus innovante, selon l'origine de l'électricité commercialisée⁵⁷.
- La puissance souscrite de l'abonné. En théorie, la puissance électrique nécessaire correspond à la somme des puissances de tous les appareils électriques dont on dispose : c'est le « débit » maximum d'électricité que l'abonné peut appeler à un instant t , au-delà duquel il risque de faire disjoncter son installation. Mais dans les faits, elle est bien inférieure, puisque tous appareils ne fonctionnent pas en même temps. Le tarif d'abonnement est d'autant plus grand que la puissance souscrite est élevée. Pour les clients résidentiels, la puissance électrique souscrite est comprise entre 3kVA et 36kVA, la grande majorité des clients souscrivant à des offres comprises entre 6 et 12kVA. Nous verrons dans la section suivante un exemple d'échelle de tarifs d'abonnements annuels pour des clients de 3 à 36 kVA.
- Enfin, la facture électrique dépend évidemment du volume d'électricité consommé par le client sur la période de facturation. Le montant payé n'est proportionnel au nombre de kWh consommé qu'en cas de facturation à tarif

⁵⁵ Chiffres du 2eme et 3eme trimestre 2011, d'après baromètre CRE.

⁵⁶ http://www.cre.fr/presentation/missions#section2_2 : « Les tarifs réglementés de vente d'électricité, jusqu'au 7 décembre 2015, sont arrêtés par les ministres chargés de l'énergie et de l'économie, après avis de la CRE »

⁵⁷ GDF Suez Dolce Vita propose depuis 2004 la fourniture d'électricité issue d'une production hydraulique renouvelable, certifiée par l'organisme indépendant européen TÜV-SUD.

unique. Dans d'autre cas, le tarif unitaire du kWh dépend de l'heure de consommation ou du nombre total de kWh consommés (dans le cas de tarifs dits progressifs).

Comme il l'a été dit précédemment, nous nous intéressons dans cette thèse aux tarifs régulés, et plus particulièrement à la part variable de la tarification électrique (et donc hors abonnement), dont nous détaillerons les différentes déclinaisons commerciales dans la section suivante. Avant de poursuivre, il convient de mentionner l'existence d'une tarification régulée particulière : la Tarification de Première Nécessité. Destinée aux familles dans le besoin⁵⁸, cette offre consiste en un rabais de 40 à 60% (selon la composition du foyer) de l'abonnement et de la tarification des 100 premiers kWh mensuels. Ce tarif constitue à ce jour le seul élément de tarification progressive compris dans la structure tarifaire française pour les clients résidentiels.

1.2.3.1 *Les différents types de tarifs régulés dont dispose la clientèle résidentielle (segment bleu EDF).*

Actuellement en France, trois tarifs réglementés de l'électricité sont proposés au public : le tarif Base, l'offre Heures Creuses (HC/HP), et l'offre Tempo. Dans cette section, nous observerons leur construction et leurs effets sur la consommation de la clientèle associée, afin de dresser un portrait de l'offre majeure française actuelle et de la clientèle associée, ainsi que du potentiel d'effacement que l'on perçoit au travers des outils incitatifs déjà en place à l'heure actuelle. L'offre Effacement des Jours de Pointe (EJP) sera également présentée. Bien qu'elle ne soit plus proposée au public, cette offre est encore en vigueur chez les anciens clients y ayant souscrit et n'ayant pas souhaité changer depuis. EJP constitue un très bon cas de retour sur expérience de tarification incitative en France, même si l'offre ne présente pas une construction intéressante pour le fournisseur (d'où son extinction) et le segment de population concerné et potentiellement intéressé est relativement restreint.

- L'offre Base.

L'offre Base est la plus classique pour EDF : elle consiste en un tarif simple et unique pour tous les consommateurs, quelle que soit l'heure et le jour de consommation, sans aucune incitation tarifaire. Cette offre est destinée aux petits et moyens consommateurs et n'est plus proposée⁵⁹ (en extinction depuis le 12 août 2010) pour les clients résidentiels souscrivant à une puissance de 18 à 36kVA, afin de les orienter vers des offres comme HC/HP et Tempo permettant d'inciter à l'effacement. Le tarif établi depuis le 23 juillet 2012 est le suivant :

- Pour une puissance souscrite de 3kVA, le kWh est facturé 0,1218€
- Pour une puissance souscrite de 6kVA, le kWh est facturé 0,1225€

⁵⁸ Le TPN est un droit sous conditions de ressources (plafond de quotient social) auquel, fin 2010, 2,5 millions de foyers français pouvaient prétendre, bien que seuls 600 000 y aient souscrit, faute d'informations sur le sujet. Une proposition de loi présentée fin septembre 2012 prévoit d'étendre l'accès au TPN à tous les allocataires de minimas sociaux, soit 4 millions de bénéficiaires potentiels.

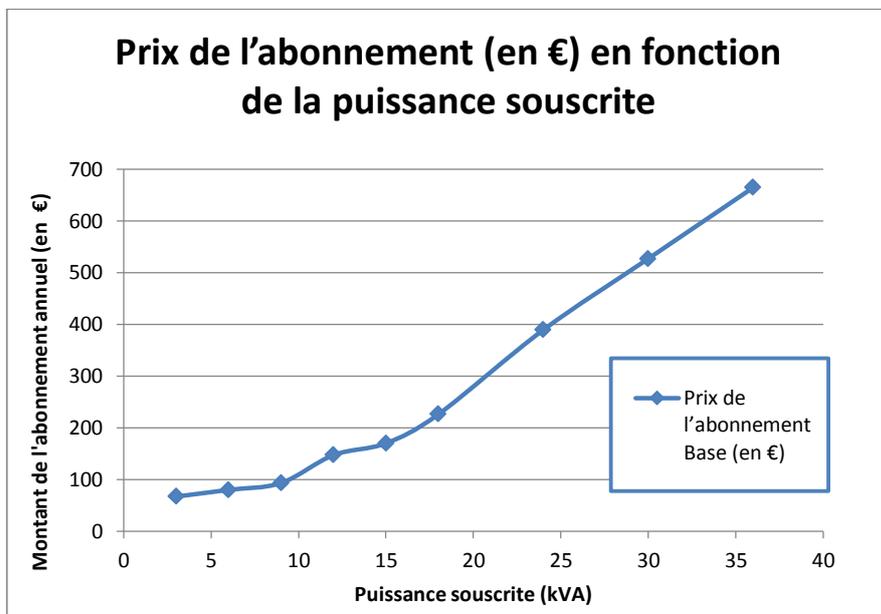
⁵⁹ Les clients de 18 à 36kVA ayant souscrit avant l'extinction continuent à bénéficier de cette offre.

- Pour une puissance souscrite de plus de 6kVA, le kWh est facturé 0,1249€

L'abonnement à l'offre tarifaire « Base » dépend de la puissance souscrite et est ainsi décliné :

Puissance souscrite (kVA)	Prix de l'abonnement (en €)
3	66,96
6	79,91
9	93,24
12	147,20
15	169,96
18	226,01
24	389,21
30	526,83
36	664,32

On remarque que le montant de l'abonnement n'est pas proportionnel ni linéaire par rapport à la puissance souscrite :

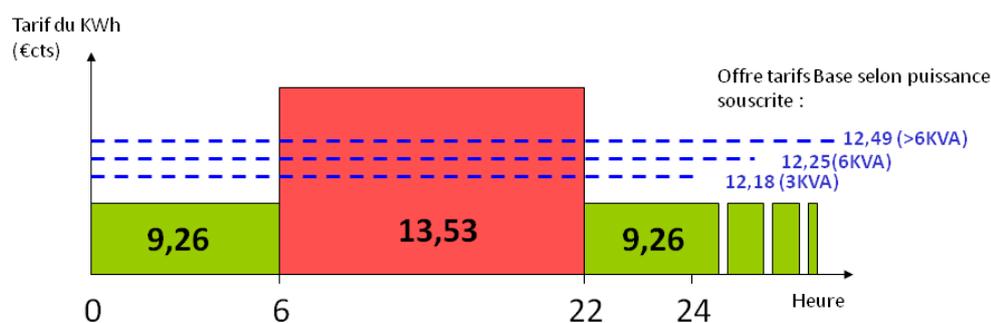


La croissance du prix de l'abonnement en fonction de la puissance souscrite est plus forte au-delà de 15 kVA, seuil au-dessus duquel le client commence à être considéré comme un gros consommateur d'électricité.

Nous ne présenterons pas individuellement les prix des abonnements pour chacune des offres tarifaires, un graphique comparatif sera cependant établi en fin de section.

- L'offre Heures Creuses/Heures Pleines (HC/HP).

La tarification Heures Creuses/Heures Pleines (HC/HP) a été proposée dès 1965 par EDF afin de lisser la courbe de charge journalière, et est toujours en vigueur. Cette offre horosaisonnaire (dite Time Of Use, ou TOU) découpe la journée en 2 tranches horaires de 8h et 16h déterminées localement.



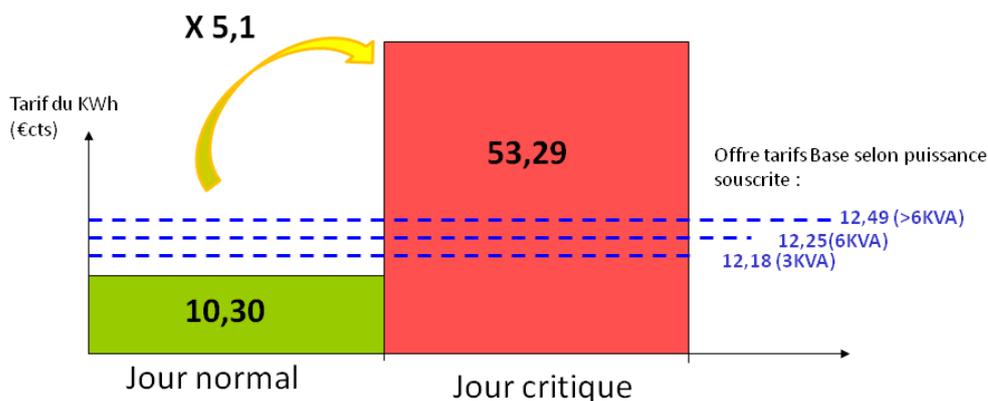
Exemple d'une journée HP/HC avec HC de 22h à 6h (9,9% des clients HP/HC), tarifs en vigueur au 23 juillet 2012.

Disponible pour une puissance souscrite à partir de 6kVA, cette offre est très populaire parmi la population française (39% de la clientèle résidentielle, soit 10 millions de clients, qui représentent 60% en volume consommé). Elle est donc totalement rentrée dans les habitudes d'une grande partie du secteur résidentiel, particulièrement attractive pour les clients n'étant pas de petits consommateurs.

- La tarification Effacements Jours de Pointe (EJP).

Ensuite, la tarification de CPP, Effacement Jours de Pointe (EJP) a été lancée en 1982 (puis retirée de l'offre résidentielle en 1994, mais toujours maintenue pour les anciens adhérents). Il s'agit de créer des possibilités d'effacement de la consommation par effet de signaux-prix afin de répondre à des aléas climatiques (vagues de froid) ou à des situations de congestion (la détermination des

jours critiques se fait selon 4 zones différenciées depuis 2006). Sous la tarification EJP, 22 jours par an sont déclarés critiques entre le 1^{er} novembre et le 31 mars, avec un tarif de pointe critique appliqué de 7h à 1h du matin (18h consécutives). La notification a lieu au plus tard le jour-même à 5h du matin, et peut être réalisée par SMS. Le tarif est le suivant (au 23 août 2012) :

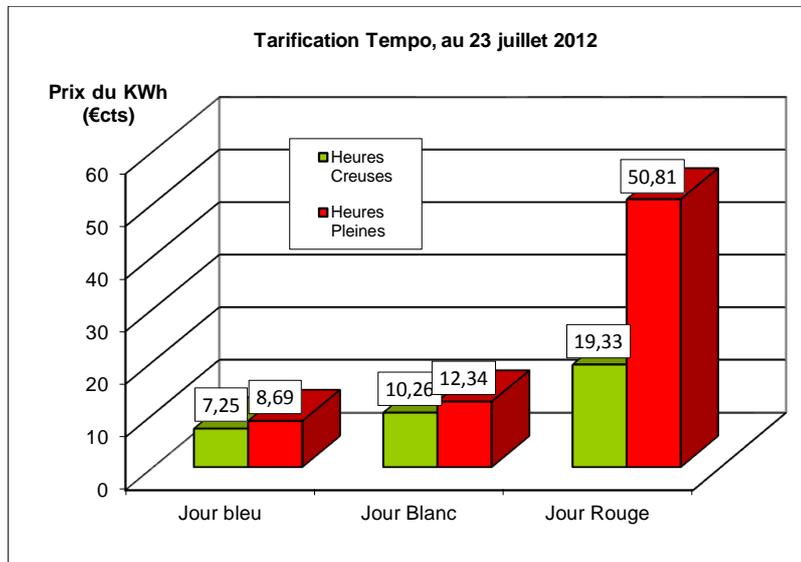


On constate un facteur 5 entre le tarif de base et le tarif critique.

- La tarification Tempo.

Enfin, la tarification Tempo, offre de tarification de pointe critique (*Critical peak pricing* ou CPP) au design différent, a été proposée aux particuliers dès 1996. L'offre Tempo combine, dans l'optique de lisser la courbe de charge et de faire face aux variations de consommation dues aux aléas climatiques, une tarification TOU (basée sur HC/HP, avec 8 heures d'heures creuses journalières de 22h à 6h du matin⁶⁰), avec un design CPP à 3 niveaux : lors des jours critiques, le tarif du kWh en heure de pointe et en heure creuses augmente. Les jours bleus sont les jours hors pointe critique, au nombre de 300 par an (de septembre à septembre). Les jours blancs sont les jours de pointe au nombre de 43 par an, hors des dimanches, et les jours rouges de pointe critique sont au nombre de 22, répartis du lundi au vendredi entre le 1^{er} novembre et le 31 mars (au plus 5 jours rouges consécutifs).

⁶⁰ Les zones d'heures creuses de Tempo et EJP n'ont pas été démultipliées comme ça a été le cas pour HC/HP, en raison de la faible proportion de la population ayant souscrit à ces offres. L'effet de rebond induit par les reports de consommation se trouve donc suffisamment « dilué », l'effet n'étant probablement pas ressenti au niveau de la courbe de puissance globale appelée.



Tarifs de l'option Tempo pour les particuliers, au 23 juillet 2012

Les clients sont notifiés de la couleur de la journée du lendemain grâce à un indicateur disponible en ligne dès 17h, par e-mail, ou SMS (les veilles de jours rouges), mais aussi par un signal tarifaire sur le compteur électronique et le boîtier installés à domicile. Le fournisseur d'électricité propose un gestionnaire d'énergie facultatif (thermostat à programmation temporelle ou tarifaire) en complément à cette offre.



L'Indicateur Tempo, disponible sur le site internet d'EDF, permet aux clients de connaître la couleur de la journée du lendemain en fin d'après-midi (environ 17h). Un système d'alertes par e-mail ou SMS est également disponible.

Choisissez la période à consulter 2011/2012 ▼

Année 11/12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
septembre			S	D						S	D					S	D					S	D								
octobre	S	D						S	D					S	D					S	D						S	D			
novembre				S	D					S	D					S	D			S	D					S	D				
décembre			S	D					S	D					S	D					S	D									
janvier	D					S	D						S	D					S	D							S	D			
février			S	D						S	D					S	D				S	D					S	D			
mars		S	D						S	D					S	D				S	D					S	D				
avril	D				S	D							S	D					S	D					S	D					
mai				S	D					S	D								S	D					S	D					
juin		S	D					S	D						S	D				S	D				S	D					
juillet	D				S	D							S	D					S	D					S	D					
août			S	D						S	D							S	D					S	D						

■ Jour rouge ■ Jour bleu □ Jour blanc

Le calendrier des jours bleus, blancs, rouges de l'année Tempo 2011-2012 (source : site internet <http://particuliers.edf.com>)

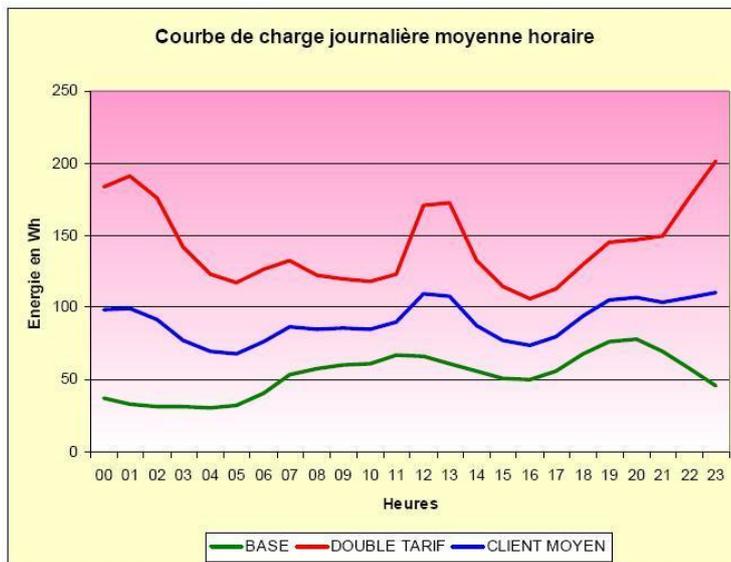
a) Réactivité de la population française aux tarifs incitatifs régulés.

La France est un précurseur de la tarification dynamique de l'électricité pour le consommateur résidentiel, avec à son actif l'expérience de trois offres commerciales réglementées, historiquement pionnières dans les domaines du TOU et CPP. Une brève étude des résultats obtenus par ces programmes nous apporte des éléments de réponse quant au comportement des français face aux leviers tarifaires.

- L'offre Heures Creuses/Heures Pleines (HC/HP).

La population française a bien intégré ses principes dès sa mise en place. Au départ, tous les clients disposaient des mêmes heures creuses, mais leurs efforts de report de consommation pour en profiter furent tels que le rebond de charge induit aux alentours de 24h dépassait la pointe journalière dans les années 1980 (Source EDF R&D (2007)) : d'autres plages d'heures creuses furent créées (notamment en heures méridiennes, qui concernent aujourd'hui 37% de la clientèle HC/HP).

L'adhésion des participants est telle qu'on estime qu'une suppression de cette tarification entraînerait une hausse des pointes matinales (9h) et du soir (19h) perturbant fortement l'équilibre du système électrique. La satisfaction est globalement très bonne, principalement chez les clients disposant d'un chauffage électrique. Le graphique ci-dessous présente l'impact du tarif HC/HP (double tarif) sur la courbe de charge journalière :

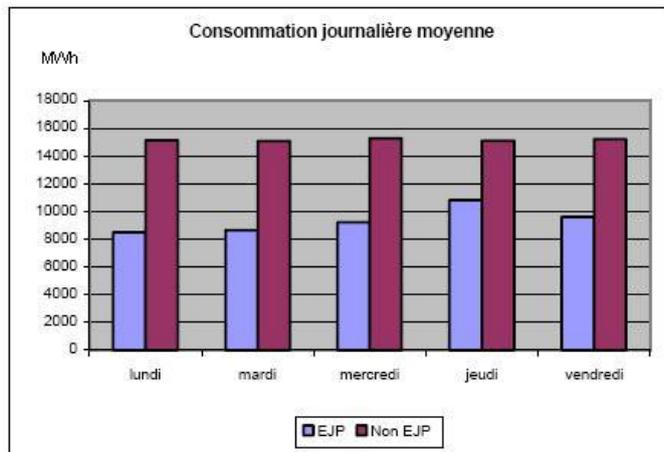


(source : données issues du Panel Résidentiel, 2002, (Source EDF R&D (2009b))

On constate (en dehors de toute considération de volume due au niveau de consommation moyen de la population sous tarif HC/HP plus élevé que la moyenne) un effet de report très efficace sur les périodes de nuit et méridiennes, conséquences direct du passage en heure creuses et de la mise en route des appareils sous thermostat à programmation temporelle. En effet, alors que la consommation électrique des clients en tarification « base » est à son maximum en début de soirée (période typique de pointe) aux alentours de 19 heures, les périodes de forte consommation des abonnés au tarif HC/HP (« double tarif » sur le graphique) sont reportées durant la nuit, ou en plage horaire méridienne. Le tarif HC/HP est particulièrement adapté aux chauffe-eau électriques programmables, avec lesquels il a été pensé et créé : ce sont probablement la mise en route nocturne des appareils de chauffage (radiateurs et chauffe-eau) qui amène à ce type de courbe de charge.

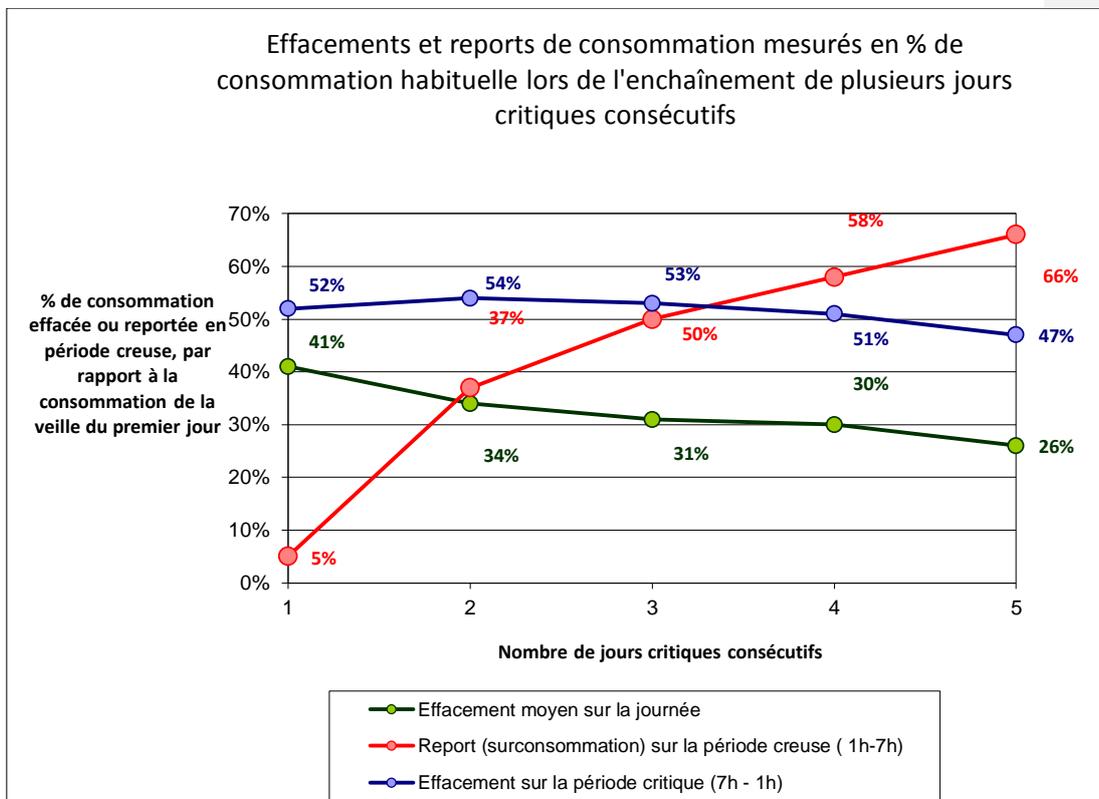
- La tarification Effacements Jours de Pointe (EJP).

La proportion de la clientèle de particuliers sous le tarif EJP s'élève à 2,1%, et représente 3,4% de la charge résidentielle. Cette option a attiré principalement les habitants de maisons individuelles avec un grand nombre de pièces. Face aux signaux-prix, plusieurs types de réponses ont été observées chez les clients résidentiels : l'effacement, le report de consommation temporel et le report de consommation vers des usages substitutifs.



Charge moyenne de la clientèle EJP selon les jours. (Sources : données issues du Panel Résidentiel 2002, EDF R&D, (Source EDF R&D (2009b))

On constate l'efficacité du signal-prix pour induire une réponse du consommateur : l'effacement moyen sur une journée critique est d'environ 48%. L'étude du comportement des clients sous EJP nous apporte également des informations quant à la persistance de ces effacements lorsque les jours critiques s'enchaînent.



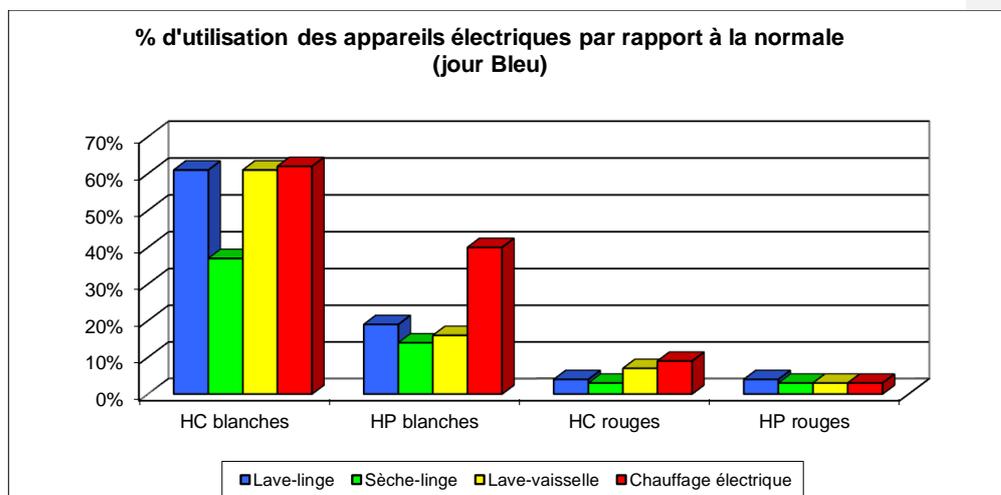
Source : Synthèse sur les impacts des signaux tarifaires sur la courbe de charge, (Source EDF R&D (2009a)). Mise en forme personnelle.

On constate que l'effet du tarif d'heures critiques en termes d'effacement en période de pointe ne s'éémousse pas au fil des jours critiques consécutifs. L'effacement global mesuré sur les journées complètes perd 36% d'intensité entre le 1^{er} et le 5^{ème} jour critique consécutif. On attribue ce résultat au report de consommation vers les heures hors heures de pointe critique de plus en plus important (surconsommation de 66% sur la plage horaire 1h-7h le 5^{ème} jour critique consécutif par rapport à la veille du 1^{er} jour). Les usages sur lesquels sont consenties les réductions de consommations ne peuvent pas être reportés indéfiniment, mais l'effet dissuasif du prix très élevé de la tranche horaire 7h-1h demeure efficace.

- La tarification Tempo.

La tarification Tempo concerne actuellement 1,1% de la clientèle de particuliers, pour environ 3,4% de la consommation résidentielle française. Les clients attirés par cette offre sont majoritairement des familles, vivant dans une maison électriquement bien équipée et avec une consommation élevée (comment en témoigne leur taux d'implication dans la demande totale)

La réaction de la clientèle aux signaux-prix est forte. On a observé d'importants reports des usages d'équipements gourmands en électricité, notamment des jours rouges vers les jours bleus :



Source : Synthèse sur les impacts des signaux tarifaires sur la courbe de charge. (Données issues des mesures 1996). Mise en forme personnelle.

Le gros effort de réduction consenti sur le chauffage lors des jours rouges est à relativiser, car cette réponse provient des clients disposant d'un moyen de substitution non électrique. De telles compensations peuvent s'avérer contre-productives dans les objectifs de réduction des gaz à effets de serre, dans le cas de substitution par des énergies fossiles (pétrole, gaz, fuel) plutôt que renouvelables ou de biomasse.

Ces résultats nous enseignent également quels sont les appareils dont l'usage est le plus facilement reporté ou évité : il s'agit des sèche-linge, l'étendage classique constituant un système de substitution gratuit et peu contraignant.

Les réductions moyennes observées sont de 60% les jours rouges et 47% les jours blancs par rapport aux jours bleus. Des paramètres comme des températures très froides, la non-possession d'un système de chauffage d'appoint ou encore l'enchaînement de plus de 2 jours rouges consécutifs amoindrissent la réduction de consommation. Les mesures d'élasticité prix et d'élasticité de substitution permettent de réaliser certaines observations révélatrices du potentiel de *demand response* en termes de réduction ou report de consommation :

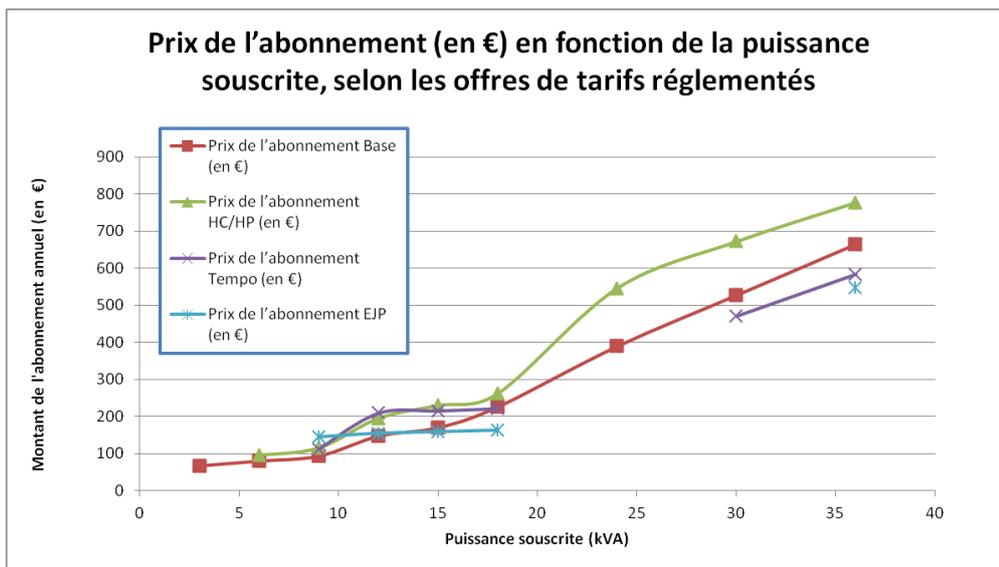
- L'usage dont la consommation est la plus élastique aux prix est le chauffage électrique.
- Pour une même couleur de jour, une diminution de la demande en HP est compensée par une augmentation de la demande en HC. La consommation électrique dédiée au chauffage de l'eau est inélastique aux prix (ce qui confirme les observations issues des pilotes précédents).
- On observe peu d'effet de substitution d'un jour blanc ou rouge vers un jour moins onéreux.

Une étude réalisée lors de l'étape de lancement commercial de Tempo montra que la réduction moyenne de facture des clients lorsqu'ils passent à l'offre Tempo est d'environ 10%. Cette

tarification est jugée procurer un effet d'aubaine pour certains clients. Si la proportion du secteur résidentiel bénéficiant des tarifs Tempo venait à augmenter fortement, un réajustement des tarifs serait nécessaire, surtout si l'intensité de la concurrence en matière de fourniture électrique venait à s'accroître également.⁶¹ La problématique serait alors de parvenir à conserver une offre attractive et suffisamment incitative, une grande majorité (88%) des clients de Tempo révélant avoir souscrit pour des raisons d'avantages financiers (Source EDF R&D (2006)).

Le lancement de Tempo apporte d'autres informations utiles au développement de futurs pilotes. Ainsi, il a été constaté (comme nous l'avons vu précédemment dans un cadre international) que plusieurs mois sont nécessaires à l'appropriation du système (typiquement : un hiver). De plus, l'éducation des participants, si elle a une grande importance dans l'apprentissage des pratiques à privilégier, ne parvient pas à « convertir » l'ensemble des participants au programme. Il semble que l'adhésion au concept relève davantage d'un ensemble de valeurs communes à certains individus, les prédisposant à changer leurs habitudes et à consentir à un niveau de vigilance élevé face aux signaux-prix (d'après Source EDF R&D (2006)). Enfin, des informations claires permettant la compréhension des enjeux des programmes de tarifications dynamiques (bénéfiques pour le client, pour la société, pour l'environnement, pour l'ensemble du système électrique français) paraissent indispensables pour éviter toute méfiance des consommateurs, laquelle s'avèrerait néfaste sur leur propension à participer activement.

Les tarifs des abonnements diffèrent d'une offre à l'autre, dans de faibles proportions pour les basses puissances souscrites (entre 6 et 18 kVA), et de manière plus importante au-delà. L'abonnement à l'offre HC/HP est le plus cher, car il permet de réaliser des économies substantielles de manière relativement peu complexe.

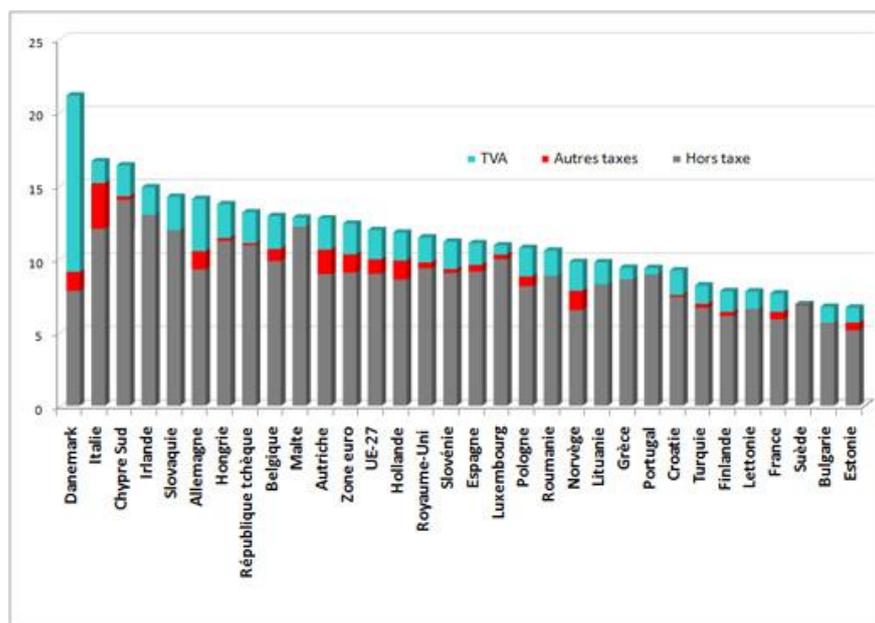


⁶¹ Source : rapport EFFLOCOM, projet Européen de 2004.

Au vu des tarifs existants et de leur impact sur la consommation des clients, l'étude des expériences françaises en matière de tarification dynamique montre le fort engagement de certains segments de la population dans les processus d'effacements et de reports de consommation lors des jours de pointe critique. Nous en retirons des éléments de réponses quant à la disposition des ménages à réagir aux signaux-prix, ainsi que les caractéristiques des foyers favorisant la *demand response*. Le contexte culturel forgé par ces offres disponibles depuis plusieurs décennies semble très favorable à la mise en place de nouvelles solutions incitatives. La tarification TOU notamment, très facile à appréhender, est fortement répandue et connue de la clientèle. Pour terminer, ces trois offres présentent, selon les enquêtes effectuées, de forts taux de satisfaction.

b) Une structure intrinsèquement complexe.

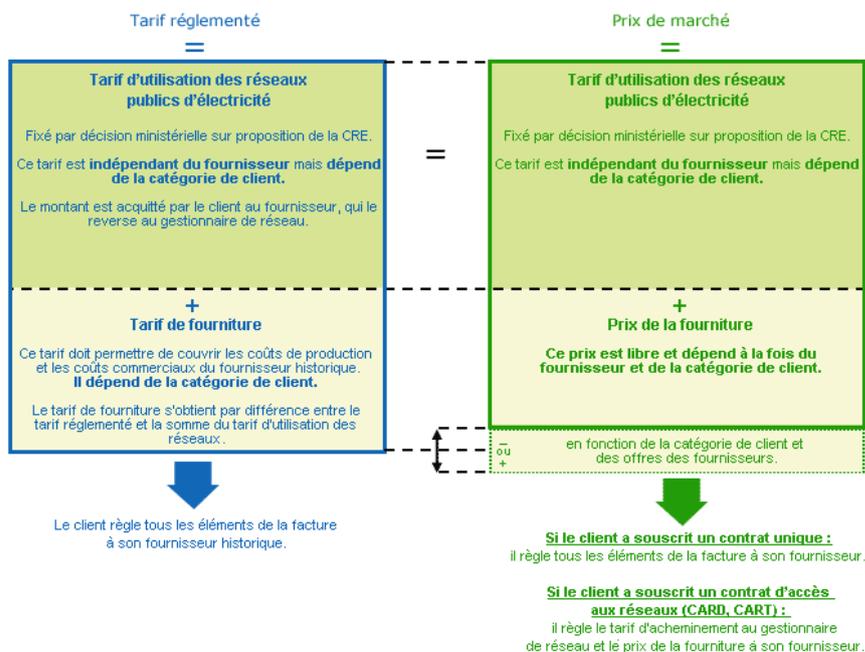
Les tarifs réglementés d'électricité en France sont, à l'heure actuelle, plus bas que la moyenne de la fourchette des prix à l'échelle européenne (voir graphique), bien que rehaussés régulièrement (à ce jour, la dernière augmentation du tarif réglementé date du 15 août 2009). Augmenter ou modifier ces structures tarifaires est sujet délicat, la population française étant historiquement habituée à ce niveau de prix de référence bas.



Source : EUROSTAT, Prix moyen de l'électricité en Europe (Eurocent/KWh), pour les consommateurs dont la consommation annuelle s'élève à 500 MWh 2000 MWh, 1er semestre 2008

La structure des tarifs d'électricité HT pour les clients finals en France est (de manière simplifiée) la suivante (source : CRE)

Prix de détail hors taxes appliqués aux clients finals



La portion du tarif concernant l'acheminement de l'électricité (TURPE⁶²) a été révisée au 1^{er} août 2009 avec pour effet (entre autres) « d'accentuer le degré de modulation temporelle en augmentant le ratio entre la part variable en heures pleines et celle en heures creuses ainsi qu'entre l'hiver et l'été » dans le but d'accompagner « l'augmentation constatée ces dernières années de la différenciation horaire et saisonnière des prix de marché »⁶³. Le TURPE actuel se veut de plus conçu pour « concilier au mieux les objectifs de reflet des coûts et de limitation de la consommation en période de pointe ». Le second objectif de la modification des tarifs d'acheminement est donc d'« inciter un plus grand nombre d'utilisateurs à choisir un tarif à différenciation temporelle, ce qui favorisera la consommation en dehors des périodes où la consommation est la plus importante ».

Ces évolutions récentes des structures tarifaires confirment la tendance des politiques publiques à favoriser les tarifications incitant à la maîtrise de la consommation globale et de pointe. Le cadre législatif et réglementaire, qu'il soit Européen ou Français, est donc prêt à mettre en place des moyens tarifaires ou non tarifaires d'activation de la *demand response*. Les lourdeurs du marché régulé risquent cependant de constituer un frein au déploiement des politiques tarifaires novatrices

⁶² TURPE : Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité. Le TURPE actuel, dit « TURPE 3 », a été mis en place le 1^{er} août 2009 et a une portée quadri-annuelle.

⁶³ Source : Proposition de la Commission de régulation de l'énergie du 26 février 2009 relative aux tarifs d'utilisation des réseaux publics de transport et de distribution d'électricité, publication de la CRE.

à grande échelle sur le marché régulé de l'électricité. L'innovation passera donc peut-être, en France, par des offres proposées par des fournisseurs dit « alternatifs » (autres que les opérateurs historiques), mais aussi par des outils de *demand response* ne nécessitant, dans un premier temps, pas de modification de la structure tarifaire. A titre d'exemple, la CRE soutient une expérimentation réalisée en France par ERDF dès 2010, concernant le déploiement d'un nouveau système de comptage évolué (*smart meters*)⁶⁴, en insistant fortement sur la composante d'amélioration du feedback pour les participants et de l'évaluation de son impact sur leur niveau de consommation.

1.2.3.2 *Vers la dérégulation : une population peu enjouée par les offres « risquées » et soucieuse du coût de l'énergie électrique.*

La libéralisation du marché de l'électricité pour le secteur résidentiel a été initiée en 1999, mettant fin à la situation de monopole en place depuis plus de 60 ans. Depuis le 1^{er} juillet 2007, les particuliers sont libres du choix de leur fournisseur d'électricité. Cependant, au 31 décembre 2009, seuls 6% des sites raccordés sont passés d'un tarif réglementé à une offre de marché (dont 83% ont quitté l'opérateur historique EDF). Les chiffres concernant le secteur résidentiel sont encore plus faibles, puisque ce sont près de 5% des foyers qui ont quitté l'opérateur historique pour l'un de ses 8 concurrents proposant une offre destinée aux particuliers⁶⁵.

Une enquête réalisée en septembre 2009 auprès de la population française⁶⁶ révèle que seuls 18% des personnes ayant changé de fournisseur pensent ainsi améliorer la qualité du service d'électricité dans leur foyer. Un autre sondage, réalisé en mars 2010⁶⁷, nous apprend que la proportion de français ayant changé de fournisseur ou désirant le faire n'a pas évolué. Pour la majorité de des personnes interrogées, l'une des principales motivations à changer de fournisseur d'électricité serait de réduire la facture électrique (49% des sondés, chiffre en hausse depuis 2008, +4 points), la seconde étant le souci d'intégration des énergies renouvelables au mix de fourniture (23% des sondés, soit 5 points de moins qu'en 2008).

⁶⁴ ERDF : Electricité Réseau Distribution de France. L'expérimentation, demandée par la CRE en 2007 pour se conformer aux directives Européennes qui préconisent l'installation de *smarts meters* (2006/32/CE), concerne l'installation de 300000 compteurs dans deux régions française, et permettra de calibrer, d'optimiser le processus de *rollout* national prévu d'ici à 2017.

⁶⁵ Source : L'observatoire des marchés de l'électricité de la CRE, 4^{ème} trimestre 2009.

⁶⁶ Sondage Ifop pour la CRE : voir *Le regard des Français sur la consommation électrique et les compteurs électriques évolués : Les principaux enseignements*, Septembre 2009.

⁶⁷ Sondage Ifop pour la FNCCR, voir *Les Français, les Maires et les dirigeants de PME/PMI et le nouveau paysage énergétique*, Mars 2010.



Mars 2010. Réponse des sondés résidentiels à la question : « Quelle serait la raison principale qui vous inciterait à changer de fournisseur ? » (Sondage Ifop pour le FNCCR). Ces réponses peuvent être lues comme des signaux récents concernant les motivations des français vis à vis de leur comportement énergétique.

Quels enseignements extraire de ces chiffres ? Tout d'abord on peut retenir la confiance accordée par la population française en l'offre réglementée et l'opérateur historique. Cela constitue un gage de sécurité face aux variations de prix et de qualité de fourniture d'électricité et de service. Ensuite, l'étude des raisons citées comme incitations potentielles à changer de fournisseur d'électricité nous confirme quels sont les facteurs ayant un impact sur les arbitrages des clients en termes de décisions concernant leur consommation d'électricité. Ainsi, les incitations financières sont prépondérantes. Il s'agit clairement de la source de motivation à aiguillonner, d'autant plus que son poids augmente dans la prise de décision, probablement en raison de la conjoncture économique de ces dernières années. Si aujourd'hui certaines offres à prix de marché proposent un tarif au kWh inférieur au tarif régulé⁶⁸, l'avenir de ces tarifs n'est pas assuré : qu'en sera-t-il dans 2, 3, 5 ans ? Même si aujourd'hui le changement de fournisseur d'électricité peut être réalisé à tout moment et qu'aucun choix n'est définitif, la prise de risque en matière de choix de contrat d'électricité ne semble pas être de mise du côté des consommateurs résidentiels. Cette remarque constituera un point clef de l'étude réalisée en partie 2 de cette thèse. Enfin, l'intérêt pour l'aspect écologique de l'achat d'électricité demeure présent même s'il n'est pas le facteur d'impact majoritaire, et son potentiel motivationnel paraît être en perte de vitesse. L'avenir des offres telles que Alpeenergie proposée par GDF Suez nous montrera si ce type d'argument constitue un moyen de capter la clientèle. Mobiliser l'intérêt des consommateurs pour un développement durable et bénéfique à

⁶⁸ Exemple datant de septembre 2012 : le fournisseur Direct Energie propose une offre de tarif dont le prix d'abonnement et le même que le tarif régulé, et pour laquelle le kWh est vendu 0,1166€ au lieu de 0,1218€ pour le tarif régulé et un abonnement de 3kVA.

l'environnement peut tout de même constituer une piste secondaire en termes de construction d'un processus incitatif de *demand response*.

Ces offres (hormis l'offre Base) ont pour but, comme nous l'avons dit, de moduler la demande durant les périodes de forte consommation. Dans le secteur de l'électricité, EDF a été parmi les précurseurs en proposant l'offre HC/HP en 1962. La pratique, plus générale, qui consiste à modifier le prix des produits en vente pour s'adapter à la demande mais également moduler cette demande, est connue sous le nom déjà évoqué de tarification dynamique, et est appliquée dans de nombreux autres domaines depuis des années.

1.3 Les conditions et difficultés de mise en œuvre pratique de la tarification incitative. Comment inciter les clients à réduire leur consommation d'électricité, un produit aux usages multiples, cachés, inconscients et permanents ?

La tarification dynamique est une méthode de stratégie de tarification, consistant à moduler dans le temps le prix de vente d'un produit principalement en fonction des variations de la demande. Alors que pour certains produits (nuitées d'hôtel, vols en avion...) ce mode de tarification permet aux compagnies de maximiser leur profit en vendant un maximum de produits à différents prix, la situation et les enjeux autour de la vente d'électricité sont quelque peu différents. Quels sont les cas de figures connus de la tarification dynamique ? En quoi le cas de l'électricité est-il différent ? Comment calibrer la stratégie de vente d'électricité ? Ces questions, qui sont à la base du questionnement ayant induit cette thèse, seront successivement abordées dans cette section.

1.3.1 La tarification comme mécanisme incitatif : principes et cas d'application de la tarification dynamique.

Le prix de vente d'un produit est le facteur principal sur l'équilibre partiel d'un marché. Il est donc tout à fait logique pour un commercialisateur d'envisager de jouer sur le niveau de prix, soit pour atteindre cet équilibre et maximiser le surplus réalisable, soit pour agir directement sur le niveau de demande. C'est le principe de la tarification dynamique au sens large, qui consiste en une forme de discrimination des prix, selon le segment de consommateurs mais surtout temporelle.

La tarification dynamique intervient préférablement dans les secteurs rassemblant des caractéristiques précises :

- capacité maximale de production fixées à l'avance et ne pouvant être augmentée qu'à coût marginal très élevé.

- demande variable, liée à des facteurs temporels, évènements ponctuels, saisonniers...
- vente de biens dont la durée de vie est limitée dans le temps (c'est-à-dire des biens périssables, ponctuels ou non stockables).
- Coûts fixes élevés.

Lorsque ces conditions sont rassemblées, toute stratégie de prix fixes devient sous optimale : si la demande est faible, alors les stocks ne sont pas écoulés, ce qui peut s'avérer catastrophique en cas de coûts fixes élevés ; si la demande est forte, l'opportunité de vendre à prix plus élevé aurait pu être saisie. Pour l'ensemble de ces raisons, il est indispensable, pour réaliser un équilibre offre/demande qui maximise le profit de l'entreprise, de faire varier les prix dans le temps.

Lorsque la demande est faible ou que la date de péremption du produit est proche, le vendeur a tout intérêt à baisser le prix de vente et ainsi inciter les acheteurs à l'acquérir. Inversement, la valeur d'échange du bien en période de pénurie correspond à la valeur la plus élevée parmi celles qu'attribuent les consommateurs non servis. La stratégie qui consiste à anticiper la valeur à laquelle partiront, au cours du temps ou à un moment précis, l'ensemble des unités produites, correspond à ce qui est appelé tarification dynamique.

Alors que la tarification dynamique correspond de manière générale à la maximisation du revenu de l'entreprise par détermination stratégique des prix au cours du temps sous les contraintes précédemment citées, son application la plus courante et largement connue est le *yield management*, auquel elle est largement associée au point d'y être souvent confondue, sans réel risque de perte de pertinence par ailleurs. Le *yield management*, aujourd'hui extrêmement utilisé dans le secteur de l'hôtellerie et des transports (principalement avions et trains), consiste à déterminer le couple (taux d'occupation, prix de vente) qui maximise le revenu de la compagnie. La subtilité ne consiste pas seulement à augmenter le taux de remplissage de l'avion, du train ou de l'hôtel, mais également de déterminer au mieux quelle valeur chacun des usagers accorde au service rendu. Ainsi, un businessman en déplacement professionnel accordera davantage de valeur au vol qui lui permettra de rencontrer son client à l'heure voulue à Londres, que l'étudiant voyageant sac au dos et prêt à partir visiter la première capitale lui ouvrant les bras pour peu que le billet soit abordable. L'objectif est donc de déterminer combien de billets (ou de nuitées d'hôtel...) seront réservées pour chaque catégorie de prix, étant donné qu'il est souvent préférable de remplir l'appareil (l'hôtel) à prix réduits plutôt que de supporter les coûts fixes inhérents au fonctionnement de la structure tout en laissant des places vacantes.

C'est dans l'industrie aérienne que les premières tarifications dynamiques ont été conçues et mises en œuvre au début des années 80 (Mc AfeeR. Te Velde V. (2005)), en réponse à la dérégulation des tarifs et à la concurrence croissante des compagnies à bas-prix dites *low-cost*, lesquelles ont d'ailleurs construit leur *business model* sur ce principe. Ainsi, dans ces secteurs que sont l'industrie aérienne et l'hôtellerie⁶⁹, on assiste depuis un peu plus d'une dizaine d'années à une réelle explosion de ce genre de stratégies de tarifications. Les raisons en sont multiples. Tout d'abord, pratiquer des prix variables suppose de trouver un moyen de les faire connaître aux clients. L'avènement des outils de télécommunication et plus précisément d'internet ont permis d'avoir en permanence des prix

⁶⁹ A moindre mesure, le train.

actualisés, modifiables et consultables en permanence et de manière tout à fait automatisée. Ensuite, les compagnies elles – mêmes disposent de plus en plus d'une multitude de données informatisées telles que les historiques d'achats, des statistiques de ventes des sociétés concurrentes, des millions de profils clients, qui leur permettent de construire des modèles extrêmement élaborés décrivant toutes les variables déterminant la demande et ses multiples facteurs, puis de projeter cette demande dans un algorithme d'optimisation des prix, au moyen duquel sont calculées les politiques de tarification à appliquer pour le produit en question.

Les contributions scientifiques associées à la tarification dynamique sont appliquées essentiellement à l'industrie aérienne et à l'hôtellerie. Cette littérature est davantage centrée sur l'optimisation tarifaire du point de vue de la firme et sur sa capacité à discriminer par les prix de manière efficace, plutôt que sur l'analyse des préférences et des comportements des consommateurs en tant que tel vis-à-vis de la tarification dynamique. L'aspect dynamique est du côté de l'offre plus que du côté de demande : du point de vue du consommateur, il s'agit de consommation finie (un vol, une nuit d'hôtel) éventuellement répétée mais en rien dynamique. Dans ce type de modèle, les biens considérés sont périssables : on vend un trajet donné à une date donnée. De plus les consommateurs finaux sont supposés avoir une demande *single-unit* : chaque individu souhaite acheter un seul ticket. Ces caractéristiques ne correspondant pas complètement à celles des marchés électriques, la pertinence de tels modèles face au questionnement d'EDF s'en trouve limitée.

Au sein de cette littérature typée *airline industry*, nous pouvons distinguer trois courants, chacun d'eux tentant d'identifier une dynamique tarifaire optimale compte tenu de capacités de production limitées. Ces courants diffèrent par leur traitement (ou non traitement en l'occurrence) des stratégies de consommation des consommateurs finaux. En effet, il convient de s'intéresser à la réaction envisageable de leur part face à la différenciation tarifaire, ce qui nous intéresse tout particulièrement dans le cas d'une tarification dynamique de l'électricité. Plusieurs options coexistent. Dans un premier temps la réaction du consommateur peut être binaire face à un prix : acheter, ou ne pas acheter. Dans un second temps, dans le cas où l'achat n'est pas réalisé, le consommateur peut se tourner vers une autre alternative d'achat dans le cas où le bien est substituable : le choix d'une autre compagnie aérienne, ou d'un autre hôtel, dans les cas d'école cités précédemment. Enfin, la substitution peut être temporelle, avec ou sans réflexion stratégique de la part du client. La plupart des clients connaissent l'existence d'un mécanisme de tarification dynamique, popularisée par les systèmes de réservation en ligne et des systèmes de voyages « à la dernière minute ». Dans l'optique d'obtenir le meilleur tarif, le client peut soit réserver le produit longtemps à l'avance, soit au contraire attendre le dernier moment avant la date de péremption de l'offre, tout en prenant le risque de se heurter à une indisponibilité du produit au moment de l'achat.

Ainsi une première série de papiers étudie des dynamiques tarifaires optimales (Gallego G. et van Ryzin G. (1994, 1997), Feng Y. et Gallego G. (1995, 2000), Feng Y. et Xiao B. (2000a, 2000b), Bitran G. et Mondschein S. (1997), Zhao W. et Zheng Y.-S. (2000)) en supposant l'absence de comportement de consommation stratégique, c'est-à-dire de substitutions de produit ou temporelle de la part des consommateurs finaux (*Surveys* réalisés par Bitran G. et Caldentey R. (2003) ou McAfee T. et Velde V. (2005)).

Une deuxième série de publications s'intéresse à des questions similaires mais en s'interrogeant cette fois sur les stratégies de choix des acheteurs finaux entre différents produits substitués, c'est-à-dire un comportement de consommation stratégique avec produits substituables : (Talluri K. et van Ryzin G. (2004), van Ryzin G. et Liu Q. (2004), Cooper W. *et al.* (2004), Zhang D. et Cooper W. (2005a et 2005b), Malgaras C. et Meissner J. (2006)).

Enfin, une troisième série d'articles (Aviv Y. et Pazgal A. (2003), Elmagharby W. et al (2004), Zhou Y. *et al.* (2005)) s'interroge sur des programmes de tarification dynamique optimaux en présence de consommateurs finaux ayant des demandes inter temporelles et suivant des stratégies de consommation les incitant à choisir judicieusement leur moment d'achat dans le but de payer moins cher : la substitution est cette fois temporelle.

Il existe donc un large panel d'outils tarifaires permettant d'adapter la demande à la production. Concernant l'électricité, puisque les coûts de production se modifient de façon importante selon le moment de la consommation, l'efficacité serait en principe assurée si les tarifs venaient à refléter ces coûts. Ainsi, la tarification dynamique, telle qu'elle est utilisée de longue date dans les usages professionnels de l'électricité et telle qu'elle s'est récemment développée dans le transport ou dans l'hôtellerie, pourrait représenter une voie pertinente d'amélioration de l'efficacité du marché électrique.

Cependant, l'électricité ne suit pas le mode de commercialisation des produits comme les trajets en avion, train ou encore les nuitées d'hôtels, et les caractéristiques propres aux marchés électriques limitent l'application des modèles détaillés dans la littérature évoquée ci-dessus. Comment, dès lors, utiliser les principes de la tarification dynamique, dans un environnement aux contraintes fortes et irrévocables ?

1.3.2 Des outils incitatifs déployés par les fournisseurs d'électricité.

Les méthodes utilisées dans le but d'agir sur la demande des consommateurs (principalement résidentiels) se basent sur les leviers identifiés de la consommation d'énergie. Les facteurs principaux, les plus souvent répertoriés, impactant la quantité d'énergie demandée sont :

- Le prix de l'électricité.
- Le revenu des consommateurs et données sociodémographiques (taille des familles, typologie d'habitat).
- L'âge et la génération à laquelle appartiennent les consommateurs.
- L'information communiquée à propos des usages d'électricité, au travers des différents médias, l'éducation des consommateurs à ce sujet.
- Le mode de vie des individus et l'équipement des foyers qu'ils occupent, leur conception du confort.
- Les politiques publiques au sujet de l'énergie.

D'autres facteurs peu référencés, comme le mode de commercialisation de l'électricité, sont à considérer. Par exemple, la vente d'électricité sous une forme prépayée impacte le volume d'énergie consommé chez les clients résidentiels⁷⁰.

Les enjeux tout d'abord vont bien au-delà de la maximisation du profit des compagnies. La production électrique n'est pas aussi catégoriquement limitée que le nombre de sièges dans l'appareil d'une compagnie aérienne, et il s'agit davantage de faire coïncider offre et demande. Alors que la tarification dynamique s'applique à trouver les meilleurs tarifs auxquels les clients demeurent susceptibles d'acheter, dans notre domaine d'application l'idée est au contraire de déterminer des tarifs suffisamment dissuasifs pour parvenir à nos objectifs de réduction tout en restant socialement acceptables. L'idée n'est donc pas de vendre à tout prix pour rentabiliser les moyens de productions mais plutôt de contrôler la demande pas les prix.

Un autre obstacle à l'application d'une tarification dynamique est le contexte réglementaire qui encadre la tarification électrique. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les tarifs régulés sont approuvés par l'Etat et E.D.F. n'est en aucun cas libre de modifier les tarifs et construire un modèle aussi variable que peuvent l'être ceux dictés par les principes du *yield management*.

L'électricité est un produit à l'usage quotidien extrêmement différent de ceux évoqués ci-dessus. De plus, comme nous le verrons, il est impossible de considérer la demande qui lui est associée comme réellement élastique aux prix, puisqu'une part de la consommation dont le volume dépend de chaque foyer reste quasiment incompressible. Alors que l'achat d'un billet d'avion est un acte totalement conscient et ponctuel, la consommation électrique est routinière, cachée, et matérialisée par une large palette d'usages aux valeurs variées : la sensibilité aux signaux tarifaires ne peut en aucun cas égaler celle qui entoure un achat pleinement lucide.

Enfin, nous avons vu que l'électricité est un service public, qui doit donc rester accessible à tous : il n'est pas question de pratiquer des prix qui, au-delà de la dissuasion, plongeraient des foyers dans la précarité.

L'acceptabilité d'un tel système n'est évidemment pas évidente pour le consommateur. Elle l'est d'autant moins si le gain pour lui n'est pas immédiatement perceptible par une baisse significative du prix de l'électricité en période creuse, au même titre que la tarification dynamique dans les transports aériens s'est traduite par une baisse massive des prix, au moins dans certaines conditions.

Dans la transition effectuée entre la tarification dynamique dans son sens initial vers une solution applicable à notre cas, nous rencontrons cependant un corpus théorique constitué de travaux portant cette fois sur des environnements dont les caractéristiques sont plus proches des marchés électriques. Plus précisément, cet ensemble d'articles, nommé la « *peak-load literature* », explore la pertinence de système de tarification *Real-Time-Princing* (RTP). On peut voir à ce sujet Steiner P. (1957), Boiteux M. (1960), Wenders J. (1976), Panzar J. (1976), Williamson O. (1966, 1974),

⁷⁰ Dans les pays (au nombre d'une cinquantaine à travers le monde) où une offre d'électricité pré-payée est proposée aux clients résidentiels, on constate un niveau de consommation inférieur d'environ 8% à la moyenne. Certains cas rapportent une réduction de consommation d'électricité de l'ordre de 10% lors du passage d'un mode de facturation traditionnel à une vente par crédit pré-payé. Voir Owen G. et Ward J. (2007 et 2010)

Bergstrom T. et MacKie-Mason J. (1991), Borenstein S. et Holland S. (2005)). Les prémices de la tarification dynamique de l'électricité sont élaborées dans ces papiers, et dès 1957 Steiner évoque la difficulté d'appliquer les principes théoriques à la clientèle résidentielle, suggérant l'élaboration de structures tarifaires simples et de signaux clairs pour une population péniblement mobilisable.

C'est ainsi que sont apparues les premières tarifications dites « dynamiques » de l'électricité, bien qu'il ne s'agisse en fait que très rarement d'une tarification en temps réel mais plutôt de politiques tarifaires horosaisonnnières, c'est-à-dire dont les prix varient selon les heures de la journée et/ou selon les saisons, à des niveaux fixes et établis annuellement, dont nous avons parlé dans la section précédente, la France et E.D.F. ayant été pionniers en la matière (en 1962). Dans les années 1980, la France a encore été le précurseur en matière de tarification de pointe, en proposant au grand public le tarif EJP, aux résultats probants sur le segment de clientèle intéressé. Au début des années 2000, la crise électrique en Californie⁷¹ a constitué un véritable catalyseur de l'innovation tarifaire de l'électricité. Des mécanismes de tarification de pointe adaptés au public résidentiel ont alors vu le jour, parfois sous forme de bonus attribués en cas de comportement électriquement sobre, tout d'abord dans cette région où le potentiel est grand lors des fortes chaleurs estivales, quand l'utilisation généralisée de systèmes de climatisation induit des pics de consommation. Parallèlement à cela, les années 2000 ont également vu se développer aux Etats-Unis et en Europe (principalement en Scandinavie) d'importants programmes d'incitation par information de la clientèle (connus sous le nom générique de *feedbacks*), parfois associés à de la tarification. Utilisés seuls, les programmes apportant de l'information aux clients à propos de leurs consommations électriques sont une alternative largement étudiée par les compagnies électriques, de par leur caractère moins invasif en comparaison des tarifications. Nous présenterons une étude détaillée de cette possibilité incitative en section 2.1.1. Ces dernières années, les systèmes électriques connaissent une véritable révolution technologique et l'entrée dans l'ère des *smarts grids* constitue à la fois un moteur, une raison d'être et un facteur facilitant l'arrivée de tarifs élaborés.

La littérature dédiée aux mécanismes tarifaires à destination de la population résidentielle propose l'étude de structures et modèles de prix variés, tout en présentant la plupart du temps une analyse de l'existant (Triki C. et Violi V. (2009), Faruqui A. (2006), McDonough C. et Kraus R. (2007), Faruqui A., Hledik R. et Tsoukalis J. (2009))⁷². Une autre section de la littérature s'attache à analyser les résultats obtenus par ces programmes incitatifs à la *demand response* et sera détaillée ultérieurement (en section 2.1.2).

L'élaboration d'une nouvelle offre tarifaire ou d'un outil incitatif (potentiellement un outil informatif de type *feedback*) nécessite de la part des compagnies une réelle connaissance de la clientèle, mais également d'anticiper la réaction de cette clientèle face à une stratégie de vente orientée *demand response*. En effet, dans l'optique d'évaluer l'efficacité, d'en effectuer une analyse coût – bénéfice, et d'éventuellement les déployer à large échelle, une quantification et une

⁷¹ La crise électrique californienne est survenue lors des années 2000 et 2001, due à de multiples facteurs tels qu'un fort accroissement de population non accompagnée par la création de nouvelles unités de production électrique, la dérégulation du marché électrique californien mal encadrée par la Federal Energy Regulatory Commission (FERC), des manipulations du marché par des entreprises souhaitant profiter de la situation cahotique. Voir à ce sujet Weare (2003).

⁷² On pourra aussi voir le rapport « *Demand response: a decisive breakthrough for Europe* », 2008, publié par Capgemini et VaasaETT Global Energy Think Tank.

qualification précises de la « réponse » des clients à cet outil en termes de modifications de comportements, de ressenti et baisse de consommation sont indispensables.

1.3.3 Le besoin de comprendre les comportements et les approches pour le faire.

Il paraît tout à fait évident que l'élaboration d'un outil de la *demand response*, qu'il corresponde à un affichage d'information au foyer ou une tarification incitative (et dynamique), passe par une phase de test. Le besoin de connaître les comportements et la sensibilité aux prix des clients n'est pas nouvelle ni limitée au produit électricité ; c'est un élément clef de tout processus de commercialisation, indispensable à toute tentative de marketing réfléchi. De nombreux outils méthodologiques existent et sont utilisés pour évaluer les comportements de consommation. Un résumé est proposé dans le tableau ci-dessous⁷³ :

Variables mesurées	Conditions d'évaluation des comportements clients	
	Environnement non contrôlé	Expérimentation contrôlée
Achats réels	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Analyse des données historiques de vente.</i> • <i>Données issues de panels.</i> • <i>Données issues de tickets clients en magasin.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Expériences sur le terrain.</i> • <i>Expériences en laboratoires avec achat direct.</i>
Préférences et intentions	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Questionnaire déclaratif.</i> • <i>Enquête d'intention d'achat avec prix révélés.</i> • <i>Entretiens approfondis avec des clients.</i> • <i>Focus groups</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Simulation d'achat sur le terrain.</i> • <i>Expérience en laboratoire sans achat direct.</i> • <i>Analyse Trade-Off.</i>

Le tableau ci-dessus présente un ensemble de méthodes permettant d'évaluer le comportement des clients face à un produit, ou à diverses caractéristiques (y compris le prix) de ce dernier.

Nous ne détaillerons pas dans cette thèse l'ensemble de ces méthodologies, pour lesquelles une description précise peut être trouvée dans la littérature à laquelle se réfère ce tableau, tout d'abord parce que toutes ne sont pas applicables au cas qui nous intéresse, c'est-à-dire la commercialisation d'électricité à une clientèle résidentielle. Les entrées en italique dans ce tableau sont celles correspondant à des méthodologies applicables et appliquées à notre champ d'études. Toutes les méthodologies ne sont pas utilisées à la création de chaque outil incitatif de la *demand*

⁷³ Ce tableau est en parti issu et traduit depuis l'ouvrage « *The Strategy and Tactics of Pricing* », chapter 12, p286, 5th edition, de T. T. Nagle, J. E. Hogan et J. Zale, ISBN 13 : 978-0-13-254613-3 (2011) auquel on peut également se référer pour le détail d'un certain nombre de ces méthodes d'évaluation des comportements clients.

response mais il paraît évident qu'avant d'être mis en place à large échelle, ces tarifications ou ces méthodes de feedbacks doivent convaincre et prouver leur efficacité. La plupart du temps, il s'agit d'évaluer soit l'acceptabilité de l'outil de *demand response*, soit de mesurer la réduction de consommation concédée par le client. Dans le cas où l'outil est tarifaire, on peut également chercher à mesurer l'élasticité-prix et l'élasticité de substitution de la demande électrique résidentielle face aux offres élaborées (voir à ce sujet Annexe1.2)

Les méthodes d'entretiens approfondis avec des clients, de questionnaires déclaratifs⁷⁴, de *focus group*⁷⁵, ou d'analyse *trade-off*⁷⁶ sont les plus anecdotiques. L'analyse des données issues de panels et d'historiques de consommation permet d'observer les offres de *demand response* déjà commercialisées (et donc de les faire évoluer ou de maintenir leur validité au cours du temps) mais ne permet pas directement de concevoir de nouvelles offres ou de nouveaux outils incitatifs. Il est à noter que ces données peuvent être utilisées pour réaliser des simulations de comportements clients, dans lesquelles les historiques de consommation permettent de construire un modèle de consommation, mono-utilisateur ou agrégé, et ainsi tenter de construire des modèles prévisionnels à différents niveaux d'optimisme.

Les expériences de terrain sont, et de loin, la méthodologie la plus répandue dans le monde pour évaluer les outils de la *demand response*. Aussi appelés « pilotes », « pilotes de terrain », ou, comme en France, « démonstrateur », ces expériences à plus ou moins grande échelle visent à implémenter l'outil incitatif chez un panel de clients le plus souvent volontaires et à observer, mesurer leurs comportements de consommation, soit en supposant qu'ils se comporteraient de la même manière s'ils étaient réellement clients de ce type d'offre, soit en admettant et quantifiant les biais liés à l'observation et l'expérience en elle-même. Cette méthodologie peut être complétée par celles citées précédemment, afin d'apporter une approche qualitative individualisée à mettre en lien avec les relevés de consommations observés ; de plus, le vécu d'une expérimentation de terrain renforce la pertinence de questionnaires qualitatifs auprès des individus enquêtés. Nous avons mentionné la possibilité d'expériences de simulations d'achats sur le terrain, pour signaler l'existence⁷⁷ de pilotes de terrain destinés à tester une offre tarifaire et pour lesquels les clients impliqués dans le démonstrateur conservent leur facturation habituelle, la tarification étant simulée (avec une possible rétribution en fonction de leurs consommations et sous forme de chèques-cadeaux en fin de pilote). Cette variante méthodologique n'est souvent pas un choix de la part des compagnies qui évaluent leurs offres mais une contrainte imposée par l'organisme de régulation en garant de l'équité des tarifs règlementés de l'électricité, en tant que service public.

⁷⁴ Simple questionnaire dans lequel le client est amené à donner son avis sur un produit. On les considère dans cette phrase comme utilisés seuls, et non en accompagnement d'une autre méthode.

⁷⁵ Séance collective durant laquelle un produit ou un concept est présenté au groupe, qui peut alors donner son avis, intervenir, réagir, échanger autour de ce sujet. La plupart du temps seule la trame de la séance est élaborée, les réactions guidant le déroulement de la séance.

⁷⁶ Lors d'une analyse *trade-off*, sensibilité au prix de même que diverses caractéristiques du produit peuvent être évalués, au travers de réponses concernant leurs intentions ou préférences face à diverses options/variantes d'un même produit. Toutes les caractéristiques d'un produit peuvent ainsi être décomposées en choix binaires ou discrets, ce qui permet de déterminer la valeur que les clients attachent à chaque attribut.

⁷⁷ En France notamment, comme c'est le cas pour certains pilotes accompagnant le déploiement des compteurs intelligents, mais également dans de nombreux pilotes étrangers.

Les expériences en laboratoire sans achat (que nous assimilons ici à des protocoles d'économie expérimentale où le participant n'achète pas directement l'objet dont il est question lors de la séance) existent dans la filière électrique, mais traitent essentiellement de l'efficacité des mécanismes de marchés liés au contexte de dérégulation. On pourra voir à ce sujet Jullien C., Pignon V., Robin S., Staropoli C. (2009) ou encore Rassenti S., Smith V., Wilson B. (2003), à titre d'exemple, puisque ces expériences ne traitent pas directement du sujet du comportement des consommateurs résidentiels face aux outils de la *demand response*.

Nous allons donc, dans un premier temps, nous intéresser aux expériences de terrain, dont l'existence est maintenant bientôt cinquantenaire, et qui, bien que présentant certains inconvénients et limites que nous nous appliquerons à présenter, ont permis de collecter de nombreux résultats au fil des ans et des pilotes. Seule une étude poussée des champs d'application, de la structure détaillée et des résultats de ces expériences de terrain pourra permettre l'élaboration pertinente d'une expérimentation en laboratoire (protocole d'économie expérimentale) portant sur le sujet précis du comportement des consommateurs résidentiels face aux incitations à réduire la demande électrique.

Chapitre 2. Le pilote comme outil d'évaluation de la *demand response*.

Afin d'évaluer les méthodes permettant d'infléchir la demande électrique résidentielle, de manière globale et durant les pointes, les outils incitatifs de la *demand response* sont déployés sur des échantillons de population, durant des expériences de terrain, appelés pilotes ou démonstrateurs dans le milieu du marché de détail de l'électricité. Quels sont les outils incitatifs qui y sont évalués ? Quel a été le cheminement des compagnies électriques vers les pilotes de terrain que nous connaissons actuellement ? Dans ce chapitre, nous établirons une typologie des instruments de la *demand response* et un portrait historique de leur évaluation via les pilotes de terrain.

2.1 Les outils incitatifs de la maîtrise de la demande : typologie.

Les méthodes utilisées dans le but d'agir sur la demande des consommateurs (principalement résidentiels) se basent sur les leviers identifiés de la consommation d'énergie. Les facteurs principaux, les plus souvent répertoriés (Source EDF R&D (2009a)), impactant la quantité d'énergie demandée sont :

- Le prix de l'électricité.
- Le revenu des consommateurs et données socio-démographiques (taille des familles, typologie d'habitat).
- L'âge et la génération à laquelle appartiennent les consommateurs.
- L'information communiquée à propos des usages d'électricité, au travers des différents médias, l'éducation des consommateurs à ce sujet.
- Le mode de vie des individus et l'équipement des foyers qu'ils occupent, leur conception du confort.
- Les politiques publiques au sujet de l'énergie.

D'autres facteurs peu référencés, comme le mode de commercialisation de l'électricité, sont à considérer. Par exemple, la vente d'électricité sous une forme pré-payée impacte le volume d'énergie consommé chez les clients résidentiels. Ainsi, dans les pays (au nombre d'une cinquantaine à travers le monde, dont le Royaume Uni, ou l'Afrique du Sud) où une offre d'électricité prépayée est proposée aux clients résidentiels, on constate un niveau de consommation inférieur d'environ 8% à la moyenne (Owens G. et Ward J. (2010)). Certains cas rapportent une réduction de consommation d'électricité de l'ordre de 10% lors du passage d'un mode de facturation traditionnel à une vente par crédit prépayé. Voir (Owens G. et Wards J. (2007)).

Certains des leviers identifiés ne sont pas ou très difficilement activables pour parvenir aux fins de la *demand response*, comme par exemple le revenu ou les données socio-démographiques.

D'autres sont mis à contribution via divers outils incitatifs. Destinés à provoquer des réactions de modification des usages électriques par les consommateurs, ces procédés mobilisateurs appartiennent à différentes typologies d'incitations. Nous avons séparé les outils incitatifs en deux grandes catégories : les feedbacks, dont le but est d'informer le consommateur pour l'aider à réduire sa consommation, et les tarifications incitatives, qui jouent sur l'argument financier pour convaincre les clients de réaliser des efforts de sobriété au moment voulu.

2.1.1 Les feedbacks : augmenter les connaissances des clients sur leurs consommations pour leur permettre de réduire cette dernière.

L'un des procédés jugés comme les plus simples à mettre en œuvre pour induire des changements de la demande d'électricité chez les utilisateurs finaux consiste à lui proposer des informations additionnelles sur sa consommation d'électricité, accompagnées éventuellement de conseils personnalisables sur les moyens à mettre en œuvre pour réduire cette consommation ou l'optimiser en fonction de leurs usages. Ces procédés permettent avant tout une prise de conscience de la part du consommateur de ses dépenses énergétiques, identifiées comme étant mal connues. Leur objectif, utilisés seuls, est très généralement la réduction de la demande globale d'électricité : en l'absence de motivation financière, ils n'ont pas d'effet spécifique sur la réduction de la demande de pointe. On voit cependant apparaître des appareils offrant des informations sur le mix énergétique utilisé en temps réel, ou sur les émissions carbone par kWh, et donc permettant aux éco-concernés de réduire leur consommation aux moments d'utilisation des moyens de production polluants. Deux grands procédés informatifs sont distingués : les feedbacks directs et les feedbacks indirects.

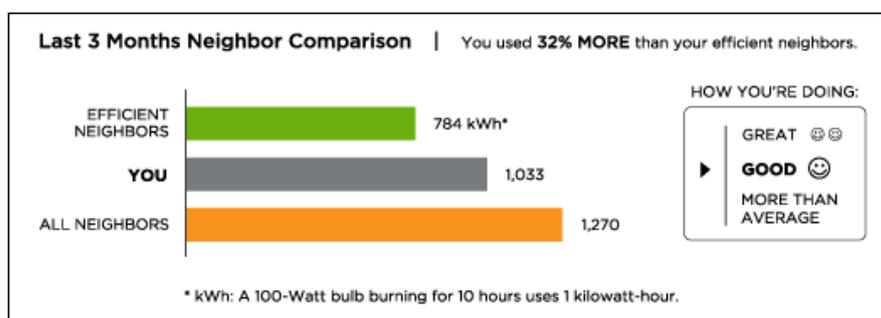
2.1.1.1 *Feedbacks indirects*

Les feedbacks indirects permettent un suivi à **posteriori** des consommations détaillées. Ces informations sont délivrées la plupart du temps sur les factures mensuelles adressées aux clients par courrier, ou encore sont disponibles en ligne sur un serveur web spécialisé (un jour après la consommation réelle) Ces rapports de consommations peuvent inclure des comparaisons avec des relevés historiques, des comparaisons avec d'autres foyers jugés comme étant des moyennes de référence, ou des décompositions de consommation par usages, dans le but de permettre au consommateur de cibler ses efforts d'une période de facturation sur une autre. Ils sont requis explicitement par la directive du Parlement Européen datant de 2006.⁷⁸

⁷⁸ Directive européenne 2006/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 5 avril 2006, relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, article 13 : « Relevé et facturation explicative de la consommation d'énergie »

2.1.1.1.1 Factures

Les feedbacks indirects sur facture papier sont les plus simples à mettre en place : alors que les courriers sont déjà adressés aux clients pour leurs factures normales, des factures détaillées, dotés de comparaisons historiques et pouvant prodiguer des conseils d'efficacité énergétique ou de d'économies d'énergie à réaliser sont ajoutées et envoyées à intervalles réguliers. Les données sont présentées la plupart du temps sous formes de graphiques élaborés pour une lecture plus facile, bien que toutes les études montrent que peu de gens cherchent à les comprendre intégralement. Ils reprennent les historiques de consommation de la période de facturation passée, et ne permettent pas toujours d'intervenir en regard des informations présentées dans le cas où les feedbacks ne sont pas assez fréquents : en effet dans le cas d'une facturation trimestrielle, il est difficile d'agir en avril sur des usages typiques du mois de février comme le chauffage par exemple. Cependant, il s'agissait, évolution technologique oblige, des premiers outils de feedback existants au monde.



Un exemple extrait du feedback indirect proposé par Opower. Un comparatif avec le voisinage y est intégré.

2.1.1.1.2 Interfaces WEB/TV.

Plus récemment, une nouvelle forme de feedbacks indirects a fait son apparition : il s'agit des outils de type interface WEB et interface TV. L'interface WEB est de loin le plus courant : le fournisseur d'électricité se charge de mettre en ligne, accessibles via un espace personnel dont dispose le client, les données de comptages historiques, plus ou moins détaillées, parfois même jusqu'aux données de la veille. Plusieurs modes de présentation sont possibles : courbes de charge, histogrammes, secteurs... Encore une fois, des comparaisons historiques et de voisinages peuvent être établies. Certains services en ligne disposent d'algorithmes de reconnaissance de motifs qui ont pour but d'interpréter les courbes de charge des particuliers pour leur prodiguer des conseils d'économie d'énergie adaptés à leur propre cas⁷⁹. Nous verrons des exemples concrets d'interfaces web et tv lors de l'étude du pilote EDRP réalisée dans le Chapitre 3 de cette partie. EDF également propose un service de feedback en ligne à ses clients. Pour 2,90€ par mois (tarif en novembre 2012), EDF fournit à ses clients des conseils d'économies d'énergie, une estimation de la facture annuelle en

⁷⁹ Opower, fournisseur de ce type de service, utilise ce genre d'algorithmes pour alimenter ses feedbacks papiers.

cours, et un retour sur les consommations de l'année écoulée. Ce service, bien peu performant par rapport à l'existant en matière de feedback indirect, pourrait être remodelé dans les années à venir.

2.1.1.2 Feedbacks directs

Les feedbacks directs permettent au contraire un suivi en temps réel des consommations au sein du foyer, ou encore de l'état du réseau électrique et des prix instantanés du kWh. Les outils technologiques de feedback direct admettent une grande variété de fonctionnalités et d'aspects. A l'heure actuelle on constate une véritable ébullition au niveau de l'innovation dans ce domaine. Des appareils au design particulièrement étudié font leur apparition, et la tendance est à vouloir créer le besoin de ces outils au sein des foyers.

2.1.1.2.1 Afficheurs de consommation/prix.

Parmi les options proposés, des appareils permettent d'observer les relevés quotidiens de consommation exprimés en quantité d'énergie ou unités monétaires, éventuellement usage par usage, de comparer ces relevés avec des données historiques, sur des écrans installés au domicile des consommateurs. On les nomme *displays*, ou encore *in-home displays*.



Appareils de displays proposés par Green Energy Option (à gauche) et BlueLine (à droite)

2.1.1.2.2 Objets ambiants.



D'autres appareils de *display* misent sur un design attractif pour séduire les consommateurs, comme l'« *Energy Aware Clock* »

D'autres appareils plus simples permettent le suivi d'un signal de prix ou d'un signal de niveau de consommation. C'est le cas par exemple de la *Flower Lamp* qui s'ouvre lorsque la consommation d'électricité dans le foyer est faible. L'*Energy Orb*, déjà un succès commercialisé et utilisé dans de nombreux programmes de *demand response*⁸⁰, change de couleur selon le prix de l'électricité. De plus, ces appareils de feedback direct comportent parfois des signaux d'alarmes.

Les informations de consommation qu'ils communiquent peuvent être soit issues d'une information à l'aval du compteur électrique (parfois un *display* à lecture conviviale est même intégré au compteur), soit estimée à par une mesure physique du débit électrique directement réalisée sur les câbles électriques à l'entrée du domicile. Les signaux de prix peuvent être reçus par fréquence radio, GPRS, Wifi... de nombreuses technologies ont démontré leur capacité à soutenir ce type d'appareils communicants.



Ci-dessus : La Flower Lamp issue du studio de design « Static! ».

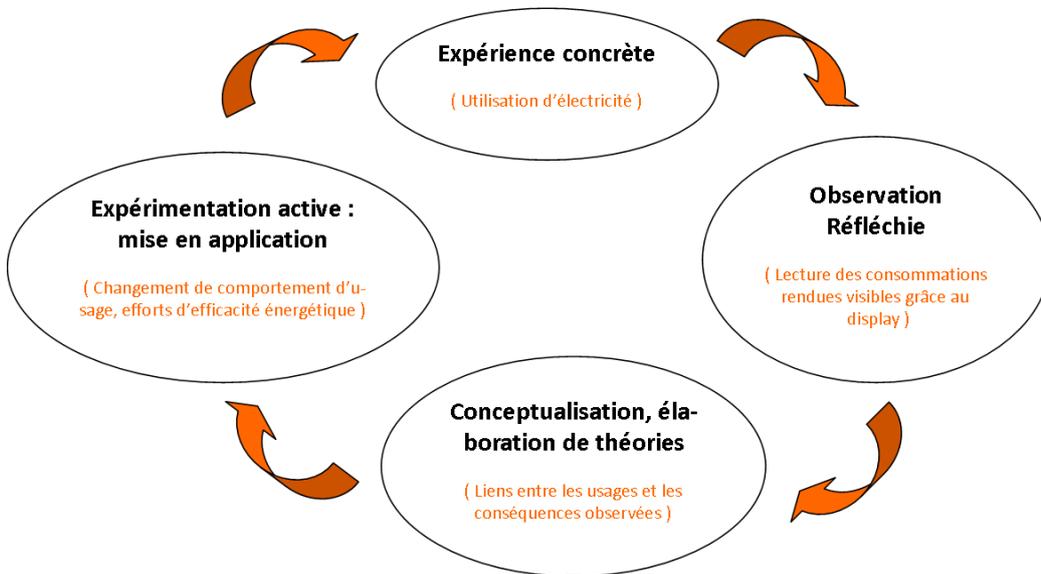


Energy Orb, partie prenante des programmes californiens de *demand response* .

2.1.1.2.3 L'apprentissage par l'information.

Ces appareils de feedback, qu'ils soient directs ou indirects s'ils contiennent des informations liées à la consommation, visent à éduquer le consommateur en respectant le processus d'apprentissage par l'expérience réfléchie, schématisé par le cycle de Kolb appliqué au cas de la consommation d'électricité, pour parvenir à une modification consciente et durable des comportements.

⁸⁰ Programmes de *demand response* de Pacific Gas & Electric (PG&E), en Californie.



Le cycle d'apprentissage de Kolb, un concept psychologique qui valide l'utilisation de feedbacks directs pour parvenir à éduquer les consommateurs d'électricité.

A mi-chemin entre feedback direct et indirect, certaines interfaces Web proposées par les fournisseurs d'électricité, couplées à des outils de comptage communicants, permettent un suivi quotidien des usages d'énergie. On peut ainsi établir une classification complète des types de feedbacks en fonction de leur temporalité :

1	2	3	4	5	6
Facture standard d'électricité	Facture améliorée d'électricité	Feedback estimé	Feedback quotidien ou / la semaine	Feedback en temps réel	Feedback sur les usages en temps réel
Trimestrielle, mensuelle, tous les 15 jours	Information spécifique au ménage, conseils, et/ou comparaisons mensuelles ou trimestrielles	Audit énergétique sur web avec de l'information en continu	Informations spécifique au ménage, conseils et/ou comparaison journalière ou sur la semaine	Temps réel, premier niveau d'information	Informations en temps réel au niveau détaillé des équipements et usages de l'électricité
Feedbacks « indirects » (fournis après consommation)				Feedbacks « directs » (fournis en temps réel)	

Classification des feedbacks (depuis Neenan B. (2009))

Des campagnes d'éducation de la population, de sensibilisation aux problématiques environnementales, menées par les pouvoirs publics ou les compagnies des systèmes électriques,

peuvent permettre d'augmenter la prise de conscience des individus de leurs usages énergétiques et des problématiques qui y sont liées. Développer un intérêt pour ces enjeux, élever au rang de valeur sociale le souci de sobriété de consommation pour modifier les comportements et créer des réflexes à long terme fait aussi partie des objectifs de la *demand response*. De par la relative simplicité de leur mise en œuvre et leur acceptabilité plutôt grande de prime abord (les objets de feedback indirect étant potentiellement considérés comme des gadgets technologiques utiles sur le long terme), les outils de feedbacks sont à l'étude chez une grande majorité des fournisseurs d'électricité qui en ont les moyens.

2.1.2 La tarification incitative.

Le prix de l'électricité est considéré depuis longtemps comme l'un des leviers majeurs pour agir sur la demande, de manière non spécifique aux secteurs de l'énergie. Très simplement on considère qu'augmenter le prix d'un produit en réduit la demande. Partant de ce principe économique simpliste, de nombreux designs d'offres tarifaires plus ou moins dynamiques, ont été conçus pour jouer sur les élasticités de la demande aux prix (élasticité propre et élasticité de substitution⁸¹). Bien qu'assez variées d'un fournisseur à l'autre, les offres tarifaires incitatives suivent souvent les mêmes patterns de construction. Nous pouvons donc en établir une typologie pratiquement exhaustive. Nous rappelons que nous ne nous intéressons ici qu'aux tarifications incitatives pour la clientèle résidentielles, les offres destinées aux professionnels et industriels comportant parfois un niveau de complexité bien supérieur du fait de la spécificité de leurs usages.

2.1.2.1 La tarification progressive de l'électricité.

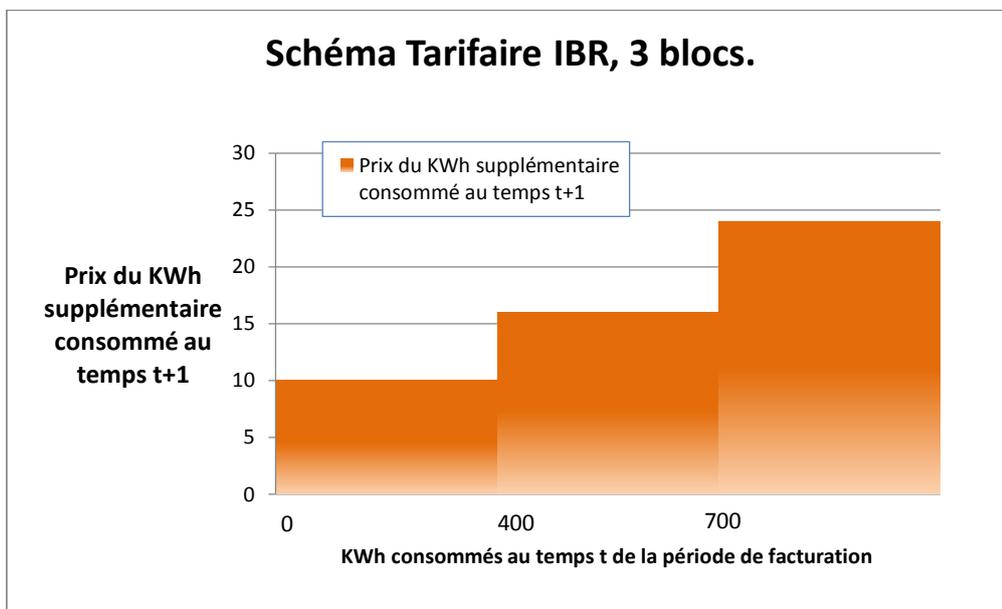
Avant d'aborder les options tarifaires dont les tarifs varient selon les heures et les jours, parfois dits « dynamiques » et dont le but est essentiellement d'inciter les consommateurs à réduire ou reporter leur demande d'électricité des périodes de pointe vers les périodes creuses, nous allons observer un type de design tarifaire dont le but est de pousser les consommateurs à la sobriété énergétique globale : la tarification par blocs progressifs, plus connue sous le nom de « *Increasing Blocks Rate* » ou « *Inclining Blocks Rate* ». (IBR, également rencontrés sous la terminologie anglophone de *increasing tiered rates*).

Selon ce système, le prix du KWh consommé dépend de la quantité d'électricité déjà consommée au temps t . Lorsque cette dernière atteint des paliers définis par avance, le prix du KWh supplémentaire augmente vers un nouveau tarif unitaire. Le but est d'inciter les consommateurs à limiter leur consommation globale mensuelle d'électricité en augmentant le coût du KWh marginal par paliers (d'où le nom anglophone de *tiered rates*). On remarque que la courbe reliant

⁸¹ L'élasticité-prix propre mesure la variation (en pourcentage) de la demande en électricité lorsque le prix de l'électricité augmente de 1%. L'élasticité de substitution mesure la variation du rapport des consommations de deux plages horaires lorsque le ratio des prix de l'électricité de ces deux périodes varie de 1% (on mesure le report induit par des variations de différentiels de prix entre deux tranches horaires).

consommation et facture d'électricité est une fonction affine par morceaux, dont les coefficients directeurs sont de plus en plus grands (puisque ce sont les prix du KWh supplémentaire).

C'est un schéma peu courant dans les mécanismes de construction des prix pour d'autres types de produits, pour lesquels on a tendance à réduire le prix unitaire lors d'achats en grande quantité, à l'image des denrées alimentaires vendues par lots, ou « formats familiaux économiques » répandus pour les biens de consommation courante. Certains auteurs estiment que ce type de tarification, développée à l'échelle commerciale dans certains pays, présente un caractère social, sur le même principe par exemple que l'impôt sur le revenu en France (qui fonctionne également par taux progressif, représenté graphiquement par une fonction affine par morceaux dont le coefficient directeur est de plus en plus grand) et induit une redistribution des richesses. D'autres soulèvent la question des familles nombreuses ou nécessitant du matériel médical, des familles à bas revenus chauffées électriquement, plutôt désavantagées par ce type de tarifs. Des solutions socialement acceptables peuvent être envisagées. On pourra voir Borenstein S. (2010) et Hledik R. (2008) à ce sujet.



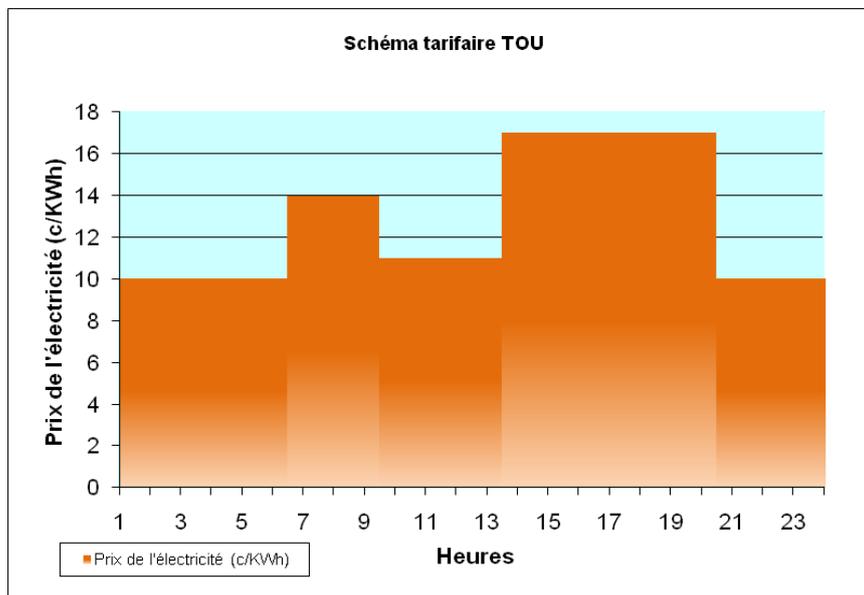
Exemple fictif de tarification IBR.

Ce type de tarification est longtemps resté peu connu et discuté en France où il n'a jamais été pratiqué. Dans certains pays Européens (comme en Grande Bretagne, bien que cela soit probablement amené à changer pour des raisons évidentes de conflits d'intérêts (Owen G., Ward J. (2010)), c'est même le procédé inverse qui est en place, avec des systèmes de prix par blocs dégressifs, qui favorisent les gros consommateurs d'électricité. En revanche, l'*Increasing Blocks Rate* est courant en Amérique du Nord, et il est de plus en plus plébiscité par les organismes publics de régulation des marchés de l'énergie, car ne nécessite pas de technologies particulières, est facile à mettre en place et à appréhender pour les consommateurs, et peut compléter d'autres types de tarification (nous verrons l'exemple du *PowerCentsDC* en section 3.2, qui intègre un prix CPP à une base tarifaire IBR).

Ce sujet a été remis au goût du jour en France en 2012, puisqu'une proposition de loi (loi Brottes) du Parti Socialiste proposait d'établir, en France, des tarifs progressifs pour l'électricité et le gaz. Les arguments utilisés en faveur de cette mesure étaient sociaux, environnementaux et économiques, et ont été débattus lors des débats électoraux. Le 5 septembre 2012, le projet de loi a été examiné au Parlement. Il a été voté et accepté le 5 octobre 2012 par l'Assemblée Nationale, mais n'a pas fait l'unanimité parmi les citoyens ni parmi la presse, où les avis divergent. « La tarification progressive de l'électricité est une solution durable » lit-on dans Les Echos ; « Les tarifs progressifs de l'électricité, une solution inefficace » lit-on dans Le Monde. Il est rejeté par le Sénat le 31 octobre 2012, qualifié d'« usine à gaz »⁸², et accusé de menacer l'égalité des citoyens. Les prochains mois nous diront si le gouvernement revoit sa copie et propose une autre mouture de la loi instaurant la tarification progressive de l'électricité.

2.1.2.2 Tarifs Time Of Use (TOU)

Les offres TOU, également appelées tarifs horsaisonniers, sont les outils les plus largement utilisés, et constituent les prémices historiques en termes de « Demand Side Management »⁸³. Elles consistent à faire varier le prix du kWh d'électricité selon 2, 3 ou 4 plages horaires quotidiennes, et éventuellement selon les saisons. Typiquement, les périodes de la journée enregistrant les pics de demande sont soumises à des prix plus élevés, pour pénaliser l'usage d'électricité à ces moments-là et pousser les utilisateurs à reporter leurs usages lors des périodes dites « creuses ». Ce tarif est, de manière réglementaire, le tarif de base pour les consommateurs résidentiels californiens.



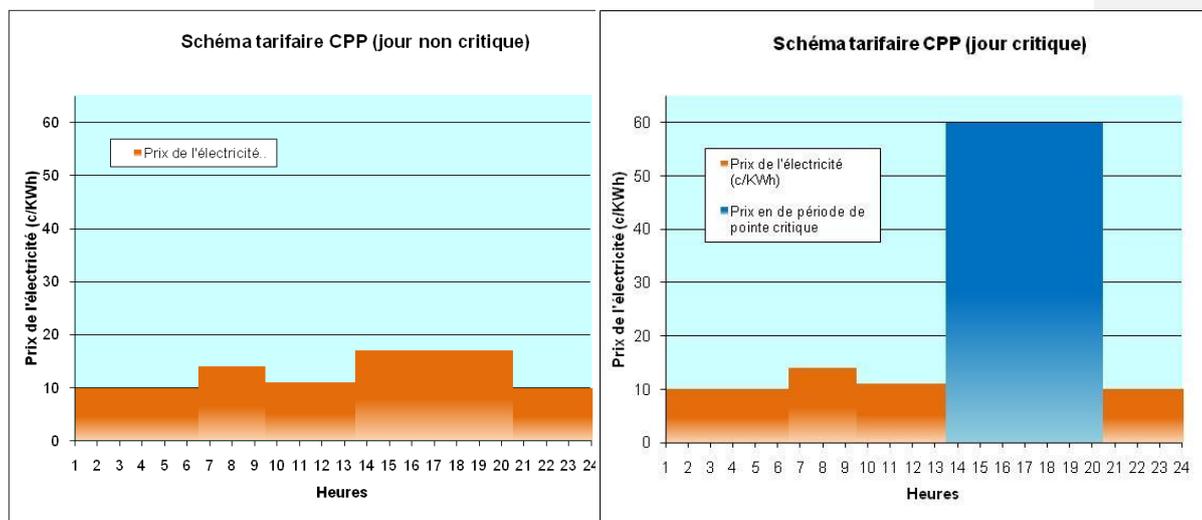
⁸² Bernard Accoyer, Député UMP.

⁸³ EDF s'est avéré être précurseur en ce domaine, avec l'introduction des tarifs HC/HP dès les années

2.1.2.3 Tarifs Critical peak pricing (CPP).

Les offres tarifaires du type CPP sont composées de deux grilles de prix : l'une pour les jours dits « normaux » et l'autre, globalement plus élevée, pour les jours dits « critiques » (certaines variantes admettant plusieurs niveaux de jours critiques⁸⁴). La plupart du temps, le schéma tarifaire des jours normaux est déjà de type TOU. Lorsque le fournisseur d'énergie anticipe un jour de forte demande d'électricité, il décrète un jour de pointe critique, durant lequel le prix du KWh est multiplié pendant quelques heures d'un facteur allant jusqu'à 10 par rapport à la normale. Cette augmentation très marquée et réduite dans la durée a pour objectif d'influencer la courbe de charge des clients lors du jour de pointe critique, en pénalisant l'usage d'électricité lors des périodes de forte demande. En général, une offre de type CPP admet un nombre limité de jours de pointe critique par an, notifiés la veille aux consommateurs, via divers moyens de communication (SMS, e-mail, appel téléphonique...). La durée, la période et le prix du KWh de pointe critique peuvent être fixes ou variables, autorisant toute une palette de possibilités d'action.

Les offres CPP sont très répandues dans le monde, par exemple aux Etats-Unis, mais c'est le cas français qui fait office de pionnier dans ce domaine, avec les offres EJP et Tempo proposées par EDF respectivement en 1982 et 1996.



Exemple (fictif) de tarification CPP dont la base est de type TOU.

⁸⁴ C'est par exemple le cas des offres d'EDF EJP et Tempo. Dans cette dernière, les jours sont classés en 3 catégories de prix.

2.1.2.4 Tarifs Peak time rebate (PTR)

La tarification de type PTR (également connue sous la dénomination de « programmes d'urgence », ou encore *Critical Peak Rebate*) est le pendant positif du système de pénalisation découlant du CPP. Ce dernier consiste comme nous l'avons vu à surfacturer l'usage d'électricité lors des périodes de forte demande. L'offre PTR récompense quant à elle les efforts consentis par les clients pour réduire leur demande lors des périodes de pointe critique en rémunérant les effacements de consommation. Le principe de fonctionnement des PTR consiste en un calcul de niveau de consommation de référence personnalisé auquel on compare les usages des clients lors des jours notifiés comme étant critiques. Si le niveau de référence est strictement supérieur à la consommation observée, on récompense cette réduction par une prime proportionnelle au volume d'énergie « économisé ». Des exemples concrets de PTR sont explicités dans les sections 3.2 et 3.3 de cette partie de la thèse).

Il est légitime de considérer les offres de type PTR et CPP comme étant équivalentes. Dans les deux cas, un client ne réduisant pas sa consommation d'électricité lors des périodes de pointe subit une perte financière. Avec les offres CPP, cette perte est directe, alors que sous une tarification PTR, elle apparaît sous la forme d'un coût d'opportunité (un manque à gagner). Certains programmes d'expérimentation s'attachent à comparer les résultats d'offres PTR et CPP⁸⁵ dont l'espérance de facture moyenne est la même : l'effet psychologique de l'une ou l'autre de ces variantes est alors à considérer lors de l'évaluation du comportement du consommateur.

Les programmes de *demand response* basés sur un système de bonus à l'effacement ont fait leurs preuves comme étant parmi les plus efficaces car attractifs pour le consommateur (à forte acceptabilité) et à fort potentiel incitatif pour la réduction ponctuelle de consommation d'électricité (cf résultats des *surveys* de A. Faruqi et les résultats issus de notre recherche personnelle explicitée en section 4.2 de cette partie). De nombreux programmes pilotes et commerciaux ont été lancés depuis les années 2004-2005, faisant appel à ce type de mécanisme, qui consiste à rémunérer la non-consommation d'électricité sur une courte période (quelques heures) dite « période de pointe », notifiée au préalable aux clients. Chaque KWh non consommé durant ces heures de pointes en comparaison avec un niveau de consommation de référence est alors rémunéré au client.

Le calcul de niveau de référence de consommation du client constitue à la fois un élément clef de la réussite du programme d'effacements et un enjeu majeur pour les concepteurs de ces mécanismes incitatifs. En effet, il s'agit le plus souvent de composer avec des données d'historiques de consommation, des groupes témoins servant de repère, des ajustements liés aux températures, et des clients souhaitant parfois comprendre les rouages des méthodes de calcul. L'expérience montre qu'un mauvais calcul de *baseline* peut vouer un programme à l'échec (Cf Anaheim 2004, section 3.3) en incitant les consommateurs à surconsommer en dehors des périodes d'effacement.

Les *utilities* qui conçoivent des programmes de bonus à l'effacement (ou *Peak time rebate*, PTR) prêtent donc particulièrement attention au calcul de ce niveau de référence, et diverses

⁸⁵ Voir à ce titre le programme PowerCentsDC présenté en partie 3.2, ou encore le programme Smart Energy Pricing mené à Baltimore par BG&E en 2008.

méthodes ont été éprouvées ces 5 dernières années. La majeure partie consiste en la constitution d'une fenêtre glissante sur plusieurs jours (typiquement 5 jours ouvrés) permettant d'établir une consommation moyenne autour du jour où l'effacement est notifié aux clients. Des facteurs d'ajustement sont parfois appliqués à ces moyennes afin de prendre en considération le caractère exceptionnel des jours notifiés comme étant de pointe.

Eligible pointe	Non Eligible pointe	Pointe				
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	1			2		
3	4	5	Jour J			



 Conso de référence du jour J =
$$\left[\frac{\text{Conso 1} + \text{conso 2} + \text{conso 3} + \text{conso 4} + \text{conso 5}}{5} \right] \times 1,2$$

Ce schéma représente un calcul de baseline avec fenêtre glissante et coefficient d'ajustement. Nous retrouverons ce calcul dans la seconde partie de cette thèse.

L'utility NYSIO (*New York Independant System Opérateur*) fait figure d'exception en proposant un algorithme de calcul particulièrement élaboré, permettant l'utilisation d'une plus grande fenêtre glissante, et dote d'un facteur d'ajustement (dont l'utilisation est facultative pour les clients). L'algorithme permettant de calculer cette *baseline* a été retranscrit par nos soins et est proposée en annexe 0 de cette thèse)

Le programme EDRP (*Emergency Demand response Program*, à ne pas confondre avec EDRP de l'OFGEM dont les initiales signifient « *Energy Demand Research Project* »), est un programme d'effacement d'urgence destiné aux gros clients ou aux agrégateurs d'effacement dans l'état de New York dès 2010. Le but de ce programme est de réduire la demande durant des périodes dites « d'urgence », (e.g. lors d'un manque d'électricité sur le réseau de l'état de New York), et de permettre ainsi de maintenir la fiabilité du système électrique. Il s'agit d'un programme pour lequel la participation des clients est volontaire, et le système de rémunération par bonus garantit aux participants ne pouvant pas répondre aux signaux de réduction d'urgence de ne pas être pénalisés.

Lors d'un « événement d'urgence », les participants sont notifiés au préalable par Email et par téléphone, selon les cas de figure, la veille ou le jour même. S'ils le peuvent, ils doivent alors réduire leur consommation durant l'événement d'urgence (d'une durée de quelques heures). Ils sont alors rémunérés pour leurs efforts, à hauteur de 500\$ / MWh non consommé durant les événements d'urgence par rapport à leur niveau de consommation de référence. Ce programme diffère quelque peu des programmes destinés au grand public tels que nous les connaissons, car ils s'adressent davantage à de gros consommateurs capables de concéder une grande quantité d'énergie non consommée ou aux agrégateurs qu'au client résidentiel moyen. Cependant, nous n'observerons pas au travers de cette note les résultats effectifs de ce mécanisme incitatif sur les consommations d'électricité des participants, mais le design de l'offre et plus particulièrement du

calcul de *baseline*, ce qui peut donc se révéler intéressant pour la construction de futures offres de ce type en France à l'échelle de pilote par exemple.

Une autre difficulté relève du calcul de la consommation de référence (*baseline*) individuelle, nécessaire pour la mise en œuvre de bonus ou de rabais dont bénéficie le consommateur qui réduit sa consommation par rapport à son modèle courant de consommation. Depuis les années 2004-2005, nombreux sont les programmes pilotes et commerciaux qui rémunèrent la non-consommation d'électricité sur une courte période (quelques heures dites « période de pointe »), notifiée au préalable aux clients. Chaque KWh non consommé durant ces heures de pointes en comparaison avec un niveau de consommation de référence est alors rémunéré au client.

Le calcul du niveau de référence constitue alors à la fois un élément clef de la réussite du programme d'effacements et un enjeu majeur pour les concepteurs de ces mécanismes incitatifs. En effet, il s'agit le plus souvent de composer avec des données d'historiques de consommation, des groupes témoins servant de repères, des ajustements liés aux températures, et des clients souhaitant parfois comprendre les rouages des méthodes de calcul.

L'expérience montre qu'un mauvais calcul de *baseline* peut vouer un programme à l'échec en incitant les consommateurs à surconsommer en dehors des périodes d'effacement pour accroître leur rémunération.

C'est ce qui s'est produit lors du pilote Californien d'Anaheim Public Utility (2006) qui testait auprès de 123 ménages une prime à la réduction de consommation lors des jours de pointe critique. Selon Wolak F. (2006) qui a mené une étude statistique des résultats, près de la moitié de la réduction de la consommation observée lors des périodes de pointe critique est due à une surconsommation les autres jours. Les données figurant sur un site internet ainsi que sur la facture d'électricité qui détaille la récompense versée auraient permis aux consommateurs de comprendre le mode de calcul de la consommation de référence et de surconsommer pour maximiser leurs gains.

Les concepteurs des programmes de bonus à l'effacement (*Peak time rebate*) prêtent donc particulièrement attention au calcul de ce niveau de référence. La façon de procéder, principalement dans les pilotes nord-américains (PJM interconnexion, 2005 ; Anaheim Public Utilities, 2004, Ontario Energy Board Smart Price Pilot, 2007, New York Independent System Operator, Pilote SDG&E) consiste en une fenêtre glissante sur plusieurs jours (5 jours ouvrés en général). Elle permet d'établir une consommation moyenne actualisée pour les jours précédents le jour d'effacement notifié.

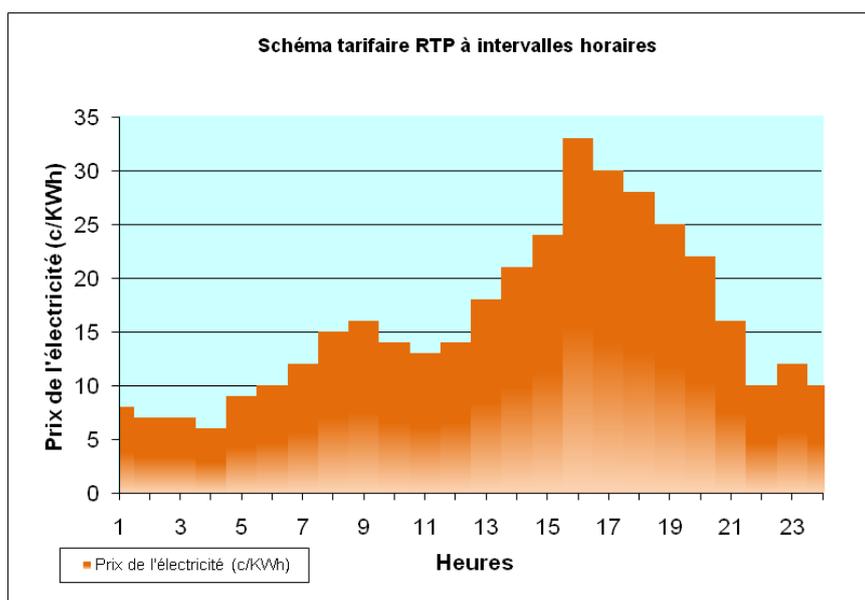
Le gestionnaire de réseaux de New York (*New York Independent System Operator*) s'est démarqué en proposant un algorithme de calcul particulièrement élaboré⁸⁶.

⁸⁶ Il repose sur l'utilisation d'une large fenêtre glissante et d'un facteur d'ajustement (dont l'utilisation est facultative pour les clients). Il a été appliqué à un programme d'effacement d'urgence destiné aux gros clients (tertiaire) ou aux agrégateurs d'effacement de l'état de New York (*Emergency Demand response Program, 2008*).

2.1.2.5 Tarifs Real Time Pricing (RTP)

La tarification RTP est l'offre présentant le caractère le plus dynamique du panel d'outils incitatifs de la *demand response*. En effet, les prix sont ici amenés à changer en « temps réel ». En réalité, le temps est discrétisé et les variations se font sur des intervalles d'une durée fixe de 5 minutes à 1 heure. L'objectif de la tarification RTP est d'amener les prix de vente de l'électricité au détail à suivre les fluctuations du prix de l'électricité sur les marchés de gros où s'approvisionnent en partie les fournisseurs (prix spot horaire par exemple). Par les mécanismes des lois de l'offre et de la demande, si l'on parvient à réduire ou contrôler la quantité d'électricité demandée à un instant t lorsque les prix augmentent, on peut parvenir à réduire leur volatilité. Cette tarification permet également aux fournisseurs d'électricité de limiter les pertes dues aux écarts entre des prix non dynamiques de vente au détail et prix du marché de gros en période de pointe critique.

Dans la pratique, les prix de l'électricité dans les offres RTP comportent une composante reflétant les prix sur les marchés de gros, mais sont plafonnés et remodelés pour rester acceptables par la clientèle résidentielle. Parfois, comme nous le verrons dans le programme présenté en section 1.2, ce sont des mécanismes de construction des prix très élaborés qui soutiennent les offres de RTP.



Un exemple (fictif) de tarification en temps réel à pas de temps d'une heure.

Les offres de RTP ne sont intrinsèquement pas destinées à proposer un schéma tarifaire figé. Cependant il est indispensable de parvenir à avertir les clients des prix en vigueur à tout moment. Plusieurs options sont possibles. Dans certains cas les prix peuvent être fixés la veille (sur la base des prix des marchés dits « *day-ahead* »⁸⁷) et diffusés, par exemple, sur internet. Dans d'autres cas,

⁸⁷ C'est le cas, par exemple, dans le programme PowerCentsDC présenté en section 3.2 de cette partie.

l'offre RTP n'anticipe pas les prix d'un jour sur l'autre mais s'accompagne d'appareils informatiques (*displays*) souvent équipés de dispositifs d'alerte (sonore ou visuelle) en cas de prix élevés.

De plus, nous constatons que les offres d'électricité avec tarification en temps réel sont souvent couplées avec des mécanismes d'automatisation de la réponse des équipements électriques principaux, en fonction du prix courant du KWh. Cette automatisation est par exemple gérée par une « box » ou un gestionnaire d'énergie. Nous reviendrons sur l'utilisation de systèmes d'automatisation des équipements électroménagers ultérieurement.

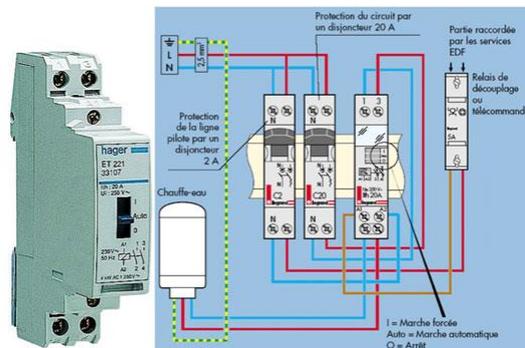
2.1.3 L'automatisation des usages.

Les outils de *demand response* de type éducatifs, informatifs ou encore les tarifications dynamiques ou incitatives, utilisés seuls, nécessitent une certaine implication de la part du consommateur résidentiel. Or, il est souvent hors de question pour lui de se préoccuper à tout moment d'activer ou de désactiver ses usages, au gré des fluctuations de prix. Les dispositifs d'automatisation des équipements domestiques gourmands en électricité, en réponse à des signaux-prix ou ordres d'effacement, se situent dans une optique diamétralement opposée aux processus de prise de conscience de la consommation électrique des usages et de modification des comportements habituels. On trouve différents niveaux possibles d'automatisation, couplés ou non avec des offres de tarification dynamique, agissant la plupart du temps sur les équipements de chauffage/climatisation du domicile, les chauffe-eau, ainsi que sur les appareils électroménagers comme les lave-linge, sèche-linge. Nous les considérons dans cette thèse comme des aides à la *demand response* et non à proprement parler des outils de modification de comportements, qui font l'objet de nos recherches. Cependant, leurs effets méritent amplement d'être soulignés, et il y a fort à parier que leur démocratisation permettrait de fiabiliser les mécanismes de la maîtrise des pointes de la demande.

2.1.3.1 Automatisation du chauffage et du ballon d'eau chaude et pilotage à distance.

En France, depuis plusieurs décennies, les thermostats à programmation horaire permettent de tirer parti des designs tarifaires de type TOU. Ils ne nécessitent forcément de système communicatif. D'autres types de gestionnaires d'énergie communiquent directement avec le fournisseur d'électricité ou d'autres acteurs des systèmes électriques, via des ondes radio par exemple, pour permettre des déconnexions à distance d'appareils afin de délester le réseau d'une part de la charge. Dans notre pays, les compteurs électroniques (bleus, deuxième génération) transmettent, via des signaux par CPL⁸⁸ relayés par un contacteur jour/nuit, qui permettent de d'autoriser le fonctionnement de certains appareils (ballon d'eau chaude, lave-linge...) uniquement durant les heures creuses du tarif TOU français.

⁸⁸ Courant porteur de ligne.



Un contacteur jour/nuit débrayable, Hager et Volta Électricité.

Il est important de préciser que dans une quasi-totalité des cas rencontrés dans les programmes de *demand response* internationaux, le consommateur peut à tout moment reprendre la main sur le système d'automatisation ou de délestage, afin d'utiliser ses équipements comme il le souhaite. L'automatisation est dite débrayable. Il s'agit de l'une des clefs identifiées pour l'acceptabilité de ces solutions par les consommateurs résidentiels.

2.1.3.2 Vers un pilotage plus fin des usages via les « box ».

Depuis quelques années, on voit arriver sur le marché ce que l'on appelle des gestionnaires d'énergies, le plus souvent présentés sous la forme de « box » et parfois équipés de systèmes de *display*, ou encore des thermostats programmables à distance, reçoivent des signaux de prix via un *smart meter* (compteur) communicant ou une connexion Internet. Ils adaptent l'usage des appareils de chauffage et refroidissement en fonction de la température, du prix de l'énergie mais aussi des préférences que peuvent programmer les utilisateurs. Certains appareils, comme des lave-linge intelligents, sont équipés de récepteurs communicants leur permettant de réagir directement aux tarifs en vigueur⁸⁹. Ces équipements sont fréquemment utilisés conjointement à des programmes de type CPP et PTR, car sont aptes à réagir aux signaux ponctuels de pointe critiques, mais aussi à des tarifications RTP.

Enfin, dans un niveau supérieur d'innovation technologique, nous commençons à rencontrer des prototypes de maisons intelligentes (*smart homes*), équipées d'un système optimisant l'utilisation de l'électricité d'un maximum d'usages en fonction des prix en cours et des préférences de confort de l'utilisateur. Ces solutions intègrent à la fois des appareils de *display* destinés à

⁸⁹ Ce type de solution est proposé par exemple par le constructeur danois *Develco*. L'unité intelligente embarquée dans l'appareil électroménager collecte les informations sur des serveurs internet dédiés. Le consommateur se voit alors proposer par la machine divers standards d'utilisation : économique, confort optimal, minimisation des émissions de CO₂...

informer le client de ses consommations en temps réel, et des algorithmes de prise de décision permettant une *demand response* totalement transparente pour lui.

Feedbacks directs, indirects, et tarifications “dynamiques”, appuyés ou non d’une automatisation des usages : tels sont les outils de la *demand response* aujourd’hui. Avant leur diffusion auprès de la clientèle, ils sont bien entendu évalués, principalement via les pilotes de terrain. Comment sont – ils alors jaugés ? Quel type de résultat obtient-on ? Qu’apprend-on ? Quels sont leur acceptabilité et leurs effets réels sur les consommations résidentielles ? Une étude plus fine des pilotes de terrain nous montrera que dans le domaine de l’évaluation de ces outils de la *demand response*, la marge de progression est encore importante.

2.2 La nécessité de déployer des pilotes de terrain : 30 ans d’expérimentations

Depuis la fin des années 1970, les expérimentations visant à tester l’impact de l’information, puis de la tarification variable, sur la demande d’électricité des ménages se sont considérablement développées de par le monde. D’abord réalisés aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, où ils traitaient de l’impact de l’information du consommateur sur sa demande globale, ces pilotes se sont étendus depuis les années 2000, à la plupart des pays de l’OCDE et visent également un objectif de réduction de la demande de pointe par des incitations tarifaires adaptées. Au cours de ces années, des avancées méthodologiques ont été réalisées afin d’établir une relation de cause à effet entre des *stimuli* et la modification de consommation.

2.2.1 Historique des pilotes de *demand response* à l’échelle internationale.

2.2.1.1 *Années 70-80 : de premières expérimentations sur les feedbacks.*

Réalisées essentiellement en Amérique du Nord (et dans une moindre mesure au Royaume-Uni), les premières expérimentations datent de la fin des années 70. Elles portent sur l’influence de l’information délivrée au travers de la facture et des relevés de consommation (feedbacks indirects), mais aussi au travers de signaux en temps réel sur la température extérieure ou des indicateurs de consommation. Essentiellement menées sur de petits échantillons de ménages, elles concluent à l’influence de l’information sur les comportements individuels, au moins à court terme, c’est à dire sur la durée de l’expérimentation qui se limite le plus souvent à une période d’un à deux mois. Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques de ces premières expérimentations.

Alors que la palette des feedbacks testés est déjà relativement large, les résultats obtenus par cette première vague d'expérimentations posent question, à la fois sur la durée, compte-tenu des périodes limitées couvertes et sur la fiabilité statistique, compte-tenu des petits échantillons testés.

Années (énergie)	Auteurs (Pays)	Taille de l'échantillon	Taille du groupe contrôle	Feedback	Economies d'électricité / conclusions	Durée / période
1979 (Elec)	Seligman, Darley and Becker (US)	15 (propriétaires)	14	Indirect : Facturation quotidienne avec indicateur de consommation réelle et estimée	10% .	3 semaines d'expé / été
1979 (Elec)	Seligman, Darley and Becker (US)	80 dans 4 groupes (propriétaires)	20	Indirect : Facturation 3 fois/semaine Les ménages optent pour un objectif (facile ou difficile) d'économies d'énergies et doivent noter chaque lecture du compteur (effet « Hawthorne » potentiel)	13% . Résultats plus élevés si le propriétaire a un objectif élevé de réduction de consommation	4 semaines d'expé / été
1979 (Elec)	Becker Seligman, Darley (US)	10 (alarme lumineuse) 10 (alarme lumineuse et feedback) 10 (feedback seul)	10	Direct : Lumière clignotante calée sur la température extérieure (au delà seuil) + feedback 3 fois/semaine, indicateurs de consommation réelle et estimée	16% pour l'option lumière et feedbacks. Feedback seul ignoré car mal calé (pas crédible)	4 semaines d'expé / été
1979 (Elec) bâtiments neufs, tout-électrique	MC Clelland & Cook (US)	25	75	Direct : contrôle avec afficheur numérique (cents/heures) <i>Displays</i> utilisé pour informer sur les usages les plus énergivores, mais limiter en termes d'économies de facture.	2% Les actions des ménages portent sur les usages autres que le chauffage ou la climatisation.	11 mois sep-juil
1982 (Elec)	Winett & al (US)	85 hiver 53 été	(nc)	Direct : Visites des expérimentateurs Démonstration video sur les moyens de garder son confort sans surchauffer (ou surclimatiser), utilisation d'un langage positif	15% . Feedback+ video donne de meilleur résultat que la video seule..	3 semaines <i>baseline</i> + 5 semaines
1982 (Elec)	Gaskell, Elis, Pike (UK)	80	80 (info alone)	Direct : Lectures du compteur Visites des expérimentateurs (jour ou semaine)	9% sur feedbacks et 11% sur feedback+ info	4 semaines
1986 (Elec + Gaz)	Hutton, Mauser, Filiatrault and Ahtola (US + Canada)	3x25 (1 ville au US + 2 villes au Canada)	3x75	Direct : Indicateur de coût énergétique et informations sur la conso pour 2 groupes	7%.La réponse du consommateur est influencée par son contexte : équipements et températures ex : tout élec et température extrême = meilleure réponse.	Non clair
1987 (Elec + gaz)	Sluce and Tong (UK)	31 ménages à bas revenus zone urbaine	25	Direct : visites toutes les 2 semaines avec conseils et lecture de compteurs.	13% L'échantillon testé a bénéficié de travaux d'isolation durant l'étude	5 mois/

Tableau synthétique : Première vague d'expérimentations sur les feedbacks 1970-1980.

Dans les expérimentations sur petits échantillons, une grande importance est accordée à l'encadrement et au suivi de la population ciblée. Celle-ci est étroitement suivie, guidée, surveillée. Le risque est alors l'introduction d'un biais lié à cette observation rapprochée, connu sous le terme de « Hawthorne effect » (voir par exemple Adlair J. (1984), pour un exemple parmi l'immense littérature dédiée à l'effet Hawthorne) selon lequel les participants se comportent différemment parce qu'ils savent qu'ils sont observés (pour une image personnelle ou pour faire plaisir aux personnes chargées de l'expérimentation). Ainsi, Becker, L. & al (1979) admettent dans leurs expérimentations de 4 semaines auprès de 100 consommateurs, l'existence potentielle de cet effet. Avec des durées d'expérimentation plus longues et des échantillons plus grands, cet effet devrait être minimisé (Darby S. (2006)).

2.2.1.2 Années 90 : Des expériences pilotes plus fiables.

Dans les années 90, une deuxième vague d'expérimentations voit un élargissement des pays étudiés aux pays de l'Europe du Nord ainsi qu'un allongement de la durée des expérimentations qui s'étend de 9 mois (Brandon G. et Lewis A. (1999)) à 3 ans (Nielsen L. (1993)). Les études scandinaves portent également sur des échantillons plus grands et testent majoritairement des feedbacks indirects (voir tableau ci dessous).

Années (energie)	Auteurs (Pays)	Taille échantillon	Taille du groupe contrôle	Feedback	Economies d'électricité / conclusions	Durée / période
1992 (Elec, tout électrique)	Dobson & Griffin (Canada)	25	75	Direct : Information sur le coût de la consommation (base horaire, mensuelle et annuelle)	13%	2 mois
1993 (Elec, hors chauffage élec)	Nielsen (Dk)	1.500	nc	Direct : lecture consommation réelle sur compteur Indirecte : Information écrite	1% (appartements, ménages à bas revenus) 10% (maisons)	3 ans
1994 (Tout électrique)	Arvola & al (Finland)	525	175	Indirect : facture tous les 36 jours, et ajout d'informations sur l'historique de consommation la 2ème année.	3% à 5 % (la facturation plus fréquente semble avoir les meilleurs résultats) Meilleurs résultats sur les ménages à faibles revenus et aux courbes de charge élevées.	2 ans
1995 (elec + chauffage urbain)	Garay & Lindholm (Suede)	600	600 (groupe pas assez similaire pour fournir des résultats fiables).	Indirect : Facture mensuelle avec des informations sur les consommations et des comparaisons historiques et entre voisins.	Tendance à la réduction de consommation dans les habitations avec chauffage électrique; mais hausse du chauffage urbain (réseaux chaleur).	15 mois
1998 (elect hors chauffage électrique)	Haakana & al (Finland)	105		Indirect : relevé mensuel du compteur par le ménage, feedback de comparaison mensuelle historique	7% (au sein du groupe cible, à partir de comparaison de consommation mensuelle sur le période dec-mars et avril-nov).	2,5 ans

1995 (Elec)	Wilhite & Ling (Norvège)	191 facture plus fréquente 209 feedback 211 feedbacks + conseils	675 sélectionné d'après : statut propriétaire, taille du logement ...)	Indirect : 6 factures/an à partir du relevé de compteur avec un texte et un graphique de l'année précédente sur la même période de consommation, corrigée des variations de températures.	10%. Un faible niveau d'économie d'électricité est obtenu par la changement de combustible. Les jeunes consommateurs ont une propension supérieure à réduire leurs consommations.	3 ans
1997 (Electricité)	Wilhite (Norvège)	2000		Indirect : relevé des compteurs par les consommateurs tous les 60 jours, Après 1 an, ils reçoivent leur feedback historiques.	8%. En avril 1998, la consommation des participants avait diminué de 4% par rapport à leur consommation de référence (<i>baseline</i>) alors que les consommateurs hors expé augmentaient leur consommation de 4%.	21 mois (de mars 1995 à dec 1996)
1999 (Gaz et elec)	Brandon & Lewis (R.U.)	120 dans 7 groupes dont le groupe de contrôle		Direct : feedback sur PC avec information écrite	12% pour certains mais un accroissement de consommation de 3% pour les autres.	9 mois
2000 (Elec)	Henryson & al (7 études) Scandinavie	Echantillons compris entre 600 et 1500		Indirect : Factures avec et sans information supplémentaire	0, 2, 2, 3, 2-4, 10 et 12% (7 études). Plus la durée du pilote est longue, plus l'effet est prolongé	variable

Tableau synthétique : une deuxième vague d'expérimentations sur les feedbacks dans les années 1990-2000.

Si ces expérimentations semblent davantage que les précédentes pouvoir se prêter à des analyses statistiques, elles posent cependant des questions méthodologiques centrales qui pénalisent la fiabilité des résultats quantitatifs qu'elles obtiennent. Ainsi, la question des échantillons, en particulier du groupe de contrôle dont le profil de consommation doit être similaire au groupe cible a été sous-estimée (Garay J. et Lindholm P. (1995) ; Haakana *et al.* (1997) ; Wilhite H. et Ling R. (1997)). De ce fait, la question de la persistance des comportements dans le temps qui paraît pourtant centrale pour certaines expérimentations (Dobson J. et Griffin J. (1992), Haakana *et al.*, (1997)), ne parvient pas à trouver de réponse satisfaisante au plan scientifique.

2.2.1.3 Années 2000 : l'arrivée massive des expériences de tarification dynamique.

Depuis les années 2000, les expérimentations connaissent un développement spectaculaire à la fois par le nombre d'études pilotes réalisées dans de nombreux pays et par l'introduction des tarifications dynamiques, associées au feedback.

En effet, la nouveauté de cette dernière décennie est le test des tarifications variables selon l'heure, le jour et/ou et la saison, en particulier auprès de grands échantillons de ménages, aux USA (Anaheim CPP experiment, 2004 ; California Statewide Pricing Pilot – Charles River Associates 2005 ; Puget Sound Energy, 2005 ; Gulf Power Company - Goodcents, 2005), et plus récemment au R.U. (Energy Demand Reduction Project, 2008), ou en Allemagne (Enerbest Storm Smart, 2008 ; MERegio,

2009). Si la tarification horo-saisonnière (*Time-of-Use*) est la plus testée, la tarification de pointe (*Critical peak pricing*), la tarification en temps réel (*Real Time Pricing*, calé sur les prix de gros et plafonné), ou les rabais de pointe critique (*Peak time rebate*) correspondant à des bonus pour les ménages réduisant leurs consommations, font leur apparition (Laville & Lesgards, 2009).

Les tarifications variables (hors bonus) créées par les industriels reposent la plupart du temps sur la règle de la neutralité budgétaire selon laquelle le consommateur médian qui ne modifie pas sa consommation recevra la même facture avant et après le changement de prix (prix « hors pointe » et de pointe). Cela signifie que la moitié des consommateurs verra une hausse de sa facture (à consommation inchangée) alors que l'autre moitié – ceux dont la consommation est très inférieure à la moyenne lors des pointes- verra sa facture diminuer, et ce en l'absence de modification de consommation.

De ce fait, les économistes investissent le champ de ces expérimentations (Barbose G., Goldman C. et Neenan B. (2005) ; Faruqui A. et Sergici S. (2009)). Et, parallèlement, les analyses visant à compiler ces études et leurs résultats se développent, tant du point de vue des feedbacks (Darby S. (2006) ; Faruqui A., Sergici S. Sharif A. (2009)) que des tarifications (Owen G. et Ward J. (2010), Faruqui A et Palmer J. (2011)).

Dans ces études, les feedbacks changent de finalité : ils deviennent des indicateurs des changements de prix et des supports aux comportements de report de consommation davantage que de réduction de consommation et d'économie d'énergies. Cette évolution du rôle des feedbacks dans les expérimentations s'explique par la problématique des pointes de consommation qui est devenue particulièrement prégnante dans un contexte post-dérégulation du secteur électrique. Elle résulte de deux constats : d'une part, une croissance des pointes de consommation (et de la sensibilité de la consommation aux températures mesurée par un gradient thermique à la hausse) plus fortes parfois (comme en France) que la croissance globale de consommation des ménages ; d'autre part, un problème d'incitations aux investissements de pointes dû au fonctionnement des marchés électriques issu de la dérégulation du secteur (Joskow P. (2006) ; Borenstein S. (2002)).

Date	Pilote / Etude (Pays)	Echantillon cible	Echantillon contrôle	Résultats / conclusions	Instruments Tarifs Feedback	Durée /	
AMERIQUE DU NORD							
1987	Sexton & al (US)	480	120	26% de réduction de la pointe (pas d'économies d'énergies)	Horo-saisonnier (heures creuses /heures pleines)	Ecran de contrôle (consommation de pointe, hors pointe et globale)	
2003-05	California Statewide pricing pilot / Charles river Associates (US)	2.500	750	6-27% de réduction de pointe selon les tarifs et l'automatisation des équipements – l'information seule est sans effet. Avec un signal prix, économie d'électricité globale de 4%	- Horo-saisonnier - Horo-saisonnier + pointe critique (fixe et variable)	Direct : SMS & indirect : information écrite + conseils	18 mois
2006	Olympic Peninsula Project / PNNL (US)	112	25	Forte automatisation des équipements Réduction de 25% de la consommation de pointe (avec horo-saisonnier),	- Tarifs temps réel - Horo-saisonnier	Ecran de contrôle et de pilotage (<i>goodwatts</i>) – feedback direct	12 mois

				15% (avec temps réel)			
2007	Ontario energy Board smart Price (Canada)	375	125	6 – 25% de réduction de pointe selon les tarifs. Effet économie d'énergie de 6% sur l'ensemble des consommateurs (6% pour tarif horo-saisonnier, 4,7% pour tarif de pointe et 7,4% pour la tarification temps réel)	- Horo-saisonnier - Horo-saisonnier + pointe critique - Horo-saisonnier + temps réel	Information écrite et Magnet (feedback indirect)	7 mois Août/fév
2008	PowercentsDC (US, Columbia)	1.400	400	Thermostats intelligents (Comverge)	- Horo-saisonnier - Temps réel - Rabais de pointe critique	Feedback direct (<i>display</i> affichant le prix de l'électricité et la dépense cumulée estimée)	7 mois Août/fév
2008-2011 (E)	Smart metering Project / CER (Irlande)	5.500	1.170	8,8% de réduction de pointe et 2,5% de réduction globale (effet secondaire de la tarification)	- horo-saisonnier - bonus	Feedback indirect (facture bimestrielle ou mensuelle détaillée + magnet et stickers + accès info web)	12 mois
2004 (E)	Northern Ireland Electricity (NIE) Keypad Powershift (Irlande)	100	100	Effet de déplacement des consommations mais pas d'économies d'énergies	- horo-saisonnier		11 mois
2008	Energy Demand Research Project (ERDP) (Royaume-Uni)	47.000	16.000	10% de réduction de pointe et ≅ 3% de réduction globale (traitement AECOM pour Ofgem)	- horo-saisonnier	Feedbacks indirects (facturation, conseils...) et directs (alarme, <i>display</i> , web, TV)	24 mois
2009	MeRegio (Germany)	1.000	Oui (nc)	17% de réduction de consommation de pointe, 3% de réduction de consommation globale	- Temps réel - Pointe critique variable	Feedbacks directs et indirects	36 mois
Reste du monde							
1996	Kyushu Experiment (Japon)	400	400	1% de réduction de la pointe journalière	- horo-saisonnier + bonus incitatif	Feedbacks directs (<i>display</i> temps réel)	3 mois (été)
2006-07	Energy Australia Pricing Study (Australie)	750	oui (nc)	5,5% à 7,8% de réduction de pointe, majoritairement en économie d'énergie (faible report de l'air conditionné)	- Horo-saisonnier - Horo-saisonnier + pointe critique (2 niveaux)	Feedback indirect (info écrite) et direct (in-house <i>display</i>)	3 semaines (référence) + 5 semaines

Tableau synthétique : Expérimentations associant les feedbacks et la tarification dynamique de l'électricité en Amérique du Nord et en Europe - Sélection d'études –

C'est ainsi que le pilote Californien (Statewide Pricing Pilot, 2005) emblématique en termes de budget (20 millions de dollars), d'échantillons (2.500 ménages) est apparu suite à la crise énergétique de 2000, marquée par l'envolée des prix et le black-out de l'été 2000. Rappelons qu'en Californie, 25% de la capacité de production est utilisée moins de 100 heures par an, pendant la période chaude.

Si les travaux de recherche sur les comportements des ménages intègrent dorénavant la question du report temporel des consommations assurant un lissage de la courbe de charge, ils conservent toutefois leur vocation initiale d'économies d'énergies. L'objectif est donc de mesurer à la fois une réduction de consommation et un report temporel aussi bien aux Etats-Unis (dont le projet Statewide Pricing Pilot) qu'en Europe (Smart Energy Project, 2008, ou CER, 2011 en Irlande ; Enerbest Stom Smart, 2009 et MERregio en Allemagne, EDRP, 2010 au Royaume-Uni).

2.2.1.4 *Quel avenir proche pour les pilotes de terrain ?*

La décennie qui s'amorce risque encore de complexifier notre besoin de connaissance avec le développement de nouvelles formes de production et de nouveaux usages électriques. Du point de vue des *feedbacks*, ceux ci pourront également être sollicités pour accompagner le développement des énergies réparties d'origine renouvelables, c'est à dire produites sur leur lieu de consommation. Dans le même sens, l'émergence du véhicule électrique s'accompagne également du développement des afficheurs et des tableaux de bord évolués informant le consommateur sur les consommations et les caractéristiques de recharge du véhicule (prix de l'électricité, localisation des stations de recharge...). Du point de vue de la tarification dynamique, ces nouvelles technologies –énergies réparties et véhicule électrique- appellent également à des prix variables dans le temps pour mieux répartir leurs consommations et/ou production, selon l'état du réseau et les besoins du système électrique. Rappelons qu'en France, le développement des ballons d'eau chaude sanitaire à accumulation a été étroitement lié à celui du tarif heures creuses/heures pleines (1965) permettant de stocker la chaleur produite la nuit pendant les plages horaires heures creuses. Quarante ans plus tard, l'apparition de nouvelles technologies comme le véhicule électrique, l'eau chaude solaire ou la micro-production est de nature à renforcer l'adoption de tarifications dynamiques et de les rendre plus complexes en leur demandant d'intégrer la gestion fine de différents équipements qui deviennent bidirectionnels. Cette évolution devrait concourir à accroître les élasticités de substitution entre les périodes ainsi qu'à concilier la maîtrise et le report de la consommation d'électricité.

En parallèle au développement de pilotes liés aux nouvelles technologies disponibles, les pilotes de demain seront probablement aussi davantage portés sur l'aspect réaliste du programme, sur sa propension à pouvoir être déployé à large échelle par la compagnie dans le cas de résultats probants : la concrétisation des pilotes en offres commerciales grand public est de plus en plus proche.

2.2.2 *Quelles analyses autour de la création d'une offre de demand response ?*

Les études lancées au préalable du développement d'une offre de *demand response* se doivent de répondre à un certain nombre de questions inéluctables, dans le but de servir d'appui à la conception du produit final. Les pilotes, entre autres, sont en mesure de contribuer à apporter des réponses à ces questions, qui sont d'ordre et de niveau différents.

2.2.2.1 Evaluation de la faisabilité technique.

Tout d'abord sur un plan technique, le pilote de terrain permet de vérifier la faisabilité du déploiement du programme de *demand response*. En effet, une grande partie des offres de *demand response* nécessite un matériel encore non installé chez le client, ou l'exploitation nouvelle d'un support déjà en place. A titre d'exemple nous pouvons citer :

- L'utilisation de compteurs dit « intelligents », ou *smart meters*, qui permettent un relevé à distance des consommations, mais surtout un relevé précis de ces consommations, par tranches de 10, 30 ou 60 minutes. L'installation de ces compteurs doit être étudiée avec précision. Du point de vue de la mise en place physique d'abord, puis du point de vue de la communication amont et aval des données de comptage, et enfin du point de vue du traitement des données, il est indispensable pour les compagnies de savoir quelles sont les difficultés rencontrées, les améliorations à prévoir, de chiffrer le coût d'installation des appareils (main d'œuvre et matériel), ainsi que le temps et la main d'œuvre nécessaires aux installations. Cette étape du programme est parfois réalisée en collaboration avec la compagnie chargée de distribuer l'électricité (par exemple à ERDF dans le cas de la France).
- L'installation et l'utilisation d'un appareil de *display*, qui peut être soit un afficheur ambiant, soit un système proposant des informations sur la consommation électrique du foyer. A partir du moment où un appareil destiné à afficher des informations doit en premier lieu collecter ces informations, le caractère communicant de ces objets doit être évalué. Les informations (majoritairement depuis le compteur, mais également reçues de la part du fournisseur d'électricité), circulent quasi exclusivement par ondes électromagnétiques : WiFi, ondes radios, CPL⁹⁰. Ces modes de communications sont encore relativement récents et leur intégration aux foyers n'est pas forcément évidente. L'intervention de techniciens est souvent nécessaire dans le cadres de pilote, même pour des appareillages relativement simples ou de type « *plug and play* ». Cette intervention est d'autant plus requise qu'il s'agit d'une expérimentation : il y a peu d'intérêt à laisser les participants (souvent volontaires) se lasser d'un appareil qu'ils ne parviendraient pas à installer.
- L'utilisation de supports existants (télévision, ordinateur) pour diffuser du contenu informatif. L'expérimentation de terrain permet d'observer la compatibilité des ces supports avec l'interface informative.
- La mise en place de systèmes d'automatisation des usages électriques. Ce type d'instrument de la *demand response* se révèle souvent être le plus élaboré sur le plan technique, surtout lorsque le système interagit avec des signaux externes (issus du fournisseur ou distributeur d'électricité). Ce sont à la fois les dispositifs communicants et l'intégration aux usages du foyer qui peuvent poser problème, nécessiter une mise en place complexe et plusieurs interventions techniques à domicile.

⁹⁰ Courant Porteur de Ligne, introduit et expérimenté en France dès l'an 2000.

L'expérimentation sur un panel de la clientèle est donc indispensable, car, même si des tests préalables peuvent être réalisés en laboratoires technologiques, seul l'éventail des situations offertes par un échantillon de la population réelle permet véritablement de faire ressurgir les difficultés liées au déploiement d'un outil de la *demand response*.

2.2.2.2 Evaluation de l'acceptabilité.

L'acceptabilité est un concept largement étudié dans le domaine de l'innovation, qui propose un certain nombre de modèles expliquant les étapes de l'intégration d'un produit. Les études de ces mécanismes se sont démultipliées ces dernières décennies, du fait de l'arrivée des NTICs : on pourra voir à titre d'exemple Tricot A. *et al.*, (2003), qui présentent les modèles les plus classiques de l'acceptabilité tout en définissant les concepts voisins d'usabilité et d'utilité. Les modèles applicables aux outils de la *demand response* et dont les variables sont précisément celles observées dans les pilotes de terrain sont plus rares. Alors que Davis F. (1986) insiste sur la perception de la facilité d'utilisation et la perception de l'utilité du produit, Mallein P. (2002), dans un modèle plus fin et plus proche de notre cas d'étude, définit dans ses travaux les quatre facteurs qui selon lui déclenchent l'usage d'une innovation. Selon l'auteur, le produit :

- Doit avoir du sens pour son usager, son utilisation soit perçue comme positive
- Doit être utile dans ses activités quotidiennes
- Doit être facilement utilisable et d'usage soit simple à comprendre
- Doit présenter une valeur ajoutée économique réelle

Dans notre cas, l'évaluation de l'acceptabilité des outils incitatifs de la *demand response* est duale. D'une part, on peut observer l'acceptabilité d'un produit lorsqu'il est nouvellement présenté à la clientèle. Dans ce sens, l'acceptabilité peut être binaire (accepter ou refuser le produit), soit graduelle (le produit est acceptable en deçà d'un certain seuil de prix ou sous certaines conditions, on parle alors de degré d'acceptabilité du produit). D'autre part, on peut chercher à évaluer l'acceptabilité d'un produit une fois adopté. Il s'agit le plus souvent d'une appréciation qualitative dans ce cas précis, et ce critère est surtout pertinent dans le cadre d'expérimentation autour d'un nouveau produit, les sujets participants à l'expérience étant amenés à donner leur avis sur le produit en question.

Dans le cas de l'électricité, évaluer l'acceptabilité des offres de *demand response* constitue l'un des objectifs majeurs de certains pilotes de terrain, particulièrement en raison du lien étroit entre consommation électrique et sensation de confort au sein du foyer, bien que cette évaluation ne soit pas homogène et soit concentrée sur l'acceptabilité d'une offre une fois implémentée dans le foyer.

2.2.2.2.1 L'appétence d'une offre de contrat électrique à l'adoption : une composante peu étudiée dans les pilotes de terrain.

L'acceptabilité dite ex-ante⁹¹ d'une offre de contrat, que celle-ci soit intégrée à un programme de *demand response* ou non, n'est pas une composante fréquemment étudiée dans les pilotes de terrains mis en place par les compagnies électriques. Proposer aux sujets participant au pilote le choix entre une nouvelle offre ou leur offre actuelle, leur proposer un panel de différentes offres parmi lesquelles choisir celle qui sera réellement implémentée chez eux le temps de l'expérience, ou encore moduler les tarifs liés à l'offre en question pour tenter de la rendre acceptable n'est, la plupart du temps, pas envisageable. Les raisons de ce manque d'études sont principalement pratiques.

Tout d'abord la mise en place d'un pilote de terrain impliquant les clients d'une compagnie est un processus long et nécessitant une préparation intense. Chaque outil de *demand response* est conçu avec un grand soin et souvent en collaboration avec les équipementiers, les distributeurs, les associations de consommateurs. Au moment de leur confrontation avec un échantillon de clientèle, ces outils doivent être parfaitement prêts, et non simplement au stade d'ébauche, sans quoi la pertinence des résultats ne serait pas assurée. Concevoir de front toute une palette d'outils de *demand response* afin de pouvoir laisser aux sujets le choix entre plusieurs offres s'avèrerait probablement d'une trop grande lourdeur pour être efficace.

Ensuite, étant donné que les participants d'une expérimentation sont principalement des clients volontaires et rémunérés pour leur coopération, il apparaît difficile d'évaluer graduellement l'acceptabilité d'une offre qu'on leur propose en déterminant à partir de quel seuil de prix d'entrée ils sont susceptible d'y adhérer, et, ce, même dans le cas où l'on s'autoriserait à utiliser des prix négatifs⁹². En effet, utiliser ce mode d'adhésion à l'offre risque de biaiser toute analyse des consommations, essence même du pilote de terrain, puisque ce ne sont, finalement, plus les mêmes versions d'une offre qui sont mises en place chez les différents participants.

Enfin, on pourrait imaginer affecter les clients volontaires à des groupes distincts en fonction de leur choix face à un panel de différentes solutions de *demand response* élaborées par l'instigateur du pilote. Le problème est alors reporté du côté de la méthodologie. En effet pour parvenir à réaliser une étude statistique pertinente, il convient d'avoir des échantillons, si ce n'est de même taille, au moins assez conséquents pour que commenter les résultats ait un sens. Or, on sait d'après les rapports de procédure des pilotes que le recrutement de sujets n'est pas une étape aisée. (On a un taux de retour positif moyen autour de 7%). Dans le cas où une offre serait extrêmement plus attractive que les autres aux yeux des sujets, et serait majoritairement choisie, les effectifs des échantillons alloués aux autres offres risqueraient de ne plus être suffisamment importants pour permettre une analyse statistique des baisses de consommation observées, ni une comparaison

⁹¹ C'est-à-dire « antérieure au début du contrat », soit encore l'acceptabilité liée à l'adoption d'une nouvelle offre ou un nouvel outil incitatif. Elle est opposée dans cette thèse à l'acceptabilité *ex-post*, postérieure à l'adhésion à une offre ou l'adoption d'un outil incitatif, qui concerne, elle, le vécu du dispositif de *demand response* à l'intérieur d'un foyer.

⁹² Les prix négatifs correspondent à une rémunération.

inter-offres. Or, l'attractivité d'une offre n'est pas le seul déterminant de son lancement commercial, son effet réel sur les consommations, c'est-à-dire son but initial, étant également décisif : perdre l'intérêt du pilote dès la fin de la phase des groupes échantillon s'avèrerait particulièrement contre-productif.

Ainsi, dans un certain nombre de pilotes, seul un seul outil de *demand response* est étudié, parfois de manière différentielle en comparaison avec le comportement d'un groupe témoin. Lorsque différentes offres ou outils sont testés au sein du même pilote, les groupes auxquels sont affectés chacun d'entre eux sont constitués soit préalablement au recrutement (chaque groupe est recruté séparément, s'il s'agit d'un recrutement téléphonique, le script peut être légèrement différent⁹³), soit de manière aléatoire une fois le pool de sujets uniformément recrutés.⁹⁴

Lorsque le recrutement est fait de manière différenciée pour chacun des outils de *demand response* à évaluer, observer leurs taux de retours positifs respectifs peut donner une indication quant à leur attrait auprès de la population. Ainsi, pour le pilote britannique EDRP que nous détaillerons ultérieurement, il nous a été possible de comparer les taux de retour de 10 outils de *demand response* (voir section 3.1). Cependant, l'étude de ces données ne doit pas constituer une référence de base et unique. En effet de nombreux effets peuvent entrer en compte et expliquer tout ou partie des différents taux de retour : la manière dont est conduit le recrutement pour chacun des groupes, les pré-requis pour les sujets variant d'un groupe à l'autre...

L'attractivité des offres, leur acceptabilité ex-ante n'est donc pas ou très rarement étudiée par les pilotes de terrain, et, en règle générale, que de manière ponctuelle dans les études préalables au lancement d'un programme de *demand response*.

2.2.2.2 Acceptabilité du mécanisme incitatif en place durant l'expérimentation.

L'évaluation de l'acceptabilité des outils incitatifs installés dans les foyers lors des pilotes de terrain est principalement faite de manière qualitative, par le biais de questionnaires ou au fil des retours clients réalisés durant la période d'expérimentation. Il peut s'agir de questionnaires réalisés par téléphone ou sur papier, permettant de recueillir les ressentis des habitants. L'acceptabilité, à ce niveau, n'est pas binaire ni graduellement associée à un prix de type consentement à payer (ou consentement à recevoir). Les variables analysées pour éprouver l'acceptabilité d'un outil incitatif lors de son utilisation sont majoritairement de 3 grands types, qui reprennent les axes explicités par Mallein P. (2002) :

- Acceptabilité financière : est-il envisageable pour le foyer de supporter l'impact de l'outil incitatif dans le cas où celui-ci est tarifaire ? Les modifications engendrées sur la facture

⁹³ C'est le cas par exemple pour le pilote britannique EDRP, que nous détaillerons dans la section 3.1. ultérieure.

électrique en cas de manquement aux appels à la réduction de consommation sont-elles absorbables ? Les incitations financières compensent-elles les efforts éventuellement effectuées ? Ces questions sont majeures dans le cadre de la vente d'un produit de bien public, à fortiori dans le cas où le design tarifaire est destiné à être développé à très grande échelle, voire, à long terme, généralisé dans l'optique d'atteindre les objectifs de réductions de consommation. Il n'est pas question de générer une forte hausse du montant de la facture électrique chez des foyers pour lesquels un effacement est impossible sans une forte perte de confort ou une dégradation des conditions de vie. Pour une très grande majorité des foyers, l'accès à l'électricité est un gage de salubrité.

- Acceptabilité en termes de confort. Cette composante de l'acceptabilité globale de l'outil de *demand response* fonctionne souvent de pair avec l'acceptabilité financière dans le cas d'une offre tarifaire incitative. En effet, pour rendre l'offre avantageuse ou ne pas être pénalisé, même dans le cas d'un contrat aux contraintes fortes, il est souvent possible de diminuer la consommation tout en diminuant le confort du foyer. Nous évoquons évidemment le fait, par exemple, de couper le chauffage électrique ou bien la climatisation, mais il peut également s'agir de tout report impliquant une modification des habitudes du quotidien du foyer.
- Acceptabilité en termes d'intégration des objectifs de réduction et de facilité d'utilisation. Le vécu des modifications des routines, habitudes et comportements du foyer imposés ou suggérés par les outils de la *demand response* est également la résultante de leur intégration au système de pensée des individus. Evaluer l'acceptabilité des programmes incitatifs, c'est également éventuellement analyser la compréhension qu'ont les sujets des enjeux sous-jacents et la représentation qu'ils ont de leurs propres actions dans le système global de réduction des pointes et de la consommation globale : les clients ont-ils compris ce que l'on attendait d'eux ? A ce niveau-là, un grand nombre de pilotes utilisent un argumentaire écologique, se rapportant à l'enjeu le plus parlant, le plus vendeur, de la réduction des pointes de consommation électrique. Mais connaître les enjeux et savoir qu'il est possible de contribuer à les atteindre ne suffit pas, il faut également en être capable et sans que cela ne génère de réflexions ou d'attention excessives. La deuxième question soulevée à ce niveau est donc de savoir si la mobilisation de temps de pensée générée par l'introduction au foyer de l'outil ou de l'offre de *demand response*. Face à cet état de veille potentiellement induit par un mécanisme incitatif, les individus se démarquent, permettant aux compagnies étudiant les pilotes de tracer une segmentation de leur clientèle, de l'écologiste pratiquant vers l'indifférent peu disponible.

L'acceptabilité telle qu'elle est étudiée dans les pilotes de terrains consiste donc principalement à évaluer les comportements des participants face à ce que nous pouvons considérer comme étant les coûts de transaction induits par l'adoption d'un outil ou d'une offre de *demand response*. Bien qu'il ne s'agisse pas des coûts de transactions définis dans la littérature de l'économie des marchés, comme la typologie proposée par Dahlman C. (1979), il s'agit bien pour le participant, de l'effort potentiel d'information préalable, de la projection dans un système opposant confort et gain financier, pour l'acceptabilité ex-ante ; puis d'une analyse des apports effectifs en termes de confort et de gain financier de l'outil, et une observation de la qualité de la prestation fournie en ce

qui concerne l'acceptabilité ex-post. La réaction des participants conditionne la réussite de la future offre commerciale⁹⁵, car, aussi incitative soit-elle, une solution n'en est une que si elle est adoptée par un certain nombre de clients, et les résultats apportés par les pilotes de terrain à ce sujet permettent ainsi d'affiner les outils de la *demand response*.

2.2.2.3 Comportement induit par les outils incitatifs et intérêt pour la compagnie.

Alors que la connaissance de l'intérêt ex-ante des clients pour une offre de *demand response*, ou encore l'acceptabilité du mécanisme une fois installé dans le foyer ou intégré au quotidien permettent d'estimer le succès et la durabilité de cette offre auprès de la clientèle, il est également indispensable d'observer quelles sont les modifications de comportements de consommation électrique induits par ces dispositifs au sein des foyers participants au pilote. En effet, nous avons vu qu'un outil incitatif efficace mais à l'acceptabilité très faible car trop contraignant ne constitue pas une solution unique. De la même manière, un outil au contraire très acceptable mais n'ayant pas d'impact sur les consommations, voire pire, un impact négatif (c'est-à-dire une hausse des consommations), n'est pas idéal.

C'est donc le comportement ex-post⁹⁶ de la clientèle qui intéresse les compagnies désireuses d'analyser les outils de la *demand response*. C'est également son analyse, quantitative comme qualitative, qui est majoritairement exploitée dans ces mêmes pilotes.

D'un point de vue qualitatif, ce sont les modifications des comportements au sein du foyer qui sont observées sous forme de changement des habitudes et routines de la vie quotidienne par exemple, ou encore l'adaptation progressive du foyer à l'outil de *demand response*. Le changement des habitudes du foyer face à l'introduction d'un outil nouveau (objet, contrat...) est un sujet particulièrement étudié dans la littérature de sociologie et psychologie, et l'on peut trouver des approches pertinentes et liées à notre cas d'étude sont étudiés dans la comme le comportement « écologique » face au choix d'un mode de transport (Klöckner C. , Blöbaum A. (2010)), ou encore toute attitude visant à la réduction de consommation d'énergie au foyer (une bibliographie exhaustive est proposée par Poortinga *et al.*(2003)). D'autres études sociologiques et psychologiques internes ou externes sont directement orientées vers les changements de comportements énergétiques ou électriques (Francfort I. *et al.* (2009a), Francfort I. *et al.* (2009b)), et plus principalement tous les facteurs et barrières à des changements (Bartiaux F. (2009)) par l'introduction d'un outil de la *demand response* dans un foyer est l'ensemble des tendances, usage par usage, au report ou au renoncement de consommation. Ces modifications de comportements sont l'objet d'études empiriques lors de certains pilotes de terrain. Les observations sont faites soit par le biais de capteurs (caméras...) soit par le biais de questionnaires déclaratifs avant, pendant et après le pilote, pour détecter les changements de comportement. La seconde méthode présente l'inconvénient de comporter un fort risque de biais lié aux perceptions et croyances des participants,

⁹⁵ Excepté dans le cas évident où l'offre est amenée à être généralisée à l'ensemble d'une clientèle.

⁹⁶ Cf note 91 concernant le comportement ex-ante.

qui pourraient ne pas être tout à fait objectifs dans leurs réponses. Quoi qu'il en soit, les informations collectées par ce genre d'études permettent avant tout de comprendre comment améliorer le design des outils incitatifs pour qu'ils incitent davantage aux changements de comportements de consommation électrique, et, surtout, qu'ils incitent à faire les bons changements, quelles que soient les connaissances et croyances initiales des clients. Un programme de *demand response* peut sembler parfaitement conçu sur le papier mais en réalité, une fois confronté au terrain, se révèle enclin à pousser les clients à faire les mauvais choix⁹⁷.

Enfin, l'élément le plus étudié, non pas par la littérature théorique cette fois-ci, mais par les compagnies elles-mêmes, est l'efficacité de l'outil incitatif en termes d'impact sur les consommations d'électricité. Il s'agit donc cette fois-ci d'explorer et de quantifier les réductions de consommation, que ce soit en pointe et en tendance. Il est extrêmement important pour les compagnies de tenter de chiffrer les effets de l'outil sur la consommation des clients, et ce pour plusieurs raisons majeures. Tout d'abord, il s'agit de constater si, oui ou non, l'outil est efficace et remplit le rôle escompté auprès de la population en termes d'incitations à la réduction : c'est, par définition, l'objectif principal des pilotes de terrain. Ensuite, cela permet d'envisager une prévision des futures courbes de charge des consommateurs et donc d'estimer la baisse de la demande électrique, pour un meilleur ajustement de la production. Enfin, cela permet de connaître quelle est l'économie réalisable pour la compagnie du fait des effacements et donc de bâtir une analyse économique du programme de *demand response* en vue d'un déploiement grâce à l'évaluation de l'efficacité du pilote.

La réduction de consommation peut être mesurée en puissance instantanée effacée (kW effacés) ou en énergie économisée (kWh économisés sur une plage horaire donnée, voire même sur une plus longue période, allant jusqu'à la durée d'une période de facturation, cette quantité étant exprimée de manière absolue ou relative par rapport à un niveau de consommation de référence). Usuellement, dans la très grande majorité des pilotes de terrain adressés aux clients résidentiels, les réductions de consommation sont mesurées et exprimées en kWh, et non en puissance instantanée. Cela est pertinent puisqu'on travaille, lorsqu'on étudie les consommations de pointe, sur des courtes périodes (quelques heures au maximum), pour lesquelles une réduction de consommation sur un tel créneau est – la plupart du temps – synonyme d'une puissance instantanée plus faible.

Dans le cas où le programme incitatif se présente sous la forme d'un tarif, l'indicateur qui semblerait idéal pour mesurer l'impact des prix sur le niveau de consommation est l'élasticité aux prix. L'élasticité est un indicateur économique utilisé pour décrire d'un seul chiffre la sensibilité de la demande au prix. Certaines variantes peuvent également décrire la proportion de consommation reportée d'une période à une autre. On peut voir l'annexe 1.2 pour davantage de détails, l'élasticité n'étant pas l'objet de cette sous-section. Certaines compagnies utilisent les calculs d'élasticité sur la base des données des pilotes de terrain pour prévoir les réductions de consommations de leurs offres tarifaires à grande échelle, ou encore pour tenter de calibrer les modèles de la demande résidentielle de leur clientèle. On peut voir à ce sujet l'une des publications de Faruqi, A. & Sergici, S. (2009), qui constituent une démonstration de cette utilisation des pilotes de terrain. L'objectif est même plus poussé puisqu'un logiciel est élaboré sur la base de résultats d'un ensemble de pilotes

⁹⁷ C'est par exemple le cas du pilote californien d'Anaheim, que nous évoquerons plus en détail en section 3.3 de cette partie du rapport de thèse.

afin de construire un outil de prédiction d'impact tarifaire (voir section 5.2.2). Cependant, l'élasticité-prix n'est pas un indicateur sans controverse. Trop simpliste, trop décorréllé de la réalité et de la multitude de facteurs impactant les résultats d'un pilote de *demand response* : l'élasticité s'intéresse seulement au prix, alors que les réductions de consommation ne sont pratiquement jamais attribuées uniquement aux ratios tarifaires, mais au design global de l'offre (information, appareillage, suivi...)

De manière plus générale, la mesure de réduction de consommation d'électricité dans un cadre expérimental ne semble pas faire l'objet de publications scientifiques, mais en revanche est étudiée en détail dans de nombreux articles appliqués, issus de la littérature industrielle. De très nombreux exemples seront abordés et parfois détaillés dans les sections suivantes de cette thèse. Les compagnies électriques sont en effet extrêmement intéressées par les résultats des pilotes de terrain en termes de réductions de consommation. Nous avons évoqué le fait que ces derniers permettent de réaliser une analyse économique prévisionnelle d'une offre de *demand response* ; les effacements étant considérés soit comme une réduction de la demande, soit comme une augmentation de l'offre de production⁹⁸. Ces deux aspects sont à l'origine de deux grands types de modèles d'analyse différents (Source EDF R&D (2011)) Aujourd'hui encore, utiliser les résultats des pilotes pour établir des analyses économiques des programmes de *demand response* reste un exercice complexe. Qu'ils soient pris en compte du côté de l'offre ou de la demande, inclure les effacements dans la détermination de l'équilibre offre/demande, et déterminer à quel niveau valoriser les effacements, sont des tâches toujours à l'étude aujourd'hui, le comportement des consommateurs dépendant également de facteurs exogènes et non économiques.

La création d'un programme de *demand response* nécessite donc une étude préalable approfondie, laquelle est traditionnellement réalisée via la mise en place d'un pilote de terrain. Il est à noter que ce n'est pas obligatoirement un seul et même pilote, une seule et même étude, qui répond à toutes les interrogations présentées ci-dessus. Il existe également d'autres méthodes utilisées en marketing pour réaliser une partie de ces études. On peut citer par exemple la méthodologie d'analyse conjointe (Favre J-P., Schwoerer J. (1975)), également connue en marketing sous le nom de *trade-off*, qui a pour but de révéler les attentes des consommateurs à l'égard d'un produit en décortiquant ce dernier en une multitude de critères soumis à des individus. Les choix effectués face à ces critères permettent de déterminer quelle est l'importance de chacun d'entre eux lorsqu'il s'agit pour le consommateur d'effectuer une décision d'achat. Des enquêtes, des questionnaires, des groupes de réflexion (appelés *focus groups*), sont également organisés au sein des compagnies, de manière ponctuelle et souvent très appliqués, mais sont rarement à l'origine de publications ou de résultats solidement exploitables.

Dans la section suivante, nous nous attacherons à observer en détail quatre grands pilotes internationaux, afin de mieux comprendre ce qui est observable, et observé, dans ces études de grande envergure, les résultats obtenus par les outils incitatifs mis en place, ainsi que leur difficile processus d'élaboration.

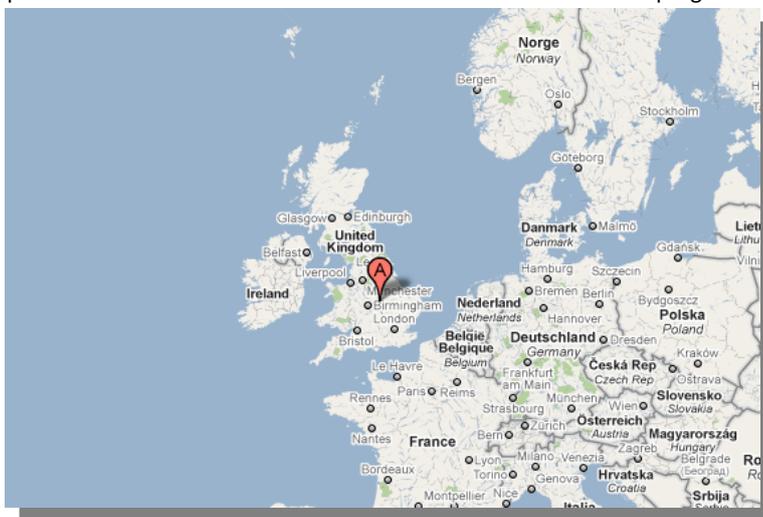
⁹⁸ Ce parallèle est de plus en plus souvent effectué. Voir par exemple « *La gestion active de la demande d'électricité : Vers la 5^{ème} énergie* », Laville S. et Lesgards V., 2009, publication interne EDF R&D.

Chapitre 3. Quatre grands cas de pilotes.

Parmi les divers pilotes et programmes élaborés à travers le monde depuis le début des années 2000, et dont nous avons effectué une revue des résultats dans la partie précédente de ce rapport, il en est qu'il convient d'étudier plus en détails pour plusieurs raisons. Echecs, erreurs de design ou au contraire réussites aux facteurs identifiés, certains cas sont riches en enseignements pour l'élaboration de futurs programmes. De plus il est pertinent de chercher à relier les résultats obtenus au contexte détaillé des expérimentations, plutôt que de considérer simplement les réductions de consommation consenties. Nous allons donc, dans cette partie, nous attarder sur 4 d'entre elles que nous avons choisies pour leur caractère innovant ou la particularité de leurs conclusions.

3.1 EDRP : Un programme complet européen.

Alors qu'aux Etats-Unis sont développés une profusion de pilotes de *Demand response* (2315 répertoriés par la FERC⁹⁹ à la fin d'année 2008), en Europe, nous constatons un intérêt grandissant pour les instruments non tarifaires de maîtrise de la demande. Plus faciles à implémenter dans un contexte réglementaire contraignant ou à intégrer dans des offres commerciales, les incitations consistant à proposer aux consommateurs des informations détaillées sur leur consommation ainsi que des conseils personnalisés sont testées ces dernières années à travers divers programmes.



En tant que pilote européen très récent (puisque encore en cours en ce mois d'avril 2010) en matière d'étude de ces outils incitatifs, nous avons choisi de d'étudier plus en détail le programme

⁹⁹ FERC : Federal Energy Regulatory Commission. Agence du gouvernement fédéral des Etats-Unis régulant les marchés de l'énergie entre les états. La FERC est aussi responsable de programmes de recherche liés à l'énergie, d'où son implication dans les pilotes de *Demand response*. La base de donnée des 2315 pilotes référencés est disponible sur : <http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/2008/survey.asp>.

EDRP élaboré par l'OFGEM¹⁰⁰ en Grande-Bretagne. Il nous paraît important d'analyser en détails les résultats obtenus par les programmes européens de *demand response*. Les populations concernées partagent avec la France un plus grand nombre de caractéristiques que les populations américaines. Sur ces dernières, les effets des incitations à la réduction de consommation d'électricité ont été largement observés et commentés, alors que le portrait du potentiel de réponse européen est moins connu. L'EDRP nous aide à mieux l'appréhender, au travers d'un programme à la fois très proche de l'angle de vue des clients et complet en termes d'instruments évalués.

Initié en 2008, l'*Energy Demand Research Project* (EDRP¹⁰¹) rassemble 4 compagnies du secteur énergétique sélectionnées par l'OFGEM autour d'un projet visant à effectuer des recherches sur les caractéristiques, l'intensité et la durabilité de la réponse des clients face à une information améliorée (feedbacks directs et indirects) sur leur consommation électrique. EDF Energy, E.ON, SSE et Scottish Power Energy, ainsi que plusieurs universités et constructeurs d'instruments de comptages et de technologies de communication sont impliquées dans l'EDRP, également encadré par le *Center for Sustainable Energy* (CSE, organisation non lucrative indépendante).

L'EDRP, qui consiste concrètement à rendre les consommateurs conscients de leur usage d'énergie au travers de compteurs intelligents, de *displays* en temps réel, de factures plus détaillées et de conseils pour réduire leur consommation électrique, s'intègre totalement dans le contexte de la politique énergétique en Grande Bretagne. Prenant le pas sur la plupart des pays Européens, comme notamment l'Italie, les pays Scandinaves, la France ou encore l'Irlande, la Grande Bretagne a annoncé en décembre 2009 un plan de déploiement national des compteurs intelligents à l'échelle nationale, qui devra être terminé d'ici à 2020, conformément aux directives européennes¹⁰². Ce programme servira donc d'aide à la prise de décisions concernant les politiques énergétiques des acteurs du secteur lors de ce roll-out, notamment en terme de difficultés pouvant accompagner le déploiement des compteurs intelligents à grande échelle, mais aussi de cerner quelles sont les opportunités réelles de *demand response* qui découlent de l'installation de ces *smarts meters*.

L'EDRP s'attache à observer les effets combinés des divers outils énoncés précédemment, articulés autour du déploiement des *smarts meters*. Si des réductions de consommation sont observées, l'un des objectifs secondaires est de déterminer par quels moyens concrets ils ont été provoqués. Quels ont été les usages impactés ? Comment les consommateurs ont-ils ressenti l'expérience en termes de confort de vie ?

Nous avons suivi ce pilote tout au long de son déroulement dès la fin de l'année 2009 jusqu'à ce qu'il soit terminé, en avril 2011, en étudiant les rapports publiés par l'OFGEM, et en rencontrant le personnel organisateur chez EDF Energy¹⁰³, découvrant ainsi les rouages méthodologiques du déploiement d'un pilote jusqu'à l'exploitation des résultats (les derniers ayant été publiés en juin 2011). Nous présentons dans les sections suivantes une première analyse globale,

¹⁰⁰ OFGEM : *Office of Gas and Electricity Markets* ; le régulateur pour les marchés du gaz et de l'électricité en Grande-Bretagne (équivalent britannique de la CRE).

¹⁰¹ EDRP, acronyme à ne pas confondre ici avec les *Emergency Demand response Programs*, qui correspondent aux programmes américains d'effacements diffus.

¹⁰² Directive 2006/32/EC du parlement européen et du conseil du 5 avril 2006, relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, directive 26 : « *il convient de tenir compte de l'amélioration de l'efficacité énergétique obtenue grâce au recours généralisé à des innovations technologiques rentables, par exemple à des relevés électroniques.* »

¹⁰³ Je remercie à cette occasion Aude Pelletier, Jérôme Garnier, Martin Bell, Martin Devereux, Andy Jones de EDF Energy pour leur disponibilité et leur aide dans mes investigations sur le pilote EDRP.

puis une analyse plus fine des incitations déployées et des résultats obtenus par la compagnie EDF Energy.

3.1.1 Présentation générale et résultats qualitatifs globaux.

3.1.1.1 Objectifs de l'Energy Demand Research Project.

L'Ofgem et les partenaires industriels de l'EDRP ont identifié une liste de problématiques auxquelles le programme doit tenter de répondre au travers des diverses méthodes expérimentées.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, il s'agit d'évaluer la réaction des consommateurs résidentiels face à un apport d'information sur leur consommation électrique sous différentes formes : *Smart meters, displays, factures, conseils en efficacité énergétique...* Cette évaluation se fait en premier lieu sur un plan qualitatif, par le biais d'enquêtes de satisfaction et de terrain. On cherchera par exemple à comprendre de quelle manière l'information additionnelle est perçue par le client, quels sont les modes de communication qu'il préfère, comment s'intègre cette nouveauté dans sa vie quotidienne, quelle sont les usages affectés par leurs éventuelles modifications de comportement. D'une autre part, l'EDRP sert à valider un processus d'installation de ces technologies d'information et de comptage auprès d'un groupe résidentiel de taille considérable, comme nous le verrons dans la section suivante. Les difficultés rencontrées lors du déploiement technique de ces outils constituent des informations capitales pour préparer leur développement prévu à échelle nationale. L'évaluation des modifications des comportements d'usage d'électricité se fait aussi de manière quantitative, pour chiffrer le plus précisément les réductions de consommation. Une analyse quantitative est primordiale lorsqu'il s'agit d'un programme visant à préparer un éventuel déploiement à grande échelle. Les données de telles expériences servent entre autres à élaborer les analyses coût/bénéfices des projets futurs.

Une particularité intéressante de l'EDRP est que les études qui l'encadrent tentent d'estimer quelles sont les variables temporelles accompagnant l'installation des technologies et la réponse des consommateurs. Les délais de mise en œuvre, la période d'apprentissage à l'issue de laquelle on commence à obtenir des réponses comportementales des consommateurs, ainsi que la durabilité de ces modifications de consommation d'électricité sont analysés. Cet élément renforce l'attrait que présente l'EDRP en tant que programme complet, car rares sont les pilotes proposant une mise en lumière de ces composantes temporelles et une vision à « long-terme » des réponses.

3.1.1.2 Moyens mis en œuvre.

Les expérimentations de l'EDRP concernent différents moyens déployés sur de larges groupes de consommateurs sélectionnés pour être représentatifs au sein des clientèles des quatre partenaires industriels (EDF Energy, E.ON, SSE, Scottish Power Energy), répartis sur l'ensemble du territoire. Les processus de recrutement ont démarré à la fin de l'année 2007, et une attention

particulière a été portée à l'inclusion de segments comme les *fuel-poors*¹⁰⁴. La segmentation est aussi effectuée par rapport aux modes de facturation de l'électricité. Ainsi, une partie des participants utilise des compteurs à électricité prépayée. Les recrutements sont réalisés par les partenaires industriels du projet sous le contrôle de l'Ofgem, et leur processus précis est maintenu confidentiel jusqu'à présent, étant donné que le projet n'est à l'heure actuelle pas terminé, afin de ne pas perturber la robustesse des résultats.

Les interventions réalisées par les acteurs du programme sont de différentes natures, et ne sont pas les mêmes chez les 4 compagnies partenaires. A la fin du printemps 2010, nous pouvions dresser un portrait du panel d'incitations étudié (chez les 4 partenaires industriels) :

- 13000 foyers reçoivent des informations détaillées sur leur facture d'électricité. Ces informations peuvent inclure
 - ❖ des comparaisons avec les historiques de consommations passées, par exemple sur la même période de l'année précédente, ou sur les mois précédents
 - ❖ une facturation plus fréquente (mensuelle)
 - ❖ des données de comptage plus précises obtenues grâce aux *smarts meters*.
- 26000 foyers reçoivent des conseils et informations concernant l'efficacité énergétique (documentation papier, documentation fournie avec les factures mensuelles).
- 8000 foyers ont reçu des appareils de *display* à installer chez eux.

Ces appareils permettent au consommateur d'observer sa consommation en temps réel. Il s'agit d'un VDU (Visual Display Unit) qui collecte les données directement sur le compteur traditionnel via un capteur à clipper via une pince ampèremétrique sur le câble sous tension qui relie le compteur à la boîte à fusibles¹⁰⁵. Le capteur communique les mesures à l'afficheur par communication radio. L'un des risques est un léger biais par rapport aux relevés réels de consommation, puisque que l'appareil se base sur sa propre mesure physique et non sur les données de comptage. Les concepteurs du pilote sont conscients de ce risque. Ce type d'appareil est parfois considéré au titre de gadget technologique : les résultats du pilote permettront d'émettre un avis objectif sur l'utilité de ce type d'outil extrêmement simple à mettre en place et relativement peu onéreux.



Exemple d'appareil de *display* avec ampèremètre à « clipper »

¹⁰⁴ Fuel Poor : Ce terme se réfère aux foyers dont 10% ou plus de la facture énergétique total est dédié au maintien d'une température acceptable dans le logement (terme défini en 1988 d'après B. Boardman, *Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth*). Les causes de « fuel poverty » sont principalement la précarité, le manque d'efficacité énergétique des logements, la sous-occupation des locaux.

¹⁰⁵ Ce type d'instrument est aujourd'hui commercialisé en France sous la terminologie d' « indicateur de consommation électrique en temps réel » pour le prix d'environ 80€.

- 17000 foyers ont été équipés en compteurs intelligents (*Smart meters*) mixtes (gaz et électricité). Ces compteurs effectuent des relevés horaires qui sont transmis automatiquement au fournisseur et permettent une grande variété d'options d'affichage ou d'autres incitations, testées chez l'un ou l'autre des 4 fournisseurs participant à EDRP :

- ❖ Adjonction d'un appareil d'affichage de la consommation et d'informations tarifaires.
- ❖ Transmission et affichage des consommations quotidiennes sur la télévision du foyer.
- ❖ Mise à disposition des informations de consommation quotidiennes sur Internet.
- ❖ Adjonction d'un appareil de contrôle automatisé du chauffage, programmable par le client.
- ❖ Activation d'un signal d'alarme en cas de dépassement d'un niveau limite de consommation électrique instantanée.
- ❖ Introduction d'une prime à la réduction de consommation basée sur les relevés de comptage. Il s'agit dans ce cas de d'une récompense d'un montant fixe de 10€ offerte aux clients qui parviennent à réduire leur consommation électrique de 10% sur 3 mois.
- ❖ Introduction d'un tarif TOU qui récompense les clients parvenant à reporter leur consommation des heures de pointe vers les heures creuses. Aucun résultat n'ayant été communiqué par l'EDRP à propos de cette incitation, nous supposons qu'elle fonctionnera selon un principe analogue à la prime à la réduction globale proposée ci-dessus.

Ce sont donc près de 58000 foyers environ qui sont inclus dans les groupes de tests, certains clients étant impliqués dans plusieurs groupes à la fois. Depuis le début des expérimentations, environ 800 participants ont quitté le programme.

En parallèle, un groupe contrôle est inclus dans le projet : 18500 foyers servent ainsi à valider la robustesse statistique des résultats obtenus, et ne reçoivent absolument aucune information additionnelle.

3.1.1.3 Résultats obtenus par le pilote en général (analyse qualitative)

Dans cette section, nous présentons les résultats, principalement de manière qualitative, obtenus par l'ensemble des 4 compagnies partenaires du projet. Puis, nous nous pencherons plus en détail sur le cas d'EDF Energy, pour lequel, pour des raisons évidentes de collaboration, il nous a été plus facile de comprendre les résultats.

3.1.1.3.1 Facturation détaillée et informations sur l'efficacité énergétique.

Une facturation plus fréquente est bien accueillie chez la majorité des consommateurs (73% d'entre eux apprécient une fréquence mensuelle).

Alors que les premiers mois, la facturation détaillée semblait plutôt bien perçue, les enquêtes suivantes montrèrent que chez d'autres fournisseurs les clients ne remarquèrent absolument pas (pour 80% d'entre eux !) les graphiques rappelant leur consommation historique sur les factures. De plus, aucun changement statistiquement significatif n'a été enregistré sur les relevés de consommation des groupes ayant reçu les informations détaillées sur leur facture.

De 20% à 33% des consommateurs (selon les différents fournisseurs) prétendent mener des actions dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique de leur domicile (contre 4% dans les groupes contrôles ne recevant pas de conseils), mais encore une fois le *gap* entre les résultats d'une enquête déclarative et ceux relevés sur les compteurs divergent, puisqu'aucun changement n'a été mesuré. Les résultats des enquêtes montrent que les conseils d'efficacité énergétique mettant en avant des gains financiers potentiels captent beaucoup plus l'attention (lecture et mémorisation des conseils proposés) que ceux promouvant une action bénéfique pour l'environnement, rejoignant la tendance générale émergeant de l'ensemble des pilotes, quelle que soit leur localisation sur le globe ou la typologie d'incitations utilisées.

Malgré cela, l'impact des factures semble extrêmement faible, voir inexistant, lorsqu'on l'analyse de manière quantitative. Dans la section 3.1.2, nous étudierons en détails les résultats chiffrés obtenus par EDF Energy dans ce pilote.

3.1.1.3.2 Smarts Meters.

Les *smarts meters* ont posé des problèmes techniques à l'installation, notamment de compatibilité des divers éléments qui le composent (compteur de gaz/d'électricité et organe d'affichage, interopérabilité des technologies de communication utilisées, ou bien encore entre hardwares et softwares développés indépendamment), d'accès physique aux sites d'installation, et des particularités architecturales de ces sites. Le traitement des données recueillies soulève également des difficultés (validation des données, détection des lectures erronées...).

Une fois les difficultés d'installation surmontées, l'étude des réactions des consommateurs a pu débuter. Les options les plus populaires accompagnant les compteurs sont les possibilités d'affichage en temps réel, sur internet et sur une télévision, des informations de consommation, mais s'avèrent également les plus difficiles à implémenter à l'heure actuelle. Les compteurs présentent cependant un affichage intégré moins convivial que les appareils purement dédiés au *display* et donc sont perçus comme compliqués, et donc effrayants par la population. Un petit nombre seulement de consommateurs se sent « épié » par les relevés de consommation horaires.

Enfin, le principe d'un mécanisme d'alertes émises par le compteur en cas de dépassement de seuils de consommation rebute les clients, qui l'ont rejeté en bloc, sans doute effrayés par le caractère intrusif de ce type d'intervention. Il est important que les *smarts meters* dans le cas du pilote EDRP n'aient pas pour objectif majeur une réduction de la consommation, mais leur efficacité en tant que support du déploiement d'outils incitatif est évaluée. Il s'agit donc principalement d'observer ici leur efficacité.

3.1.1.3.3 *Displays en temps réel.*

Les consommateurs se sont montrés, en général, enthousiastes face aux expérimentations comportant des *displays* en temps réel. L'aspect ludique du produit semble séduire puisque le recrutement des groupes de clients pour cette partie du programme s'est avéré plus aisé que pour les autres tests. Cependant les participants étaient sommés d'installer eux-mêmes les appareils, et 20% d'entre eux ne vinrent pas chercher l'appareil. 50% de ceux l'ayant obtenu ne l'ont pas installé ou ne s'en sont pas servis : il est difficile d'obtenir des efforts concrets ou du temps accordé de la part d'une certaine partie des participants. Les personnes âgées se sont montrées plus réticentes que les autres à accepter l'installation des appareils de *display*, par crainte de ne pas réussir à les utiliser et par sentiment de ne pas pouvoir modifier leurs habitudes de consommation, déjà considérées comme sobres.

Les appareils de type *Visual Display Unit* fonctionnent sur piles, lesquelles n'ont pas été remplacées par près de la moitié des participants dans l'un des groupes d'expérimentation, où seul un quart des appareils était encore en marche 1 an après mise en service. Cela semble indiquer une courte durée de vie de l'intérêt porté à l'appareil, relégué au rang de gadget technologique. Cependant, près de 87% des clients l'ayant installé un jour ont prétendu avoir changé leur comportement de consommation, après quelques mois d'utilisation. Les données de consommation ne confirment pas, ces efforts à l'heure actuelle : il n'y eut pas de modification significative des niveaux de consommation. Est-ce dû à une fausse impression, à des efforts mal dirigés dus à des croyances erronées, ou à des problèmes de précision des informations affichées ?

Pour terminer, concernant l'étendue des possibilités des appareils, comme dans le cas des *smarts meters*, les participants rejettent clairement les options d'alarmes sonores équipant certains appareils, sentées les avertir d'un dépassement de leur consommation quotidienne habituelle. Des solutions de type lumière indicatrice colorée sont préférées. De même un affichage réalisé en unités monétaires est mieux accueilli qu'une consommation en KWh.

En termes d'impacts sur la consommation, les résultats varient d'un groupe à l'autre, d'une compagnie à l'autre. Dans le meilleur des cas (EDF Energy), jusqu'à 5,8% de réduction pourront être observés, alors que dans d'autres (comme chez E.ON), aucune réduction n'est mesurable lors de l'apport d'un appareil de *display* au domicile.

Nous proposons l'observation plus détaillée des résultats offerts par l'expérimentation EDRP d'EDF Energy, laquelle comporte, de plus, deux offres dotées de signaux tarifaires. La fraction du pilote organisée par la filiale britannique d'EDF peut être considérée quasiment comme un pilote en soi, de par sa taille, et ses résultats sont autoporteurs, ce qui rend leur étude isolée tout à fait intéressante.

3.1.2 Déploiement et résultats quantitatifs chez EDF Energy.

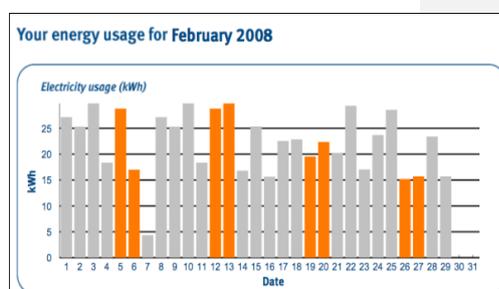
La partie du pilote EDRP déployée chez EDF Energy a été réalisée à Londres et sa banlieue. Alors que cette partie du programme s'inscrit en toute logique dans le mouvement général EDRP, quelques objectifs précis ont été redéfinis par la compagnie, que nous présentons ci-dessous :

- Explorer les réactions du client dès la phase du recrutement pour une expérimentation autour du *smart meter*.
- Mesurer l'impact des interventions tant sur la consommation et les dépenses des clients que sur leur perception de l'électricité.
- Mesurer la valeur accordée par le client aux interventions proposées dans l'optique d'une commercialisation future potentielle.
- Observer des résultats sur différents segments de la clientèle, en particulier les *fuel poors* et consommateurs vulnérables, principalement ceux qui ne comprennent pas d'où vient leur « *fuel poverty* » : peuvent-ils comprendre mieux leur mode de consommation?
- Mesurer l'acceptabilité du *smart meter* et de services associés.

3.1.2.1 *Le déploiement du pilote EDRP chez EDF Energy.*

Avec plus de 2000 participants. EDF Energy est l'entreprise ayant déployé le plus grand nombre d'incitations chez ses clients durant le pilote EDRP, avec pas moins de 8 types d'incitations testées (ces outils sont appelés « interventions » par EDF Energy), réparties dans notre typologie déjà présentée des outils de la *demand response*.

- Feedback Indirect
 - o *Paper Summary* : Factures détaillées envoyées aux clients ; Feedback Papier sur la facture. Ajout sur les factures papiers d'informations détaillées sur :
 - les prix
 - les consommations en KWh
 - les kg de CO₂ émis
 - les possibilités d'amélioration d'efficacité énergétique.



Echantillon : 400 personnes.

- o Interface Web : Feedback indirect à J+1 via interface Internet Graphiques de consommation à J-1, semaine, mois, année, prévisions annuelles, données historiques de températures, possibilité de prise de notes personnelles, conseils d'efficacité énergétique.

Echantillon : 200 personnes.



- o Interface TV : Feedback indirect à J+1 via interface sur TV. Graphiques de consommation (£, kWh, CO₂) à J-1, semaine, mois, année, prévisions annuelles, données historiques de températures, conseils d'efficacité énergétique.

Echantillon : 400 personnes

- o Read, Reduce, Reward : (Programme déjà existant chez EDF Energy) Des points d'un programme de fidélité offerts lorsque le client accepte de faire lui-même son relevé de compteur. Des points additionnels sont offerts lors de la seconde année si on constate une réduction de consommations (10%) par rapport à la première année. (jusqu'à 20€/an.)

Echantillon : 100 personnes

- Feedback direct.



- o Wall Panel : Feedback direct (en temps réel) via un *in-home display* mobile, Installation d'un appareil de *display* mobile, tactile et intuitif, avec les informations suivantes:

- consommation en cours pour la journée, la veille, la semaine, le mois, l'année en £, kWh, CO₂ émis
- graphiques de consommation hebdomadaires jour par jour en kWh et £
- conseils d'efficacité énergétique affichés sous forme de message.

Echantillon : 400 personnes.



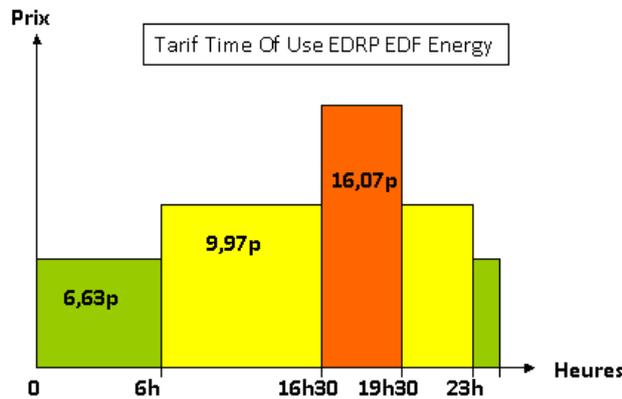
- o Usage Reduction Alarm :

Feedback direct IHD + niveau de seuil. Installation du même appareil que *wall panel* + mise en place de seuils de consommation quotidienne ajustables selon saison ou historiques de consommation. Alarme sonore lorsqu'on dépasse ces niveaux. Cible quotidienne plutôt que de puissance instantanée.

Echantillon : 200 personnes.

- Tarification et bonus.

- o *Time Of Use. Tarification + display* (simplifié). Tarif à tranches horaires (cf graphique).



Règles particulières :

- conception du tarif : Facture consommateur moyen inchangée s'il ne modifie pas ses habitudes. (*Budget Neutral*)
- La durée de cette offre n'est pas fixée mais a minima 2 ans.
- Les participants sont libres de quitter cette offre à tout moment.
- le consommateur paye toujours le montant le plus faible entre le tarif EDRP et son ancien tarif (pour favoriser le taux de participation)

Echantillon : 200 personnes.

- o Read, Reduce, Reward (voir description ci-dessus sous l'item Feedbacks indirects).

- Automatisation.

- o *Heating controler* : Installation de thermostats communicants. Mise en place d'une communication entre *smart meter* et contrôle du chauffage (communication *zigbee*), affichage des informations relatives à la consommation du chauffage/chauffe-eau sur un appareil de *display*.

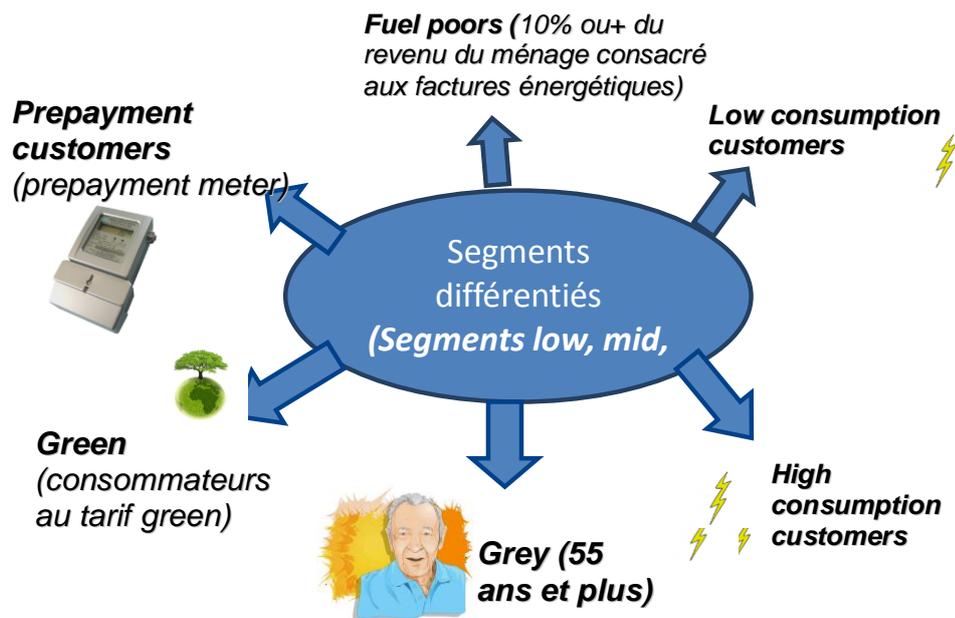
Echantillon : 200 personnes.

3.1.2.2 Recrutement des participants à EDRP chez EDF Energy

Le recrutement des échantillons a été réalisé par une agence à laquelle EDF Energy a fourni une liste de profils requis (candidats non éligibles : agents EDF, clients à *Economy7* (offre de TOU déjà existante chez EDF Energy), personnes équipées de pacemakers...) ainsi que des quotas à respecter pour une plus grande représentativité des échantillons. En effet, EDF Energy a construit, en partenariat avec des groupes universitaires, des segments différenciés, selon :

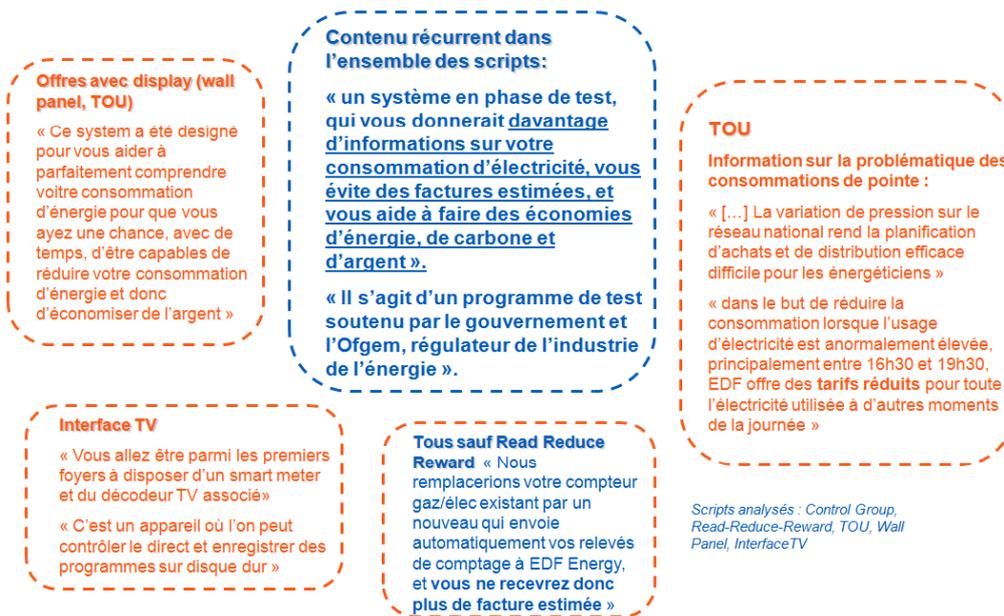
- le niveau de consommation,
- le profil client
- le combustible majoritairement utilisé pour le chauffage : électricité seulement ou dual fuel

Six segments définitifs ont été tracés, dans le but de réaliser une analyse différentielle de leurs résultats à l'issue du pilote :



(Illustration réalisée dans le cadre d'une présentation du pilote EDRP).

Le contact avec les futurs participants a été réalisé par téléphone, d'après des scripts écrits par EDF Energy : un script par intervention. Nous avons observé en détail les scripts de recrutement, afin de tenter d'expliquer les différents taux de retour positif lors du recrutement. Nous considérons ces taux de retour comme l'un de seuls indicateurs de l'acceptabilité ex-ante des différents types d'outils incitatifs, mais ils sont également fortement dépendant des scripts, dont nous présentons ici un aperçu et quelques extraits :

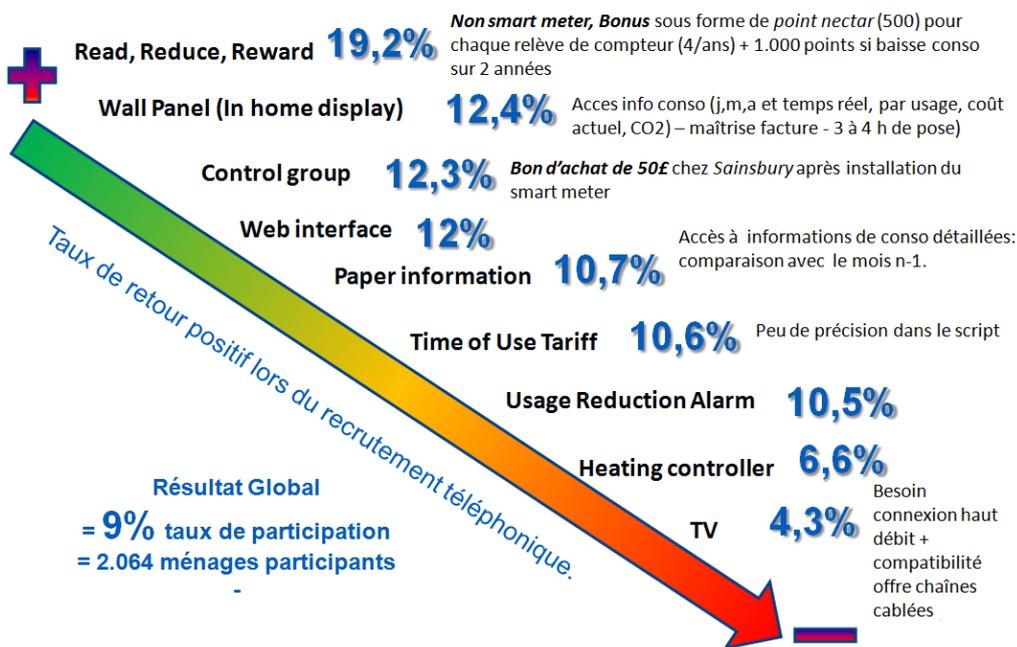


(Illustration réalisée dans le cadre d'une présentation du pilote EDRP).

Les textes des scripts affichent divers éléments pour tenter de convaincre les potentiels participants de l'intérêt du programme. On relève ainsi des arguments :

- Liés à l'apport d'information et d'exactitude de la facture proposée par le *Smart meter* ou les feedbacks, et la possibilité d'économies réalisables sur la facture par conséquent.
- Liés à l'économie d'émission de carbone (argument écologique).
- Liés à l'installation au foyer d'un appareil *high tech*, qui permet éventuellement d'autres usages plus ludiques
- Et enfin, plus étrange, liés à la problématique du réseau électrique lors des périodes de pointe. En effet, il est légitime de se demander si un tel argument constitue un véritable impact dans un pays où les énergéticiens ne bénéficient pas auprès du grand public de l'image « bienveillante » dont semble encore disposer le fournisseur historique EDF en France.

En l'absence d'éléments de comparaison avec les scripts de recrutement et taux de retours d'autres programmes similaires, nous avons comparé les taux de retour des différentes « interventions », c'est-à-dire outils incitatifs, chez EDF Energy, pour le pilote EDRP.



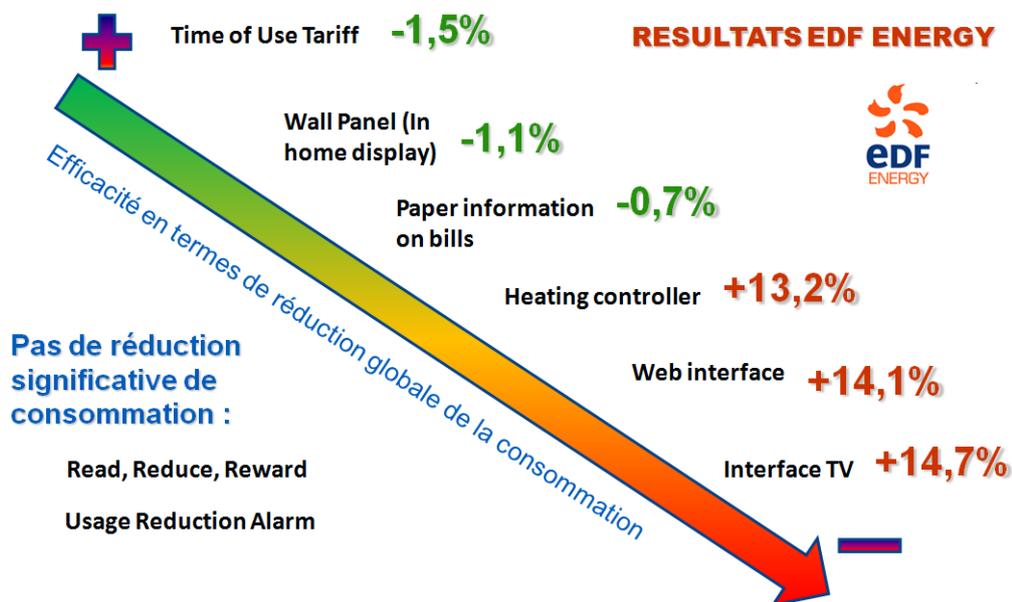
Taux de retours positifs lors du recrutement téléphonique des participants du pilote EDRP chez EDF Energy, classés par ordre décroissant. (Illustration réalisée dans le cadre d'une présentation du pilote EDRP).

Les meilleurs taux de retour sont ceux des interventions soit nécessitant le minimum d'installations techniques (Read, Reduce, Reward ; Control group ; web interface...) soit ceux proposant des gains sous forme de prime (bons d'achats) fixes dont le montant est énoncé par avance (à nouveau Read, Reduce, Reward, et Control group). Inversement, les moins bons taux de retour sont extrêmement liés à la compatibilité matérielle nécessaire et à la lourdeur de l'installation requise (Heating controller et Interface TV), ces facteurs freinant forcément l'adoption des outils incitatifs par les clients résidentiels. L'intervention Usage Reduction Alarm, qui propose le même type d'installation matérielle que Wall Panel, doit probablement son moins bon taux de retour à l'aspect dissuasif et intrusif aux yeux des clients de l'alarme sonore qu'elle intègre.

3.1.2.3 Analyse des résultats intervention par intervention.

Le pilote EDRP et plus principalement sa branche « EDF Energy » a retenu notre attention pour diverses raisons. En plus de sa grande richesse en termes de diversité de traitement et de complémentarité des partenaires impliqués (industriels, universitaires...), le pilote EDRP nous permet de tirer des conclusions fortes d'enseignements sur le plan méthodologique, dans l'élaboration du pilote comme dans le traitement des données recueillies.

En effet, une première analyse statistique réalisée par la compagnie EDF Energy elle-même, montrait des résultats surprenants, sinon alarmants, présenté dans l'infographie ci-dessous :



Résultats en termes de réduction globale de la consommation par intervention lors du pilote EDRP chez EDF Energy, classés par ordre décroissant. (Illustration réalisée dans le cadre d'une présentation du pilote EDRP).¹⁰⁶

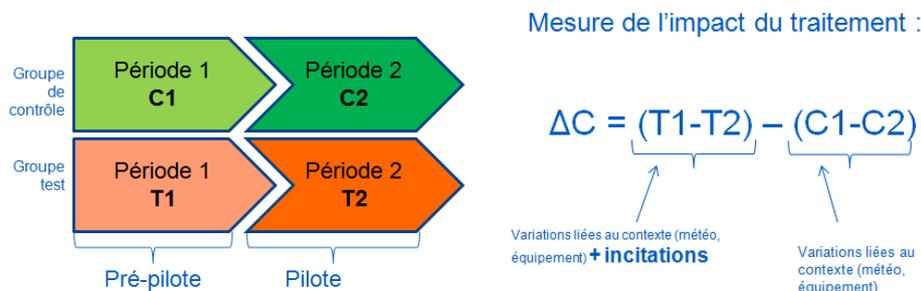
Si la significativité affichée des baisses de consommation affichées par les interventions TOU, Wall panel et Paper information semble équivoque de par leur faible ampleur, les résultats les plus surprenants sont ceux des interventions Web Interface, Interface TV et Heating controller, pour lesquelles aucun appareil à forte consommation n'a été installé au foyer au point de provoquer des hausses de plus de 13% de la consommation globale chez les participants. Une contre-analyse a été confiée à un cabinet d'études (AECOM (2011)) par l'OFGEM, qui, rappelons-le, est le régulateur des marchés du gaz et de l'électricité au Royaume-Uni, et l'instigateur d'EDRP.

AECOM a découvert de nombreuses imperfections dans la méthodologie de l'analyse proposée par EDF Energy. Plusieurs points majeurs sont ainsi soulevés.

Tout d'abord, pour mesurer des différences de volumes consommés, EDF Energy utilise des données dites *in-trial*, c'est-à-dire que les résultats sont obtenus en comparant les volumes de consommation du groupe de contrôle (control group) et des groupes test (intervention groups), sur la période du pilote lui-même. Ce type d'analyse présente l'inconvénient de ne pas tenir compte des spécificités de chaque groupe, et suppose un échantillonnage équivalent pour tous les groupes, ce qui est très difficilement le cas. AECOM préconise donc d'utiliser également les données *pré-trial*

¹⁰⁶ Une seconde analyse confidentielle EDF Energy propose une réduction de consommation de 0,21% de consommation globale chez le groupe Heating Controller.

pour établir une nouvelle comparaison, cette fois-ci permettant de se libérer des différences de profil des échantillons ainsi que des acteurs exogènes (climat, équipement technologique...)



Mesure des différentiels de consommation entre groupes et entre périodes : la méthodologie préconisée.

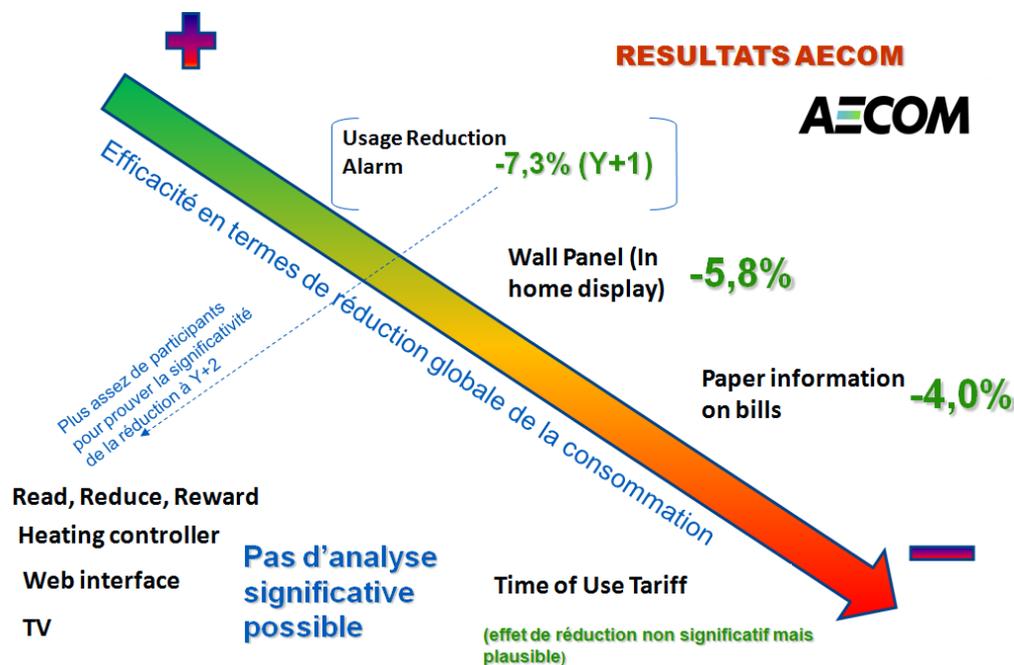
Ensuite, l'étude menée par EDF Energy supposait une distribution normale des réductions de consommation au sein des participants d'un même groupe, et donc utilise une valeur moyenne pour résumer l'information (le taux de réduction) en un seul chiffre. Or, d'une part, il s'avère que les données ne suivent pas exactement une distribution normale mais une distribution leptokurtique, et que les choix arbitraires effectués par EDF Energy pour supprimer les valeurs aberrantes (la moyenne étant un indicateur sensible aux valeurs extrêmes) introduisent un biais potentiel dans les résultats. Une analyse statistique non paramétrique est préconisée, permettant de ne pas faire l'hypothèse d'une répartition normale des données¹⁰⁷. De plus, en cohérence avec ce choix, c'est la valeur médiane et non la moyenne, trop sensible aux extrêmes, qui est choisie comme indicateur pour exprimer les impacts des interventions sur les consommations chez AECOM.

Enfin, deux étapes supplémentaires sont intégrées à l'analyse pour garantir la pertinence des résultats :

- Les données sont corrigées en fonction de la température des différentes saisons que comporte le pilote.
- Un test est réalisé pour évaluer les différences potentielles sur les données de consommation pré-trial des groupes test et du groupe de contrôle. Aucune différence significative n'est observée, ce qui fournit la garantie d'une base solide pour de nouveaux résultats chiffrés.

Avec ces corrections méthodologiques, les résultats obtenus sont extrêmement différents de ceux affichés précédemment.

¹⁰⁷ Un test de Wilcoxon-Mann-Whithney (U) est utilisé dans l'étude menée par AECOM sur les données d'EDF Energy.



Résultats en termes de réduction globale de la consommation par intervention lors du pilote EDRP analysé par AECOM, 2 années de traitement, classés par ordre décroissant. (Illustration réalisée dans le cadre d'une présentation du pilote EDRP).

Le constat majeur de cette analyse, avant toute observation quantitative des réductions de consommations, est le manque de significativité d'une grande partie des résultats, qui empêchent toute conclusion à leur sujet. A quoi ce défaut est-il dû ? Même si peu de réponses sont clairement proposées par l'étude réalisée, divers éléments semblent entrer en compte. Tout d'abord, certains groupes présentent des effectifs trop faibles dès le départ, non nécessairement si l'on considère leur participation au pilote, mais surtout si on souhaite disposer données exploitables d'historiques de consommation les concernant. Ensuite, un certain nombre de participants semblent avoir quitté le pilote en cours de route, mais parce que le taux de *switching* est important en Grande Bretagne : changer de fournisseur d'électricité est un acte plus fréquent qu'en France. Ainsi, plutôt que produire des résultats sur lesquels il n'est pas pertinent de fonder des hypothèses, la seconde analyse incite plutôt à déplorer que le nombre des groupes d'intervention ait primé au détriment de la cardinalité de ces groupes.

Nous allons reprendre, intervention par intervention, les résultats observés, de manière qualitative, et quantitative quand cela s'avère approprié.

- Feedback Indirect
 - o Paper Summary :
 - Réduction de consommation de 4%, croissante avec le temps (2,3% la première année)

- Informations résumées visuellement appréciées par une partie des participants, d'autres n'y jetant pas un seul coup d'œil.
 - Interface Web :
 - Le recrutement a été très facile car nécessitant peu d'interventions techniques. L'interface est difficile à rendre claire et *user-friendly*. Les participants ne se connectent que rarement à l'interface et n'utilisent guère d'autres menus que la page principale. Pas d'effet sur les comportements au domicile.
 - Interface TV :
 - L'usage du système est dégressif avec le temps : facteur de nouveauté important. Le manque d'information en temps réel déçoit les participants. On note l'intérêt d'utiliser un matériel d'affichage déjà en place, cependant cela a été le recrutement le plus difficile (spécificités de compatibilité matérielle, nécessité d'avoir des données clients précises).
 - Read, Reduce, Reward :
 - Une légère prise de conscience des consommations est observée ; réduction effective chez certains participants, mais retour à la normale des consommations une fois la prime déclenchée.
- Feedback direct.
 - Wall Panel :
 - **Réduction de consommation de 5,8%**, croissante avec le temps (4,0% la première année)
 - Le recrutement a été plutôt facilité par l'attrait de la nouveauté technologique. Des retards à l'installation sont survenus suite à des difficultés techniques. L'outil a été perçu parfois comme un gadget masculin. Les participants déclarent avoir modifié leur usage de certains appareils (sèche-linge, veilleuses d'appareils électroniques, thermostats, bouilloires).
 - Usage Reduction Alarm :
 - Réduction de consommation de 7,3% la première année. Mais, à cause d'une désaffection particulièrement forte pour cette intervention du programme (voir les raisons évoquées ci-dessous), l'échantillon n'était plus assez important en deuxième année pour que l'analyse soit statistiquement significative.
 - Le recrutement est rendu difficile par la présence d'une alarme sonore jugée trop intrusive. Au quotidien l'alarme n'est parfois plus remarquée. Les niveaux seuils de seuils déclenchant l'alarme ne sont pas aisés à comprendre. Ce système génère parfois une certaine irritation chez les participants

- Tarification et bonus.
 - o Time Of Use.
 - Malgré un échantillon trop mince pour être significatif, on trouve des réductions fortes (-12,8% à Y+1 et -5,8% à Y+2). L'effet sur la consommation globale n'est pas prouvé statistiquement mais reste plausible. EDF Energy affirme que les résultats de shifting sont meilleurs sur les foyers de 2 habitants maximum mais la petitesse des échantillons incite à la prudence. Autre point important, l'étude AECOM confirme que les participants dotés de chauffage électrique sont plus à même de shifter leurs consommations d'une période peak vers off-peak.
 - Le recrutement apparaît difficile car les participants se posent des questions sur les économies potentielles et comment les réaliser. Les tarifs conduisent à des questions sur l'utilisation spécifique des appareils.
- Automatisation.
 - o Heating controller :
 - Les clients sont satisfaits par le sentiment de contrôle offert par le Heating Controller. Le réglage de la température est facilité. Cependant, de grosses difficultés techniques, notamment de communication entre appareils, entravent son installation.
 -

3.1.2.4 Conclusions de la partie EDF Energy du pilote EDRP.

Deux catégories de conclusions sont à tirer de cette expérience du point de vue EDF Energy.

D'abord, l'analyse des résultats quantitatifs nous permet de réaliser plusieurs observations. Le pilote EDRP tel qu'il a été développé chez EDF Energy présente des composantes de « feedback » très poussées, très complètes, très variées. Le design des appareils est perfectionné, soigné, et leurs fonctionnalités poussées. On obtient grâce à ces outils des réductions de consommation significatives et persistantes dans le temps, voire même en progression (4 à 5,8%). A l'inverse, les offres tarifaires, et tout particulièrement l'offre TOU, ne semble pas avoir été aussi finement préparée. Pas de conseils pour une réduction de consommation, pas de prévisions d'économies chiffrées pour les participants, et une incitation lors du pilote peu présente puisque le client ne peut pas voir, en fin de compte, sa facture augmenter (la facture payée en fin de période étant la plus faible entre l'intervention EDRP et la facture normale).

Pourtant, de manière générale, ce pilote avait tout pour constituer une référence en termes de démonstrateurs d'outils incitatifs. Complet, associé au déploiement des *smart meters*, la structure de l'expérimentation laissait espérer de meilleurs résultats, sur le plan statistique et sur le plan de la réduction de consommation. C'est donc peut être les conclusions méthodologiques, tant dans l'organisation du pilote (constitution d'échantillons de taille suffisante, 200 personnes semble être l'extrême minimum) que dans l'analyse des données (utilisation des données historiques et d'un

groupe test, intégration des variables exogènes, explorer les variables explicatives), qu'il faut retenir de l'aventure d'EDRP du côté EDF Energy.

3.1.3 Conclusions générales : le pilote EDRP dans son ensemble.

L'EDRP a constitué un pilote très complet en termes d'étude des effets de diverses incitations non tarifaires et tarifaires. Ne rencontrant pas de grandes difficultés liées à des barrières réglementaires, la plupart de ces solutions mérite d'être analysées du point de vue des résultats escomptés.

Après avoir pris du retard à cause de difficultés techniques rencontrés à l'installation des diverses technologies. Smart meters et appareils de *display* ont présenté des problèmes de compatibilité, de communication, d'interopérabilité entre différents modules les composant et n'étant pas issus des mêmes constructeurs. Dans des pilotes futurs, une période d'installation et de résolution des problèmes techniques, qui semblent inévitables, devra être prévue. Un travail en synergie des constructeurs d'équipements est indispensable, pour éviter les incompatibilités. De plus ces équipements doivent pouvoir s'adapter à l'immense diversité des situations dans lesquelles ils devront fonctionner : l'hétérogénéité des milieux où ils sont implantés doit absolument être prise en compte dans leur élaboration.

Ce programme répondait à une demande du gouvernement d'étudier le comportement du consommateur face à un processus de *roll out*. On ne cherchait pas vraiment de réduction, même si des économies pour le client auraient constitué une campagne de publicité efficace pour le *smart meter*. Une fois le projet démarré, il n'a pas été possible d'en revoir la conception au fur et à mesure des premiers résultats et ressentis. Pas de processus d'amélioration et d'adaptation possible pour le *supplier*. C'est donc le nom du projet qui a changé.



De plus, durant le programme le prix de l'énergie a augmenté. Les participants ont pu être déçus de constater une hausse de leurs factures malgré leurs efforts, ce qui a pu contribuer à la baisse des efforts de réduction à long terme. De plus, les fournisseurs d'énergie en UK n'ont pas bonne presse : les clients ne tiennent pas à faire d'efforts pour leur *supplier*, plutôt supposé les « ruiner » plutôt que les aider à réduire leurs factures. Ceci constitue une particularité culturelle du socle du programme.

Des considérations qualitatives peuvent toutefois être retenues, de manière générale, sur l'ensemble des pilotes (et non plus seulement chez EDF Energy). Tout d'abord, il semble que l'aspect financier soit la première motivation au changement de comportement, au vu des résultats prononcés du programme avec récompense monétaire. L'aspect écologique pourtant encouragé par des conseils d'économie d'énergie ne semble pas suffisant pour assurer une durabilité des changements de comportements. Pour certaines interventions d'EDRP, lorsque l'incitation financière cesse, le zèle disparaît assez rapidement. Ces résultats sont corroborés par ceux des appareils de *display* pour lesquels les clients expriment leur souhait de lire une consommation dont l'unité d'affichage est monétaire, ainsi que ceux concernant la perception des conseils d'efficacité énergétique basée sur un argumentaire économique plutôt qu'écologique. Ce type de retour d'expérience est récurrent dans tous les pilotes récents. La population, si elle adhère aux idées des préceptes environnementaux, ne semble pas prête à modifier son quotidien pour soutenir cette cause. Les préoccupations actuelles soutenues par la crise favorisent probablement l'attrait des motivations financières.

Ensuite, il semblerait que les informations additionnelles apportées aux consommateurs sous forme d'appareils de *display* ou –plus flagrant encore– sur les factures mensuelles d'électricité (comparaisons avec des consommations passées ou conseils d'efficacité énergétique) ne reçoivent pas un engouement durable dans le temps. Pour avoir un réel impact sur les comportements des clients, ceux-ci doivent être accompagnés d'incitations financières plus directes.

Cependant, on dénote un accueil plutôt favorable, globalement, des populations face aux appareils notamment de type *displays*, surtout s'ils sont à lecture aisée, d'utilisation conviviale. Les clients semblent globalement prêts à installer ce type d'appareil à leur domicile. L'éducation entourant son utilisation efficace est apparemment encore à réaliser, mais on pressent l'intérêt de ce résultat pour le futur proche de la *demand response*. Des dispositifs tels que les box devraient parvenir à s'insérer sans grandes difficultés dans les foyers résidentiels, et laisser place à un champ d'action assez vaste en termes d'incitation à la réduction et au report de consommation, pour peu que l'on comprenne comment éduquer le consommateur ; les mécanismes et motivation d'apprentissage de ce dernier peuvent se dessiner au vu des résultats de pilotes tels que l'EDRP.

Après l'étude approfondie de ce pilote britannique, nous allons passer en revue quelques exemples de pilotes, réussis ou moins réussis, dont les enseignements sont marquants pour quiconque souhaite effectuer un tour d'horizon des pilotes de terrain de la *demand response*. Localisés aux Etats Unis, que l'on peut considérer comme précurseur en ce qui concerne les pilotes de *demand response* modernes, ces pilotes sont cette fois-ci majoritairement axés sur les outils tarifaires, qui, s'ils sont plus compliqués à mettre en œuvre que les outils de *display*, sont également dotés d'un très fort potentiel d'incitations sur la clientèle.

3.2 Powercents DC : analyse et comparaison de systèmes d'incitations sous formes de pénalités et de récompense avec étude approfondie des calculs de *baseline*.



Le programme *PowerCentsDC*, élaboré par *Smart meter Pilot Project, Inc* (voir King C. (2010)) en 2007 dans le district de Columbia, dans l'état du Maryland aux Etats-Unis, présente au moins trois caractéristiques qui en font un sujet d'intérêt dans le cadre de notre étude de cas particuliers en termes de pilotes de *demand response*.

L'originalité ne réside pas spécialement dans les incitations tarifaires testées, (PRT, CPP et RTP à pas de temps horaires, accompagnées de feedbacks avancés pour le consommateur, et d'automatisation de fonctionnement de certains appareils domestiques), qui sont du même type que celle que l'on peut retrouver dans une myriade de programmes de recherche menés aux Etats-Unis ces 10 dernières années, mais dans les particularités suivantes :

- Tout d'abord la structure tarifaire de base du *PowerCentsDC* est du type « blocs progressifs ». Nous avons détaillé dans les sections précédentes ce mode de tarification qui consiste à faire payer les KWh consommés au-delà d'un certain seuil à un prix supérieur, avec pour effet de le dissuader de consommer de grandes quantités d'électricité. Les incitations à la réduction de pointe (PTR et CPP) sont greffées par-dessus ce socle de prix. On combine donc des incitations à la sobriété énergétique et à la réduction de consommation lors des pointes.

- Ensuite, ce pilote a pour objectif d'établir une comparaison directe des effets incitatifs de deux systèmes équivalents (CPP et PTR), qui sont les pendants à connotation respectivement négative (pénalité) et positive (récompense) d'un mécanisme de réduction de consommation de pointe. Le programme a été conçu de sorte à ce que ces deux options tarifaires soient quasiment équivalentes en termes de balance financière finale, du moins pour la période estivale. Nous verrons donc si les impacts sont différents sur la population résidentielle. Les consommateurs sont-ils plus réactifs à la « carotte » ou au « bâton » ?
- Enfin, ce pilote constitue un écho à celui d'Anaheim, présenté en section 1.1, puisqu'un travail particulier est réalisé autour de la méthodologie de calcul de *baseline*. Ce programme, intervenu ultérieurement à celui d'Anaheim et d'autres pilotes utilisant des niveaux de consommation de référence pour attribuer des récompenses à ses consommateurs, utilise les enseignements qui ont pu en être tirés pour concevoir une structure de calcul de *baseline* la plus fiable possible. De manière plus générale, d'autres éléments constitutifs du pilote PowerCentsDC sont issus de l'étude des retours d'expériences de programmes plus anciens. Nous proposerons certaines pistes et angles de vue adoptés dans des encadrés « aparté » des sections suivantes.

D'autres caractéristiques nous ont conduits à analyser plus en détail la conception et les résultats de ce programme récent du district de Columbia. Entre autres, le fait qu'un soin spécial soit accordé à l'étude du comportement des populations à bas revenu face aux incitations tarifaires à la réduction de consommation de pointe, ou encore le fait que ce programme englobe l'examen d'une période d'hiver (la région concernée dans le Maryland présente un climat aux extrêmes très marqués, avec des hivers en moyenne plus rigoureux que ceux de Paris, par exemple, mais aussi des été particulièrement caniculaires), et donc de l'usage des appareils de chauffage électrique. Ce n'est pas le cas de la plupart des programmes menés aux Etats-Unis, mais c'est pourtant l'un des usages majeurs d'électricité résidentielle en France (voir section 3 sur les particularités de la France).

3.2.1 Mise en place et design du pilote PowerCents DC.

3.2.1.1 Objectifs majeurs du programme.

Le but principal du pilote est de mesurer la réponse, en terme de réduction et d'élasticité aux prix, de différents segments de la population clairement identifiés face à trois types de tarifications dynamiques visant à inciter les clients à reporter et/ou réduire leur consommation d'électricité de pointe, ainsi que leur usage global d'électricité. Ces trois options sont élaborées de sorte à ce qu'un comportement inchangé des consommateurs n'induisse ni gain ni perte financière sur leur facture, et sont sensées représenter la volatilité des prix de l'électricité sur le marché de gros.

L'examen de la réaction qualitative des consommateurs a également constitué un objectif important du programme : l'évaluation de leur satisfaction par rapport aux différentes options de

prix et aux technologies proposées, la valeur qu'ils accordent à différents feedbacks qu'ils obtiennent sur leur consommation d'électricité par le biais du pilote.

Enfin, l'utilisation de thermostats intelligents installés dans le cadre du PowerCentsDC a été évaluée en termes de potentiel de catalyse de la réponse aux signaux-prix.

3.2.1.2 Processus de déroulement : utilisation de retours d'expérience.

La première étape de déploiement du pilote, à savoir le recrutement des participants, a été initiée dans le courant de l'année 2007.

La participation a été réservée aux clients de l'offre standard (*Standard Offer Service, SOS*) de la compagnie de services d'énergie PEPCO, répartis sur tout le District de Columbia. Près de 14000 clients sélectionnés par un processus aléatoire ont reçu par courrier une invitation à participer au programme PowerCentsDC, au travers de l'une des trois options tarifaires pré-assignée (les candidats au recrutement n'avaient pas connaissance de l'existence des options n'étant pas la leur), accompagnée d'une brochure explicative sous un format « *Frequently Asked Questions* » et d'un formulaire de confirmation à renvoyer. Etant donné que l'un des objectifs du pilote était de cartographier les réponses de différents segments de la population aux incitations tarifaires, le nombre de clients contactés dans chaque segment était sensé être représentatif des proportions de chaque catégorie dans la clientèle générale. Ces segments sont ainsi délimités :

- Consommateurs ordinaires (notés R)
- Consommateurs dont le logement est dit « *All-Electric* », c'est à dire dont les fonctions de chauffage, climatisation, chauffe eau sont assurées par des appareils électriques. (notés AE)
- Consommateurs ordinaires à bas revenu (notés RAD)
- Consommateurs à bas revenus et dont le logement est *All-Electric* (notés RAD-AE)

Une prime de participation de 100\$ fut accordée aux participants des programmes de *Critical peak pricing* (CPP) et *Real Time Pricing* (RTP à pas de temps horaire également nommé HP, pour *Hourly Pricing*). Cette prime, répartie en 2 acomptes pré et post – expérimentation, avait pour but de remercier les clients de prendre part au pilote mais aussi de combler les éventuels désavantages financiers encourus sous l'une ou l'autre des tarifications. Les participants à l'option *Peak time rebate* (PTR) ne reçurent pas cette prime fixe car ils ne courraient pas de risque de pertes, et furent seulement gratifiés de 5\$ pour leur participation à l'enquête qualitative finale.

Aparté : Quels sont les effets induits par l'introduction d'une prime fixe à la participation ?

Selon le rapport de SMPPi sur PowerCentsDC, de nombreux chercheurs s'accordent sur le fait qu'une prime de participation fixe (de 75 à 100\$ en moyenne sur les pilotes récents) n'altère pas les résultats du pilote en termes de comportement des participants, car il s'agit d'une externalité fixe qui ne dépend pas de leurs efforts.

Nous pouvons aller plus loin dans ce raisonnement, et supposer que la présence d'une telle prime contrecarre le fait que la quasi-totalité des pilotes de *demand response* à travers est basée sur la participation volontaire des clients recrutés. On pourrait craindre que cela ne biaise la validité statistique des résultats, puisque qu'on prend le risque que seule la part de la population dotée d'une fibre économe, environnementaliste ou curieuse ne fasse l'effort d'accepter de participer. Une prime fixe encourage potentiellement les sceptiques peu enclins à participer activement au début du projet, mais qui pourtant constituent très certainement une part importante de la population réelle.

Avec un taux de réponse global de 6,6% (voir taux de réponse détaillés dans la section suivante), ce sont 819 clients volontaires qui ont finalement pris part au programme, dont près de 40 foyers à bas revenus. Ces derniers participèrent uniquement à l'option PTR, et leur nombre n'est pas représentatif du taux de réponse positif au processus de recrutement. En effet entre le moment où furent rendues les réponses et le démarrage effectif du pilote près d'un an après, certains d'entre eux (notamment ceux affectés aux autres options tarifaires) ont changé de niveau de revenu et/ou ont quitté le programme.

Un groupe de contrôle de 400 foyers fut sélectionné aléatoirement parmi les clients *Standard Offer Service* de PEPCO dans le District de Columbia, ils ne reçurent pas d'information sur le programme, ni de notification, mais un compteur spécial fut installé à leur domicile. Leur comportement servit de base de comparaison pour les études statistiques des résultats des trois autres groupes.

Get Rid of Your Energy Vampires

Vampires may be lurking in your home. TVs that are turned "off" but still plugged into the power, cell phone chargers plugged in even though the cell phone isn't attached, computers on but not being used, TVs turned "on" with no one watching, game consoles left on (tending to use more power than a TV that is "on")? All of these devices use energy even if they're not actively being used. We call these "energy vampires."

In the early morning hours, many of these devices may be costing you money as the value as you rush about getting as are higher in early morning and in the day.

Many devices simply can be use a power strip and then turn off nputer. Remember, some power constant lights.

PowerCentsDC
INFORMATION GUIDE
On-call Peak Pricing Program

pepco
Your life. Plugged in.™

COST!
 There is no cost to participate in PowerCentsDC. You don't need to buy any special equipment. Pepco will install a "smart meter" at your home that uses advanced technology to measure hourly energy usage. The meter will remain in place at the conclusion of the program.

Also, a limited number of customers with central air-conditioning will be offered a free smart thermostat on a first come, first served basis. The smart thermostat receives a radio signal from Pepco when energy prices are high, reducing the amount of energy consumed by your air-conditioner.

Smart Meter
Smart Thermostat

WHEN!
 Enrollment begins now. We will confirm your enrollment and provide additional details by letter before the program starts in the fall of 2007.

Après la confirmation du recrutement, une phase d'éducation des participant fut initiée deux semaine avant le démarrage de la phase de tarification dynamique, avec l'envoi dans les foyers d'un colis comprenant entre autres un magnet et une brochure comportant des conseils visant à les aider à réduire leur consommation d'électricité et/ou leur facture. Le design des brochures et autres documents informatifs se voulait convivial ou à connotation environnementale (voir exemples ci-dessus), présentant des familles, des personnes âgées sur des arrière-plans de verdure, ciel et éoliennes, dénotant le souhait de concerner une part maximum de la population et de mettre en avant de manière implicite la valeur écologique du programme.

Après le recrutement, des compteurs intelligents à relevé horaire, capable de communiquer des informations de consommation à PEPCO par ondes radio, furent installés gratuitement chez tous les participants, y compris ceux du groupe contrôle. Environ 300 participants furent également équipés de thermostats intelligents dotés d'un récepteur sans fil programmable à distance par le client pour réguler les fonctions de chauffage et de climatisation. Ces thermostats sont capables de répondre aux signaux de pointe critiques en modérant l'utilisation des équipements qu'ils gèrent. Ces processus automatisés sont débrayables manuellement à tout moment, gage de confort pour l'utilisateur. Les thermostats ont également fait office de *in-home display* rudimentaire (feedback direct), car munis d'un afficheur proposant un aperçu sur le prix courant de l'électricité, et une estimation de la dépense électrique cumulée.

La phase principale du programme, durant laquelle les participants furent soumis aux trois types d'incitation, a duré du 22 juillet 2008 au 28 février 2008, comprenant ainsi un cycle estival et un cycle hivernal complet.



Compteur intelligent (Sensus)



Thermostat intelligent (Comverge)

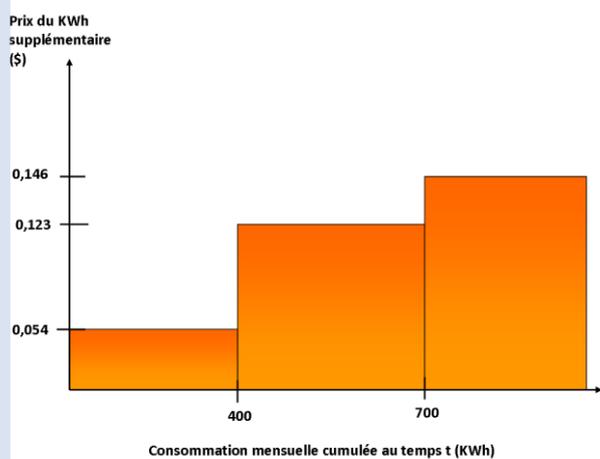
3.2.1.3 Incitations tarifaires mises en place.

Le programme PowerCentsDC vise à évaluer les performances incitatives de trois structures de prix – CPP, RTP et PTR – conçues de manière à garantir une neutralité par rapport à la facturation classique « Standard Offer Service » proposée par PEPCO.

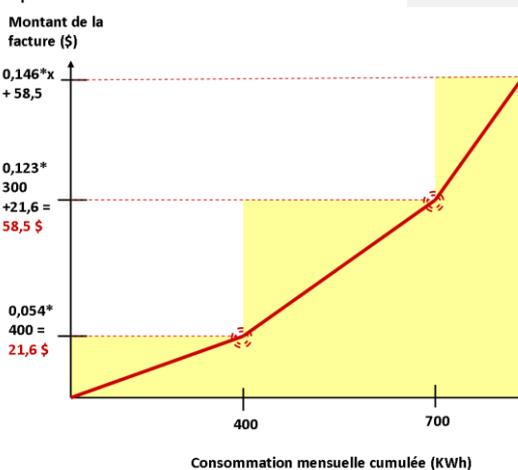
Aparté – Neutralité des offres tarifaire et pertinence des résultats analytiques.

L'approche de conception des structures de prix du programme PowerCentsDC, qui suggère qu'un client ne doit pas voir sa facture modifiée par rapport à la tarification standard s'il ne change pas son comportement de consommation d'électricité (quantitativement ou temporellement), est classique et se retrouve dans un certain nombre de pilotes d'expérimentations d'incitations par les prix. On retrouve cette approche par exemple dans les pilotes *California Statewide Pricing*¹⁰⁸ ou encore *Ontario Smart Price Pilot*¹⁰⁹. Cette neutralité garantit une étude statistique pertinente de la comparaison entre groupes tests et groupe contrôle, ou encore entre consommations historiques et actuelles d'un même groupe. La neutralité est un gage de soin porté à l'élaboration des incitations.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'offre standard d'électricité fournie par PEPCO est une tarification par blocs progressifs. Nous rappelons que ce principe consiste à augmenter le prix du KWh marginal par paliers selon la consommation cumulée sur la période de facturation.



Structure de prix du KWh marginal selon la tarification par blocs progressifs (segment RAD-AE)



Montant de la facture en fonction du nombre de KWh consommés. Il s'agit d'une fonction affine par morceaux, dont la pente s'accroît.

¹⁰⁸ Programme californien très complet, 2003-2004, comprenant CPP, TOU et feedbacks. Voir Herter K., Wayland S. (2010).

¹⁰⁹ Programme canadien complet, 2006, comprenant CPP, PTR et TOU. Voir Faruqi A., Sergici S. (2008), et *Ontario Energy Board Smart Price Pilot, Final Report, Juillet 2007, IBM Global Business Services, eMeter Strategic Consulting*

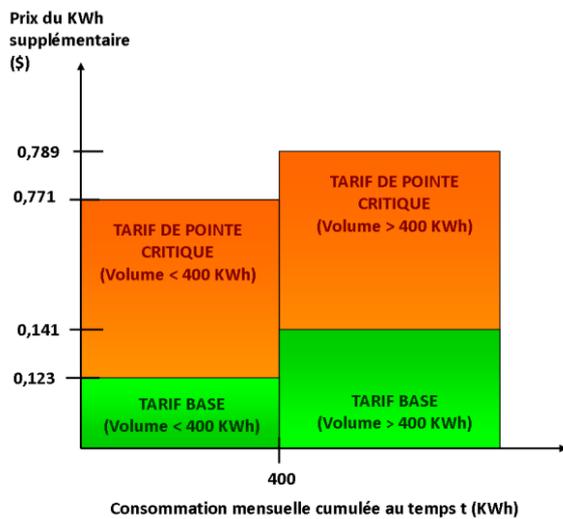
Price Plan	Summary	Tier 1 Size (kWh)	Tier 1 Price per kWh	Tier 2 kWh	Tier 2 Price	Tier 3 kWh	Tier 3 Price
R	Applies to most residential customers	0-400	12.9¢	401+	14.7¢	-	-
AE	Residential customers with electric heating	0-400	12.8¢	401+	14.7¢	-	-
RAD	Limited income customers	0-400	5.4¢	401+	14.8¢	-	-
RAD-AE	Limited income with electric heating	0-400	5.4¢	401-700	12.3¢	701+	14.6¢

Il est à noter que PEPCO offre des tarifs préférentiels pour les foyers à bas revenus, particulièrement pour ceux dotés de chauffage et climatisation électriques, pour contrer les effets néfastes potentiels d'une tarification par blocs progressifs sur ce segment de population (voir Owen G. et Ward J. (2010) à ce sujet).

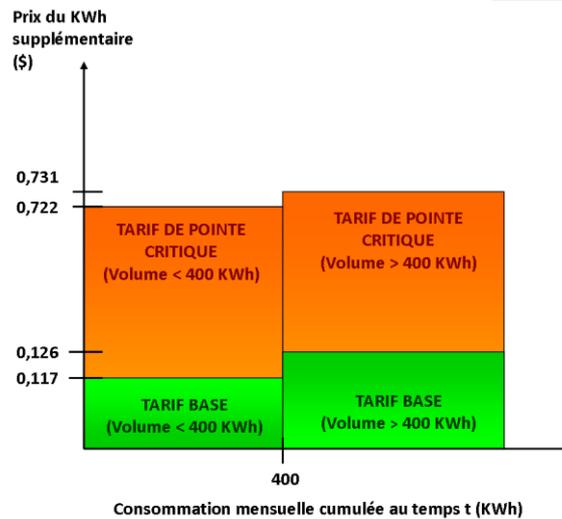
Ce tarif par blocs progressifs a servi de base à certaines options proposées par le programme PowerCentsDC et constitue le mode de calcul des factures du groupe contrôle, alors que les trois groupes tests sont soumis à des structures de prix plus élaborées.

3.2.1.3.1 Critical peak pricing.

Les participants soumis à l'option CPP furent soumis à une tarification dont la base est de type « blocs progressifs » simplifiée par rapport à l'offre standard de PEPCO présentée ci-dessus. Lors de certains jours décrétés comme étant critiques (15 jours critiques par : 12 l'été et 3 l'hiver), les prix changent durant 4h (de 14 à 18h pour les jours critiques d'été, de 6 à 8h et de 18 à 20h l'hiver), multipliés par un facteur 5 environ. Le prix de l'électricité est moins élevé durant l'hiver. (voir schéma ci-dessous représentant les prix des kWh marginaux pour des clients des segments R durant la période estivale et la période hivernale).



Structure tarifaire du segment R durant la période été.



Structure tarifaire du segment R durant la période hiver.

Les dates des jours critiques sont décidés en fonction des prévisions de températures extrêmes du jour suivant : des températures supérieures à 32° ou inférieures à -7° ont été choisies pour déclencher une alerte de jour critique lors de l'expérimentation de 2008. Les clients ont été notifiés la veille des jours critiques, avant 17h, par le(s) moyen(s) de communications qu'ils avaient choisis au début du programme (SMS, mail, appel téléphonique, affichage sur le thermostat intelligent). Afin de contrebalancer la forte hausse des prix 60h par an, le tarif de base est légèrement inférieur à celui du Standard Offer Service (SOS).

Les pilotes et programmes de CPP sont courants à travers le monde, parfois couplés à des tarifs de base TOU, en tant qu'outil de réduction de la demande de pointe et d'incitation au report de consommation. L'option CPP du PowerCentsDC s'en détache de par le fait que son socle tarifaire est une structure de blocs progressifs. Ainsi, ce programme conjugue les effets agrégés d'un outil tarifaire destiné à réduire la consommation globale d'électricité et d'un autre censé favoriser les reports de consommation et la réduction de la demande de pointe critique. Il est donc particulièrement intéressant en ce sens. Peut-on résoudre deux problématiques au moyen de ce mécanisme ?

3.2.1.3.2 Peak time rebate (PTR, aussi nommé Critical Peak Rebate) avec calcul de niveau de consommation de référence.

Le programme de PTR élaboré pour le pilote PowerCentsDC est basé sur la structure de prix standard proposée par PEPSCO pour chacun des segments de population, et sur les mêmes jours de pointe critiques que le CPP présenté ci-dessus. Cette option permet aux participants de toucher une prime par KWh non-consommé lors des jours critiques durant la (les) période(s) horaires de pointe

(également similaires à celles décrétées pour l'option CPP). A la fin du mois, la prime éventuellement cumulée est retranchée à la facture standard du participant.

La mesure des kWh non consommés est effectuée par soustraction par rapport au niveau de référence de consommation du participant (*baseline*). Selon le principe des programmes PTR, seules les réductions par rapport à la *baseline* sont prises en compte. Il n'y a pas de pénalités négatives ; la prime accordée pour la période de pointe d'un jour décrété critique est donc de la forme :

$$\left((Q_B - q) \times [Q_B \geq q] \right) \times R,$$

avec Q_B la *baseline* du participant, q sa consommation lors de la période de pointe et R le montant de la prime accordée par kWh de réduction, variable selon la saison et le segment de population.

Price Plan	Summer Critical Peak Rebate per kWh	Winter Critical Peak Rebate per kWh
R	-66¢	-36¢
AE	-67¢	-38¢
RAD	-83¢	-53¢
RAD-AE	-89¢	-63¢

Echelle des primes accordées par le programme PowerCentsDC par kWh non consommé par rapport à la baseline du client.

Ce programme est tout à fait similaire à ceux proposés dans des pilotes antérieurs ayant fait l'objet d'études, particulièrement aux Etats-Unis. Il parvient cependant à s'en démarquer de par la manière dont est calculée la *baseline* de chacun des participants. Nous avons vu que, par exemple dans le cas du pilote ayant eu lieu à Anaheim et que nous avons évalué en section 1.1, le niveau de référence semblait facile à modifier de manière intentionnelle par les participants dans le but d'obtenir des primes plus conséquentes. Ce biais s'avérait de surcroît très rentable. Les concepteurs du programme PowerCentsDC ont proposé une nouvelle manière de calculer la *baseline*.

Aparté : les méthodes de calcul de baseline courantes

Différentes méthodes, proches conceptuellement, ont déjà été testées pour établir un niveau de *baseline*. Voici une brève compilation des mécanismes de calcul utilisés pour calculer le niveau de référence d'un jour critique J :

→ Moyenne des 3 jours de plus forte consommation pendant les horaires de la période de pointe, durant les 10 jours non-critiques précédant le jour J, hors week-ends et jours fériés (*Pilote PJM Interconnection, 2005*).

→ Moyenne des 5 jours de plus forte consommation pendant les horaires de la période de pointe, durant les 10 jours non-critiques précédant le jour J, hors week-ends et jours fériés (*Pilote New York Independent System Operator*).

→ Moyenne des 3 jours de plus forte consommation sur la première moitié de l'été (*Pilote Anaheim Public Utilities, 2004*).

→ Moyenne sur les 5 jours non critiques précédant le jour J, hors week-ends et jours fériés (*Pilote SDG&E*).

→ Moyenne sur les 5 jours non critiques précédant le jour J, hors week-ends et jours fériés, augmentée de 25% (*Pilote Ontario Energy Board Smart Price Pilot, 2007*).

Une méthodologie bien plus complexe a été proposée dans un pilote très récent de NYISO, dont l'algorithme de calcul est explicité dans le guide du pilote, peut s'avérer prometteuse.

Pour le programme PowerCentsDC, la *baseline* des participants pour un jour critique J a été définie comme étant la moyenne des 3 jours de plus forte consommation pendant les horaires de la période de pointe, durant jours non-critiques du mois de facturation, réactualisé par un facteur 1,23.

Cette méthode est particulièrement innovante car elle permet :

- D'une part d'ajouter un facteur d'ajustement lié aux conditions climatiques extrêmes propres aux jours critiques. Il a été déterminé d'après résultats du pilote d'Anaheim, les utilisateurs du groupe contrôle ont consommé en moyenne 23% d'électricité en plus lors des jours critiques par rapport aux jours non-critiques.
- D'une autre part, d'éviter aux consommateurs de connaître facilement les jours utilisés pour le calcul de la *baseline*, et ainsi rendre difficile toute manipulation volontaire.

3.2.1.3.3 Real time pricing (RTP à intervalles de temps horaires).

La dernière option tarifaire proposée par le pilote PowerCentsDC consiste en un prix variant par intervalles horaires, selon un motif déterminé la veille en utilisant les prix « *day ahead* » du marché de gros régional géré par *PJM Interconnection*.

Ces prix ont été réajustés chaque trimestre par SMPPI pour rester le plus neutres possibles par rapport aux prix standard de PEPCO. En effet, le marché de gros a enregistré une baisse globale des prix de l'électricité sur la période d'expérimentation, récompensant le risque encouru par les participants exposés à la volatilité des prix en leur permettant de réaliser facilement des économies substantielles par rapport au tarif SOS de PEPCO. La neutralité n'a pu être totalement conservée, offrant des réductions de facture même aux clients n'ayant pas modifié leur comportement de consommation.

Les prix en temps réel de l'électricité furent affichés sur les écrans des thermostats intelligents, et disponibles sur le site internet du projet. De plus, un système de notifications par SMS, mail ou téléphone alertait les clients lorsque les prix dépassaient un certain seuil déterminé par SMPPI, afin qu'ils puissent adapter leur comportement de consommation s'ils désiraient répondre aux signaux incitatifs. Ces notifications ont été calculées pour intervenir 60h par an, afin d'établir une similitude avec les options PTR et CPP. De même, les thermostats intelligents disposaient d'une fonction de réponse automatisée à ces notifications. 38 heures furent décrétées « périodes de prix élevés » durant l'expérimentation.

Ces trois types d'incitations tarifaires furent accompagnés d'un feedback mensuel sous la forme d'un rapport de consommation électrique, envoyé aux clients avec leur facture d'électricité PEPCO. Ce rapport contenait des informations sur la consommation d'électricité et la dépense financière ou les primes associées, jour par jour. Les effets de ce type d'information ont été spécifiquement étudiés dans le cadre du programme PowerCentsDC.

3.2.2 Résultats observés lors de l'expérimentation : des pénalités incitatives.

3.2.2.1 Campagne de recrutement et segments de population.

Tout d'abord, les résultats de la campagne de recrutement nous permettent de repérer des tendances de préférences et de dispositions des clients à adopter les options tarifaires. L'option ayant reçu le plus fort taux de réponse positive a été le *Peak time rebate* (7,4% contre 6,6% en moyenne). On peut supposer que les participants sont rassurés car ils ne peuvent pas perdre d'argent par rapport à leur facture actuelle, même s'ils ne se soucient pas du tout de leur comportement énergétique. Cette tendance est appuyée par le fait que la participation au programme PTR n'induit pas de gratification fixe comme pour les autres options. La récompense fixe semble ne pas contrebalancer ici le manque d'attrait des systèmes induisant une prise de risque.

D'autre part on peut souligner que la population à bas revenus a davantage répondu de manière positive au recrutement (8,0% contre 6,6% en moyenne), potentiellement plus intéressée par une possible réduction de sa facture énergétique.

Cependant, les résultats du pilote concernant la population à bas revenus ne se sont pas avérés statistiquement exploitables. En effet, ce segment de la population a premièrement montré durant la durée du projet un taux de déménagement particulièrement élevé (plus de 35% pour les

clients de l'option PTR). Deuxièmement, une portion de ce groupe dont le revenu a évolué positivement a été amenée à quitter le segment « bas revenu ». La question de parvenir à déterminer un seuil de revenu considéré comme bas émerge comme une problématique pour l'élaboration de prochains pilotes.

3.2.2.2 Impact des incitations.

Une analyse statistique approfondie des résultats a été effectuée par F. Wolak au travers d'un modèle d'estimation et validée par des tests de confiance et de validité.

Les résultats obtenus en terme de réduction par typologie d'incitation par rapport aux consommations du groupe contrôle sont les suivants :

Typologie d'incitation	Réduction de consommation de pointe – Eté	Réduction de consommation de pointe - Hiver
<i>Critical peak pricing</i>	25%	10%
<i>Peak time rebate</i>	11%	Résultat statistique non valide
Real Time Pricing horaire	4%	4%

L'option CPP, pénalisant la consommation durant les périodes de pointe, a donc été la plus efficace pour inciter à réduire l'usage d'électricité à ces instants critiques. Les faibles résultats de la tarification horaire par rapport aux autres options sont attribués à un plus faible différentiel de prix (on rappelle le facteur 5 entre prix de base et prix de pointe de l'offre CPP).

Une étude de la réponse par équipement des foyers révèle que la demande du segment AE est plus élastique aux signaux tarifaires, avec des réponses parfois triplées par rapport au segment R.

Segment de la population	Réduction de consommation de pointe – Eté			Réduction de consommation de pointe - Hiver		
	CPP	PTR	RTP horaire	CPP	PTR	RTP horaire
Equipement ordinaire (O)	24%	10%	3%	7%	Non valide	Non valide
Tout électrique (AE)	30%	19%	8%	21%	Non valide	20%

D'autres éléments favorisant la *demand response* ont été identifiés :

- Sous l'option CPP, la réduction est amplifiée les jours de très hautes températures, alors que des conditions hivernales extrêmes (températures très basses) semblent diminuer la capacité de réduction de consommation de pointe.

La demande liée au chauffage des habitations paraît donc plus difficile à maîtriser lors des jours critiques que celle associée à la climatisation. Cette observation est intéressante à conserver à l'esprit lorsque se pose la question de la transposabilité des résultats des pilotes au cas de la France, où la majorité des pointes de consommation sont liées au fonctionnement du chauffage électrique.

- L'utilisation de thermostats intelligents a permis, comme dans la majorité des pilotes connus à ce jour, d'augmenter la réponse aux signaux – prix (de près de 100% pour certains segments), y compris pour les clients à bas revenus. En revanche, l'utilisation des thermostats intelligents avec l'option de tarification horaire ne s'est pas avérée concluante, puisqu'une augmentation de la consommation de pointe a été constatée (de 7 à 8%).

Les réductions observées sur les factures, en revanche, n'ont pas été très marquées : respectivement 1,3% et 2,3% pour les participants aux programmes de CPP et PTR, par rapport à la facture qu'ils auraient reçue sous une tarification standard. La réduction observée chez les participants à l'option RTP horaire est conséquente (22%) mais dénote surtout la baisse des prix de l'électricité sur les marchés de gros et la non-neutralité de cette option par rapport au tarif standard. 92% des factures distribuées durant la période d'expérimentation ont été d'un montant inférieur à ce qu'elles auraient été sous un tarif standard.

3.2.3 Les idées et leçons à retenir du programme PowerCentsDC.

Tout d'abord, nous remarquons qu'aucune analyse n'a été réalisée autour de la réduction globale de consommation d'électricité. Bien que cela aurait permis de différencier reports et réduction de consommation, il est admissible que la sobriété électrique n'était pas un objectif du programme, puisque le tarif par blocs progressifs, qui œuvre en ce sens, est déjà intégré à l'offre commerciale de base des participants. En revanche nous pouvons retenir l'intérêt double d'un tel programme composé d'incitations à la réduction de consommation globale et de pointe, puisque ce sont les deux objectifs identifiés dans le cas de la France, où les tarifs par bloc progressifs sont relativement méconnus.

Ensuite, nous pouvons souligner une efficacité des incitations de type « bâton » plus marquée que celles du type « carotte ». A quoi pouvons-nous attribuer cette différence ? Notre hypothèse consiste à supposer que la population est plus encline à évaluer et craindre des pertes financières directes liées à l'utilisation d'électricité durant les pointes, plutôt qu'à se figurer son coût d'opportunité en terme de récompenses manquées. Ainsi, les participants manquant de motivation à modifier leurs comportements ont pu imaginer qu'ils n'encourraient aucune perte à ne pas répondre aux notifications de jours critiques, alors qu'ils éprouvent des difficultés à imaginer un manque à gagner.

Ces résultats sont cependant à mettre en parallèle avec ceux d'autres. Un pilote ayant eu lieu en Ontario en 2007 (*Ontario Energy Board Smart Price Pilot*) présente une conclusion similaire sur les effets comparés de PTR et CPP. En revanche, un pilote mené en 2008 à Baltimore par BG&E (Voir

Faruqui A., Sergici S. (2009)) montre des programmes de CPP et RTP équivalents en termes d'espérance de gain et dont les résultats en termes de réduction de consommation de pointe sont similaires.

Nous considérons que l'acceptabilité et la perception d'un programme proposant des récompenses plutôt que des pénalités est meilleure du point de vue des consommateurs et plus envisageables sur un plan réglementaire. Pouvons-nous mieux identifier les facteurs favorisant un fort taux de réponse des clients aux programmes de type PTR en comparant spécifiquement des programmes comme celui de BG&E et le PowerCentsDC ?

Pour finir, le soin particulier apporté à la méthodologie de calcul de *baseline* s'est avéré récompensé puisqu'aucun biais induit par un comportement opportuniste des participants n'a été identifié. Ce type de programme nous conforte dans l'idée que le calcul du niveau de référence dans l'élaboration de système de rémunération des effacements ou réductions de consommation s'avère primordiale dans l'atteinte des objectifs d'un pilote.

3.3 Anaheim, ou l'échec du calcul de *baseline* en Californie.



La compagnie de service public d'eau et d'électricité d'Anaheim (*Anaheim Public Utilities, APU*), en Californie, a conduit durant l'été 2005 un programme d'expérimentation d'une tarification de type PTR, sur un échantillon de population de la ville (Wolak F. (2006)).

Ce programme, nommé *Critical Peak Pricing Experiment* ou encore *Spare the Power Days Rebate*, impliquait la participation de 123 clients résidentiels, et avait pour objectif de mesurer les effets sur la population d'un mécanisme incitatif de prime à la réduction de consommation d'électricité lors des jours de pointe critique. Ce programme est particulièrement intéressant à analyser car les systèmes de bonus à la réduction de consommation sont parmi les plus

envisageables d'un point de vue réglementaire et déontologiquement acceptables par la population résidentielle. Ses résultats sont particulièrement riches en enseignements et permettent de souligner une problématique récurrente des programmes basés sur une mesure de l'effacement par rapport à la consommation habituelle : la difficulté du calcul du niveau de consommation de référence, ou *baseline*.

Dans le cas du *Critical peak pricing Experiment*, la méthode de calcul de *baseline* s'est avérée facile à biaiser et donc a conduit à des rémunérations trop généreuses des participants. De manière générale ce programme a démontré qu'un mauvais design tarifaire mène à un schéma non viable à long terme pour une compagnie de fourniture d'électricité.

3.3.1 Le design du programme d'APU.

3.3.1.1 Recrutement des clients.

Le programme d'APU a été initié à la fin de l'année 2004 par un processus de sélection aléatoire de clients, afin de composer le groupe témoin et les groupes test. Les premiers reçurent un nouveau compteur d'électricité à pas horaire mais ne reçurent pas d'information sur le pilote en cours de préparation. En revanche, les clients sélectionnés pour faire partie du groupe test furent recrutés tout d'abord par le biais d'une lettre à laquelle ils devaient répondre en donnant leur adresse e-mail ou leur numéro de téléphone dans le but de procéder aux notifications les veilles de jours critiques. La lettre introductive leur présentait le programme comme une possibilité de gagner de l'argent en réalisant des économies d'énergie, et garantissait qu'il n'y aurait pas de pertes financières pour les participants. Il n'était pas mentionné dans le courrier une éventuelle possibilité de quitter le programme en cours. Dans un deuxième temps, les clients sélectionnés n'ayant pas répondu à APU en renvoyant leurs coordonnées pour notification furent contactés directement par téléphone pour tenter de les amener à participer et appuyer les propos de la première lettre de recrutement.

Ce processus a abouti à la composition d'un échantillon de 123 foyers résidentiels, répartis en un groupe contrôle de 52 clients et un groupe test de 71 clients, chez lesquels des appareils de comptage à intervalles de 15 minutes furent installés et testés au courant du printemps 2005.

Une étude statistique des relevés de consommation chez les clients du groupe contrôle et du groupe test de Wolak (2006) démontre le caractère aléatoire du procédé de sélection des personnes recrutées pour l'une et l'autre de ces catégories.

La durée du programme a été d'environ 130 jours (du 1^{er} juin 2005 au 14 octobre 2005), en été, car comme dans une majorité des états américains, les jours de pointe critiques de consommation sont principalement localisés à la saison chaude, à la différence de la France ou même de l'Europe en général. Les conditions climatiques de la Californie, en particulier les températures élevées, impliquent une large diffusion des dispositifs d'air conditionné, lesquels sont considérés comme des appareils dont on peut reporter l'usage aisément, voire même l'automatiser

(même si ce ne fut pas le cas lors de l'expérimentation d'Anaheim). Ce sont donc des équipements dont on peut attendre une contribution à la *demand response*. Nous reviendrons plus tard sur les particularités des objectifs de la gestion de pointe en France.

3.3.1.2 Design tarifaire

En 2004, la clientèle d'APU, était soumise à un tarif de type *increasing blocks rate*. Les 240 premiers KWh mensuels étaient à un prix inférieur aux KWh excédant cette limite, c'est-à-dire respectivement 0,0675\$/KWh et 0,1102\$/KWh. Comme nous l'avons déjà évoqué, ce type de tarification permet d'inciter à une certaine sobriété énergétique et à une réduction globale de la consommation, mais n'est pas particulièrement conçu pour permettre d'éviter les consommations en heures de pointe. C'est ce schéma tarifaire qui a été appliqué au groupe contrôle. C'est également le tarif appliqué aux clients du groupe test, à la différence près que ceux-ci reçoivent, certains jours notifiés en tant que *Critical peak pricing Days* (jours de tarification de pointe critique) 0,35\$ par KWh non consommé sur la tranche horaire 12h-18h, par rapport à leur niveau de consommation de référence appelé *baseline*. Le schéma tarifaire est récapitulé dans un tableau présenté ci-dessous.

Groupe	Jours non CPP et jours CPP hors période critique	Jours CPP, durant la période critique 12h - 18h
Groupe contrôle		
Jusqu'aux 240 premiers KWh consommés mensuellement	0,0675\$/KWh	Pas de changement
KWh consommés à partir du 241 ^{ème} KWh	0,1102\$/KWh	
Groupe test		
Jusqu'aux 240 premiers KWh consommés mensuellement	0,0675\$/KWh	0,35\$ de réduction offerts pour chaque KWh économisé par rapport au niveau de consommation de référence B.
KWh consommés à partir du 241 ^{ème} KWh	0,1102\$/KWh	

Le niveau de consommation de référence, ou *baseline* est calculé comme étant la consommation moyenne des trois jours dont la tranche horaire 12h-18h a connu la demande la plus élevée, hors jours de pointe critique (jours CPP), week-ends et jours fériés, sur la période

d'expérimentation, à savoir du 1^{er} juin 2005 au 14 octobre 2005. On peut exprimer le calcul de la *baseline* B plus clairement sous une forme mathématique.

$m_1 = \max_{i \in A} q_i$, avec A l'ensemble des jours CPP les plus chauds et jours fériés
 et q_i la consommation d'électricité associée à la période i de 18 heures.
 On dit le jour réalisant le maximum de consommation

$m_2 = \max_{i \in A \setminus \{1\}} q_i$, on dit le jour réalisant le maximum m_2 .

$m_3 = \max_{i \in A \setminus \{1,2\}} q_i$

$$B = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 m_k$$

Cette méthode de calcul relève d'un certain choix de la part d'APU de garantir à ses clients un accès facile aux bonifications. D'une part, le prix du KWh économisé par rapport à la *baseline* est très élevé par rapport au coût d'achat d'un KWh (on observe pour le premier bloc tarifaire un facteur 5 entre le prix de vente d'un KWh par le fournisseur et le prix auquel ce dernier récompense sa non-consommation). D'autre part, le niveau de consommation de référence risque d'être biaisé à la hausse puisqu'il se réfère à des consommations maximales très ponctuelles de la part du client. Seule une étude approfondie des résultats permet de confirmer la défaillance de ces choix.

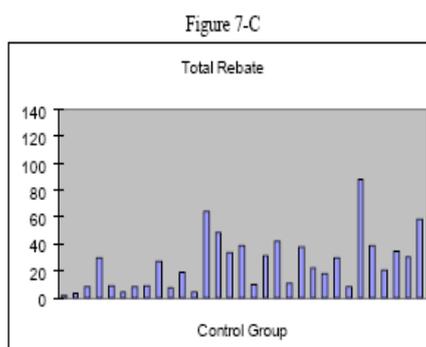
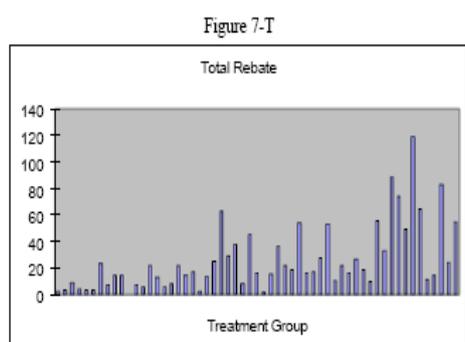
3.3.2 Résultats.

L'expérience, qui a duré au total 130 jours de l'été 2005, s'est avérée bénéfique sur le plan financier pour l'ensemble des clients du groupe test : tous ont reçu une prime à la fin de la période d'expérimentation. Le montant des primes, cumulées tout au long de 12 jours déclarés comme étant des jours CPP, s'est avéré très hétérogène pour l'ensemble des clients, s'étendant jusqu'à plus de 100\$. Tous les clients ont reçu des primes supérieures à 10% du montant de leur facture d'électricité avant remise, cette proportion s'élevant parfois jusqu'à 40% de leur facture.

Une étude statistique (Wolak (2006)) montre que les clients du groupe de traitement ont consommé en moyenne 12% d'électricité de moins lors des périodes de pointe des jours CPP que les clients du groupe contrôle. En outre, plus la température est élevée, plus l'élasticité de la demande est grande : une température augmentant de 10% lors d'un jour CPP entraîne une réduction de consommation pour le groupe test accrue de 7%. Il n'y a pas d'effet notable de réduction du mécanisme de prime sur les consommations hors période de pointe lors des jours CPP, et ce, même concernant les veilles de jours critiques durant lesquels les clients reçoivent une notification.

Une étude plus approfondie de la consommation du groupe test hors des jours CPP révèle ce que le montant élevé des primes reçues laissait envisager : leur consommation lors des jours non-CPP s'avère largement supérieure à celles du groupe contrôle (de 7% en période de pointe à 14% hors période de pointe). Ces résultats surprenants s'expliquent pleinement par le fait que le calcul de *baseline* incite les clients à surconsommer, afin de toucher davantage de prime puisque celle-ci correspond à un multiple (de facteur 0,35) de la différence entre *baseline* et consommation mesurée les jours de pointe.

De plus, les clients du groupe contrôle auraient reçu des primes eux aussi s'ils avaient été soumis au même schéma de gratification, et la répartition de ces primes se serait avérée quasiment équivalente, bien que ces dernières soient légèrement inférieures en moyenne. (Voir les schémas de répartition des primes des deux groupes). Cela conduit à affirmer que les clients, qu'ils soient soumis ou non à la motivation financière de la prime, auraient globalement consommé moins les jours de pointe critique que les jours non notifiés comme jours CPP. On parle de réponse passive de la part des participants.



3.3.3 Analyse d'un programme mal conçu : les leçons à retenir.

Comme les résultats statistiques l'indiquent, les effets d'une prime à la réduction de consommation les jours de pointe, calculée par rapport à un niveau de consommation de référence, ne sont pas ceux escomptés dans le cadre du pilote *Spare The Power Days Rebate* mené à Anaheim.

L'élaboration d'un modèle mathématique représentant le système de primes attribuées en cas de réduction de consommation, basé sur le calcul du coût effectif de consommation d'un KWh marginal (i.e. prenant compte des coûts d'opportunité) parvient aux conclusions suivantes :

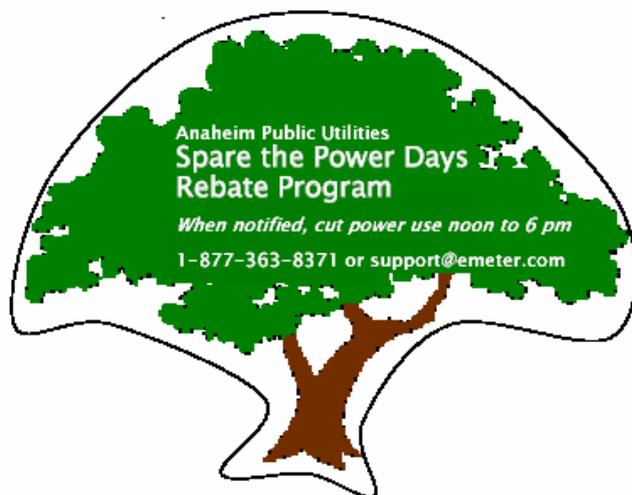
- Durant les périodes de pointe (12h-18h) des jours non-CPP mais éligibles en tant que CPP (c'est à dire les jours de semaine non fériés), le consommateur est incité par le modèle tarifaire à augmenter sa consommation d'électricité.
- Durant les périodes de pointe des jours CPP, le consommateur est incité à réduire sa consommation.
- Un KWh supplémentaire consommé lors de la période de pointe d'un jour non-CPP utilisé dans le calcul de *baseline* rapportera au client 1,40\$ de prime au total (sur les 12 jours de pointe critiques décrétés dans l'été), pour un investissement initial variant de 0,0675 à 0,1107\$ (prix d'achat de ce KWh selon le tarif *Increasing Blocks Rate* en vigueur), soit un « retour sur investissement » de 13 à 20%.

Augmenter sa consommation lors de la période de pointe de quelques jours non-CPP s'avère donc extrêmement rentable pour le client. Wolak estime dans son étude statistiques des résultats du pilote que près de la moitié de la réduction de consommation observée lors des périodes de pointe chez les clients du groupe test est due à une surconsommation ayant lieu les autres jours.

S'agit-il d'un réel calcul de la part de la population ? Il paraît difficile d'être aussi catégorique. D'une part l'échantillon du groupe test semble assez restreint. La question de la significativité de sa taille se pose. De plus les clients sélectionnés sont ceux qui ont répondu positivement à la proposition de participation reçue par courrier, laquelle stipulait clairement un gain potentiel promis par une réduction d'usage par rapport aux consommations habituelles. Le niveau de calcul de *baseline* n'était pas clairement énoncé dans les courriers et brochures envoyées aux participants. Néanmoins des données issues d'autres sources d'information (notamment un site internet plus fourni, et l'indication de la récompense obtenue de manière détaillée sur les factures d'électricité), permettaient aux clients de comprendre comment était calculé le niveau de consommation de référence (source : échange avec F. Wolak).

On peut remarquer qu'aucun système d'automatisation des appareils gourmands en électricité n'a été spécifiquement mis en place chez les clients lors de ce programme. D'une part cela implique que les réductions que l'on souhaite observer sont basées uniquement sur une modification consciente du comportement des consommateurs, et d'autre part cela laisse imaginer qu'une issue différente pourrait potentiellement aboutir à un programme faisant appel à des technologies intelligentes, notamment une réduction fiable et plus prévisible de la consommation de pointe.

Un autre élément à retenir au niveau du comportement du consommateur soumis à incitations financières, est son manque d'intérêt pour la question environnementale en opposition avec une motivation budgétaire. L'aspect écologique du programme était pourtant clairement énoncé dans les courriers et brochures adressées par APU (diminution de la pollution et des émissions de gaz à effets de serre apparaissant en toutes lettres, logo du programme prenant la forme d'une silhouette d'arbre...).



Le logo du programme Spare the Power Days Rebate Program

(Source : Fact Sheet, FAQ)

Un complément intéressant à ce programme aurait donc été une enquête plus poussée menée chez les consommateurs après l'expérience, afin de comprendre quels ont été les motivations d'agissement qui les ont animés tout au long de ce programme. De plus, si le système de prime à l'effacement semble rencontrer une opinion plutôt favorable, puisqu'il s'agit d'une incitation positive sans autre perte possible que celle des coûts d'opportunités, un questionnaire de satisfaction permettrait de percevoir plus clairement les avis des clients impliqués.

Le programme *Spare The Power Days Rebates* s'avère donc mal conçu du point de vue de la rémunération des réductions de consommation, à la fois trop généreuses et dans lesquelles les clients peuvent trop facilement induire un fort biais en leur faveur, pour peu qu'ils parviennent à calculer l'opportunité de gain qui s'offre à eux. Les rémunérations accordées sont bien supérieures à celles auxquels les concepteurs du pilote pouvaient s'attendre au vu des profils de consommation normaux de leur clientèle.

L'un des objectifs de ce programme était d'évaluer la possibilité d'étendre ce système de primes à la réduction de consommation à l'ensemble d'un état. Le mauvais calcul du montant et de la structure des rétributions permet d'émettre un résultat clair à ce sujet.

Le coût d'un KWh récompensé par APU durant ce programme a été estimé comme étant de 2.50\$ environ pour le fournisseur. Pour constituer une incitation viable, une telle rémunération doit trouver sa compensation dans l'économie réalisée par la compagnie en terme d'achats d'électricité sur le marché de gros (on estime négligeables les effets de l'annonce d'un jour CPP sur le prix de l'électricité sur le marché de gros, et donc les économies se font sur la quantité réduite de KWh achetés par le fournisseur). Hors, le marché de gros en Californie admet des prix plafonnés qui restent bien inférieurs à 2,50\$/KWh (0,40\$/KWh en 2005 au moment de réalisation du programme). Le système de prime ne devient auto-suffisant que dans un monde virtuel où les prix de l'électricité seraient totalement libres et où les pointes de consommation conduiraient fréquemment à des prix

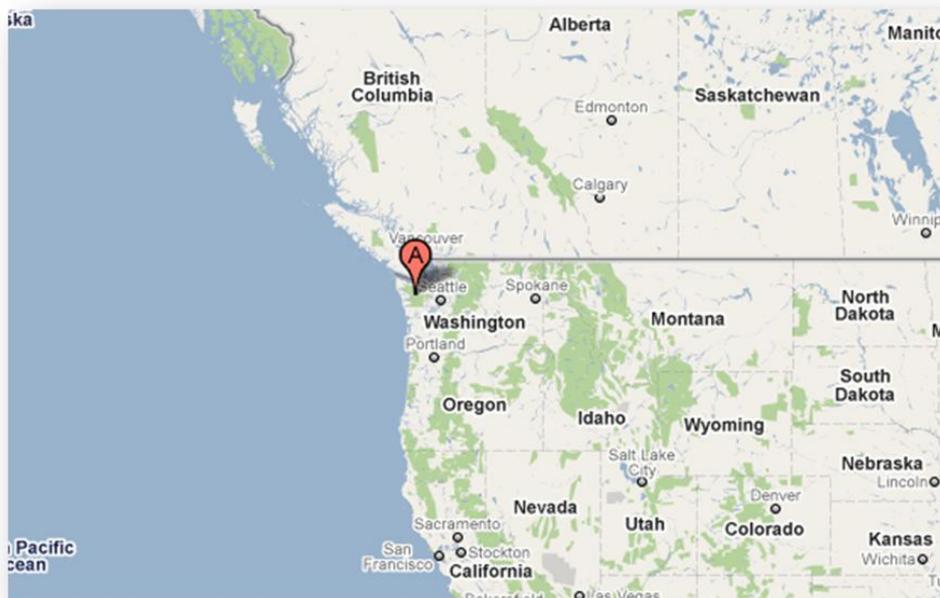
extrêmement élevés. Dans un univers réglementaire différent (comme on peut aujourd'hui en rencontrer ailleurs aux Etats-Unis), et une rémunération des réductions mieux calibrée (et donc moins coûteuse), un programme autofinancé serait donc envisageable.

La principale leçon à retenir de l'expérience d'Anaheim Public Utilities est donc l'attention particulière à accorder à deux éléments lors de l'élaboration d'un programme de bonus à la réduction de consommation de pointe.

Tout d'abord il convient d'élaborer une méthode plus intelligente de calcul de consommation de référence pour chaque client. Il est indispensable de parvenir à une valeur qui reflète la consommation moyenne réelle du client sans que le calcul de cette dernière ne soit perçu comme une incitation à consommer davantage lors des jours non-CPP.

Ensuite, un soin devra être apporté au calcul de la rétribution de l'effacement des clients. Il s'agit de déterminer une politique de prime qui soit viable pour l'entreprise, et prenne en compte les particularités du marché de gros de l'électricité du pays concerné. Les caractéristiques de type plafonnement des prix de gros sont typiquement des données à prendre en compte pour le calcul d'une valeur du KWh non consommé. Il en va de la pérennité de ce type de programme.

3.4 *Olympic Peninsula Project* : un design tarifaire innovant basé sur un marché virtuel des charges auquel participaient les appareils domestiques dans l'état de Washington.



Le *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL), l'un des dix laboratoires de l'*US Department of Energy*, a mené avec l'appui de partenaires régionaux (entreprises, compagnies et services) de l'état de Washington un projet destiné à implémenter et tester le concept très actuel que représentent les Smart grids, et ce, notamment dans sa composante « gestion de la demande active ».

Ce projet, nommé *Pacific Northwest GridWise Demonstration Project*, comporte deux pilotes distincts destinés à évaluer le potentiel de réduction de la consommation de pointe et la charge globale du réseau. Le premier, *GridFriendly Appliance Project*, consiste à développer l'utilisation d'appareils électriques et électroménagers intelligents et sensibles aux congestions du réseau de distribution d'électricité. Le second, *Olympic Peninsula Project*¹¹⁰, étudie la réponse de la clientèle à des signaux-prix notifiés, entre autres, au moyen de *displays*, en parallèle avec un système de communication à double sens entre le réseau, les charges et les moyens de micro-génération répartis.

Dans cette section nous nous intéresserons à ce second programme afin d'en observer la conception particulièrement innovante en terme de structure tarifaire. En effet, l'*Olympic Peninsula Project* (OPP) propose aux clients impliqués et équipés en technologies communicantes automatisables différentes offres incitatives, variant d'un simple prix fixe à un système de tarification en temps réel (RTP avec un pas de temps de l'ordre de 5 minutes). Ce tarif, basé sur les cours du marché de gros et sur un processus d'enchères permettant en théorie d'atténuer la volatilité des prix, a conduit des appareils domestiques à répondre automatiquement aux signaux-prix (effacements et remises en route au sein des foyers).

L'un des autres intérêts de l'OPP est qu'il est bâti en périphérie du service de fourniture d'électricité déjà installé dans la région. Le programme bâti par le PNNL s'avère donc plus facile à insérer dans le contexte régulateur des marchés de l'électricité. Ce critère s'avère d'autant plus important lorsqu'on souhaite évaluer la transposabilité des pilotes et de leurs résultats d'un pays à un autre : de nombreux autres programmes développés aux Etats-Unis ne sont envisageables que dans le cas d'une structure verticalement intégrée de distribution et commerce d'électricité et d'une réglementation souple en termes de possibilités tarifaires.

Les résultats obtenus sont encourageants puisque ce programme a permis de réaliser une réduction de la consommation d'électricité de pointe d'environ 15% sur l'échelle d'une année, mais également une réduction de consommation globale d'environ 10%. Cet effet de bord non négligeable s'inscrit tout à fait dans les objectifs des programmes de *demand response* actuels, notamment pour la France.

Les résultats de ce pilote, combinés à une étude de l'intégration potentielle de la micro-génération d'électricité injectée à bon escient dans le réseau, semblent montrer qu'une offre élaborée peut contribuer à réduire les pointes de charge critiques sur le réseau jusqu'à environ 50%. Cela constitue une confirmation de l'hypothèse qui sous-tend que la technologie disponible

¹¹⁰ Pacific Northwest GridWise Testbed Demonstration Projects : Part I. Olympic Peninsula Project, Pacific Northwest National Laboratory, octobre 2007.

aujourd'hui même rend possible et acceptable un mécanisme de *demand response* résidentielle efficace.

3.4.1 Cadre général du pilote Olympic Peninsula Project : phases de recrutement et déroulement du projet.

Le projet a démarré à la fin de l'année 2005 par le processus de recrutement des consommateurs parmi la clientèle locale dans les alentours des villes de Sequim et Pot Angeles, dans l'état de Washington. Le pilote a ciblé volontairement les foyers équipés d'une connexion internet haut débit, d'un système principal de chauffage et d'air conditionné électrique, d'un chauffe-eau électrique et pour certains, d'un sèche-linge. En effet l'OPP visait à mettre en place une automatisation du fonctionnement de ces appareils en réponse à des signaux-prix et des procédés de pré-programmation. Le PNNL a rencontré des difficultés à recruter des clients répondant aux besoins du pilote, et ce sont finalement 112 foyers qui furent sélectionnés, grâce à des campagnes de courriers, de communication sur Internet, mais également par des interventions radio, des encarts dans la presse, ou plus anecdotiquement, par le bouche à oreille. Les principales difficultés rencontrées ont été le manque de connaissance des populations à propos de leurs propres appareils domestiques et connexions internet, ainsi que l'adéquation aux pré-requis technologiques du programme. Le PNNL a également enregistré une confusion de la part de la population vis à vis d'un autre programme de gestion de la demande conduit simultanément dans la même région et, en dépit des efforts réalisés en ce sens, la participation de quelques foyers aux deux programmes en même temps n'a pu être évitée.

La phase de recrutement du panel de population impliqué dans le programme est donc une étape difficile et néanmoins cruciale, puisque sa représentativité et sa validité statistique permettent d'affirmer la pertinence des résultats. Dans le cas de l'OPP, les difficultés de construction du groupe de clients testés sont principalement liées aux pré-requis assez précis, parfois compliqués à identifier dans les foyers. D'autre part, la participation au projet impliquait d'occuper l'habitation pendant toute la durée du projet, de s'engager à ne pas entraver l'accès au domicile pour permettre aux techniciens d'intervenir pour installer ou réparer les appareils communicants, mais aussi de répondre à deux enquêtes pré et post projet. En contrepartie les clients pouvaient disposer d'outils de gestion de leur équipement électrique, et se voyaient promettre un gain moyen de 150\$ pour leur participation au projet (gain modulé par leur réponse aux incitations, ou gain réel pour le groupe contrôle). Quoi qu'il en soit, l'expérience du PNNL nous enseigne qu'il est indispensable, à ce niveau d'avancement du projet, d'être en mesure déjà d'informer et de pouvoir répondre aux questions d'une population qui ne souhaite pas s'engager sur un projet qu'elle ne comprend pas.

L'*Olympic Peninsula Project* se distingue des autres pilotes par le fait qu'il offre aux participants une certaine marge de choix de la structure de tarifs à laquelle ils sont affectés. Trois propositions (un tarif fixe accompagné de conseils grand public d'efficacité énergétique, un tarif de type TOU + CPP, et enfin un tarif RTP) étaient faites aux clients, lesquels devaient indiquer leur premier et second choix parmi ces affectations possibles. Le PNNL a ensuite constitué aléatoirement un groupe contrôle d'environ 25 foyers puis réparti les autres volontaires dans les groupes de test en

tentant de satisfaire au maximum les demandes par un processus d'optimisation par essais aléatoires répétés.

Les participants au PNNL ont majoritairement manifesté leur intérêt pour le programme de tarification en temps réel, lequel est pourtant le plus susceptible de se heurter à l'aversion au risque que peuvent manifester les consommateurs. Les raisons de ce choix peuvent se trouver dans les brochures introductives fournies aux participants, qui stipulaient clairement que « [le programme RTP] requiert la plus grande implication de la part du consommateur et les plus grands changements en terme de mode de consommation d'électricité. [Les participants] ser[ont] également susceptibles de recevoir les primes les plus importantes [de l'Olympic Peninsula Project] en choisissant ce type de contrat ». L'incitation financière, lorsqu'elle est explicitement exprimée comme ici, semble permettre de surpasser les réticences face à l'implication nécessaire du client dans un programme de type RTP et aux éventuels risques liés à un prix amené à varier toutes les 5 minutes. Le fait de promettre un gain potentiellement supérieur aux autres programmes doit être considéré comme un facteur de motivation important au niveau de la psychologie du consommateur.

La phase suivante de mise en place du programme fut l'installation chez les clients des appareils de communication et d'automatisation. Un système de communication sans fil constituait l'intelligence du réseau domestique, une box VPN connectée à internet et un compteur aux fonctionnalités avancées (enregistrement des courbes de charges) ont permis de contrôler le thermostat et les modules de gestion programmables des chauffe-eau et éventuellement des sèche-linge. Cette étape fut suivie de la mise en place d'un portail internet nommé *GoodWatts*, permettant un monitoring de la consommation d'électricité par tranches de 15 minutes, mais également de programmer les divers appareils et thermostats.



Capture d'écran de l'outil en ligne GoodWatts™ : suivi de consommation, contrôle et programmation des équipements électriques.

Selon la composante du pilote à laquelle ils allaient prendre part, les clients pouvaient définir différents types de pré-programmations pour leurs équipements domestiques :

- Les clients soumis au tarif TOU/CPP pouvaient établir un horaire de fonctionnement pour leurs appareils.
- Les clients soumis au tarif RTP pouvaient spécifier leurs préférences entre économie et confort au travers du choix de 2 options préenregistrées parmi 12 pour leur système de chauffage/climatisation et chauffe-eau, déterminant ainsi des seuils de prix à partir desquels ils souhaitaient restreindre leurs usages. Une analyse des choix des consommateurs a révélé leur appétence pour des programmes équilibrés entre économies et confort en ce qui concerne le chauffage et la climatisation (choisis par 67% des clients). L'eau chaude apparaît comme plus importante au confort immédiat puisque 89% des clients ont choisi à ce sujet un réglage leur garantissant un confort maximum ou bien un équilibre confortable.

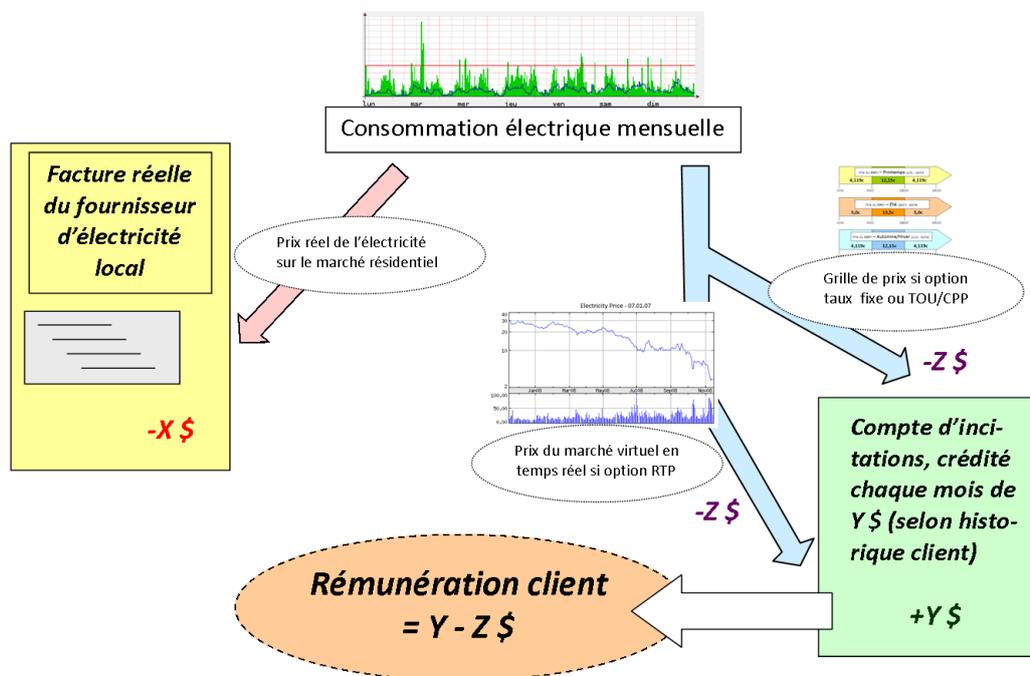
L'ensemble des équipements et systèmes de contrôle furent mis en place pour le 1^{er} avril 2006. L'expérimentation dura une année complète, jusqu'au 31 mars 2007. Le programme englobe donc l'étude d'un été mais aussi d'un hiver, ce qui peut s'avérer intéressant du point de vue de la différence potentielle d'élasticité entre les usages estivaux, comme la climatisation, et ceux hivernaux comme le chauffage. Actuellement en France, le chauffage électrique est considéré comme l'usage domestique le plus favorable à l'implication dans des programmes de *demand response*, d'où l'intérêt de ce programme, situé dans l'état de Washington à une latitude proche par exemple de celle d'Orléans. Si le climat y est plus tempéré, l'OPP se déroule tout de même dans un cadre qu'il est sans doute plus facile de comparer au cas français, voire européen, qu'un pilote californien.

3.4.2 Incitations et mécanismes mis en place par le PNNL : un « compte d'incitations » à gérer au gré des offres tarifaires.

Nous avons vu que l'OPP se déploie en 3 structures tarifaires distinctes, toutes combinées à l'installation de matériel d'automatisation des équipements électriques domestiques, à un feedback disponible sur la consommation et à des conseils en terme d'efficacité énergétique.

Quel que soit la structure à laquelle ils aient été affectés, un compte spécial (un « compte d'incitations ») a de plus été attribué à chaque foyer. A chaque début de mois, les comptes d'incitations sont réapprovisionnés d'un montant personnalisé calculé sur la base des consommations de l'année précédente. Ce compte d'incitations est ensuite débité, au cours du mois, du prix de l'électricité consommée selon les taux correspondant au contrat affecté (TOU, RTP ou prix fixe). La somme restant sur le compte à la fin du mois est reversée au consommateur en tant que récompense pour sa participation au programme et ses éventuels efforts. Les sommes déposées chaque début de mois sur le compte d'incitations par le projet ont été calculées de sorte à ce que la récompense moyenne des participants de chaque groupe tarifaire (TOU, RTP et prix fixe) soit de 150\$

(cette contrainte a cependant nécessité des ajustements en cours de programme). Le solde du compte d'incitations ne peut pas être négatif.



L'incitation pour les consommateurs à réduire leur consommation de pointe réside dans le fait que, moins ils consomment au moment où le prix de l'électricité est élevé, moins leur compte d'incitations sera débité, et donc plus le montant de récompense restant à la fin du mois sera substantiel. Les clients adhérant au programme à prix fixe peuvent être amenés à moduler leur récompense en effectuant des efforts de réduction globale de consommation d'électricité.

Ce système d'incitation particulier, offrant au client une mise initiale à dépenser à bon escient et à conserver au maximum afin d'en récupérer un dividende final, est directement issu des protocoles d'économie expérimentale. Une étude poussée des théories fondant cette discipline permettrait de se baser sur des résultats déjà connus pour élaborer d'autres systèmes incitatifs innovants.

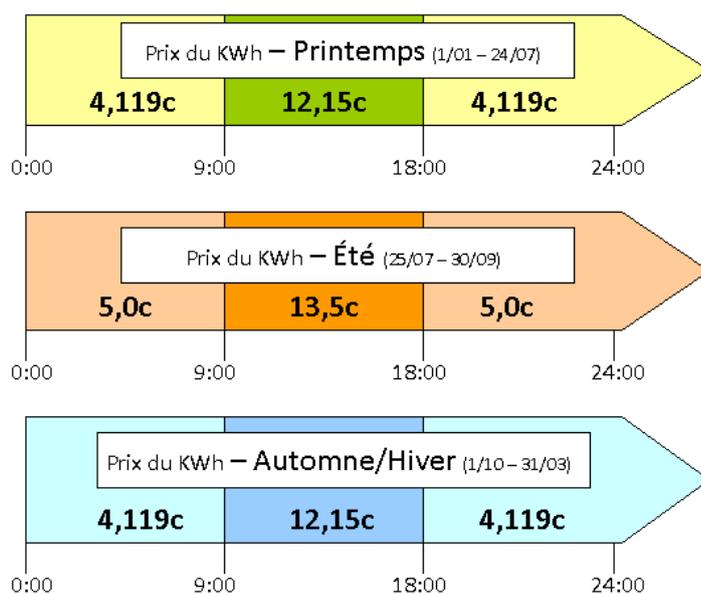
Les incitations distribuées dans l'OPP interviennent en sus d'une facturation classique de la part des fournisseurs d'électricité respectifs de chaque foyer, et ne constituent donc que des récompenses pour bonne conduite face aux signaux de prix et coopération au projet. En dehors de la rémunération pour participation, ce compte simule donc le différentiel coût/bénéfice que le client aurait subi si le contrat auquel il a été affecté était son mode de facturation réel. L'étude plus détaillée de chaque structure tarifaire permet de mieux comprendre les mécanismes incitatifs mis en place, et leurs interactions avec les systèmes d'automatisation.

3.4.2.1 Programme à Prix Fixe.

Le prix de l'électricité pour ce programme est fixé pour toute la durée du programme à 81\$/MWh. Des conseils d'efficacité énergétique sont dispensés aux clients. Leur compte d'incitations est débité de la quantité d'électricité achetée multipliée par le prix fixe, la seule solution pour eux d'améliorer leur bénéfice est de parvenir à réduire leur consommation globale. L'OPP s'engage tout de même à ce que la rémunération moyenne de ce groupe s'élève, comme pour les autres, à 150\$ pour la période 2006-2007.

3.4.2.2 Programme Time Of Use / Critical peak pricing

Le compte d'incitation des clients soumis à la tarification TOU/CPP est débité du montant de l'électricité achetée au prix du KWh correspondant à la période de consommation, ce qui pousse à consommer en dehors des périodes de pointe (plages horaires où la consommation est la plus onéreuse) afin de maximiser le bonus de fin de mois. Les bandes tarifaires de l'OPP sont à la fois horaires et saisonnières. Elles sont récapitulées dans le schéma suivant :



Cette option de l'OPP comportait également la possibilité de décret de périodes critiques (*Critical Peak Period, CPP*), d'une durée maximale de 4h consécutives et dont le nombre par année était limité. Durant les CPP, le prix de l'électricité était multiplié par 3 par rapport à une période de pointe normale (35c/KWh). Une notification était effectuée aux clients au moins un jour avant

l'événement. Le procédé CPP ne fut déclenché qu'une seule fois tout au long du programme, le 1^{er} novembre 2006.

Les clients adhérant au programme TOU/ CPP eurent également la possibilité de programmer les horaires de fonctionnement de leurs appareils domestiques indépendamment (chauffage et climatisation, chauffe-eau), et d'établir des préférences de réglage des thermostats afin d'ajuster automatiquement la portion contrôlable de leur consommation au prix courant de l'électricité. Les choix du consommateur sont toujours considérés comme prépondérants dans ce projet et permettent de débrayer toute pré-programmation reliée aux plages horaires du TOU.

3.4.2.3 Programme Real Time Pricing (RTP).

Le programme de *Real Time Pricing* est le plus complexe des contrats proposés au sein de l'Olympic Peninsula Project. Les prix de l'électricité de cette option tarifaire sont indexés sur le cours du KWh marginal au sein d'un marché virtuel élaboré spécialement dans le cadre du projet. Cette expérience s'avère innovante par rapport à l'ensemble des pilotes de RTP ayant déjà été lancés à ce jour. En effet elle constitue la première expérience basée sur un marché de détail où l'ajustement des prix s'effectue par la réalisation de d'équilibre d'offre/demande autour d'enchères, rythmées de périodes de solde d'une durée de 5 minutes. Ce marché virtuel (*shadow market*), invisible aux yeux du consommateur résidentiel, a été élaboré par le Dr Lynne Kiesling, anciennement membre de l'*International Foundation for Research in Experimental Economics*. Il n'est pas sans rappeler les jeux de marchés mis en place dans les protocoles d'économie expérimentale. (cf référence ?).

Les acteurs sur ce marché virtuel sont d'une part :

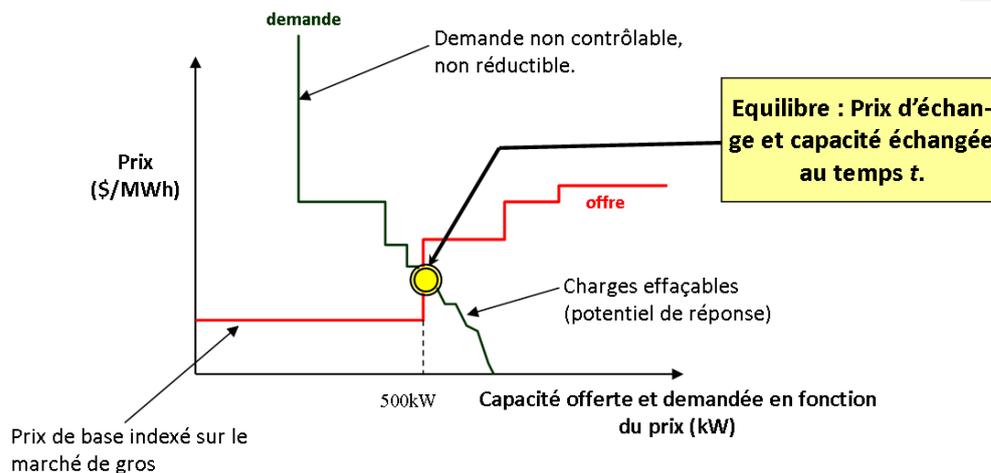
- Les consommateurs adhérant à l'option RTP du projet, qui enchérissent automatiquement par le biais du gestionnaire d'énergie pour acheter l'électricité nécessaire au fonctionnement des équipements domestiques au temps t.
- D'une autre, les unités de production : 2 générateurs et une micro-turbine, fonctionnant au diesel, mis en place par le PNNL. Ces sources additionnelles d'électricité proposent de l'électricité à la vente pour satisfaire la totalité des demandes via leur propre algorithme d'enchères, qui prend en compte entre autre le coût du carburant, les frais de mise en route, les coûts fixes d'utilisation, etc...

Par tranches horaires de 5 minutes, un jeu d'enchères à double sens est mis en place. Une puissance limitée d'électricité (arbitrairement 500kW) est mise à disposition sur le marché virtuel à prix de base, pour simuler l'offre du parc du fournisseur. Le prix de base de l'offre d'électricité sur ce marché virtuel est composé d'une part faible sensée représenter les coûts de distribution de l'énergie, et d'une part importante correspondant au prix de gros de l'électricité sur le marché de *Mid-Columbia* (MIDC).

Les participants au marché déposent alors leurs prix d'enchères durant un intervalle de 5 minutes. Du côté résidentiel, c'est le gestionnaire d'énergie communicant, installé à domicile, qui

propose des prix auxquels il accepte d'acheter l'électricité en prévision de la consommation des 5 prochaines minutes dans la maison. Les usages qu'il ne peut contrôler (tous les appareils dont la gestion n'est pas automatisée) et ceux sur lesquels le client a repris la main enchérissent à un prix infini afin de garantir un approvisionnement quel que soit le prix final de l'électricité pour cette tranche de 5 minutes. Le gestionnaire d'énergie prend part au jeu d'enchères pour choisir de fournir ou non les appareils sous contrôle automatisé, selon les choix réalisés préalablement par le client en termes de programmes d'économies et de confort. Typiquement, si le client manifeste plus d'intérêt pour ses finances que pour son confort domestique, le gestionnaire communicant n'enchérira pas jusqu'à des valeurs élevées d'électricité et préférera déconnecter certains usages pour réduire sa charge.

A la fin de chaque intervalle de temps on classe les offres de prix de fourniture par ordre croissant et de manière cumulative. (En effet un générateur acceptant de vendre une quantité d'électricité à un prix A accepte également de vendre cette quantité à un prix B si B est supérieur à A). On procède de manière inverse pour les enchères concernant les achats de charges, classées par ordre décroissant de prix. On obtient ainsi des courbes d'offre et de demande de charge, qui s'intersectent en un point d'équilibre. Ce point d'équilibre est celui qui détermine le prix de l'électricité sur le marché virtuel pour l'intervalle de temps prochain.



On remarque que lorsque la demande totale des participants est inférieure à la quantité limitée mise à disposition initialement par le PNNL au début de chaque intervalle de temps, alors le prix de l'électricité sur le marché virtuel est approximativement celui du marché de gros de la veille. D'autre part, on peut se demander ce qu'il adviendrait en cas de non-intersection des courbes d'offre et de demande. Cela correspond au cas où la somme des demandes non réductibles excède la quantité d'électricité mise à disposition par les générateurs et la fourniture de base. Le prix de l'électricité est alors « infini » (9999\$/KWh en réalité d'après la conception du marché). Le PNNL rapporte que ce cas critique s'est produit une unique fois sur plus de 100 000 jeux d'enchères.

Le fonctionnement de ce système très sophistiqué est en partie permis par le fait que les participants interagissent au moyen de leur compte d'incitation, et non sur le solde de leur facture réelle d'électricité. Il s'agit d'un moyen de détourner les barrières réglementaires qui sont souvent le

frein majeur à ce type de projet. En effet, le bon fonctionnement technique du marché virtuel mis en place semble témoigner de la faisabilité de ce type de programme à plus grande échelle. Au vu des barrières réglementaires en place en Europe à propos des politiques tarifaires pour la population résidentielle, peu enclines permettre une grande liberté de prix, ce type de tarifications incitatives semble prometteuse. L'analyse des résultats obtenus, dans la section suivante, nous permettra d'étayer cette piste.

Enfin, on note l'importance du fait que ce système de marché virtuel est totalement invisible aux yeux du client, qui peut seulement observer ponctuellement des signaux très simples de prix sur certains appareils comme leur sèche – linge (typiquement, « Pr » affiché lorsque le système enregistre des prix trop hauts pour fonctionner), ou encore un *display* sous forme d'une lumière éclairée en cas de prix anormalement hauts, qui leurs permettent d'ajuster éventuellement leur comportements. Dans les brochures proposées par le PNNL lors du processus de recrutement, il était seulement fait mention de tarifs évoluant en temps réel au gré des prix du marché de gros. C'est manifestement un choix délibéré et probablement opportun de dissimuler la complexité du système régissant les prix. Une source de difficultés de compréhension risquerait de déclencher l'aversion des participants. Il a déjà été montré que les clients résidentiels préfèrent les offres simples (source ????) et sont effrayés à l'idée de ne pas comprendre les règles qui régissent leur environnement. D'autre part, en dépit de leur participation volontaire au programme, à l'issue du projet, l'enquête réalisée par le PNNL a révélé que 55% des clients ne se rappelaient plus à quelle option tarifaire ils avaient souscrit ! Il semble évident qu'il n'est ni nécessaire ni bénéfique de mettre en lumière le mécanisme d'élaboration des prix dans un programme où celui-ci est complexe.

3.4.3 Résultats obtenus lors de l'expérimentation.

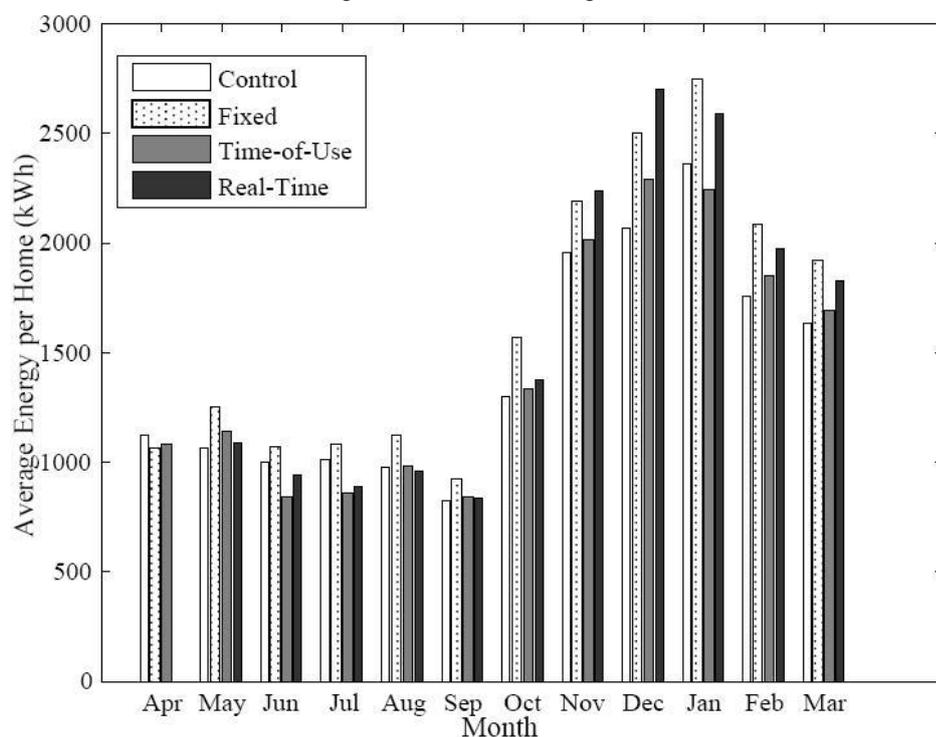
3.4.3.1 Rémunérations acquises par les clients.

Les participants au projet étaient supposés remporter, pour l'année d'expérimentation, une somme moyenne de 150\$. Les différents groupes tarifaires ont obtenu davantage que cette moyenne de rémunération, hormis le groupe soumis à un prix fixe. Le PNNL n'explique pas ce léger échec mais il semblerait que les accréditations mensuelles effectuées sur les comptes d'incitations des clients du groupe n'aient pas été calculées assez précisément pour assurer un revenu moyen de 150\$. Les rémunérations s'étalent environ 0 à plus de 480\$.

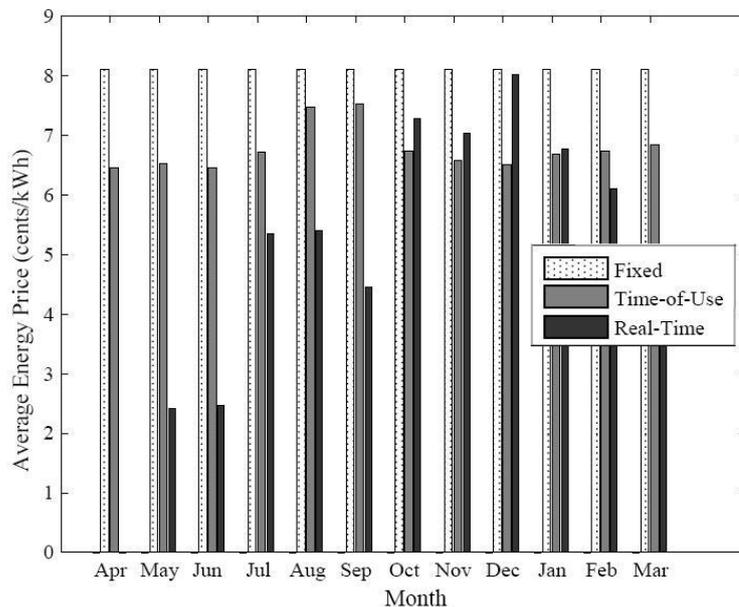
Les accréditations des comptes incitations étant basées sur les historiques de leur consommation, on peut estimer quel aurait été le prix payé l'année précédente si ils avaient été soumis au même offres tarifaires (prix fixe, TOU et RTP), puis déterminer à partir de là quelle est l'économie estimée réalisée par les clients lors de l'expérimentation. Il s'avère que les clients soumis à l'offre « prix fixe » ont réalisé une économie virtuelle peu significative de 2% de leur facture. Les groupes TOU et RTP ont respectivement économisé virtuellement 30% et 27% de leur facture mensuelle d'électricité, de par la modification (automatisée ou non) de leurs comportements énergétiques.

3.4.3.2 Consommation globale d'énergie.

La consommation journalière moyenne d'énergie est assez peu différente selon les groupes tests, hormis celle du groupe TOU qui est largement inférieure (de 20%) à celle des autres groupes, notamment le groupe contrôle. Un résultat remarquable est la hausse très générale de consommation d'électricité lors des mois d'hiver (voir graphique), accompagnée par de plus gros écarts de consommation selon les groupes tests, notamment celui soumis au tarifs TOU chez lequel le volume d'électricité acheté est significativement davantage réduit durant la saison froide.



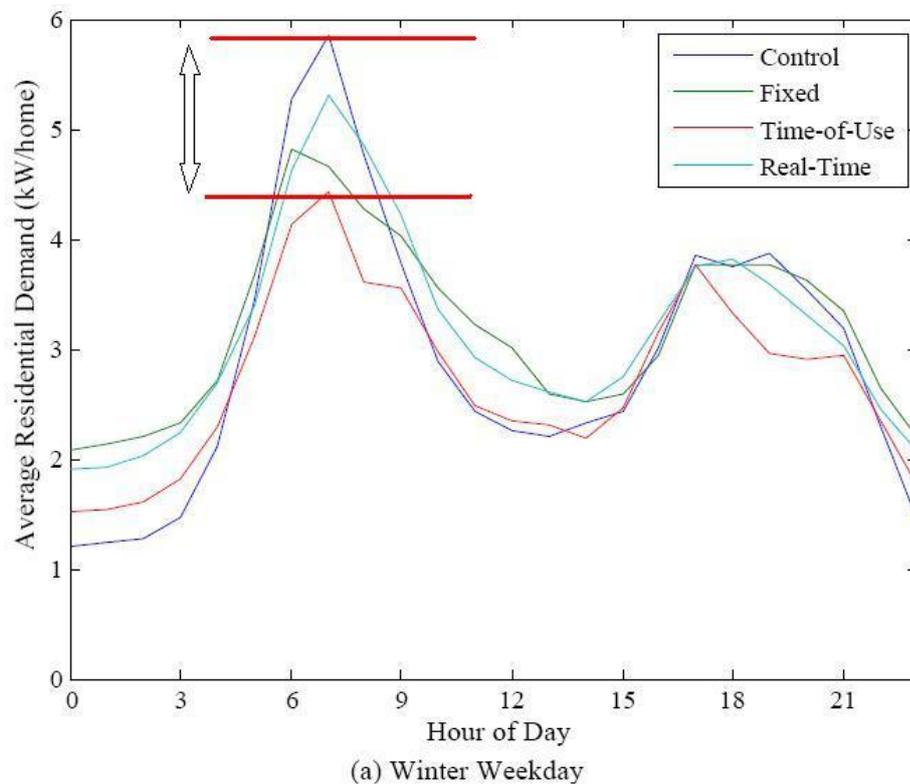
Une étude des prix moyen auxquels les participants ont acheté au fil des mois dans le cas des options à taux variables (TOU et RTP) laisse cependant penser, selon le PNNL, que les tarifs RTP n'ont pas été élaborés de manière suffisamment incitative. Selon le rapport publié par le PNNL, si cela avait été le cas, on pouvait s'attendre à observer des prix moyens d'achat RTP dépassant le tarif du kWh de l'option fixe durant les mois d'hiver où la demande a été très importante. Or, cela n'a jamais été le cas, alors que les consommateurs soumis au tarif RTP ont consommé globalement autant d'énergie que ceux soumis au prix fixe.



Cependant, nous pensons qu'une autre hypothèse peut soutenir ce résultat. En effet il est important de souligner que le prix étudié est celui auquel a été achetée l'électricité, en moyenne par kWh, chaque mois, et non pas le prix de vente. Un prix moyen d'achat inférieur au taux fixe peut donc tout à fait traduire, comme c'est le cas pour les clients de l'option TOU, une meilleure répartition des charges tout au long du temps par rapport au prix du kWh. Si l'énergie a été majoritairement consommée dans les périodes de creux de demande, il semble cohérent que son prix d'achat moyen baisse. Une étude des courbes de charge des consommateurs réalisée dans la section suivante nous amène à conforter cette hypothèse.

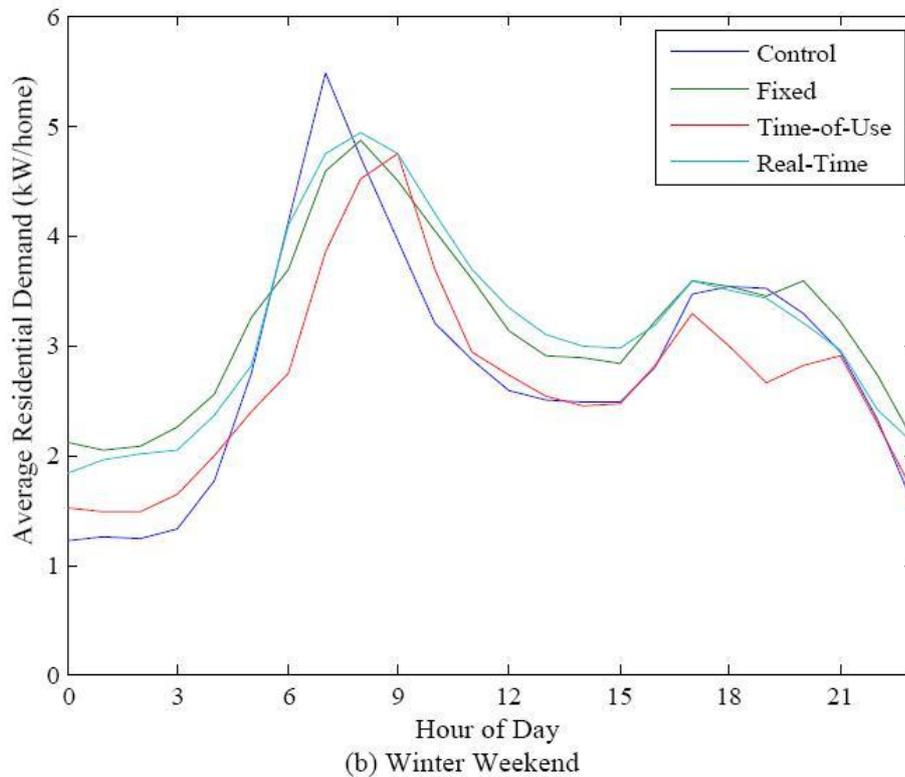
3.4.3.3 Effets sur la courbe de charge résidentielle quotidienne : l'émergence de comportements intelligents issus de la réponse automatisée des équipements aux signaux-prix.

Le résultat principal de l'OPP, et le seul qui soit consistant à l'étude des courbes de charge moyennes quotidiennes pour chacun des programmes, est l'impact certain des tarifs TOU en terme de réduction du pic de consommation (voir figure représentant une journée d'hiver moyenne, avec 2 pointes caractéristiques de cette période). L'effet de réduction de pic est abrupt, induit par des prix variant d'un facteur 1 à 5 au moment du changement de tranche tarifaire.



La réduction de charge atteint les 25% pour le pic de consommation matinal par rapport au groupe contrôle, et jusqu'à 15% de réduction par rapport aux autres options tarifaires.

Cependant, les offres de type TOU, qui sont déjà bien connues à travers le monde (notamment en France qui fait office de pionnière en ce domaine au travers des tarifs Heures Creuses), font parfois preuve d'un certain manque d'intelligence et de souplesse dans leur structure. Ainsi, si l'on observe la courbe de charge moyenne d'un jour de week-end hivernal, on constate que l'effet de réduction de pointe disparaît presque par rapport aux options à prix fixes ou RTP. L'explication réside probablement dans le fait que les habitudes quotidiennes des consommateurs résidentiels sont très différentes la semaine et le week-end, notamment en ce qui concerne les horaires d'activité dans la maison. Les plages horaires de l'option TOU ne sont donc pas adaptées au mode de vie réel de la population moyenne, et pourraient être mieux calibrées au vu des résultats de ce pilote.

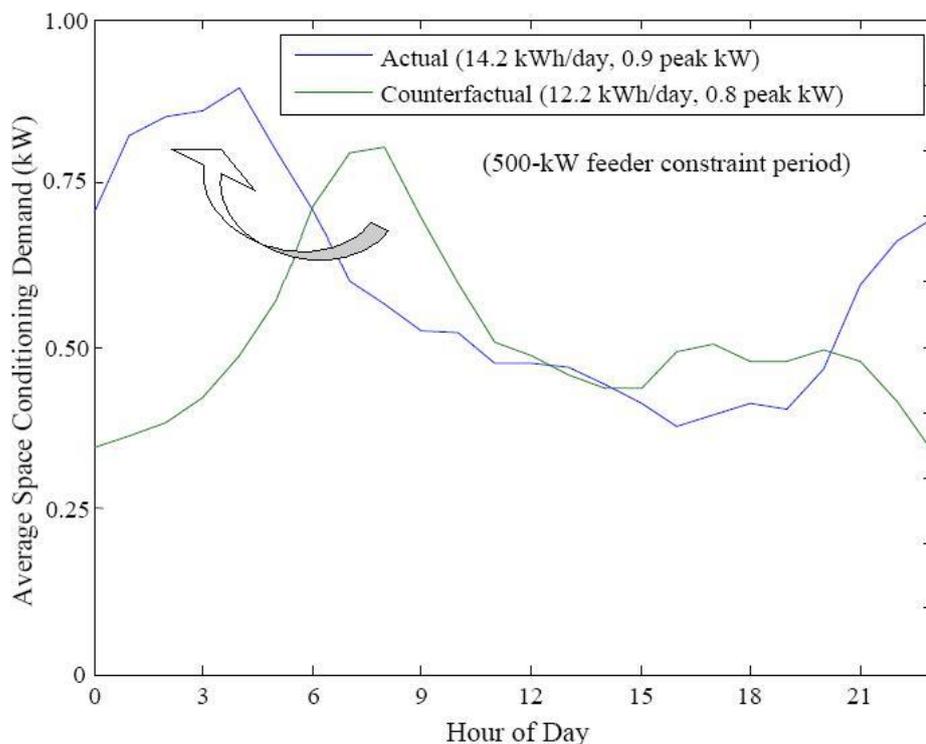


Les effets des signaux-prix sur les clients ayant participé au programme de RTP sont moins facilement observables sur les courbes de charges quotidiennes moyennes. En effet, en toute logique la réponse de la demande à ces signaux intervient majoritairement lors des périodes de pointe critiques effectives, et non de manière quotidienne sur une plage horaire fixe. Les effets de la tarification RTP sont donc dilués, offrant un profil de charge plus adouci que celui des clients soumis à l'option TOU.

Le résultat le plus intéressant proposé par la tarification RTP est plutôt à rechercher dans les effets induits par les variations continues des prix sur la mise en route des appareils automatisés qui valident leurs enchères sur le marché virtuel. Pour mettre en évidence des réactions, on reconstitue les courbes de charge des appareils de chauffage/climatisation régulés par le thermostat automatisé telles qu'elles auraient été dans un cadre où le prix n'aurait pas été soumis à variation. En comparant les courbes de charges réelles à ces simulations, on observe l'apparition d'effets de préchauffage ou de pré-rafraîchissement avant les périodes de pointe (voir graphique suivant, où apparaît clairement l'effet de préchauffage avant le matin). Pourtant le contrôle automatisé (aussi appelé contrôle *transactif*, basé sur les incitations du marché) n'est pas prédictif et ne dispose pas d'information sur les prix futurs.

D'où proviennent les anticipations effectuées par les équipements au sein des foyers ? La courbe usuelle des prix de gros manifeste un creux durant la nuit. Cela provoque, par le jeu des enchères, la mise en route opportune des appareils domestiques avant la pointe matinale de charge, simulant ainsi un vrai comportement prédictif. Les autres options tarifaires ne permettent pas

d'utiliser l'électricité hors période de pointe de manière aussi efficace que le mécanisme RTP, lequel permet de créer un comportement intelligent de la demande, et donc de lisser une partie de la charge (le chauffage ne constituant qu'une portion de cette dernière).



Ce schéma met en évidence l'effet de préchauffage induit par les prix faibles de l'électricité durant la nuit. On remarque que la consommation globale est plus élevée que ce qu'elle n'aurait été sans mécanisme d'automatisation répondant aux prix : l'objectif de réduction de consommation en période de pointe est atteint mais ne permet pas d'économie d'énergie globale.

3.4.4 Olympic Peninsula Project : un système au potentiel certain, les leçons à retenir.

L'OPP s'est donc avéré être l'expérience concluante de stratégies d'incitations complètes, complexes et innovantes, et il a permis également de mettre en lumière certains problèmes et échecs liés à l'implication réelle des consommateurs. On peut dégager diverses conclusions qui constituent autant de leçons à retenir pour l'élaboration de pilotes futurs, voire même de programmes à plus grande échelle.

3.4.4.1 De l'engagement conscient des participants résidentiels au programme.

Tout d'abord les résultats de l'enquête de fin de pilote et les retours d'expérience effectués par les entreprises partenaires de l'OPP révèlent un grand manque d'éducation énergétique chez les participants, plus de la moitié (55%) ayant oublié jusqu'à l'option tarifaire à laquelle ils étaient soumis. Les difficultés rencontrées durant le recrutement vont également dans ce sens. Pour permettre aux consommateurs de prendre des décisions concernant leurs usages en électricité, davantage de feedbacks seront nécessaires, une simple facture mensuelle ne représentant pour eux qu'une somme à déboursier et non pas la conséquence logique et modulable de leurs agissements. Cependant nous pouvons nous poser la question de savoir jusqu'à quel point les consommateurs sont prêts à s'intéresser à leur comportement énergétique, et ce, même en présence d'incitations financières ? Il apparaît que la promesse d'une prime fonction de l'investissement de chacun en termes de réponse aux signaux prix n'est pas suffisante pour concerner complètement les consommateurs résidentiels.

Les résultats de pilotes tels que l'OPP sont peut-être à nuancer dans le sens où les incitations sont uniquement des gains positifs potentiels pour les participants au programme. Les clients, avertis dès le début du programme qu'ils ne pouvaient être que gagnants dans l'expérience, ne sont pas forcément prêts à évaluer les coûts d'opportunité induits par leur comportement. De plus, l'enquête finale révèle qu'en dépit de toute incitation financière, ils ne sont majoritairement pas ou peu disposés à modifier leurs usages en ce qui concerne certains de leurs équipements spécifiques (Ordinateurs, appareils de cuisson, télévisions).

En dépit de ce manque de modifications conscientes des comportements (malgré les incitations mises en place), l'automatisation des gros équipements domestiques permet de parvenir à des résultats substantiels et fiables. La plupart des objectifs atteints dans le projet en termes de gestion de la demande et réduction de la consommation en période de pointe le sont grâce aux appareils contrôlés par les signaux prix et/ou préprogrammés. Les consommateurs ont apprécié de pouvoir configurer le système à leur souhaits en d'ensuite l'oublier. La plupart (plus des ¾) s'est montré très satisfaite du confort résultant des programmations des appareils. Les motivations financières n'étaient pas suffisantes pour inciter à modifier les réglages durant le projet, ni à fournir des efforts considérables pour adapter « manuellement » sa consommation en fonction des prix. C'est l'une des leçons majeures à retenir de ce projet : la population résidentielle a, avant tout, besoin d'un système transparent qui, une fois configuré, ne nécessite pas d'intervention et se laisse totalement oublier.

3.4.4.2 Réflexions sur l'extension et la reproductibilité de ce type de programme.

L'un des éléments marquants de la structure de l'Olympic Peninsula Project est son système incitatif qui, comme nous l'avons vu, est indépendant des processus de facturation des clients, lesquels sont gérés par les fournisseurs habituels. Cela rend l'expérience transposable dans des

contextes réglementaires très variés, notamment en Europe ou en France. Les expérimentations de terrain à mettre en place dans les prochaines années devront certainement utiliser un mode de rémunération similaire pour récompenser les efforts de réduction consentis.

Il est même possible d'aller plus loin, et d'envisager que la gestion d'un tel système incitatif peut constituer le modèle d'affaire d'un nouveau type d'acteur sur les marchés. C'est là que survient une problématique sous-jacente aux processus d'incitations financières : comment une compagnie peut-elle rentabiliser un tel schéma de récompenses ? La balance des rémunérations accordées est très favorable aux clients, même s'ils ne font pas d'efforts. Ces rémunérations leur ont paru acceptables, mais pas particulièrement généreuses à l'excès : elles sont vraisemblablement nécessaires et suffisantes. Mais il ne s'agissait que d'un projet limité dans le temps et dans l'espace, financé par l'état. Afin d'équilibrer la balance et de continuer à permettre des récompenses conséquentes pour les consommateurs prêts à faire des efforts, peut-on envisager un système autorisant des pénalités financières en cas de non-réponse des clients aux signaux-prix ? La solution devra se frayer un chemin entre un contexte réglementaire probablement peu enclin à distribuer des malus, et la nécessité pour une compagnie de parvenir à un équilibre coût-bénéfice pour un tel mécanisme incitatif.

Les technologies d'automatisation et de communication des signaux entre marché virtuel, charges, et générateurs impliqués dans le projet ont démontré qu'elles pouvaient parfaitement soutenir ce dernier, sans faille majeure de fonctionnement. De nos jours elles peuvent être déployées à plus large échelle, et ne semblent pas constituer un frein à l'extension de ce système.

3.4.4.3 *Un système prometteur alliant tarifications variables et automatisation.*

Mettre en place un système de prix en temps réel (RTP) est de loin la structure la plus difficile à gérer dans l'élaboration des options tarifaires des pilotes. Le design de l'offre de l'OPP a été particulièrement étudié et soigné, inspiré des techniques de l'économie expérimentale et des jeux d'enchères répétées. Il atteint ses objectifs de réduction de la consommation de pointe de par l'ajustement conjoint de la demande et de l'offre de générateurs répartis autour de prix d'équilibre, et a même permis l'émergence d'une forme de « réponse intelligente et anticipée » des équipements automatisés par le biais du jeu d'enchères qui régit les variations de prix.

On aboutit à un résultat qui simule celui proposé par les algorithmes de gestionnaires d'énergie, grâce aux systèmes contrôlés par les signaux-prix. Ce concept d'automatisation devra être particulièrement étudié dans les expériences de *demand response* à mettre en place dans les années à venir, car il apparaît comme un garant de davantage de fiabilité et de reproductibilité de la réponse aux signaux prix. Le marché caché qui régit les prix en temps réel ne paraît pas inquiéter les consommateurs et n'est pas nécessairement mis en lumière. L'aversion aux risques propres aux tarifs de pointe semble évitée grâce à des garanties de récompense des efforts. Reste donc un travail particulier à effectuer quant à la disposition des clients résidentiels à laisser entrer des équipements automatisables et contrôlés par le marché au sein de la sphère privée de leur foyer.

Chapitre 4. Des résultats saillants et beaucoup d'incertitudes

A l'échelle mondiale, ce sont plusieurs milliers de programmes¹¹¹ qui ont été développés (secteurs résidentiels, industriels et commerciaux confondus) pour évaluer l'impact de ces outils incitatifs, et leur potentiel dans l'atteinte des objectifs de la *demand response*.

L'étude et surtout la compilation de leur résultats est extrêmement importante pour l'ensemble des compagnies souhaitant développer leur propres pilotes ou des offres commerciales. En effet il est impossible de réutiliser aveuglément les résultats d'un seul pilote comme base de travail pour des raisons évidentes de contextes différents. De plus, la plupart du temps les programmes expérimentaux ne concernent qu'une portion congrue de la clientèle pour constituer des échantillons restreints (de quelques dizaines à quelques centaines de participants), et leur durées sont relativement courtes (de quelques mois à 1 ou 2 ans), ce qui ne permet pas toujours d'attester de la solidité absolue des observations, et explique la variance élevée des résultats obtenus même au sein d'une même typologie d'incitations. Cependant regrouper et confronter les résultats d'un grand nombre de pilotes permet de faire ressortir des tendances générales, des caractéristiques redondantes qui doivent servir au développement d'expérimentations futures. Afin de faire progresser la recherche dans le domaine de la *demand response*, il est nécessaire de valider les acquis contextualisés des expérimentations passées pour poursuivre un travail d'innovation.

Dans ce second chapitre de cette thèse, nous réaliserons une synthèse des résultats des pilotes mis en œuvres à l'international, sans prétendre à une énumération exhaustive mais plutôt, dans un premier temps, à la capitalisation des facteurs de réussite mais aussi d'échec de ces pilotes, regroupés par typologie d'incitation (différentes mesures de tarification dynamique, mise en place d'automatisation ou de *feedbacks*). La question de l'efficacité de chacune des typologies d'incitations sur les populations concernées sera traitée. Nous chercherons à extraire de grandes tendances à l'analyse des résultats, mais également à mettre en relation d'éventuelles particularités propres au contexte des pilotes, et les résultats obtenus.

Si un seul pilote permet de tenter d'évaluer l'efficacité (et éventuellement l'acceptabilité) d'un programme de *demand response* ou de quelques unes de ses variantes, c'est évidemment l'observation conjointe et croisée d'une multitude de pilotes qui permet d'éclairer l'horizon de l'innovation tarifaires et, plus généralement, de la *demand response*. Un certain nombre de *surveys* sont réalisés dans cet objectif. La littérature est davantage industrielle qu'académique, mais un certain nombre d'articles s'attachent à compiler, comparer et synthétiser les résultats des pilotes de terrain. Ainsi, Faruqi A. et Georges S. (2005), Faruqi A. et Sergici S (2009), Torriti J. *et al.* (2009), Owen G. et Ward J. (2010) compilent des résultats issus de programmes de tarification, accompagnés ou non d'un dispositif d'automatisation, les deux dernières publications étant davantage orientées vers une application européenne des principes de tarification. Certains auteurs se sont également

¹¹¹ Nous rappelons que la FERC répertoriait 2315 programmes de *demand response* aux Etats-Unis en 2008.

appliqués à confronter les résultats de différents pilotes autour des outils incitatifs de feedback, qu'ils soient directs ou indirects. C'est par exemple le cas de Faruqui A., Sergici S, Sharif A. (2009), Darby S. (2000) et (2006). Enfin, d'autres encore examinent les pilotes de tarification en temps réel (Real time pricing), comme Barbose G., Goldman C., Neenan B. (2004). D'autres publications, telles que King C. (2007), ou encore Chardon A., Almén O. Lewis P. E., Stromback J. et Château B. (2008), bien que non issues de revues scientifiques, se doivent d'être citées, pour leur exhaustivité, ainsi que leur rapport à l'application concrète qui peut en être faite de la part des compagnies électriques, ce qui, rappelons le, reste l'un des intérêts majeurs de la thèse CIFRE.

Etant donné le très grand nombre de pilotes lancés dans le monde à ce jour, et les conditions de confidentialités qui limitent parfois l'accès à leur descriptifs ou résultats, l'exhaustivité n'est pas atteignable. Cependant, dans un souci de couverture maximale de l'existant, et d'intégration de résultats de pilotes plus récents, nous avons-nous même réalisé un *survey* complémentaire, croisant les données d'une quarantaine de pilotes internationaux¹¹². Un soin particulier a été porté à l'intégration de données européennes. En effet, il est aisé de constater que la grande majorité des pilotes de terrain listés et étudiés par les *surveys* sont développés outre-Atlantique. La difficulté de réalisation de ce *survey* est majoritairement d'accéder à des rapports complets et détaillant tant les résultats que le cadre expérimentale et la méthodologie déployée. De plus, un pilote aux résultats peu encourageants voit rarement ses conclusions publiées et étalées au grand jour. Il nous a parfois été possible de mener l'enquête un peu plus en profondeur, ce qui, paradoxalement, nous permet de prendre de la hauteur par rapport aux statistiques affichées parfois fièrement par les organisateurs des pilotes ; ce qui nous a guidé dans la recherche méthodologique des chapitres qui suivront.

L'analyse des expérimentations permet de dégager des faits saillants relatifs au comportement du consommateur résidentiel : l'absence d'impact tangible et persistant de l'information employée seule sur la demande, l'effet incitatif persistant de la tarification variable sur la réduction de consommation lors des pointes et aussi souvent en termes de réduction globale, ainsi que la forte hétérogénéité des réactions des ménages face à ces différents *stimuli*. Dans cette section nous verrons comment il est possible de proposer une approche quantitative et de qualitative des effets moyens des pilotes de *demand response*.

4.1 Les feedbacks : peu de résultats fiables et d'effets marqués lorsqu'ils sont utilisés seuls.

Les feedbacks, qu'ils soient directs ou indirects, sont outils de *demand response* les plus simples à mettre en œuvre chez le consommateur. Bien qu'ils n'agissent quasiment uniquement que sur la consommation en tendance, leur utilisation peut induire, par le biais d'une baisse généralisée de la consommation, une diminution de la demande lors des pointes. Ils méritent une analyse poussée, car ils pourraient constituer des solutions incitatives transitionnelles pour l'avenir à court terme des systèmes électriques. Il s'agit également de l'outil incitatif dont les pilotes sont le mieux

¹¹² Un tableau listant une partie de ces pilotes est fourni en annexe 1.3.

répartis dans le monde, ce qui nous a permis de collecter des données issues de pilotes européens ; les pays scandinaves étant même connus pour être précurseurs en ce domaine (on peut voir à ce sujet Darby S. (2000)). Nous proposons ici un aperçu de leurs résultats, selon le type de feedback testé.

4.1.1 Résultats significatifs selon le type de feedback utilisé.

Puisqu'il existe, comme nous l'avons vu, des types de feedback très différents, dont le processus d'action sur les comportements n'embrasse pas les mêmes perspectives.

4.1.1.1 *Feedback indirect : pas d'interactivité réelle, peu de résultats probants.*

Le constat majeur réalisé à propos du feedback indirect repose sur l'absence d'interactivité entre les participants aux programmes et les relevés de consommation. Le temps de latence entre un éventuel effort de modification de comportement énergétique et le constat du résultat sur la facture apparaît comme réhibitoire dans la plupart des cas. Cela explique sans doute les résultats de certains programmes comportant uniquement des feedbacks indirects s'avérant non statistiquement suffisants pour être considérés comme non nuls. Nous présenterons en section 2.4 un exemple de pilote réalisant ce constat.

Toutefois, quelques programmes isolés de feedbacks indirects au moyen d'informations additionnelles sur les factures présentent tout de même des résultats d'économies d'énergie s'étalant sur une fourchette de 0 à 12%¹¹³ de réduction de consommation, les meilleurs résultats étant obtenus par les factures détaillées comportant un suivi de l'historique de consommation. Une seule étude a été menée concernant la durabilité des résultats de réduction obtenus. Elle nous informe que la réduction de consommation des participants par rapport aux groupes contrôles se maintient au cours du temps (3 ans d'analyse), dans le cas où le feedback est lui aussi persistant. Le niveau de consommation du groupe testé augmente certes au fil du temps, mais dans les mêmes proportions que celle de la population de référence, qu'elle ne tend donc pas à rejoindre au fil des ans.

Un certain nombre de programmes de feedbacks indirects via les relevés de facture délivrent également des conseils et informations générales ou personnalisées pour la réduction de consommation d'électricité. Les études visant à quantifier l'impact de ces campagnes informatives montrent que leur effet est globalement nul ou minime. Quelques cas isolés font exception : ainsi, en 2008, une campagne massive d'information en faveur de la sobriété électrique, couplée à un développement de l'efficacité énergétique, parvient à contrer une situation de crise dans la capitale de l'Alaska, réduisant temporairement la demande de près de 25% (Leighty W., Meier A. (2011)) L'efficacité de telles campagnes de communication est très étroitement lié à la forme sous laquelle est délivrée l'information, à l'intensité de la campagne, et à l'entité responsable de cette

¹¹³ Programmes norvégiens réalisés en 1995,1997, section 2.2 de ce rapport de thèse.

communication. La population Française manifeste plus de confiance dans les messages émanant des autorités publiques, de l'état, et mieux encore, des autorités locales, plutôt que des compagnies privées.

Les informations identifiées comme étant les plus utiles, ou du moins les plus intéressantes par les clients sont les comparaisons entre consommation sur la période de facturation en cours et données de consommation historiques. Le consommateur peut mesurer facilement l'impact global de son comportement d'une période sur l'autre. De plus des données sur des usages passés peuvent constituer un niveau cible, un objectif à ne pas dépasser. A l'inverse, plusieurs résultats¹¹⁴ s'accordent à affirmer qu'insérer une comparaison avec la consommation d'un foyer similaire lambda dans les relevés mensuels peut avoir des effets pervers contre-productifs, pouvant aboutir à des hausses de consommations jugées acceptables puisque « dans la norme sociale ». Enfin, une représentation des consommations mensuelles par usage finaux, sous forme de diagramme par secteurs par exemple, s'avère recueillir un avis favorable de la population.

Cependant en ce domaine les appareils de feedbacks directs permettent beaucoup plus d'interactivité, car le client peut observer en temps réel les modifications induites par la mise en route ou l'extinction d'un appareil, et donc comprendre rapidement et clairement comment réduire sa facture énergétique.

Les feedbacks indirects, plébiscités par l'Union Européenne et probablement en passe de généralisation une fois l'Europe équipée en compteur intelligents, ne sont donc pas des outils permettant à eux seuls de garantir des efforts de baisse de la consommation globale chez les clients résidentiels. Ces derniers déplorent le fait de ne pas constater immédiatement les conséquences de leurs actions. Une majorité ne s'intéresse pas aux graphiques qui accompagnent les relevés (environ 75% selon les études). Les informations qualitatives à propos des factures détaillées nous apportent tout de même des éléments à propos des cibles de consommations pouvant être proposées aux clients dans l'objectif de réduire leurs usages ; ces éléments pourront être mis à profit lors d'élaboration de feedbacks plus interactifs.

4.1.1.2 *Feedbacks directs : une acceptabilité forte grâce à des designs attractifs, des résultats hétérogènes dans l'intensité, une incertitude dans la durée des résultats.*

Contrairement aux instruments de feedback indirect, les appareils de type *display* et autres sources d'information en temps réel permettent d'observer immédiatement les effets immédiats d'un effort consenti pour réduire la consommation d'électricité.

Ces 10 dernières années le nombre de programmes incluant des dispositifs de feedback a littéralement explosé, en raison des innovations technologiques en ce domaine. Les appareils de *display* sont de moins en moins coûteux, et leur design est de plus en plus soigné, certains se voulant à la fois décoratifs et efficaces. Ce sont des appareils de plus en plus plébiscités par les consommateurs. Ils sont faciles à mettre en place, techniquement mais aussi dans un cadre réglementaire puisqu'ils n'impliquent pas de tarifications spéciales, et ne requièrent pas forcément des

¹¹⁴ En Grande Bretagne : Warm Plan *Smart meters*, Monitoring Report (Phases 3 to 5), Juin 2008, New Perspectives pour l'OFGEM.

installations particulières. Le déploiement des *smart meters* en cours en Europe œuvre dans leur sens. Dans la plupart des programmes, les *smart meters* ne sont pas considérés comme des appareils de *display* à part entière, bien que certains soient dotés d'un écran à la lisibilité améliorée. Mais, de par leur capacité à communiquer des informations de consommation, ils s'associent facilement à des équipements plus conviviaux et trouvant une meilleure place au sein du foyer. Les chercheurs étudiant les mécanismes de feedback s'accordent à préconiser la prise en compte des possibilités de *display* envisagées lors du choix des *smart meters* déployés à grande échelle (voir **Erreur ! Signet non éfinition.**).

4.1.2 Résultats comparés.

En termes de réaction quantifiée à la mise en place d'outils de feedback, la majorité des études récentes suggère une réduction de consommation moyenne constatée entre 7% et 11%. L'analyse détaillée des pilotes récents révèle cependant une très grande variance des résultats, lesquels s'échelonnent de 0% à 20% de réduction.

La mise en place de feedbacks directs dont la lecture se fait via une interface Web ou sur l'écran d'une télévision affiche des scores de réduction moyens d'environ 9%. Les consommateurs préfèrent donc l'utilisation d'un appareil de *display* dédié, qui ne nécessite pas la mise en route d'un équipement spécifique, et qui présente des informations condensées. Les fonctionnalités avancées des interfaces Web ne sont utilisées que par une portion infime de la population¹¹⁵.

Des éléments autres que les différences de technologies employées expliquent la variance des réductions observées :

- Les résultats varient selon les segments de la population : les réductions induites par le feedback direct sont plus importantes chez les électro-intensifs que chez les utilisateurs à faible consommation. Les *surveys* (Darby S. (2006)) montrent cependant une disposition des *fuel poors* à modifier leur comportement pour atteindre environ 10% de réduction de consommation. De même, les préoccupations environnementales prédisposent à répondre aux incitations des feedbacks. S'il est difficile de catégoriser rigoureusement la population, on estime que près de 50% de la population a développé une conscience écologique suffisante pour faire preuve de volonté d'agir face aux feedbacks (King C (2007)).
- Les équipements des foyers d'expérimentation sont également facteurs de différence dans les résultats, mais ne permettent pas d'établir une généralisation. En effet, par exemple si dans la plupart des cas, un chauffage électrique prédispose à répondre aux feedbacks, certains programmes montrent des taux de réductions plus forts (jusqu'à 16%) pour les foyers dont le chauffage n'est pas électrique¹¹⁶.

¹¹⁵ Voir par exemple le pilote néerlandais d'Oxxio, 2005, basé sur le déploiement des *Smart meters*.

¹¹⁶ Voir l'étude du pilote d'Hydro-One, 2004, Faruqi A., Sergici S, Sharif A. (2009).

- De même, la méthode de facturation de l'électricité est un paramètre impactant le résultat des expérimentations. Des pilotes nord-américains¹¹⁷ montrent que le potentiel d'économie d'énergies est doublé (passant de 7% à 14% de réductions réalisées) lorsque l'électricité est achetée par prépaiement.
- La saison conditionne l'étendue des résultats. En Arizona par exemple, un différentiel de 2 points de réduction a été observé entre les mois d'été et les mois d'hiver, à la défaveur de ces derniers.

La disparité des résultats provient de la grande diversité des équipements de *display* proposés aux clients lors des expériences de terrain, et du contexte culturel qui entoure leur mise en place. Ces paramètres qui varient d'un pilote à un autre et ne sont pas tous contrôlables dans le cadre d'un programme d'expérimentation expliquent les différences d'impact sur la population. Nous considérons donc qu'il est plus utile, dans l'optique de guider l'élaboration de futures expérimentations, de nous intéresser aux éléments qualitatifs favorisant l'impact des feedbacks directs.

4.1.3 Eléments qualitatifs impactant les résultats obtenus.

Les éléments minimums requis par un système de feedback sont la consommation instantanée, et des informations de consommation historiques (journée, mois précédent), si possible incluant des niveaux de consommation-cible personnalisées, de préférence basés sur les relevés historiques et non sur des consommations d'autres foyers similaires. Des mesures en termes de kWh ne sont pas suffisamment parlantes aux yeux de la majorité des clients : il faut clairement utiliser un indicateur en unité monétaire, qui a l'avantage de lier directement les efforts de sobriété et la récompense pécuniaire.¹¹⁸

A cela peut s'ajouter une mesure de l'impact environnemental des agissements des consommateurs, par exemple en termes d'émissions de carbone, lesquelles sont de plus en plus présentes dans la vie quotidienne (entre autres, on trouve désormais des comparatifs d'empreinte carbone pour les moyens de transport¹¹⁹).

Ce type d'indicateurs se répand et il est possible que désormais ils puissent permettre d'obtenir des résultats concrets en termes de réduction de consommation. En effet, jusqu'à présent il a été observé que, si beaucoup de consommateurs se disent concernés par les problèmes environnementaux, ils ne modifient globalement pas leurs comportements énergétiques à des fins écologiques sur la durée. C'est l'aspect économique qui prime. Nous ne disposons pas de

¹¹⁷ Voir l'étude des pilotes *Salt River Project*, Arizona et *Woodstock Hydro Pay-as-you-go program*, dans l'article Faruqi A., Sergici S., Sharif A. (2009)

¹¹⁸ A ce titre, le pilote britannique *Warm Plan Smart meters*, lancé par l'Ofgem et achevé en 2008, apporte de nombreux éléments qualitatifs.

¹¹⁹ Voir par exemple le site internet de la RATP : <http://www.ratp.fr/> ou l'éco-calculatrice de l'ADEME : <http://www2.ademe.fr/calculatrice-eco-deplacements/>.

suffisamment de recul pour montrer des résultats, mais il est possible que les indicateurs de type « empreinte carbone » favorisent la prise en compte des émissions de CO₂ dans les comportements de consommation d'électricité, en permettant aux consommateurs de baser leur arbitrage comportemental sur des chiffrages concrets (ce à quoi ils sont déjà accoutumés en ayant l'habitude de comparer des prix) et de constater un effet direct et bénéfique de leurs efforts pour l'environnement.

Les solutions de *display* les plus efficaces sont celles qui s'intègrent complètement dans l'intérieur du domicile (les endroits les plus favorables identifiés sont les cuisines et les halls d'entrée, d'où l'importance d'un appareil communicant). En effet il a été mis en évidence que le nombre de lectures du *display* est en relation directe avec la réponse des consommateurs aux incitations¹²⁰. Les solutions proposées aux participants des pilotes récents s'avèrent concluantes à ce niveau, puisqu'elles sont bien acceptées (une majorité des individus souhaite conserver l'appareil au-delà de l'expérience), à condition de ne pas se montrer intrusives (on assiste à un fort rejet des solutions dotées d'alarmes sonores).

Elles doivent permettre au consommateur d'entrer dans le processus d'apprentissage par l'expérimentation décrit ci-dessus avec des temps de cycles très courts : le feedback doit être suffisamment réactif pour présenter instantanément les conséquences d'un effort. Un feedback permettant de décomposer la consommation par usage (*desaggregated feedback*) est l'outil qui se prête le mieux au processus, malheureusement c'est également le plus coûteux et le moins au point technologiquement.

Enfin, l'un des facteurs majeurs de réussite des pilotes basés sur l'usage de feedbacks reste l'éducation des participants à l'utilisation des appareils, à l'interprétation des résultats et aux actions à mener. Cette formation s'intègre dans la phase de conceptualisation du cycle de Kolb. Une simple brochure explicative ou toute autre documentation papier ne sont pas suffisants¹²¹. Le processus d'éducation doit être plus global, et adapté au rythme d'apprentissage des individus. Sans quoi l'appareil n'est pas utilisé, et donc s'avère inutile, aussi élaboré qu'il soit sur le plan technologique. Un programme mené en Suède par le SESAC¹²² a montré une augmentation d'une dizaine de points du pourcentage réduction de consommation grâce à un programme d'éducation : les foyers équipés d'un *display* ont affiché une réduction de consommation d'environ 24% alors que ceux équipés du même *display* et encouragés par un processus éducatif ont montré des économies d'électricité s'élevant à 34%.

Les incitations de type feedback direct s'avèrent donc être des solutions au potentiel avéré, plus efficaces que les feedbacks indirects, et dont l'intérêt majeur réside dans la facilité d'installation.

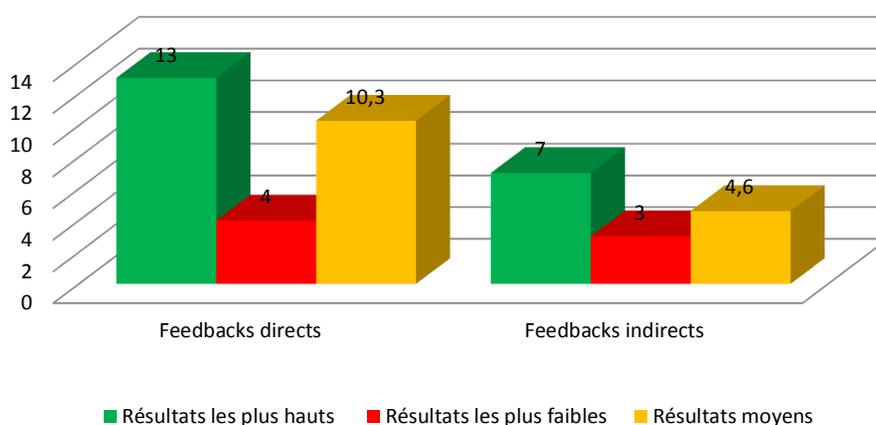
¹²⁰ Pilote japonais *Kyushu Experiment*, référencé par Faruqui A., Sergici S, Sharif A. (2009)

¹²¹ Voir notamment le pilote britannique *Warm Plan Smart meters*, 2008. *Warm plan smart meters : monitoring report* (phases 3 to 5), juin 2008, Ofgem.

¹²² SESAC : Sustainable Energy Systems in Advanced Cities. Ce programme suédois sur 5 ans a été initié en 2005 dans le but d'évaluer les résultats d'un processus d'éducation du consommateur accompagnant l'usage de feedbacks. Voir SESAC : *Description of the metering system and test results from the first metering step*, Livrable 18a. Martin Magnusson, juin 2006.

Leur acceptabilité est croissante parmi la population, et de plus en plus de pilotes sont menés pour en évaluer précisément les impacts, à court et bientôt à long terme. La grande variance des résultats observés doit inciter à prendre garde à différents paramètres concernant l'appareil de (capacités d'affichage du *display*, convivialité, design, position dans le domicile) mais surtout à élaborer un programme d'éducation du consommateur afin de le guider dans l'utilisation du *display*.

Réduction de la demande globale (en %) induite par les différents types feedbacks



Ce graphique résume les résultats issus de l'étude de plus de 100 pilotes internationaux (dont une partie portait sur les techniques de feedback) réalisée par VaasaETT en 2009 (Chardon A., Almèn O. Lewis P. E., Stromback J. & Château B. (2008)).

4.1.4 Quid de la durabilité des résultats ?

Très peu d'études se sont attachées à évaluer la persistance des effets des feedbacks sur les populations. La plupart considère que 3 mois au minimum sont nécessaires pour observer des réductions sensibles de la consommation chez les participants aux pilotes. La plupart des programmes durent de quelques mois à un an. Les effets d'une perte d'enthousiasme ou de lassitude n'ont donc pas été clairement quantifiés. Qu'advient-il du *display* une fois l'effet de nouveauté passé ? Plusieurs issues sont possibles : son utilisation peut s'inclure dans le mode de vie des consommateurs, ou bien il pourra sombrer dans l'oubli. Comme nous l'avons vu dans la section 3.1 certains programmes mettent en lumière le manque d'intérêt d'une partie de la population pour les appareils de feedback, une fois les premiers mois d'utilisation écoulés. Cependant il est clair que le maintien des efforts de sobriété énergétique ne peut se faire que si le dispositif de feedback est conservé : le retirer du foyer amène un retour progressif à la normale. Un changement conscient de comportement réalisé sur 3 mois peut avoir des effets au-delà d'un an, mais la durabilité des

résultats dépend également de la qualité de l'information délivrée par et avec le *display*. Il est à noter que certains pilotes en cours de déroulement (comme l'EDRP) sont susceptibles d'apporter une évaluation quantifiée de la persistance des effets des feedbacks.

4.1.5 Des résultats récents peu concluants.

Compte-tenu de leur grande variabilité liée au contexte du pilote, il est rare de trouver des résultats qui garantissent une fiabilité suffisante dans les expérimentations sur les feedbacks employés seuls, qu'ils soient directs ou indirects. De ce point de vue, les études menées avant les années 2000 qui affichent des résultats de réduction globale de consommation (S. Darby, 2006), fournissent des résultats qui demeurent sujets à caution.

En Europe, trois pilotes récents ne parviennent pas à démontrer un effet tangible dans la durée des feedbacks employés seuls sur la réduction globale et/ou la maîtrise des consommations électriques.

Le premier est le pilote HEMS (Home Energy Management System) réalisé sur 15 mois (2008-2009) aux Pays-Bas. Les feedbacks testés auprès de 300 ménages via un questionnaire d'énergie comprenaient des données de consommation globale et par usage, factuel (en temps réel) ou au travers de comparaisons, soit a) entre le ménage et son voisinage, soit b) pour chaque ménage, d'une année sur l'autre. Les résultats montrent que les économies réalisées sur la consommation électrique (de l'ordre de 7%) sur les 4 premiers mois ne se maintiennent pas dans la durée et disparaissent sur 15 mois (van Dam S. S., Bakker C. A. et van Hal J. D. M. (2010)).

Le second pilote européen d'envergure récent sur l'effet des feedbacks est celui réalisé au Royaume-Uni par 4 énergéticiens à l'initiative du régulateur, l'OFGEM. Les résultats publiés mi 2011, montrent que bien que le feedback direct (afficheur) et dans une moindre mesure indirect (informations détaillées avec la facture), présentent des réductions de consommation statistiquement significatives, et ce avec les deux méthodes statistiques retenues (comprises entre -0,7% à -4%), les résultats sont néanmoins compromis par le fait que les participants à ces interventions sont également ceux qui, durant la période du pilote, ont le plus réalisé de travaux d'isolation de la toiture de leur habitation. En effet, 29% des ménages soumis au feedback direct (et 26,7% au feedback indirect) ont réalisé des travaux d'isolation de leur toiture au cours des deux années auxquelles a eu lieu l'expérimentation, alors que seuls 17,2% des ménages appartenant au groupe de contrôle ont réalisé ces travaux. Cet écart entre les deux groupes est susceptible d'induire une surestimation des réductions de consommation imputables aux feedbacks.

Enfin, Le récent pilote Irlandais (CER, 2011) ne parvient pas à établir de relations statistiquement significatives entre la réduction de la demande de pointe ou globale et les feedbacks indirects testés (facturation tous les 15 jours et présentation de la consommation énergétique détaillée).

Ces résultats confirment ce qu'avait déjà mis en évidence une emblématique expérimentation de Californie (Statewide Pricing Pilot, 2005¹²³) en matière de réduction des

¹²³ Ce pilote californien est considéré comme une référence en la matière, de par sa construction et la

consommations électriques, particulièrement lors des périodes de pointes. Cette étude fait état d'un effet négligeable des feedbacks directs employés seuls : l'impact est significatif dans une seule des quatre régions étudiées et non persistant dans la durée. En revanche, il semble que les feedbacks améliorent la réponse du consommateur aux incitations du signal-prix (ou bonus), comme l'indique A. Faruqui *et al.* (2009) à partir d'une compilation de résultats issus des expérimentations américaines. Le pilote Japonais, Kyushu Experiment (1996) a également mis en évidence que le nombre de lectures du *display* est en relation directe avec la réponse des consommateurs aux incitations tarifaires.

Il apparaît donc difficile de garantir avec certitude, au vu des résultats ci-dessus, un effet des outils de feedback, le contexte de déroulement du programme semblant primordial et variable d'une expérimentation à l'autre.

4.2 Tarification : l'impact effectif du prix sur le comportement du client.

Les outils de tarification, comme nous l'avons vu précédemment, sont multiples, mais tous ont pour objectif d'induire une baisse de la consommation durant les périodes de pointe et parfois en tendance, par une tarification plus élevée (créant un surcoût si le consommateur ne réalise aucun effort), ou par un système de bonus si le consommateur réduit sa demande électrique (engendrant un coût d'opportunité si le consommateur ne réalise aucun effort).

4.2.1 Les résultats connus des diverses tarifications sur les consommations en pointe mais aussi en tendance.

L'analyse de l'impact de politiques tarifaires passe très souvent par des calculs d'élasticité (élasticité-prix propre, élasticité de substitution). Un bref rappel concernant cet outil mathématique est effectué en annexe 1.2 de ce document.

4.2.1.1 Les effets peu prononcés des tarifications TOU face au potentiel indéniable et durable des tarifications de pointe critiques (PTR et CPP).

Les études réalisées au sujet des impacts des tarifications incitatives sont nombreuses et ne se basent pas sur les mêmes panels de pilotes (même si certains semblent éminents), mais convergent vers les mêmes ordres de grandeurs de résultats.

rigueur accordée à son analyse. Il est, de ce fait, fréquemment cité dans les *surveys*.

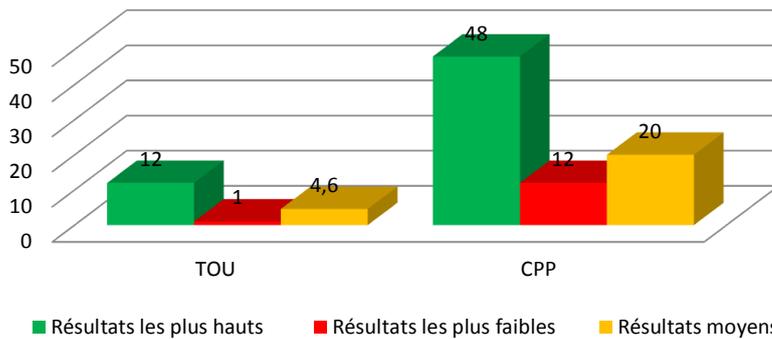
Ainsi on estime que les programmes de type TOU obtiennent des réductions de consommation en période de pointe de l'ordre de 5% en moyenne, la fourchette de résultats s'étalant entre 1% et 12%. La réponse induite est caractérisée par sa brutalité (voir par exemple les courbes de charges obtenues lors de l'Olympic Peninsula Project, section 3.4) et par une tendance au report de consommation à l'issue des tranches horaires chères¹²⁴. Les offres de type CPP apparaissent comme étant les plus performantes. Les études¹²⁵ montrent des résultats de réduction de pointe moyenne entre 12% et 17%, s'étalant entre 10% et 50% pour certains cas extrêmes¹²⁶. L'élasticité de substitution varie de -0,07 à -0,40 selon les pilotes. (Nous rappelons que cela signifie qu'un prix B supérieur de 100% à un prix A induit théoriquement une réduction de la demande en électricité de l'ordre de 7% à 40% si le nouveau prix est B, par rapport à ce qu'elle serait si le prix A restait en vigueur).

¹²⁴ On parle parfois d'effet rebond, ou *payback effect*, aujourd'hui encore mal quantifié et très peu évoqué dans les études, il a pourtant conduit à des consommations de sortie de période critiques supérieures aux pointes de demande sensées être évitées, comme par exemple ce fut le cas pour les HC/HP d'EDF, en France. La solution adoptée fut une diversification de l'offre : différentes tranches horaires sont déterminées localement par le GRD pour les périodes de pointe. (Source : site public EDF-BleuCiel). Attention, l'effet rebond désigne également, selon les interlocuteurs, l'augmentation globale de consommation induite par une baisse des prix de l'électricité ou incitée par une meilleure efficacité énergétique, qui permet d'augmenter les usages sans augmenter la facture électrique. En ces cas, on désigne par « effet boomerang » la pointe de charge issue de la remise en route des usages reportés hors de la période de pointe critique.

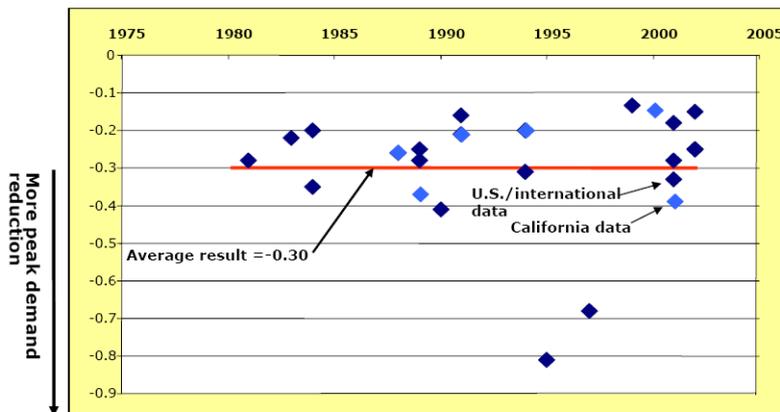
¹²⁵ Etudes issues des *surveys* réalisées par A. Faruqi ainsi que le projet Respond 2009 mené par VaasaEnergyThinkTank.

¹²⁶ Idaho Residential Pilot Program, 2005-2006, présentant un facteur 4 entre périodes peak et off-peak.

Réduction de la demande de pointe (en %) induite par différentes tarifications incitatives



Ce graphique, issu des données de plus de 100 pilotes internationaux récents étudiés par VaasaEnergyThinkTank dans son projet Respond2009 (Erreur ! Signet non défini.), montre l'effet comparé de programmes de type TOU et des pilotes de type CPP.

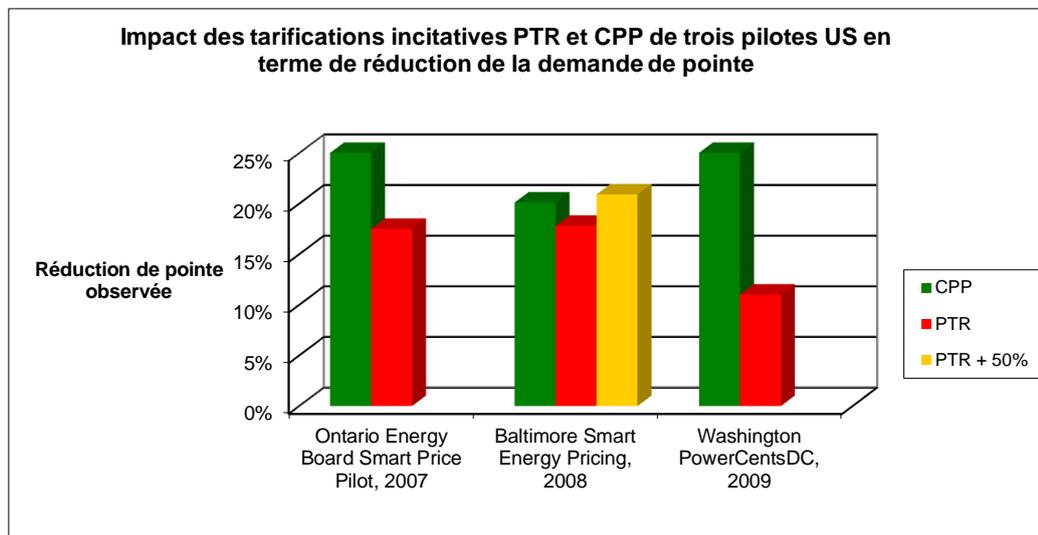


Source: King and Chatterjee, *Public Utilities Fortnightly*, July 1, 2003

Récapitulatif des élasticité-prix de l'électricité en période de pointe, mesurée dans 56 pilotes internationaux, principalement TOU et CPP, qui confirment les données issues des pilotes récents et situent l'élasticité-prix de la demande d'électricité entre $-0,1$ et $-0,4$. Source : (King C. (2007)).

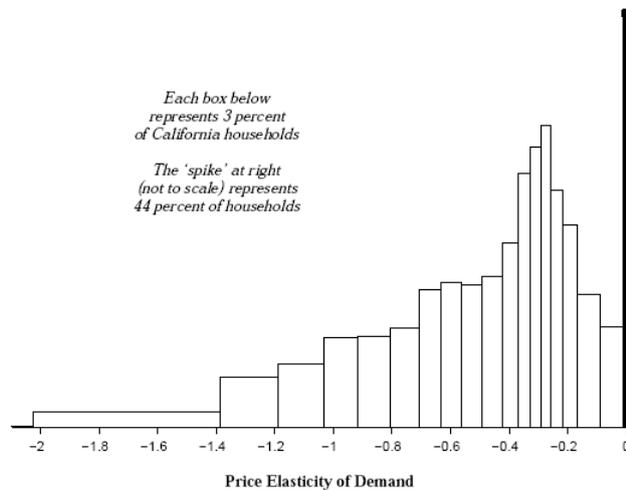
Nous avons vu que les offres de type PTR sont schématiquement équivalentes aux offres CPP. Cependant leurs résultats diffèrent. Quelques pilotes très récents s'attachent à comparer des tarifications PTR et CPP à rémunération similaire. On montre que globalement l'offre de type CPP affiche de meilleurs taux de réduction de consommation de pointe que les offres PTR : voir graphique ci – dessous. Le pilote Smart Energy Pricing 2008 de Baltimore inclut l'évaluation de deux tarifs de rémunération du kWh non consommé dans son expérimentation du PTR. Pour égaler l'impact de

réduction de pointe obtenu avec un tarif CPP, une prime à la non consommation de 50% supérieure à l'offre PTR équivalente à ce dernier est nécessaire.



Une analyse plus fine de des programmes révèle que l'étude de données de réduction de pointe à l'échelle d'un pilote cache une réalité surprenante. Il a été avéré que 20 à 25% des participants à divers programmes récents aux Etats-Unis sont à l'origine de 75% des réductions de pointe concédées.¹²⁷ Cela montre d'un côté le potentiel de réponse à exploiter si l'on parvient à mobiliser les 75% présentant une demande inélastique, d'un autre, les très grandes capacités de réduction dont font preuve une petite partie de la population. L'hétérogénéité des réponse est à prendre en compte dans le design des programmes de tarification dynamique, par exemple en proposant diverses options de *pricing* aux participants, et en leur laissant la possibilité de choisir celle qui lui conviendrait le mieux.

¹²⁷ Source : Slides « La gestion de la demande d'électricité » (présentation interne EDF Lesgards V. rapportant des chiffres émanant de l'EPRI (2008))



Distribution de l'élasticité-prix de la demande d'électricité des foyers californiens face aux tarifications de pointe. Chaque boîte représente 3% de la population. 44% des foyers ont une demande inélastique (Elasticité = 0). (Reiss P. & White M. (2001))

D'autres facteurs impactent l'intensité de la réponse aux tarifications de pointe :

- Le nombre de jours consécutifs déclarés critiques dans les tarifications de type CPP impacte les résultats de réduction : la réduction est diminuée de moitié lorsqu'on atteint le 5eme jour de pointe critique en France. De plus, si les réductions lors des jours critiques isolés se traduisent par des restrictions d'usages, au fil des jours le report de consommation augmente¹²⁸.
- L'élasticité au prix est plus importante l'été que l'hiver dans l'ensemble des pilotes US observés¹²⁹. L'élasticité de substitution augmente en valeur absolue (intensité de réponse augmentée jusqu'à 30%) avec la température, dans les programmes où la climatisation constitue un usage majeur¹³⁰. Ce paramètre est à considérer avec parcimonie en ce qui concerne le design de futurs programmes en Europe car les usages sont différents selon les pays. Aux Etats-Unis, l'usage identifié comme permettant une grande réponse aux incitation est l'air conditionné (usage estival), alors qu'en Europe et particulièrement en France, le chauffage électrique, usage majeur, représente un potentiel de report/réduction de consommation (pointe

¹²⁸ Exemple de l'offre EJP en France : en de 5 jours consécutifs déclarés critiques, le report de consommation passe de 5% à 66% sur les réductions consenties, lesquelles passent de 41% à 26% de la demande de pointe.

¹²⁹ Exemple du pilote californien California Statewide Pricing Pilot, 2004. Face à l'offre CPP, les élasticités-prix de la demande en été et en hiver ont été respectivement de $-0,47$ et $-0,23$.

¹³⁰ Voir par exemple le pilote BG&E Smart Energy Pricing Pilot, déployé en 2008 à Baltimore, dans le Maryland.

hivernale). Cependant il est intéressant de constater que la tolérance à l'inconfort dû à la chaleur est plus grande que celui dû au froid. De même, alors que l'élasticité de la demande en électricité augmente avec la température lors des pointes estivales, elle diminue avec leur baisse en hiver. Le comportement de l'élasticité de la demande aux prix est diamétralement opposé face aux conditions de climat extrêmes.

- Un certain temps est nécessaire aux participants pour adopter un rythme de vie adapté aux notifications de période de pointe. Les meilleurs taux de réponse sont enregistrés au bout de 15 mois selon certains pilotes (Faruqui A., Sergici S. (2008))
- Des éléments divers concernant les équipements et données socio-démographiques concernant les participants ont également un impact positif ou négatif sur leur potentiel de réduction de pointe :

Facteurs à impact positif	Facteurs à impact négatif
<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un équipement d'air conditionné - Foyers à haut revenu - Maison vaste (plus de 4 chambres) - Etudes longues des membres responsables du foyer. 	<ul style="list-style-type: none"> - Participants admissibles aux tarifs sociaux d'électricité - Familles nombreuses

Les réductions observées sur la facture varient entre 0% et 15% selon les offres, la moyenne se situant autour de 10%. Nous verrons dans un cas d'étude détaillé de la section 2.5 qu'il s'agit parfois de gains « passifs », qui sont dus aux patterns de consommation des clients avant même l'instauration des tarifications incitatives, et non la récompense d'efforts actifs.

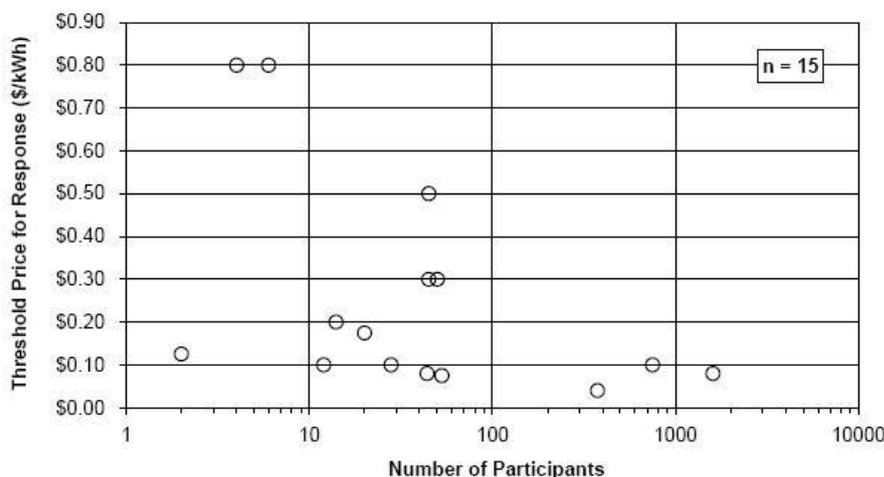
On peut constater que les pilotes récents pèchent par leur manque d'évaluation de la persistance des modifications de comportements induits par les primes, rabais et incitations tarifaires. Il est évident que les efforts cessent très rapidement lorsque les incitations tarifaires disparaissent (voir par exemple l'EDRP section 3.1). La France fournit cependant des résultats encourageants d'effets de tarifications de pointe (option Tempo ou EJP) en place depuis plus de 30 ans, que l'on peut observer, en marge des compilations de données de pilotes de *demand response*. (voir section 1.2.3)

La persistance des effets de la tarification (persistance à long terme au fil des années, puisque le programme existe depuis 30 ans maintenant, mais aussi persistance à court terme, d'une journée vers l'autre lorsque les jours de pointes se succèdent) est donc avérée dans le cas d'EJP, ce qui représente un excellent exemple du type de résultat qu'il serait difficile à obtenir avec un pilote de terrain.

4.2.1.2 *Le RTP : une courbe de charge plus lisse, mais un certain flou dans l'incitation à la réduction.*

Les expériences de tarification dynamique en temps réel ont été moins nombreuses que celles impliquant des offres de TOU ou de CPP, ce qui implique un manque de résultats pour parvenir à tirer des conclusions générales. La fourchette de réductions consenties par les participants lors des pics de demande s'échelonne de 12 à 33%, avec des résultats solides autour de 15 à 20% de réduction¹³¹. Il est intéressant de remarquer que les prix les plus hauts ne correspondent pas aux plus fortes réductions de consommation. La réponse des clients est donc très difficile à analyser et à fortiori, à prévoir. Ces résultats proviennent seulement de la réactivité d'une partie de la population : selon les pilotes, ce sont seulement 20% à 60% des consommateurs dont la demande en électricité est élastique aux prix.

Contrairement aux tarifications par blocs horaires, les effets du RTP sont beaucoup moins marqués dans le temps. Théoriquement, ce type de programme conduit à un lissage de la courbe de charge quotidienne des foyers plutôt qu'à un report marqué des consommations d'une période vers une autre¹³². L'avantage est l'absence d'effet rebond, mais le manque de repères pour décider d'un seuil à partir duquel le prix devient suffisamment élevé pour inciter à réduire les usages implique des réponses floues. De plus, certains pilotes mettent en évidence le fait que des signaux-prix plus prédictibles augmentent le potentiel de réponse¹³³. Le graphique ci-dessous illustre la grande variance de seuils de prix déclenchant une réponse de la demande sur des pilotes d'un même pays (Etats-Unis), soulignant l'importance du contexte entourant la volatilité des prix.



Seuils de prix minimums pour déclencher une réponse des participants (Owen G. , Ward J (2007))

¹³¹ Voir le pilote PowerSmart Pricing, Illinois, 2004. Une réduction de 20% a été observée, se portant à 30% en cas de notifications prévisionnelles de prix élevés.

¹³² Voir les résultats du pilote Olympic Peninsula Project, présenté en section 2.2.

¹³³ Voir par exemple le pilote norvégien « End-user flexibility by efficient use of ICTs » mené par SINTEF Energy Research, 2001.

Les clients ayant surmonté leur aversion au risque pour prendre part aux programmes de RTP se sont globalement vus bien récompensés pour leur engagement. Les pilotes de RTP sont ceux qui apportent les plus fortes rémunérations ou baisses de factures, avec une diminution observée de 15% en moyenne. Ces pilotes affichent donc un fort taux de satisfaction.

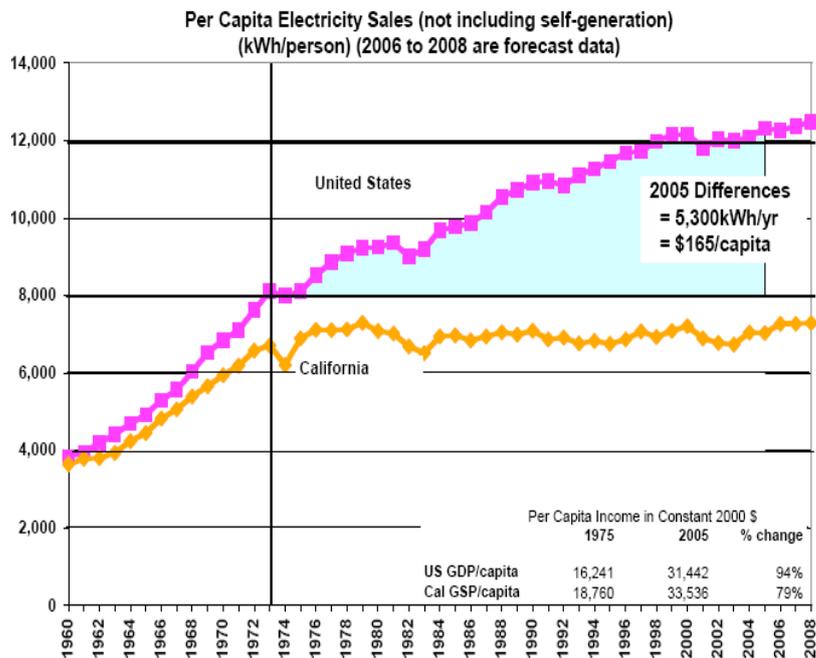
Comme nous l'avons vu, la réduction de la consommation électrique tendancielle (c'est-à-dire globale et non seulement centrée sur les pointes de demande) est également un objectif très actuel, et servi par les pilotes tarifaires.

4.2.1.3 Réduction globale de la consommation électrique : objectif majeur et effet de bord.

4.2.1.3.1 Les effets de la tarification par blocs progressifs.

La tarification par blocs progressifs n'a pratiquement jamais été évaluée à l'échelle d'un pilote. Les programmes connus sont la plupart du temps des offres commerciales déjà en place depuis longtemps. C'est le schéma tarifaire « réglementé » en Californie¹³⁴. Il sert de support à certains pilotes dont nous détaillons l'étude (par exemple section 2.3). Il est donc très difficile d'obtenir une mesure quantifiée précise de leur effet sur la consommation résidentielle. On peut cependant montrer ce graphique qui compare l'augmentation de la consommation d'électricité par tête en Californie à celle des Etats-Unis :

¹³⁴ La CPUC (California Public Utilities Commission) soumet les quatre utilities principales à des obligations d'économie d'énergie et le tarif de base, qui se traduisent entre autres par la mise en place de tarifications par blocs progressifs.



On constate que la consommation d'électricité par tête en Californie n'a pas suivi la tendance haussière du pays, depuis la mise en place des tarifs par blocs progressifs. Cependant, d'autres facteurs sont susceptibles d'influencer cet indicateur, et l'interprétation doit en être prudente. (Source : California Energy Commission, publication 2009).

De plus, des simulations basées sur des résultats de programmes historiques, menées par le *Brattle Group* pour promouvoir les tarifs par blocs progressifs indiquent un potentiel de réduction globale de consommation de 1% à 6%, associé à des réductions de facture électrique de l'ordre de 1% à 9% selon les scénarios d'élasticité de la demande aux prix.

Globalement on assiste à un très fort regain d'intérêt pour les tarifications par blocs progressifs, on les retrouve dans les préconisations d'organismes et de compagnies d'un grand nombre de pays. Outre le *Brattle Group*¹³⁵, le *CSEM*¹³⁶, des études britanniques et même françaises¹³⁷ prônent le développement de ce type de tarifs pour inciter à la sobriété énergétique dans les projets de pilotes des années à venir. Il s'agit d'une émergence à ne pas perdre de vue car ce genre de tarification, présentant de nombreux avantages (y compris sociaux et environnementaux), pourrait tendre à devenir la norme en matière d'offre de base dans les années à venir. Nous en avons parlé en section 2.1.2.1

¹³⁵ En particulier A. Faruqi.

¹³⁶ CSEM : Center for the Study of Energy Markets. Travaux de S. Borenstein (2008, 2010)

¹³⁷ Etudes britanniques : Owen G. Ward J (2010), **Erreur ! Signet non défini.** Etude Française (préconisation GT pointe 2010 concernant l'insertion de l'expérimentation des tarifs par blocs progressifs dans les pilotes à venir) : Bonduelle A. (2010)

4.2.1.3.2 Les effets de bord des tarifications de pointe.

Même s'ils visent avant tout à réduire la demande lors des pointes de consommation, on constate que les tarifications incitatives présentées ci-dessus (CPP, TOU, RTP, PTR) ont également des effets sur le volume global d'électricité consommé par les participants.

On note une réduction de consommation globale moyenne allant de -2% (il s'agit donc d'une augmentation) à 7% selon les pilotes, avec une moyenne de 1 à 4% de réduction. Ainsi, le programme *Energy Smart Pricing Plan* (RTP en Illinois, 2004) affiche des résultats de baisse de consommation de 4% pour la période estivale. Nous pouvons également citer l'exemple du pilote canadien *Energy Board Smart Price Pilot* (TOU et tarifications de pointe combinés en Ontario) qui atteint un taux d'économies globales d'électricité de 7,4% pour son option de PTR. Plusieurs facteurs expliquent ces réductions (thèses soutenues par l'EPRI en 2008).

- Tout d'abord on constate que les réductions de consommation concédées lors des pointes critiques ne sont pas dues à des reports d'usage mais à des restrictions pures. Ainsi, en Illinois, les réductions globales n'ont été observées que lors des mois d'été, les seuls durant lesquels des jours critiques ont été décrétés. Ainsi, les effets de réductions observés sont principalement ceux engendrés par les réductions lors des jours de pointe, renforcés par l'inertie des consommateurs qui les incite à modifier leurs usages à la baisse pendant quelques temps après un jour critique.
- Une autre hypothèse consiste à attribuer la baisse de consommation globale au fait que les consommateurs ont à l'esprit le prix de pointe de l'électricité comme référence pour l'arbitrage de leurs usages. D'une part, cela les incite à considérer l'électricité comme une ressource coûteuse. D'autre part, les tarifications incitatives peuvent les conduire à s'équiper en appareils de meilleure efficacité énergétique.

Cependant on observe également des cas de hausse de consommation dans certains programmes, par exemple une augmentation de 1% de la consommation globale pour les participants à l'option CPP du pilote *Smart Energy Pricing* de BG&E (Baltimore, 2008), ou encore de 2% pour les clients du *Keypad Powershift Experiment* de NIE (Irlande du nord, 2004, voir section 2.5 pour une étude détaillée de ce pilote). Ces hausses de demande annuelle d'électricité sont pourtant la plupart du temps associées à une baisse de la facture électrique pour les participants. Cette situation paradoxale est rendue possible par les tarifs de base très peu onéreux, avantageux pour les clients effectuant la majorité de leur consommation hors pointe. On voit poindre l'une des conclusions majeures que l'on peut dresser après l'étude d'un grand nombre de pilotes récents : les participants aux programmes sont principalement intéressés par les réductions de leur facture, et peu soucieux des enjeux environnementaux qui entourent la consommation d'énergie. De nombreux résultats viennent corroborer cette hypothèse, nous en retrouverons des exemples au cours de ce document.

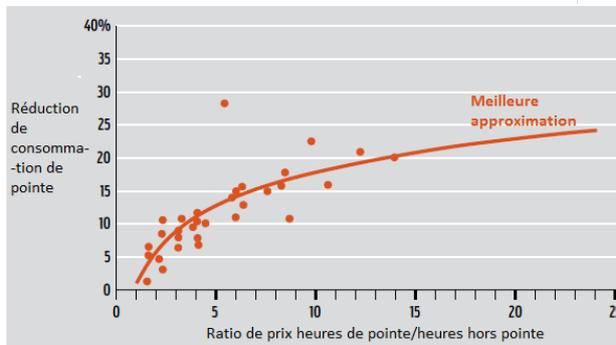
4.2.2 Les facteurs impactant les résultats des offres tarifaires.

Nous avons donc montré des résultats obtenus sont d'un même ordre de grandeur pour une même typologie de tarification incitative, mais affichent une variance élevée. Outre les paramètres évoqués ci-dessus, quelles sont les préconisations que nous enseignent les pilotes observés pour l'élaboration de programmes de *pricing* efficaces?

4.2.2.1 La structure des tarifs

Tout d'abord, dans une optique de réduction de la consommation de pointe, il est nécessaire de souligner l'importance du ratio entre prix de l'électricité de pointe et de base. Selon les sources, les préconisations varient entre un facteur 3 (selon VaasaETT) et un facteur 5 (selon le Brattle Group) pour obtenir un impact notable sur la demande de pointe. A partir de 24 études américaines produisant un ensemble de 109 tests comprenant différents tarifs, localisations et périodes, Faruqi et Palmer (2011), concluent d'une part que la demande d'électricité répond au prix, et d'autre part que cette réponse est d'autant plus forte que l'écart entre le prix de « base » (hors-pointe) et le prix de pointe est élevé. L'effet sur la pointe augmente donc avec l'écart de prix, mais à taux décroissant.

Résultats des pilotes par ratio de prix pointe/hors pointe.
(Résultats des pilotes uniquement tarifaires)



Réduction de la demande de pointe selon le ratio prix hors pointe – pointe (Graphique traduit depuis Faruqi A. & Palmer J. (2011))

Notons à ce stade que l'existence d'un écart de prix seuil à partir duquel la demande de pointe deviendrait inélastique au prix n'a pas été mise en évidence dans les expérimentations (CER, 2011).

Ainsi, même avec une élasticité prix, qualifiée de faible par les économistes généralistes, la réduction de la demande de pointe est loin d'être négligeable, puisqu'elle est généralement comprise entre 5% et 15%.

Ensuite, afin d'obtenir des efforts de la part des consommateurs, il est primordial que le design de l'offre tarifaire soit facile à appréhender. Le client doit pouvoir s'approprier les contraintes et les intégrer à son mode de vie. La politique tarifaire doit s'insérer dans un mécanisme global d'éducation du consommateur, lui expliquant les raisons de la mise en place du nouveau tarif, et comment cibler ses efforts concrets pour parvenir à en retirer un bénéfice budgétaire. Un travail personnalisé peut être réalisé auprès des consommateurs : c'est ce qui paraît le plus logique au vu des disparités observées dans la disposition à répondre aux signaux-prix.

Une attention particulière doit être portée au design de l'offre tarifaire : les cas des calculs de *baseline* dans le cadre d'une tarification PTR, ou encore la construction du prix volatil dans le cadre d'une offre RTP sont extrêmement importants quant à l'extension future du pilote. La viabilité des projets dépend directement des choix effectués en termes de rémunération/pénalisation des comportements, qui peuvent ne pas s'avérer supportables par les compagnies d'électricité. De plus, une offre de prix mal conçue peut inverser les effets escomptés, ou amener les clients à des comportements anti-écologiques (mais péuniairement rentables pour eux). Nous avons ainsi pu constater les effets néfastes d'un design de pilote raté en section 3.3 de cette partie.

4.2.2.2 *Tarification renforcée par des outils de feedback.*

Enfin, l'un des facteurs de réussite des tarifications incitatives réside dans la place accordée aux processus d'information autour des prix, et plus particulièrement de notification des périodes de pointes. Afin de pouvoir réagir aux signaux-prix, le consommateur doit être averti de ceux-ci en avance. Il pourra ainsi décider du report ou de la restriction de ses usages. Une notification dite *day-ahead* (réalisée la veille du jour critique) est le minimum requis. Elle s'avère en adéquation avec les principes des tarifications dynamiques, basés sur les prévisions de charges réalisées la veille pour le lendemain, mais également avec le fonctionnement de certains marchés de gros où les ventes sont également réalisées en *day-ahead*. Les notifications de jour critique doivent être inévitables mais non intrusives. Les systèmes de SMS ou de signal lumineux sont les mieux perçus. Les signaux sonores sont jugés intrusifs et les notifications sur internet nécessitent de faire un effort dont on ne sait pas s'il sera maintenu sur la durée, toujours par manque de données concernant la persistance des effets mesurés lors des pilotes.

4.2.2.3 *Tarification renforcée par des outils d'automatisation et des feedback : la synergie des incitations.*

S'il est un point essentiel sur lequel s'accordent tous les résultats de pilotes¹³⁸, et tous les rapports de type *surveys*, c'est celui concernant l'impact très positif de l'intégration d'instruments d'automatisation des usages électriques au design de l'expérimentation. Dans cette partie nous nous intéressons à l'impact sur la *demand response* de l'ajout d'appareils d'automatisation de la réponse

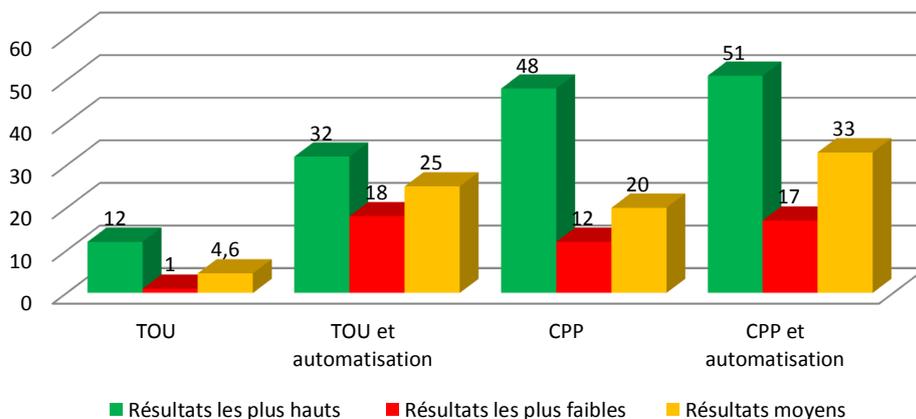
¹³⁸ Quelques cas de défaillance ont été rapportés, notamment associant thermostats, pompes à chaleur et RTP (PowerCentsDC, voir section 3.2)

aux signaux-prix ou thermostats intelligents, mais n'étudierons pas les offres consistant à effectuer uniquement du pilotage de charge direct, technique répandue surtout, à l'heure actuelle, au niveau industriel.

Dans une première approche, la mise en place d'une automatisation de la réponse aux signaux-prix s'avère indispensable pour certaines offres tarifaires. En effet, il a été établi qu'au-delà de 5 tranches horaires quotidiennes, le consommateur ne parvient plus à gérer et ajuster manuellement ses usages¹³⁹. Tous les programmes de TOU comportant plus de 5 périodes horaires, mais également les programmes de RTP à intervalle horaire (qui sont en fait un glissement de la formule TOU, discrétisée, vers une formule en véritable *real-time*, continue) et à fortiori ceux dont les prix changent par pas de temps de 5 minutes (comme c'est le cas dans l'option de RTP de l'Olympic Peninsula Project que nous étudions en section 2.2), rentrent dans cette catégorie.

Cependant, même dans le cadre de tarifications simples ou avec un nombre réduit de jours de pointe critique, l'installation de technologies d'automatisation permet d'amplifier l'étendue des réductions consenties. Nous pouvons effectuer une brève revue des résultats moyens apportés par les *surveys* étudiés, qui mettent en évidence le bénéfice apporté par les systèmes d'automatisation et de gestion de la charge.

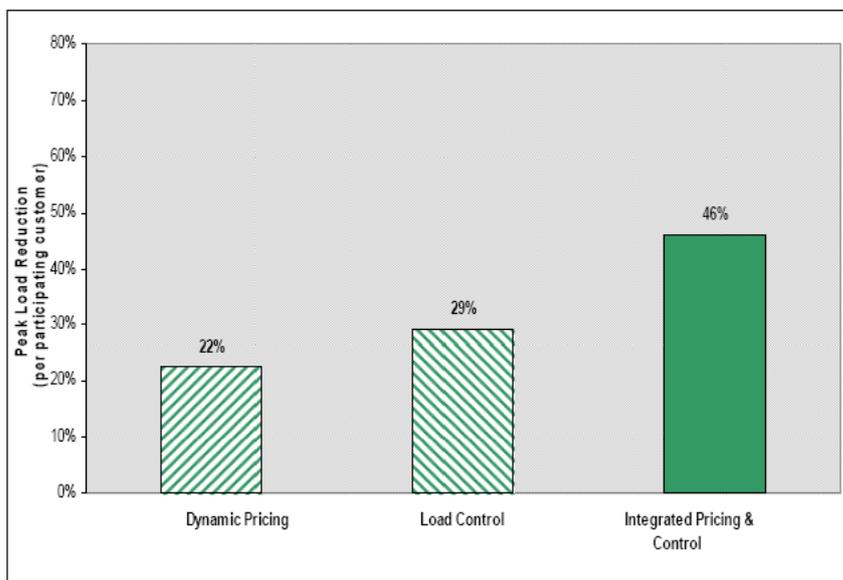
Réduction de la demande de pointe (en %) induite par différentes tarifications incitatives et selon l'emploi d'automatisation



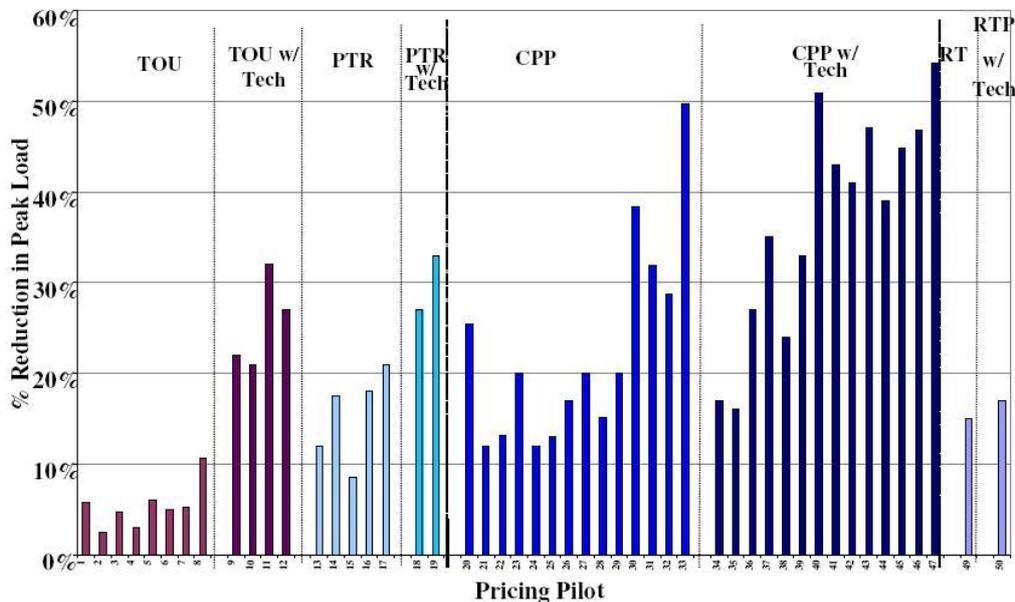
Ce graphique, dont les données sont issues de l'étude réalisée par VaasaETT en 2008 (Chardon A., Almèn O. Lewis P. E., Stromback J. & Château B. (2008)) sur une centaine de pilotes, reprend celui présenté en section précédente et montre l'apport de l'automatisation en terme de réponse de la demande. On constate que les résultats obtenus par les tarifications TOU sont extrêmement améliorés par l'emploi d'une automatisation. Le principe de fonctionnement des

¹³⁹ Voir pilote *Enerbest Strom Smart*, lancé en 2008 en Allemagne par Stadwerke Biefeld.

appareils programmables dans le temps s'accorde particulièrement au pricing horosaisonnier, dont les résultats moyens sont quintuplés par l'emploi d'automatisation.



Les bienfaits des synergies entre tarification dynamique et automatisation des appareils électriques, moyennes sur 24 programmes internationaux. (King C. (2007)). Le terme de tarification dynamique englobe ici les offres de type TOU et les offres de pointe critique.



Récapitulatif de pilotes Nord-Américains majoritairement lancés entre 2003 et 2005. (Source : Brattle Group¹⁴⁰, 2008). On peut comparer les résultats apportés par l'ajout d'automatisation (dénotté Tech, pour Enabling Technologies, sur le graphique).

Les chiffres présentés par ces graphiques ne sont pas totalement indépendants puisqu'ils partagent les données de certains pilotes. Cependant on peut dégager une tendance nette du rôle de catalyseur de la réponse aux signaux-prix que constituent les systèmes d'automatisation (majoritairement des thermostats intelligents, qui contrôlent climatisation et/ou chauffage).

- L'effet de levier réalisé sur les réductions concédées par les participants aux programmes de type TOU est le plus puissant, puisqu'on constate que les résultats en termes de réduction sont multipliés par 5, passant de 5% en moyenne à 25% en moyenne. Nous attribuons cette réussite entre autres à l'adéquation du système de thermostats programmables avec le design par bloc horaires de cette tarification. De plus des solutions de temporisation des usages sont envisageables et faciles à coordonner avec les tarifs horosaisonniers.
- En moyenne, l'intensité de la réponse aux signaux-prix est augmentée de 50% à 100% dans le cas de tarifications CPP. Certains pilotes montrent même des réductions multipliées par un facteur 3 lors de l'ajout d'un thermostat intelligent¹⁴¹.

¹⁴⁰ Graphique se retrouvant dans divers papiers des auteurs A. Faruqi et S. Sergici, par exemple dans Faruqi A. & Sergici S. (2008)

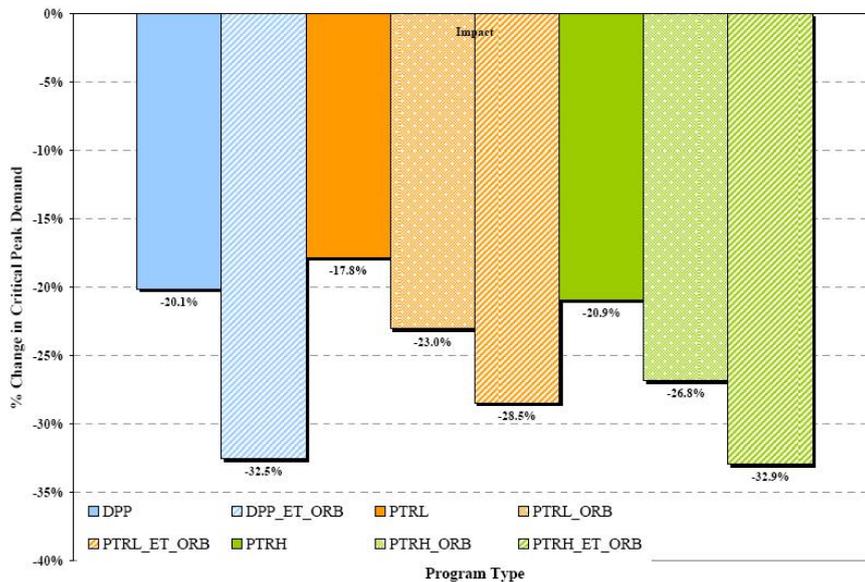
¹⁴¹ Voir pilote Ameren *Critical peak pricing* Pilot, Missouri, 2004.

- Les données rapportent une réduction plus importante de 50 à 100% dans le cas de tarification PTR¹⁴²
- Les résultats de pilotes comparant la mise en place d'une tarification RTP avec et sans équipement d'automatisation sont quasi inexistantes. En effet, afin de gérer la volatilité des prix sans avoir à s'en soucier au quotidien, la très grande majorité des participants aux programmes expérimentaux se reposent par défaut sur un système automatisé de gestion d'énergie. Un paramétrage fin semble être nécessaire pour parvenir à définir des seuils de réponse face aux prix. Il faut toutefois garder à l'esprit le pouvoir de lissage de la courbe de charge des tarifications RTP lorsqu'elles s'accompagnent d'une réponse automatisée (voir l'étude détaillée du programme Olympic Peninsula Project, section 3.4.4).

De plus, il est important de souligner que les enquêtes réalisées à l'issue de programmes expérimentaux révèlent une grande satisfaction des consommateurs vis-à-vis des technologies d'automatisation des équipements domestiques¹⁴³. Le confort est préservé, permettant une grande acceptabilité de ces systèmes, laquelle est renforcée par le caractère débrayable des réponses automatisées. Les prochaines années devraient permettre, avec l'essor des *smart homes*, de parvenir à un niveau d'équilibre supérieur entre confort et économies d'énergie. Les algorithmes des gestionnaires d'énergie réalisent une optimisation multicritères (confort, économies financières, réduction des émissions de gaz à effet de serre) capable de prendre en paramètre d'entrée le prix courant de l'électricité.

Certains pilotes s'attachent de plus à évaluer les impacts cumulés d'une tarification dynamique, d'un appareil de feedback et d'un appareil d'automatisation de type thermostat intelligent. L'ampleur des réductions de consommation de pointe observées est encore accrue (nous ne disposons pas de données moyennes pour ce paramètre additionnel). Le programme de *Smart Energy Pricing Pilot* de BG&E (Baltimore, été 2008) est le plus complet en la matière et démontre l'indéniable nécessité de construire un programme complet, et non seulement restreint à une typologie d'incitation : ces dernières fonctionnent en synergie pour saisir le potentiel de réduction partout où il se situe à l'intérieur des foyers. Motivation financière induite par les tarifications incitatives, processus d'apprentissage et de compréhension des comportements électriques éventuellement soutenu par le développement de valeurs écologiques avec les feedbacks informationnels, et enfin maintien du confort et de la liberté d'esprit grâce aux systèmes d'automatisation intelligente de la réponse : c'est un tout que les futurs pilotes devront parvenir à élaborer.

¹⁴² BGE Smart Energy Pricing Pilot et données Brattle Group.



Résultats du pilote Smart Energy Pricing Pilot, BGE (Baltimore, été 2008). On constate l'effet de synergie entre les diverses incitations utilisées. DPP réfère à un programme de tarification de pointe critique (CPP), PTRL et PTRH sont deux variantes d'un programme de PTR (le montant de la prime accordée par kWh de réduction varie). L'acronyme ET réfère aux *enabling technologies*, qui sont les équipements d'automatisation de la réponse aux signaux-prix. ORB signifie l'utilisation d'un *display* de type Energy Orb, un globe lumineux installé au sein du foyer, changeant de couleur selon le prix de l'électricité pour notifier aux participants les périodes creuses, de pointe et de pointe critiques.

La capitalisation des conclusions issues d'un grand nombre de pilotes récents réalisés à l'international constitue donc une approche enrichissante des outils incitatifs dont nous disposons pour mettre en place un mécanisme de *demand response* chez la clientèle résidentielle. La variété accrue de ces programmes expérimentaux ces dernières années, de par leur design et leur contexte d'implémentation, permet d'observer le comportement des populations face à des incitations innovantes. Des taux de réduction de consommation moyens, des facteurs de réussite récurrents émergent des résultats de ces pilotes, ainsi que des erreurs qu'il convient de ne plus reproduire. Cependant, nous avons vu dans la section 3.1 de cette partie que les résultats d'un pilote sont conditionnés par le contexte d'observation, mais également très fortement par les choix méthodologiques effectués pour l'analyse des données récoltées. Dès lors, il devient légitime de se poser la question de savoir si, d'une part, ces résultats sont réellement comparables, et d'une autre, quelles sont les principes méthodologiques qui garantissent des résultats significatifs, et exploitables.

4.3 Considérations qualitatives : comment garantir des résultats robustes en termes de réduction de consommation ?

Les résultats saillants détaillés ci-dessus proviennent, comme nous l'avons évoqué, à la fois de l'étude de *surveys* réalisés ces dernières années, et d'une étude personnelle réalisée sur plusieurs dizaines de pilotes. Pour ce faire, ce sont les rapports d'analyse des compagnies instigatrices de ces pilotes qui sont exploitées la plupart du temps. Ces rapports peuvent être réalisés par des chercheurs internes à la compagnie (c'est le cas lorsque celle-ci dispose d'un centre de R&D), spécialistes ou non dans le domaine de l'analyse statistique, par des cabinets d'études externes, ou encore, confiés, par le biais de partenariats, à des laboratoires universitaires locaux. Les compétences, les points de vue, les intérêts et méthodologies sont-elles suffisamment homogènes pour que l'analyse croisée de ces pilotes soit significative ?

A cette question, peu de réponses sont possiblement offertes. En effet, pour la quasi-totalité des pilotes, une seule étude est réalisée à partir des résultats, ce qui semble totalement logique dans l'optique où cette dernière est valable, vérifiée et approuvée par un comité scientifique avant diffusion. Cependant, nous avons rencontré, dans la section 3.1 de cette partie, le cas d'un pilote britannique (EDRP), pour lequel une contre – analyse a été réalisée, mettant en évidence des défaillances méthodologiques dont la transparence nous laisse à croire qu'elles sont plus fréquentes que l'on ne l'imagine dans les études de ce type. La question majeure est donc celle de la recherche d'une méthodologie robuste et exportable permettant de mesurer une « non-consommation » de manière fiable afin de pouvoir comparer les résultats de ces pilotes.

Les questions méthodologiques liées aux expérimentations portent à la fois sur la validité « interne » et « externe » des résultats. La question de la validité « interne » qui permet d'établir une relation « cause à effet » au sein de l'expérimentation, a essentiellement retenu l'attention des scientifiques, et nous en détaillerons quelques points dans cette sous-section. La validité « externe » qui permet de vérifier dans quelle mesure les résultats obtenus lors de l'expérimentation sont applicables à d'autres populations dans un contexte analogue, a été en revanche relativement peu examinée. Une exploration en sera proposée dans le Chapitre 5 de cette partie.

4.3.1 La constitution d'un groupe de contrôle similaire au groupe cible.

Dès l'origine des expérimentations, la nécessité apparaît d'établir une situation de référence pour la mesure des consommations effacées et/ou reportées en créant un groupe de contrôle qui ne subit aucune des actions déployées sur les groupes cibles. En revanche, la nécessité que ce groupe

présente une courbe de charge moyenne similaire à celle du groupe cible - ce qui requiert des populations homogènes du point de vue de leur consommation électrique - est plus récente. Elle est apparue comme une exigence lors la dernière décennie.

Elle requiert des mesures de courbes de charge préalablement à l'expérimentation et sur une période suffisamment longue pour fournir des comparaisons fiables. Elle permet également d'obtenir des données corrigées des températures, ce qui semble préférable pour isoler l'effet des outils testés sur des variations de consommations et ne mesurer par conséquent que cet effet.

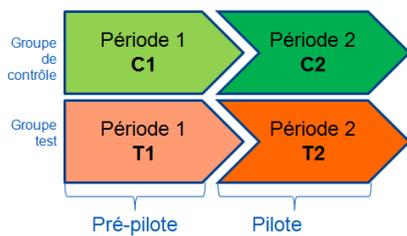
De plus, le groupe de contrôle doit subir le même traitement que les groupes cibles. Ainsi de nombreux pilotes accordent aux consommateurs une prime fixe au titre de la participation à l'expérimentation. Elle vise à accroître le taux de participation aux démonstrateurs qui lorsque celle-ci est volontaire (cas de la grande majorité des démonstrateurs), se limite généralement autour de 10% sur l'ensemble de la population contactée le plus souvent par courrier et téléphone (EDRP, 2008 ; « Easygreen Program » de Firstenergy, 2008). Afin de ne pas biaiser les résultats, cette prime doit être identique pour chaque participant - quel que soit son groupe d'appartenance -, sans relation avec le comportement du consommateur et versée en dehors des périodes de l'expérimentation proprement dite (avant ou après).

4.3.2 Des choix statistiques déterminants.

Mais, la simple comparaison des consommations entre le groupe de contrôle et le(s) groupe(s) cible(s) n'est pas non plus entièrement satisfaisante, car elle ne prend pas en compte l'évolution des consommations de chaque groupe dans le temps.

4.3.2.1 *Différentiel d'évolution des consommations entre les groupes*

C'est ainsi que dans le pilote récent mené par EDF Energy auprès de plus de 2.000 ménages de la région de Londres, que nous avons abordé dans la section 3.1 de cette partie, les résultats ont été calculés selon différentes méthodologies. Dans la méthodologie la plus avancée, présentée précédemment, les écarts de consommation entre les données issues de la période pré-pilote et les données issues de la première année du pilote ont été calculés pour chaque groupe (Schéma 1). Cette façon de procéder est recommandée par plusieurs analystes (AECOM (2011) ; CER (2011) ; Violette D. (2009)).



Mesure de l'impact du traitement :

$$\Delta C = (T1-T2) - (C1-C2)$$

Variations liées au contexte (météo, équipement) + incitations

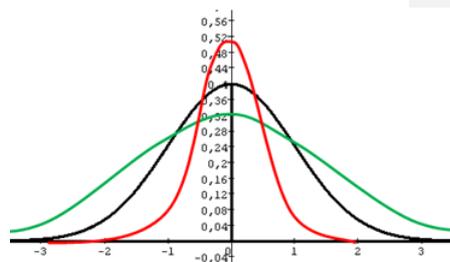
Variations liées au contexte (météo, équipement)

Mesure des différentiels de consommation entre groupes et entre périodes : la méthodologie préconisée.

4.3.2.2 Choix de la forme de la distribution statistique.

Une autre décision méthodologique tient à la forme statistique retenue pour représenter la distribution des valeurs et au choix de la valeur moyenne ou médiane.

Ainsi, alors que les premiers traitements supposaient une distribution des consommations suivant une loi normale et une valeur moyenne, les traitements plus avancés supposaient une distribution leptokurtique, plus ramassée sur la valeur centrale et admettant davantage de valeurs extrêmes. Ces derniers traitements statistiques retenaient une valeur médiane.



Une distribution supposée des consommations (leptokurtique, en rouge. versus normale. en noir)

Comme nous l'avons vu, le choix d'une valeur médiane paraît préférable dans la mesure où il existe effectivement des valeurs extrêmes dues à l'hétérogénéité des préférences. Elle est également légitime dans l'instauration d'une norme sociale acceptable par la majorité des consommateurs. Elle revêt un caractère de choix démocratique, à la différence de la moyenne.

Dans le pilote EDRP, ces choix méthodologiques influencent fortement la mesure des variations de consommation ainsi que la fiabilité des mesures. Tout d'abord, des résultats apparaissent statistiquement significatifs avec la première méthode et pas avec la deuxième (et inversement). C'est notamment le cas du tarif horo-saisonnier ou du système d'alarme sonore se déclenchant à partir d'un seuil donné de consommation, qui ont été testés. Ensuite, même statistiquement significatifs avec les deux traitements, les résultats peuvent être sensiblement différents. Tel est le cas du feedback direct testé via un afficheur numérique tactile et très complet (indiquant notamment les consommations en temps réels) pour lequel les réductions de consommation varient d'un rapport de 1 à 5 selon le traitement statistique effectué.

4.3.3 La difficulté d'obtenir une consommation de référence individuelle.

Une autre difficulté relève du calcul de la consommation de référence (*baseline*) individuelle, nécessaire pour la mise en œuvre de bonus ou de rabais dont bénéficie le consommateur qui réduit sa consommation par rapport à son modèle courant de consommation. Depuis les années 2004-2005, nombreux sont les programmes pilotes et commerciaux qui rémunèrent la non-consommation d'électricité sur une courte période (quelques heures dites « période de pointe »), notifiée au préalable aux clients. Chaque KWh non consommé durant ces heures de pointes en comparaison avec un niveau de consommation de référence est alors rémunéré au client.

Le calcul du niveau de référence constitue alors à la fois un élément clef de la réussite du programme d'effacements et un enjeu majeur pour les concepteurs de ces mécanismes incitatifs. En effet, il s'agit le plus souvent de composer avec des données d'historiques de consommation, des groupes témoins servant de repères, des ajustements liés aux températures, et des clients souhaitant parfois comprendre les rouages des méthodes de calcul.

L'expérience montre qu'un mauvais calcul de *baseline* peut vouer un programme à l'échec en incitant les consommateurs à surconsommer en dehors des périodes d'effacement pour accroître leur rémunération. C'est ce qui s'est produit lors du pilote Californien d'Anaheim Public Utility (2006) que nous avons détaillé en section 3.3. Selon Frank Wolak F. (2006) qui a mené une étude statistique des résultats, près de la moitié de la réduction de la consommation observée lors des périodes de pointe critique est due à une surconsommation les autres jours. Les données figurant sur un site internet ainsi que sur la facture d'électricité qui détaille la récompense versée auraient permis aux consommateurs de comprendre le mode de calcul de la consommation de référence et de surconsommer pour maximiser leurs gains.

Les concepteurs des programmes de bonus à l'effacement (*Peak time rebate*) prêtent donc particulièrement attention au calcul de ce niveau de référence. La façon de procéder, principalement dans les pilotes nord-américains (PJM interconnexion, 2005 ; Anaheim Public Utilities, 2004, Ontario Energy Board Smart Price Pilot, 2007, New York Independent System Operator, Pilote SDG&E) consiste en une fenêtre glissante sur plusieurs jours (5 jours ouvrés en général). Elle permet d'établir une consommation moyenne actualisée pour les jours précédents le jour d'effacement notifié.

Le gestionnaire de réseaux de New York (*New York Independent System Operator*) s'est démarqué en proposant un algorithme de calcul particulièrement élaboré¹⁴⁴ dont un schéma retranscrit par nos soins et accompagné d'une note explicative est proposé en annexe 0.

¹⁴⁴ Il repose sur l'utilisation d'une large fenêtre glissante et d'un facteur d'ajustement (dont l'utilisation est facultative pour les clients). Il a été appliqué à un programme d'effacement d'urgence destiné aux gros clients (tertiaire) ou aux agrégateurs d'effacement de l'état de New York (*Emergency Demand response Program, 2008*).

Ces éléments méthodologiques ne se prétendent pas exhaustifs mais nous montrent déjà que l'élaboration consciencieuse d'un pilote de terrain et la collecte d'un grand nombre de données ne suffisent pas, et que nombreux sont les écueils potentiels liés à l'utilisation de résultats de pilotes de terrain. De plus, les points que nous avons abordés laissent sous-entendre les contraintes fortes à respecter dans l'optique d'obtenir des résultats fiables, comme la constitution (parfois coûteuse) d'un groupe témoin, ou le recueil (parfois difficile) de données de consommation historiques. La question de l'utilisation directe des résultats de pilotes de terrain devient donc plus problématique, car elle nécessite de se plonger dans l'analyse effectuée pour plus de confiance. On comprend donc maintenant que la réutilisation des résultats, c'est-à-dire leur exportation dans d'autres contextes, voire dans d'autres pays, paraisse encore plus aléatoire. En effet, chaque pays présente un contexte différent à l'accueil des programmes expérimentaux, impactant les résultats obtenus. Dans quelle mesure peut-on imaginer transposer les résultats des pilotes de *demand response* déjà réalisés, et calibrer de futures offres commerciales par ce moyen ? Quelles sont alors les possibilités et limites de ces expérimentations de terrain qui semblent pourtant indispensables ?

Chapitre 5. Les pilotes : apports et limites d'une méthodologie indispensable.

Nous avons vu dans les chapitres précédents que le déploiement d'une solution incitative chez un échantillon de la clientèle, dans l'optique d'observer ou mesurer les effets qu'elle peut avoir sur la consommation des particuliers, et que nous appelons pilotes de terrain, se révèlent à la fois riches en enseignements, et délicats à construire, analyser et interpréter. Certes, les pilotes sont une étape nécessaire au développement d'offres de *demand response*, tant les paramètres qui y sont analysés (et présentés dans le chapitre précédent) sont fondamentaux à leur réussite. Mais comment peuvent-ils être utilisés par les compagnies ? Les tendances révélées par la réalisation d'un *survey* des pilotes internationaux sont-elles exploitables ? Nous verrons quels éléments limitent la transposabilité des résultats tant du fait du contexte de l'expérimentation que du fait même de l'expérience en tant que mode d'étude d'un phénomène. Enfin, nous amorcerons le cheminement vers un autre mode d'expérimentation possible.

5.1 Les pilotes : moment indispensables d'élaboration d'une offre commerciale.

Les pilotes de terrain, bien qu'ils ne remplissent pas toujours les espérances en termes de validité des résultats produits, sont aujourd'hui encore incontournables pour toute compagnie souhaitant réaliser une offre tarifaire. A titre de comparaison, la très grande majorité des produits sont testés sur des panels de consommateurs, surtout lorsque ces consommateurs ont des attentes, des préoccupations, et une réflexion autour de l'intérêt du produit peu évidents. C'est l'un des enjeux du marketing moderne *business to consumer* (marketing des biens de consommation). Les aliments sont goûtés, les jouets proposés à des enfants observés derrière un miroir sans tain, chaque catégorie de produits. Les logiciels informatiques sont conçus selon des cycles de développement élaborés qui peuvent prendre plusieurs formes (itératifs, incrémentaux, en spirale, ...) mais intégrant tous des phases de tests à divers niveaux. Les outils de la *demand response* peuvent être vus comme ces produits, et nécessitent des études marketing poussées.

Cependant, il est important de comprendre à quel niveau ils sont différents des produits cités ci-dessus. Là où les produits classiques, ou même les offres de contrat de souscription à un service (téléphonie, abonnement divers, voire même contrat électrique de base) ont pour objectif majeur de réaliser un maximum de ventes, peu importe l'utilisation du produit une fois celui-ci vendu, les outils de la *demand response* revêtent une dimension supplémentaire : une réaction durable de la part du consommateur après l'achat, sous forme d'une baisse (temporaire) de la consommation. On entrevoit dès lors la nécessité absolue de mettre en place des phases d'expérimentation élaborées, qui permettent non pas de tester l'appétence du produit (de l'outil de *demand response*) mais sa possibilité d'intégration chez les clients résidentiels et les effets qu'il induit chez lui. Les pilotes de terrain, ou démonstrateurs, sont donc indispensables.

Ainsi, ces expérimentations permettent d'évaluer, tant sur le plan quantitatif (mesure) que qualitatif (description) les réactions se produisant au foyer sur un court, moyen ou long terme. Ces réactions étant précisément l'objectif des programmes de *demand response*, il apparaît évident que ce sont elles avant tout qui motivent le lancement du produit. Jusqu'alors, les pilotes de terrain sont la seule méthodologie capable de fournir une observation de ces réactions. En effet, toute enquête, tout questionnaire, toute simulation, toute analyse *trade-off* présente l'inconvénient de ne pas impliquer le sujet dans un comportement réel et de ne pas apporter de conséquence (bénéfique ou non) à chaque choix réalisé par les sujets. De même, la complexité des comportements de consommation est difficilement modélisable du fait d'une mixtion de variables endogènes et exogènes, de paramètres individuels et sociaux.

Les pilotes de terrain peuvent donc permettre aux compagnies de construire d'une part une analyse quantitative des effets d'un outil de *demand response*. Quelle est la réduction de consommation constatée durant les heures de pointe ? Quelle est la réduction de consommation globale observée ? Quelle quantité est consommée par des comportements de report ? Quelle est la courbe de charge induite par le mécanisme incitatif ? Combien de temps persistent les effets du mécanisme ? Quelle économie est constatée, ou nécessaire, sur la période de facturation, pour satisfaire les clients ? Le pilote de terrain peut potentiellement fournir une réponse à ces questions. De même, il peut permettre de chiffrer le coût de déploiement d'une offre, les bénéfices espérés pour la compagnie¹⁴⁵. Les constatations qualitatives autour d'un pilote de terrain répondent d'une autre part à de nombreuses problématiques qualitatives. Quel est le ressenti des clients face à l'outil incitatif ? Quelles sont les modifications induites dans la routine du foyer ? Quels usages sont coupés, reportés, conservés ? Quelles sont les besoins des consommateurs bénéficiant de l'outil incitatif ? Quelle est leur satisfaction ? Comment utilisent-ils l'outil ? Le comprennent-ils ? Nous avons pu observer un grand nombre de pilotes de terrain s'attachant à répondre à ce type d'interrogation, offrant des pistes d'exploration et d'amélioration des offres incitatives avant déploiement commercial.

Cependant, les pilotes de terrain ne semblent pas pour autant constituer une solution parfaite nous allons voir dans les sections suivantes de ce chapitre qu'elles constituent des expériences coûteuses en temps et en argent, aux résultats potentiellement biaisés, et variables peu contrôlées. Ainsi la transposabilité des résultats obtenus s'en trouve limitée. Est-il possible d'utiliser une autre discipline expérimentale pour analyser le comportement des clients résidentiels face aux outils incitatifs ?

5.2 La question de la transposabilité des résultats : Peut-on réutiliser les résultats des pilotes passés et internationaux ?

Au vue de la palette de pilotes développés à l'international, est-il justifié d'expérimenter à nouveau certains outils incitatifs encore et encore ? On ne constate que peu de réelle innovation

¹⁴⁵ Bien que la question de la valorisation des effacements soit encore un sujet brûlant et l'objet de nombreuses recherches.

tarifaire, de nos jours, de la part des compagnies électriques : les modèles présentés dans la section 2.1 de cette partie sont à la base de toutes les créations actuelles. Au gré des années les tendances évoluent, du TOU au CPP, guidées par le climat économique, écologique et politique¹⁴⁶. Pourtant, alors que les programmes de *demand response* se ressemblent, et que l'on constate souvent que les résultats obtenus dans ces programmes convergent vers de mêmes conclusions, les compagnies continuent de lancer des expérimentations de terrain, parfois extrêmement identiques à des expérimentations passées¹⁴⁷ ? Cette redondance est-elle nécessaire, ou bien peut-on l'éviter en considérant les expériences de *demand response* comme reproductibles et ne proposer que des tests totalement innovants, sur lesquels on ne dispose encore d'aucune conclusion ?

D'un point de vue purement scientifique, la reproductibilité d'une expérience est une des conditions qui permet d'inclure les observations réalisées durant cette expérience dans le processus d'amélioration perpétuelle des connaissances et de consolidation d'une théorie. Cette condition part du principe qu'on ne peut tirer de conclusions que d'un événement bien décrit, qui est apparu plusieurs fois, provoqué par des personnes différentes. La reproductibilité permet de s'affranchir d'effets aléatoires venant fausser les résultats ainsi que des erreurs de jugement de la part des scientifiques. Pour toutes les sciences expérimentales, les probabilités fournissent un modèle mathématique expliquant la variabilité des résultats.

Les pilotes de terrains sont-ils des expériences au sens scientifique du terme ? Peut-on imaginer que leurs résultats soient reproductibles (et donc réutilisables) auprès d'autres échantillons ? Divers facteurs liés au milieu d'implémentation semblent, à la base, avoir une influence directe sur les résultats d'un pilote de terrain, avant même de considérer toute possibilité d'extension des résultats à l'échelle d'une population.

5.2.1 Forte influence du contexte d'implémentation du pilote.

Dans le cas où l'on imagine reproduire à l'identique un premier de terrain, c'est-à-dire, utilisant les mêmes paramètres endogènes (outil incitatif employé, taille de l'échantillon, durée et période de l'expérimentation), il existe des facteurs qui impactent les résultats et dont l'influence pourra être fatale à toute tentative de confirmation des résultats, principalement dès lors qu'on se situe à une certaine distance spatiale et/ou temporelle du premier pilote. Dans cette section nous observons divers éléments à l'effet constaté, non seulement pour des pilotes, mais également pour des programmes de plus grande envergure.

¹⁴⁶ C'est le cas par exemple avec la politisation du débat autour de la tarification électrique en France, par exemple autour de la loi PS proposée par François Brottes en 2012, actuellement en cours d'examen (octobre 2012) par le sénat. Cette proposition de loi a mis en lumière un mode de tarification qui, il y a quelques années encore en France, n'était pas du tout discuté.

¹⁴⁷ Cette redondance est encore plus marquée si on observe les pilotes dédiés aux *displays* et autres *feedbacks*.

5.2.1.1 Climat : pics de consommation saisonniers.

Le climat est le premier élément évident pouvant influencer les résultats d'un pilote de terrain, tout simplement car c'est l'un des premiers éléments impactant la consommation électrique d'un pays. Nous n'évoquons pas là les variations de températures d'un jour à l'autre, mais le climat général de la région dans lequel le pilote est expérimenté. La plupart des pilotes sont différenciés selon le grand clivage été/hiver. Dans les pays à tendance chaude et à fort taux d'équipement en climatisation, les tarifications de pointe sont mises en place en été. A l'inverse, dans les régions plus tempérées où les hivers peuvent être rigoureux et où le chauffage électrique montre un fort taux de pénétration, les programmes de *demand response* sont actionnés majoritairement (et parfois uniquement, comme c'est le cas de Tempo en France) durant la période hivernale. De plus, lorsque le programme de *demand response* est en place toute l'année, dans des zones où les hivers peuvent être maussades et les étés très chauds, il a été montré que durant l'été, la demande est plus réactive qu'en hiver (l'élasticité – prix de l'électricité est plus grande) pour un même schéma incitatif : une même tarification implémentée ne fournira pas les mêmes résultats selon les saisons. On peut voir à ce titre les résultats des pilotes américains California StateWide Pilote (Herter K. et Weyland S. (2010)) ou encore Salt River Project (Arizona, voir A. Faruqui, S. Sergici, A. Sharif (2009.)) et Woodstock Hydro Pay-as-you-go program.

En France, les programmes de *demand response* lancés à l'échelle commerciale ne comportent pas de période d'effacement estivale. En effet la pénétration des appareils de climatisation reste très faible dans le secteur résidentiel Français. Le taux d'équipement des ménages est aux alentours de 5% (Source : Clim'info), et dispose donc virtuellement d'un énorme potentiel de croissance. Suite à la canicule de l'été 2003, les climatiseurs ont été considérés comme un moyen d'augmenter le confort ressenti lors de la saison estivale et de pallier les hausses subites de températures, néfastes pour les personnes fragiles. Les ventes d'équipements de climatisation ont augmenté d'environ 25% en 2004 puis ont repris un cours normal. Depuis le 1^{er} janvier 2010, des mesures fiscales¹⁴⁸ incitent en France à pratiquer des aménagements d'efficacités énergétiques dans le bâtiment (pose de stores, de doubles vitrages, etc.) plutôt que de s'équiper en climatiseurs. Nous pouvons donc estimer que la part de la consommation électrique résidentielle française dédiée à l'utilisation de climatisation restera très restreinte à court et moyen terme : le profil de consommation français (comme celui de beaucoup de pays européen) reste donc fondamentalement différent de celui des nombreux pilotes nord-américains.

Ainsi, deux programmes aux caractéristiques identiques peuvent obtenir des résultats différents dans des pays aux conditions climatiques différentes : par exemple, la multitude des expériences californiennes, basées sur un effacement réalisé majoritairement par des appareils de climatisation, ne permettra pas d'établir de solides hypothèses sur le comportement de clients français. Mais les conditions climatiques ne sont pas les seuls éléments de contexte pouvant s'avérer déterminants pour la réussite d'un programme de *demand response*.

¹⁴⁸ Passage de la TVA de 5,5% à 19,6% pour l'achat d'appareils de climatisation au 1^{er} janvier 2010. Le taux de 7% s'applique maintenant aux prestations fournies par une entreprise pour des travaux de pose dans des locaux à usage d'habitation achevés depuis plus de 2 ans. Source : <http://pme.service-public.fr/>

5.2.1.2 Culture : péninsules électriques et opinions engagées.

Facteur trop souvent oublié, le contexte culturel hébergeant les pilotes de terrain de la *demand response*, et plus généralement les programmes de *demand response*, a également une forte influence sur les résultats obtenus. Bien qu'il ne semble pas exister, à ce jour, d'étude comparative ou de programme développé à l'identique dans deux régions distinctes du point de vue culturel, des hypothèses qualitatives peuvent être énoncées à ce sujet.

5.2.1.2.1 Au niveau régional : des populations sensibilisées.

Les différences sont perceptibles à l'échelle même d'un pays. Ainsi, en France, EDF a développé en Bretagne un programme de *demand response* (sous la forme d'un délestage automatique et d'un signal d'effacement à domicile non rémunéré). La Bretagne fait partie des régions où l'approvisionnement électrique est le plus fragile en France (tout comme la région PACA et les Alpes Maritimes, également nommés « *péninsules électriques* »). La production électrique y est très faible (la production locale ne satisfaisant que 8% à 9,5% de la demande de la région)¹⁴⁹, d'une part, et d'autre part, le réseau de transport et de distribution y est encore trop peu développé au vu de la croissance démographique de la région. Les fluctuations rapides de la demande, notamment en hiver, imposent des quantités d'électricité mobilisables très rapidement. De plus l'électricité y est acheminée via un réseau trop peu dense et dont le maillage, peu étoffé (on parle d'une « autoroute » de l'électricité unique pour desservir toute la péninsule), implique des coupures importantes en cas de panne sur une ligne importante. Ainsi, en cas de surcharge du côté de la demande, la Bretagne peut connaître des épisodes de *blackout*. Il est donc tout naturel que la question de la *demand response* y soit abordée, afin de minimiser ces risques, en obtenant une réactivité rapide de la demande, lors des pointes de consommation. ERDF, EDF et RTE ont mis en place des programmes spécifiques en Bretagne : ils s'appellent *Ecowatt Breizh*¹⁵⁰, *Une Bretagne d'Avance*¹⁵¹, et ont pour but de réaliser des délestages automatiques et des effacements chez des clients (résidentiels, tertiaires ou industriels) volontaires. Les observations sont très positives et l'engagement est indéniable. Ainsi, le projet Ecowatt lancé lors de l'hiver 2008-2009 et qui repose uniquement sur la mobilisation citoyenne et des messages d'alerte relayés par mail, SMS, applications smartphone, téléphone, a obtenu jusqu'à 2,5% de réduction¹⁵² de la consommation globale bretonne aux plus grandes heures de pointe, réalisés par quelques 45000 foyers bretons abonnés aux alertes Ecowatt. Ce résultat est particulièrement intéressant, lorsqu'on sait que des programmes proposant une rétribution financière n'obtiennent parfois aucune réduction de

¹⁴⁹ Les données présentées ici au sujet de la Bretagne sont disponibles sur <http://www.bretagne-environnement.org> et <http://www.lefigaro.fr/conso/2009/12/15/05007-20091215ARTFIG00483-risque-de-black-out-electrique-en-bretagne-et-en-paca-.php>

¹⁵⁰ Projet ERDF, RTE et Ademe : <http://www.ecowatt-bretagne.fr/>

¹⁵¹ Projet EDF : <http://www.unebretagnedavance.fr/>

¹⁵² Source : communiqués RTE.

consommation. Cet engagement est attribué à l'intégration du concept, voire même du vécu du blackout électrique dans l'esprit des citoyens bretons. Les abonnés du programme se sentent à la fois concernés et acteurs de leur propre confort, solidaires envers les habitants de la région. Ils sont, en un mot, conscients de l'effet concret d'une surcharge électrique, ce qui les rend plus sensibles aux signaux d'alertes relayés par le programme. Le ressenti, de manière qualitative, est extrêmement positif. De plus, Ecowatt est basé sur les médias modernes, et utilise la tendance actuelle des réseaux sociaux (Facebook, Twitter, forums de discussion) pour renforcer le sentiment d'appartenance à un groupe de citoyens actifs et engagés, ce qui, nous le verrons plus bas, est extrêmement important dans le déploiement d'un pilote ou d'un programme de *demand response*.

D'autres exemples sont là pour illustrer la grande réactivité des populations concernées par un blackout : c'est le cas par exemple de la Californie (dans une certaine mesure, d'autres facteurs venant parfois entraver les résultats des pilotes), ou en dans la ville de Juneau (Alaska) en 2008, à la suite de la destruction d'une ligne de transmission électrique majeure (voir Leighty W., Meier A. (2011)), et dont le cas a déjà été évoqué en section 4.1.1.1. Ces régions ayant déjà connu des situations de crises électriques, ainsi que celles dont la population est consciente des risques pour en avoir déjà subi les conséquences, sont particulièrement réactives aux outils incitatifs, et ce, même sans incitation d'ordre financier : la crainte d'un nouveau blackout, qu'elle se manifeste par un engagement individuel ou collectif, semble être suffisamment forte pour impliquer les clients.

5.2.1.2.2 *Au niveau national : engagement écologique et relations client-fournisseur conflictuelles.*

Les différences de sensibilité aux pilotes (et programmes) de *demand response* ne sont pas seulement régionales. En effet, deux éléments ancrés dans la culture collective des pays entrent également en compte.

Tout d'abord, la sensibilité écologique générale du pays a une influence sur les efforts de la population en termes de sobriété électrique. Les pays scandinaves, pionniers du mouvement écologiste en Europe dès les années 1960, sont actuellement considérés par divers classements, comme étant les pays les plus (ou parmi les plus) fortement dotés d'une empreinte écologique au monde. A titre d'exemple, 98% de l'électricité utilisée en Norvège provient d'une production hydraulique¹⁵³ (alors que le pays dispose de ressources pétrolières). Mais le comportement écologique des pays scandinave est loin de se limiter aux moyens de production : l'écologie y est un mode de vie. Efficacité énergétique, villes durables, transports propres, équipements ménagers « intelligents » : les efforts consentis sont énormes et novateurs. C'est donc sans surprise que nous avons constaté, en section 2.2.1.1, que bon nombre des premiers pilotes européens de *demand response* sous forme de feedbacks y ont été lancés, et y ont, pour certains, obtenu de très bons résultats.

Ensuite, la relation qu'entretiennent les fournisseurs d'électricité du pays avec leur client semble impacter les résultats des programmes de *demand response*. En Grande Bretagne, où les

¹⁵³ Source : International Energy Agency, <http://www.iea.org>

fournisseurs d'électricité ont une image relativement négative auprès de la population¹⁵⁴, le taux de *shifting* (changement de fournisseur d'électricité) est élevé entre les 6 fournisseurs principaux¹⁵⁵, et ces derniers ne sont pas perçus comme des partenaires bienveillants du quotidien mais davantage comme des pourvoyeurs de factures salées. De même, en Californie, ce sentiment existe. C'est par ces considérations qualitatives que les organisateurs des programmes de *demand response* expliquent parfois les échecs de leurs expériences, ou le faible taux d'engagement. La crainte d'une escroquerie, d'une augmentation des prix, de l'utilisation des données privées récoltées lors des pilotes, freine leur déroulement. De plus, le fort taux de *shifting* peut poser de gros problèmes au moment de l'analyse statistique des données d'un pilote de terrain, dans le cas où un grand nombre de participants ont changé de fournisseur sur la durée du pilote, et donc quitté l'expérience en cours de route, comme ça a été le cas pour le projet EDRP (voir section 3.1 de cette partie).

En France, l'opinion de la population au sujet du fournisseur principal d'électricité, EDF, est globalement bonne. La compagnie bénéficie de son image persistante de fournisseur historique, et ce malgré la libéralisation des marchés électriques pour les particuliers. Les intentions de *shifting* sont faibles (les clients ignorant l'existence d'autres compagnies sont encore nombreux) et les projets de *smart grid* disposent d'une opinion favorable¹⁵⁶. Cependant, les augmentations du prix de l'électricité récentes et celles prévues ont tendance à écorner cette image. Le terrain français est favorable, mais peut être plus pour longtemps.

5.2.1.3 Technologies.

Au – delà des considérations climatiques et culturelle, l'équipement global de la zone concernée par un programme de *demand response* impacte également ses résultats. Bien que certains programmes soient destinés à des populations spécifiques (par exemple les foyers équipés d'un chauffage électrique), il convient de signaler ce facteur important.

Ainsi, la multitude des programmes californiens a mis en évidence une réactivité bien supérieure des foyers disposant d'un appareil de climatisation aux signaux d'effacement. De même, en France par exemple, les foyers dotés d'un chauffage tout électrique semblent plus facilement fournir un effacement conséquent. Cette spécificité est simple : la climatisation, tout comme le chauffage électrique, sont des appareils dont l'usage peut être non seulement reporté, mais également anticipé. On parle de *pre-cooling* ou de préchauffage des foyers, dans les heures qui précèdent une période d'effacement. De plus, ce sont les appareils les plus facilement automatisables dans le cadre d'un programme comportant du pilotage de charge automatisé. Ainsi, la France, 31% des logements sont équipés de chauffage électrique, et 80% des logements neufs le sont¹⁵⁷, ce qui constitue un énorme réservoir potentiel d'effacement. Notre pays a été précurseur en

¹⁵⁴ Source : EDF Energy

¹⁵⁵ E.ON, EDF Energy, IBERDROLA, Scottish Power, RWE et Centrica.

¹⁵⁶ Source : Le regard des Français sur la consommation électrique et les compteurs électriques évolués. Les principaux enseignements. Septembre 2009. Sondage IFOP pour la CRE.

¹⁵⁷ Source : ADEME.

termes d'automatisation des appareils électriques, en proposant, via le compteur électronique « bleu » un pilotage direct des chauffe-eau à ballon d'eau chaude couplé au tarif TOU Heures Creuses, très populaire comme nous l'avons vu en section 1.2.3.1.

Enfin, le déploiement des *smart meters* (*roll out*) aujourd'hui lancé dans toute l'Europe et parfois terminé dans certains pays (comme l'Italie), est un catalyseur de la finesse et donc de la pertinence des offres de *demand response*. En effet, ils permettent non seulement un relevé de comptage très précis (avec des pas de temps parfois réduits à quelques minutes offrant un descriptif précis des courbes de charge), mais également parfois une communication bidirectionnelle entre le client et son fournisseur d'électricité, ce qui permet, avec l'utilisation d'une interface appropriée à l'aval, de transmettre les signaux et informations nécessaires au déclenchement de l'effacement. Cette action est cependant conditionnée par le choix du bon modèle de *smart meter*, ce qui nécessite une grande réflexion commune des pouvoirs publics, organismes de régulation, fournisseurs et distributeurs d'électricité.

5.2.1.4 Encadrement.

Enfin, lorsque l'on cherche à comparer les résultats de différents pilotes de terrain, il est un élément qui fait souvent défaut dans les rapports publiés par les auteurs spécialisés, les compagnies ou les organismes de régulation : l'encadrement proposé aux participants tout au long du programme. Il semble peu pertinent de comparer des statistiques et des taux de réduction de consommation de pilotes dont on ignore tout du suivi des participants. Les comparatifs établis par nos soins nous ont montré l'importance de cet encadrement. En effet, si la communication de la compagnie responsable du pilote vers les participants est trop faible, certains en viennent jusqu'à oublier leur participation à ce dernier ! De manière générale, plus l'interaction avec l'organisateur est forte, plus les résultats sont probants. Cette communication doit cependant ne pas être trop intrusive ni chronophage, pour ne pas rebuter les participants souvent peu enclins à consacrer du temps et de la concentration à leur niveau de consommation électrique. La communication peut se faire par courrier, via des sites internet, par SMS ou par mail. Les messages courts, clairs et ne nécessitant pas de recherche active d'information de la part des participants (donc, à l'exclusion des sites internet) sont une garantie de lecture plus forte, s'ils restent occasionnels.

Au-delà du maintien du contact entre le client participant à un pilote et celui qui l'organise, l'encadrement pédagogique du projet (appelé également « éducation » dans certains pilotes) nous a semblé important. Il arrive que les participants se voient attribuer un appareil de feedback direct, sans explication claire de l'utilisation à en faire pour réellement réaliser des économies d'énergie, ou seulement sous forme de quelques conseils d'efficacité énergétique : l'appareil de feedback est souvent délaissé au-delà de son aspect de « gadget électronique ». A l'inverse, des participants auxquels on a appris à tirer profit des informations récoltées pour réduire concrètement, au quotidien, leurs consommations, montreront un intérêt plus fort et plus durable, pour des résultats plus éloquentes. De même, lorsqu'on propose une grille tarifaire à un participant dans le cadre d'un pilote tarifaire (TOU, CPP, PTR...), il convient de lui fournir une explication sur la manière dont il peut, de son point de vue, tirer profit de l'expérience. Des éléments qui peuvent apparaître évidents aux

concepteurs du programme (comme le *pre-cooling* ou le préchauffage, par exemple), ne le sont pas forcément pour le client lambda. Clarifier les croyances et améliorer les connaissances des participants sans alourdir leur charge mentale, leurs tracas, leurs réflexions au quotidien, semble garantir de meilleurs résultats, quel que soit la typologie de l'outil incitatif évalué par le pilote.

Ainsi, comparer les résultats de deux pilotes dont nous n'avons pas une connaissance précise des communiqués réalisés aux participants, et, à fortiori, extrapoler et transposer ses résultats dans un autre cadre éducationnel semble peu pertinent.

Au vu de ces facteurs impactant les résultats, il apparaît clair que dans le cas des pilotes expérimentaux de *demand response*, la reproductibilité des expérimentations n'est pas toujours au rendez-vous. Les modèles statistiques élaborés par les chercheurs pour valider les résultats n'ont pour envergure que le pilote étudié et aucun n'a été mis en place dans le but de généraliser des conclusions à plus large échelle. L'étude des pilotes récents que nous avons menée démontre l'étendue des paramètres qui interviennent de manière peu prévisible dans la réponse de la demande aux incitations mises en place. Certains de ces paramètres, comme le contexte culturel, l'innovation technologique, le gap entre volonté d'agir et action concrète des participants, ne sont absolument pas contrôlables par l'expérimentateur. Il nous paraît donc impossible de considérer comme généralisables les conclusions tirées des pilotes réalisés à l'international, ni même celles issues des programmes français passés. L'évaluation des effets d'outils de *demand response* s'inscrit dans une dynamique actuelle spécifique à chaque pays, voire même à chaque segment de population, et doit être réalisée sur le terrain où ils visent à être déployés à échelle commerciale, pour éviter toute erreur de design d'offre future qui serait préjudiciable aux compagnies comme à la société.

Si on ne peut considérer comme étant généralisables les conclusions précises des pilotes internationaux, il serait cependant contre-productif de ne pas consulter les grandes tendances de résultats qu'ils font émerger pour calibrer au mieux les outils testés dans pilotes futurs. Des tentatives d'extrapolation et de transposition des résultats sous forme d'élasticité – prix ont cependant été réalisées et utilisées, c'est le cas par exemple du logiciel PRISM, que nous évoquons dans la section suivante.

5.2.2 Utilisation des élasticités-prix : l'exemple de PRISM.

Le logiciel PRISM (**PR**icing **I**mpact **S**imulation **M**odel), développé par The Brattle Group¹⁵⁸ dans le but de simuler et d'évaluer les effacements réalisés dans le cadre de pilotes de tarification dynamique résidentiels. Il comporte deux parties. Le premier module, qui nous intéresse particulièrement dans cette section, est destiné à estimer les effacements et reports de

¹⁵⁸ The Brattle Group est un cabinet de consulting basé en Europe et aux Etats-Unis, dont un groupe d'experts est spécialisé sur la question des marchés électrique, les *smart grids* et la *demand response*. Le Dr Ahmad Faruqi, à la bibliographie particulièrement étendue sur le sujet de l'analyse des pilotes de *demand response*, appartient à la filiale californienne de ce cabinet. <http://www.brattle.com/>

consommation potentiels réalisables par une population donnée avec un tarif de type CPP¹⁵⁹, et est basé sur des calculs liés à l'élasticité-prix et l'élasticité de substitution de l'électricité. Le second module réalise quant à lui une évaluation des bénéfices issus du programme de *demand response*, que ce soit au niveau du producteur, du commercialisateur et du consommateur final. Ces calculs permettent notamment une analyse cout-bénéfice de tout programme de *demand response*. Une analyse complète est détaillée par Faruqui A. & Wood L. (2008).

Le logiciel PRISM a été réalisé sur la base des données collectées lors d'un premier pilote, le Statewide Pricing Pilote (SPP) californien, réalisé en 2005¹⁶⁰ sur un échantillon de clientèle issu de trois compagnies électriques majeures en Californie (PG&E, SDG&E and SCE¹⁶¹). Ces données ont permis la construction du modèle de calcul d'effacements de consommation, en prenant en compte différentes variables déjà évoquées et le niveau de tarification souhaité. Il a ensuite été adapté à un autre contexte, celui de la région de Baltimore, en utilisant les données issues d'un pilote réalisé par BGE¹⁶² : ce programme détiendrait-il l'une des clefs de la transposabilité des résultats d'un pilote de terrain ?

Dans cette section, nous allons observer plus en détail le fonctionnement du module d'évaluation d'effacements de PRISM (sans pour autant présenter le modèle mathématique sous-jacent et ses équations), afin de comprendre quelles en sont le potentiel et les limites.

5.2.2.1 *Fonctionnements et limites de PRISM.*

Afin de comprendre comment PRISM calcule les effacements potentiels de la clientèle résidentielle pour un schéma tarifaire donné, nous observons les variables fournies en entrée et en sortie de l'application, lesquels ont été choisies respectivement pour leur impact certain sur la consommation électrique à un moment donné, et sur les conséquences d'une inflexion de la demande à ce même moment.

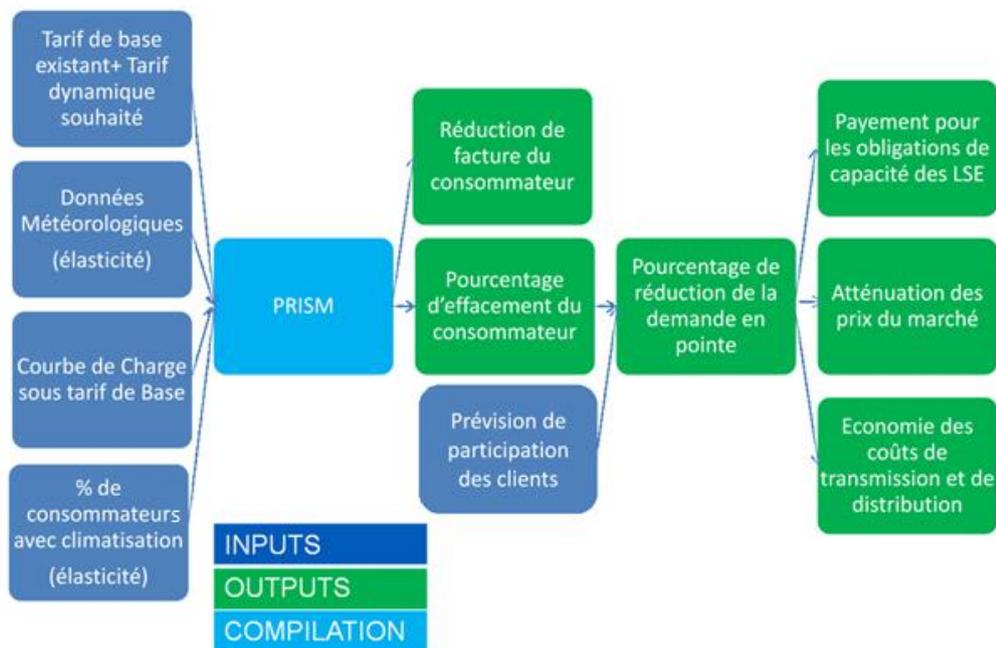
¹⁵⁹ La tarification CPP est ici considérée comme étant

- Au quotidien, de type TOU, avec une plage d'heures pleines en opposition au reste de la journée en heures creuses
- Lors des jours de pointe, un tarif TOU spécifique (heures creuses et pleines également) vient remplacer le schéma heures creuses/heures pleines habituel, avec des tarifs en heures pleines plus élevés.

¹⁶⁰ Voir à ce sujet le rapport complet réalisé par le cabinet de consulting Charles River Associate, et particulièrement par le Dr Ahmad Faruqui lui-même, qui y a travaillé jusqu'en 2006 avant d'intégrer The Brattle Group : Impact Evaluation of the California Statewide Pricing Pilot, 16 mai 2005. Rapport disponible en ligne : http://sites.energetics.com/madri/toolbox/pdfs/pricing/cra_2005_impact_eval_ca_pricing_pilot.pdf

¹⁶¹ Respectivement : Pacific Gas & Electricity ; San Diego Gas & Electricity ; Southern California Edison.

¹⁶² Baltimore Gas & Electricity.



Graphique présentant la structure des variables en entrée et sortie du module d'évaluation du logiciel PRISM. Graphique proposé en note interne EDF R&D (2010).

Les variables fournies en entrée de l'application (input) sont les suivantes :

- La courbe de charge de référence des clients, sous une tarification de type Base (prix unique à tout moment). Les courbes de charge des jours « non pointe » et les courbes de charge des jours de pointe sont différenciées.
- La nouvelle structure tarifaire : Prix du kWh en heures pleines ; prix du kWh en heures pleines les jours de pointe, et l'ancien tarif de base ; le nombre d'heures pleines et creuses en jours critiques et non critiques par mois.
- La proportion de foyers de l'échantillon dotés d'un système de climatisation¹⁶³.
- Les élasticités-prix de l'électricité de la zone concernée en jour critique et non critique, intégrant des variables liées à la température et au matériel du consommateur. Ces élasticités sont calculées à partir des données des pilotes de terrain (SPP ou pilote BGE).
- En input secondaire, une estimation du taux de participation de la clientèle totale permettra de réaliser une transposition des résultats à plus grande échelle et d'évaluer la réduction de la demande globale envisageable.

Les résultats retrouvés et utilisés à la sortie de l'application (input) sont les suivants :

¹⁶³ On retrouve ici cette spécificité californienne énoncée dans la section précédente.

- Une estimation des effacements des clients durant les heures pleines (jour de pointe et jour critique), selon l'équipement du foyer en appareils énergivores.
- L'économie réalisée par les clients résidentiels sur leur facture électrique.

Puis, en aval, avec l'adjonction de l'estimation du taux de participation global de la population :

- La réduction de la demande globale lors des heures de pointe (jour critique et non critique)
- Le calcul des gains issus de la valorisation des effacements pour la compagnie électrique.

Pour fonctionner, le cœur du logiciel nécessite donc de compiler les données d'élasticités de la demande électrique en fonction du prix, de la température et des appareils électriques énergivores (ici la climatisation) des foyers. Ces données proviennent, pour les applications connues de PRISM, de l'un ou l'autre des pilotes évoquées : il a été mis en évidence que ces données sont par nature *régionales*¹⁶⁴ et nécessitent une mise à jour lorsque le logiciel est utilisé dans une autre *région*. Nous verrons dans quelles mesures cette transposabilité est possible.

Malgré une étude précise des variables impactant le niveau de consommation électrique des foyers résidentiels et la construction d'un modèle mathématique précis, même appliqué à une seule région de laquelle proviennent les données d'élasticité, le logiciel PRISM comporte, dans sa version connue, quelques lacunes qu'il conviendrait de combler pour offrir une solution plus fiable.

Tout d'abord, le calcul des élasticités-prix de l'électricité semble simplifié à son extrême. Ainsi, pour le pilote SPP dont les résultats alimentèrent PRISM dans un premier temps, les élasticités ont été calculées à partir de seulement 2 niveaux tarifaires de pointe différents. Or, on sait que l'élasticité-prix de l'électricité n'est pas linéaire, comme le montrent par exemple A. Faruqui, R. Hledik, S. Sergici (2010). Même en prenant en compte la non-linéarité des élasticité-prix, et leur dispersion parmi les foyers (voir section 4.2.1.1 de cette partie), il apparaît difficile de calibrer une courbe d'élasticités-prix valable pour toute une gamme de tarifs.

De plus, le modèle proposé ne prend pas en compte le jour de la semaine où intervient le signal de pointe critique, ni la périodicité de ces jours de pointe ou leur caractère consécutif, des facteurs qui, nous l'avons vu, ont un impact direct sur les efforts consentis par les consommateurs résidentiels. Dans le même esprit, le modèle n'intègre pas les effets de bord potentiels des tarifications dynamiques : les rebonds de consommation observés dans les instants suivant la fin des périodes de pointe ou des heures pleines ne sont pas considérés, de même que les phénomènes de report d'un jour sur l'autre de l'utilisation des appareils électriques. L'encadrement du pilote et l'éducation des participants n'est pas non plus prise en compte.

Enfin, il est important de remarquer que PRISM ne promet des résultats que pour les tarifications construites sur le modèle de celle proposée dans le pilote SPP : une base heure creuse/heure pleine, et des jours de pointe. Un tarif plus élaboré, comme l'offre TEMPO, n'entre pas dans ce cadre.

¹⁶⁴ Le terme de région est ici pris au sens géographique et non nécessairement géopolitique du terme. C'est particulièrement vrai dans le cas d'un pays étendu et morcelé comme les Etats-Unis.

Ces imperfections nous amènent à nous poser la question de la validité des résultats proposés par PRISM et de leur transposabilité vers d'autres régions.

5.2.2.2 *Validité et Transposabilité de PRISM à une population ou d'autres régions.*

La question de la pertinence du calcul d'une élasticité pour déterminer l'efficacité d'un programme de *demand response* est sous-jacente à celle de la validité de PRISM : est-ce un indicateur fiable? Peut-on réellement comparer des élasticités?

Tout d'abord se pose la question de savoir sur quelle période est calculée l'élasticité, c'est-à-dire, avec quel intervalle mesure-t-on la demande en électricité avant et après modification du tarif. En effet la réponse du consommateur peut se faire de différentes manières. Il peut dans un premier temps réduire sa consommation, tenter de modifier ses habitudes pour consommer moins, éteindre des appareils qui ne lui sont pas réellement utiles... il s'agira de réponse à court terme à la modification de prix et sera mesurée dans un calcul d'élasticité effectué peu après le changement tarifaire. Dans un second temps, le consommateur pourra par exemple remplacer son équipement domestique pour une plus grande efficacité électrique. Ce type d'investissement en réponse aux incitations tarifaires peut être envisagé durant les années qui suivent la modification des tarifs : il s'agira dans ce cas d'une réponse à long terme. Par ailleurs il n'est pas impossible qu'après un certain effet d'annonce des mesures tarifaires, l'ampleur de la baisse de la consommation ne s'affaiblisse par usure de la motivation.

Un calcul d'élasticité effectué dans les mois qui suivent le lancement d'un programme incitatif ne prend donc pas forcément en compte toute l'ampleur de la réponse des consommateurs. C'est pourquoi on parle parfois d'élasticité à long terme en comparaison à l'élasticité à court terme. Il est admis qu'en règle générale l'élasticité à long terme est plus forte en valeur absolue que l'élasticité à court terme.

Enfin, l'élasticité n'est en général pas une constante et dépend de la valeur absolue des prix de départ et d'arrivée : elle n'est pas linéaire, comme nous l'avons évoqué ci-dessus.

Il apparaît donc risqué de comparer les élasticités issues de divers programmes expérimentaux. La durée du programme, la taille des échantillons de population testés, les conditions météorologiques, les données de base utilisées pour effectuer le calcul sont des facteurs extrêmement influents quant aux résultats obtenus en termes d'élasticités. Le logiciel PRISM prend en compte certains de ces paramètres, mais pas tous. Or, pour maintenir une certaine pertinence à l'analyse et la comparaison de différents programmes, il convient de toujours situer chaque programme dans le contexte qui lui est propre afin de parvenir à établir un lien entre ce dernier et les différences de résultats observées.

Ensuite, se pose la question de la transposabilité des résultats vers d'autres régions d'un pays ou du globe : PRISM est adaptable si et seulement si on dispose des élasticités-prix associées à ces nouvelles régions, calibrées selon les spécificités du modèle (et donc répondant aux mêmes critères de tarification de base, d'heures creuses, pleines et de pointe).

Comme nous l'avons vu, au-delà du contexte météorologique, le contexte politique, culturel et technologique (le chauffage électrique influence-t-il l'élasticité de la même manière que la climatisation ?) d'un pays ou d'une région impactent les réductions de consommation consenties par les clients. PRISM a pu être adapté à Baltimore, mais qu'en serait-il dans le cas d'un pilote français ? Si le modèle PRISM est adaptable, il y a nécessité absolue de modifier tous les paramètres et de nombreuses variables, ce qui n'est pas toujours possible au vu des données disponibles. Dépendamment de la façon avec laquelle ce programme sera développé, PRISM peut être un bon outil de prévision des effacements de consommation en période pleine. Par contre il reste dans l'état actuel, un mauvais outil de prévision des reports de consommation. Essentiellement parce qu'il ne tient pas compte de l'historique des jours précédents.

Enfin, PRISM affirme pouvoir calculer les résultats de tarifications construites sous la forme de bonus (*Peak time rebate* ou PTR). Les bonus y sont modélisés sous la forme d'un coût d'opportunité pour le client. Or, nous avons vu que même pour des tarifications CPP et PTR construites de manière symétriques, le comportement induit chez les consommateurs n'est, lui, pas identique. Les réductions de consommation consenties par les clients face à des bonus est parfois qualifié de plus aléatoire : il semble osé d'affirmer pouvoir utiliser les mêmes modèles de calcul et élasticité – prix pour des tarifications de type CPP et PTR.

L'étude de cette unique application connue prétendant utiliser les résultats d'un pilote pour les étendre à une population et ayant l'ambition de calculer des réductions de la demande consécutives à la mise en place d'une tarification dynamique chez les clients résidentiels nous montre que malgré un modèle économétrique poussé et intégrant les variables majeures de la consommation électrique, chaque pays, chaque région, semble réclamer son analyse ad-hoc. De plus, l'utilisation des élasticité-prix pour étendre les résultats d'un pilote à une population paraît plutôt minimaliste, surtout lorsque l'on connaît la dispersion de ces élasticités parmi la clientèle, et la non prise en compte par le modèle d'une segmentation de la population.

Peut-on, d'une manière ou d'une autre, estimer étendre les résultats d'un pilote à un segment, voir à l'ensemble d'une clientèle ?

5.2.3 Etendre les résultats d'un pilote à l'échelle d'une population : une utopie ?

Nous avons vu que l'utilisation des résultats d'un pilote en termes d'élasticités-prix n'était pas évidente, et que les tentatives connues d'exportation des données des expérimentations n'étaient pas des plus fiables, principalement pour des raisons contextuelles. La question de savoir si les pilotes fournissent des résultats simplement utilisables à l'échelle de la zone dans laquelle ils se déroulent est alors soulevée : quelles sont les limites de cette méthodologie expérimentale ?

5.2.3.1 Les participants aux pilotes : des volontaires non représentatifs d'une population réelle.

Dans toute analyse statistique basée sur l'étude d'un échantillon de la population, la question de la représentativité de l'échantillon est posée. Dans le cadre des sondages d'opinion, par exemple lors d'une tentative de prévision des résultats d'une élection, plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour tenter de fournir un échantillon représentatif. Des méthodes probabilistes consistent à tirer les individus au hasard dans la population observée. Sous réserve d'un échantillon suffisamment grand, on peut supposer que le groupe prélevé sera représentatif. D'autres méthodes dites non probabilistes existent lorsqu'on connaît la composition de la population ou du groupe qui sera concerné par l'enquête. Elles consistent à reconstruire cette fois-ci un échantillon à l'image du segment de la population souhaité, en sélectionnant les participants sur des critères précis.

Dans le cas des pilotes de terrain pour les programmes de *demand response*, il n'est pas correct de parler d'un choix totalement probabiliste. Deux options majeures coexistent (y compris au sein même d'une même compagnie, comme c'est le cas pour EDF):

- Soit l'entreprise dispose d'un panel de clients volontaires (et rémunérés), pour lesquelles tout un ensemble de données sont régulièrement collectées (données sociodémographiques et de comptage électrique)
- Soit un recrutement de participants est effectué spécifiquement pour le pilote de terrain, le plus souvent par entretien téléphonique, depuis les listings de clients de l'entreprise. D'après les entretiens que nous avons pu avoir avec les organisateurs de pilotes de terrain, et les résultats (trop rarement) affichés dans les rapports de résultats des pilotes, nous constatons un taux de retour positif moyen avoisinant les 9% (clients acceptant de prendre part au pilote ; ce taux dépendant du type d'outil incitatif testé et, nous le supposons, du texte d'accroche utilisé, le manque de données à ce sujet nous empêchant de déterminer les mots accrochants).

Quoi qu'il en soit, la quasi-totalité des pilotes de terrain basent donc le recrutement des participants de leurs pilotes de *demand response* sur le volontariat. Chacun est libre, d'une part, d'accepter de participer au pilote, et d'autre part, de le quitter sans dommage financier durant le déroulement de l'expérimentation. Cette caractéristique des pilotes nous incite à penser que le recrutement n'est pas une manière représentative d'observer une population. En effet, les clients acceptant de participer ne sont pas forcément les clients « lambda ». Ils peuvent être des early adopters, des personnes soucieuses de l'environnement (lorsque l'impact écologique est utilisé comme argument), les foyers à forte consommation électriques... De même, des personnes peu présentes à leur domicile ou méfiantes auront moins de facilité à permettre des interventions techniques à leur domicile. Bien que nous n'ayons pas de résultat fiable à ce sujet, des entretiens avec des organisateurs de pilotes de terrains nous permettent d'émettre la supposition que, dans le cas de la construction d'échantillon, les segments les plus facilement construits sont ceux des foyers à haut niveau d'éducation, écologistes convaincus, et les familles.

Certains programmes (par exemple EcoWatt évoqué plus haut), bien qu'ils soient à mi-chemin entre le pilote de terrain et le programme à taille réelle, sont directement basés sur un

volontariat total, c'est-à-dire que les participants s'inscrivent d'eux-mêmes sans intervention extérieure.

De là à penser que les participants, du fait de leur disponibilité et de leur acceptation du programme de *demand response*, seront plus à même de réaliser des efforts durant le pilote de terrain, il n'y a qu'un pas. Aucune étude quantitative n'a été réalisée à ce jour pour confirmer cette hypothèse.

Cependant, une remarque vient atténuer cette imperfection des pilotes de terrain. Avant de fustiger le manque de représentativité des expérimentations, il convient de connaître quel est le public visé par la potentielle offre commerciale en cours de développement. En effet, y a-t-il besoin d'une étude portée sur un échantillon représentatif de la population globale lorsqu'on construit une offre destinée à un segment seulement de la population ? Doit-on s'inquiéter d'une participation volontaire des sujets du pilote lorsque l'offre à grande échelle sera elle-même proposée sur le principe *opt-in*¹⁶⁵ et non par défaut ?

La réponse, qui n'est pas l'objectif même de cette thèse, dépasse largement le cadre de la commercialisation d'offres et d'outils de la *demand response*. Nous ne tenterons pas de résoudre cette question, et, sous réserve de la prise en considération des modalités de souscriptions futures au programme de *demand response*, nous conserverons à l'idée la possibilité d'une non représentativité de l'échantillon étudié comme une limite potentielle des pilotes de terrain.

5.2.3.2 « Chaque foyer est un prototype »

Bien que les pilotes de terrain soient indispensables pour évaluer la faisabilité technique des programmes de *demand response*, principalement lorsqu'ils impliquent des installations matérielles (appareils de *display*, interfaces TV, compteurs intelligents (*smart meters*) ...), il convient de ne pas oublier qu'il s'agit encore souvent de test à petite échelle, sur un panel restreint de la clientèle. A ce niveau, les techniciens prenant part à l'expérimentation sont extrêmement disponibles et à même de passer du temps chez chaque personne, et ce pour deux raisons majeures. Tout d'abord, c'est justement parce que les échantillons sont de taille restreinte qu'ils permettent une personnalisation des interventions et ajustements technologiques. Ensuite, le caractère exceptionnel du lancement d'un pilote, son coût et la nécessité de résultats, impliquent une certaine tendance à chercher toutes les solutions possibles pour garantir le fonctionnement des outils incitatifs chez la totalité des sujets de l'échantillon, quitte à leur consacrer beaucoup de temps : chaque foyer est un prototype dans lequel il convient de faire fonctionner l'outil incitatif.

Malgré l'augmentation générale de la taille des échantillons de clients des pilotes de terrain, l'évaluation de la faisabilité technique d'un programme de *demand response* par ces derniers ne constitue donc qu'une étape de son déploiement.

¹⁶⁵ Une offre est dite *opt-in* lorsque sa souscription est basée sur la décision volontaire du client de passer de son offre actuelle à cette nouvelle offre, ou lorsqu'il décide lui-même de faire le geste d'adopter un outil incitatif. A l'inverse, une offre ou un programme *opt-out* est appliquée par défaut à tous les clients, lesquels peuvent décider de la quitter pour revenir à une offre normale.

5.2.3.3 Encadrement des participants impossible à reproduire à grande échelle.

Au-delà de l'accompagnement technique qui est propre aux pilotes de terrain, l'encadrement général proposé à leurs participants est beaucoup plus fort que celui qui serait celui d'une offre commerciale. Les participants peuvent la plupart du temps contacter une assistance téléphonique, reçoivent des informations et feedbacks au sujet du pilote... Leurs questions ne doivent pas rester sans réponse, car la compréhension du principe du pilote est parfois primordiale pour sa réussite. De même, les questions posées par les clients de l'échantillon testé permettent d'améliorer le design de l'outil incitatif. Dans le cas de certains pilotes d'échelle réduite, les organisateurs se déplacent parfois au domicile des clients, et une assistance technique est disponible. De même, les multiples questionnaires qui accompagnent parfois le pilote tout au long de son déroulement (avant l'installation de l'outil incitatif, pendant le déroulement du pilote à intervalle réguliers, après la fin de l'expérimentation...) renforcent le sentiment d'un encadrement fort des participants.

Ce sentiment d'encadrement, et, plus généralement, la conscience qu'ont les participants de se savoir observés, est également une problématique connue dans le monde de l'expérimentation et des enquêtes dont les sujets sont des êtres humains : c'est notamment le fameux Hawthorne Effect, mis en évidence par E. Mayo à la suite d'une étude réalisée entre 1926 et 1927. Mayo a réussi à mettre en évidence chez les ouvrières d'une usine d'assemblage que le fait d'avoir été associées aux objectifs d'une expérience scientifique, d'avoir été intégrées à un groupe dans ce même but, a eu un effet bénéfique sur la productivité des employées, au-delà des conditions matérielles de travail. Bien que ses travaux au sein de l'usine aient été décriés par les chercheurs contemporains (List J. et Levitt S. (2011)), l'effet Hawthorne fait maintenant partie des paramètres à maîtriser impérativement pour tout chercheur menant une expérience avec des êtres humains. Dans le cas de nos pilotes de terrain, le phénomène est simple à comprendre, et plus l'effectif du groupe est faible et la durée du pilote réduite, plus l'effet est potentiellement important. Puisqu'ils sont volontaires et que le programme leur est, de manière simple ou plus élaborée, décrit initialement, les participants sont conscients de leur implication dans l'expérimentation, et pourraient s'avérer davantage motivés par le contexte expérimental et l'intérêt accordé à leurs actions par les observateurs que pas les outils incitatifs à leur disposition. D'une manière générale, l'être humain aime se savoir au centre des attentions, d'autant plus qu'on s'intéresse à ses gestes quotidiens. Le fait d'afficher aux yeux des observateurs leur effort de sobriété électrique peut leur paraître, même inconsciemment, valorisant, et, ainsi, les conduire à se « surpasser » par rapport aux résultats qu'ils présenteraient s'ils avaient été engagés dans une offre commerciale impersonnelle.

En fin de compte, ce sentiment va dans le sens des effets recherchés, à savoir une maximisation des efforts des participants. Malheureusement, l'encadrement des populations impliquées dans un programme de *demand response* n'est pas aisément praticable à grande échelle. Dès lorsqu'on quitte le cadre du pilote de terrain, limité dans le temps et le nombre de participants, et pour lequel la nécessité d'obtenir des résultats utilisables est grande, il serait extrêmement coûteux pour les compagnies électriques d'accompagner, techniquement, et moralement, les clients

impliqués. Ce qu'il est possible de faire avec 50, 100, voire 1000 foyers, n'est pas réalisable pour 100 000 ou l'ensemble d'une clientèle.

Il est à noter que certains programmes à grande échelle tirent profit de la nouvelle vague des réseaux sociaux pour tenter de recréer une émulation similaire à celle qui règne parmi les membres d'un groupe qui se sent observé au sein d'une même expérience ; on voit naître des groupes sur Facebook, des communautés sur Twitter, au sein desquels les compagnies incitent les participants à échanger leurs résultats, leurs astuces, leurs attentes. Certains programmes vont même jusqu'à fournir, via un feedback indirect, un comparatif situant chaque foyer parmi un ensemble de foyers moyens ou voisins, dans le but de susciter une saine émulation. C'était le cas du projet Hohm lancé en 2009 puis abandonné en 2012 par Microsoft ; parmi d'autres exemples, British Gas propose ce genre de service actuellement à ses clients. Ces méthodes sont étudiées, entre autres, par Garay J., et Lindholm P. (1995), Brandon G. & Lewis A. (1999), ou encore S. Darby S. (2006) qui, s'ils ne consacrent pas un article complètement à ce sujet, les évoquent dans leurs comparatifs. Ces méthodes ne sont toutefois pas largement encensées, accusée parfois de pousser les meilleurs sujets à se laisser aller une fois qu'ils auraient constaté que leurs performances sont meilleures que celles des autres.

5.3 Le manque de flexibilité des pilotes de terrain.

Si les premiers pilotes de terrains étaient relativement « expérimentaux » et d'échelle restreinte, les pilotes d'aujourd'hui sont souvent de lourdes machineries nécessitant une à plusieurs années de préparation et d'analyse. Certains embryons de pilotes finissent même par ne jamais voir le jour. Quelles sont les difficultés, complications et limites liées à la mise en place d'un pilote de terrain ?

5.3.1 Lourdeur d'élaboration due au contexte juridique.

Le contexte juridique qui encadre l'élaboration d'un pilote de terrain varie énormément d'un pays à un autre. Ainsi, aux Etats-Unis, les organisateurs de pilotes sont relativement libres d'enrôler des volontaires dans des expérimentations tarifaires, en leur appliquant réellement de nouvelles tarifications, pour une meilleure mise en situation.

En France, le système de tarifs régulés bride les systèmes incitatifs et empêche toute facturation réelle d'un programme de tarification spéciale pour les clients au tarif Bleu. Chez ces clients, seules sont envisageables les rémunérations additionnelles, lesquelles ont démontré leur tendance à provoquer un biais dans les efforts consentis par les participants aux expérimentations. De plus, toute prime, offre de service ou de matériel, ou encore de rabais, génère un risque de manquement aux lois du Droit du Commerce. Il n'est pas possible d'offrir des primes de valeur trop élevée aux participants, sous peine de créer un risque d'accusation pour avantage concurrentiel et fidélisation abusive. On estime chez EDF que des primes inférieures à une cinquantaine d'euros sont acceptables, ce chiffre n'étant qu'un ordre d'idée. Il convient d'être très prudent au niveau des avantages, gratuités, cadeaux, services offerts aux clients. Très vite, avec ce type d'offres et du fait de la position dominante d'EDF sur le marché de la fourniture d'électricité, on se heurte aux lois de type

L 420 et L442-6, issues du code du commerce¹⁶⁶, qui préviennent tout abus de position de la part d'EDF, recours aux prix prédateurs, prix abusivement bas, discrimination par les prix... Du côté expérimental, on peut supposer une plus grande souplesse du côté juridique. Pour qu'une proposition de participation récompensée soit acceptable, il faut que soit validé le titre uniquement expérimental de l'événement :

- Pas de modification du contrat de fourniture
- Limité dans la durée
- Limité dans les usages.
- Contrepartie financière « limitée » (montant maximum d'une cinquantaine d'euros).

Le focus doit être réalisé vis à vis du droit à la concurrence dans l'élaboration des projets de type démonstrateurs. Il s'agit de bien baliser l'échange de bons procédés entre le client qui accepte de participer, et l'entreprise qui organise l'expérience. Si une autorité de la concurrence venait à reprocher un manquement au droit du commerce, il faudra insister sur le caractère limité dans la durée et dans l'usage des techniques utilisées. Le marché général de l'électricité doit surtout ne pas être impacté.

Une solution pour mettre en place un système de primes incitatives en condition réelles consiste à proposer aux participants de quitter le tarif Bleu pour souscrire à une dite de marché, afin de pouvoir créer et leur appliquer un système de tarification dynamique en facturation réelle par exemple. Depuis juillet 2010, la réversibilité du *switching* est illimitée. Seule une clause impose de garder 6 mois une offre de marché avant retour au tarif régulé : il est alors envisageable de proposer au client une garantie de retour à des prix équivalents même en deçà de cette date s'il souhaite abandonner le programme expérimental en cours. Si elle contourne le problème de la fixité des tarifs réglementés par l'Etat, cette solution soulève tout de même des questions juridiques, notamment d'abus de position dominante par un opérateur historique disposant des outils nécessaires pour proposer à la fois une offre de marché à un petit panel de clients et un retour vers son service réglementé.

En France, il semble donc extrêmement complexe de pouvoir établir un pilote de terrain dans lequel de nouvelles tarifications soient réellement mises en place. Actuellement, des facturations virtuelles sont mises en places, et les meilleurs participants (ceux réalisant le plus d'efforts), se voient attribuer des bons d'achats en guise de récompense. Ce mode de rémunération soulève bien évidemment des questions quant au biais possiblement établi par rapport à une offre réelle.

Outre la question de la tarification incitative éventuellement évaluée, la problématique des données confidentielles récoltées est également à considérer, même le côté volontaire de l'acte de participation à un pilote expérimental permet aux compagnies de se libérer d'attaques de la part des clients.

¹⁶⁶ Le manquement au droit de la concurrence qui peut être lié à l'attribution d'une prime ou rémunération est la fidélisation abusive. Pour déterminer si une rémunération est considérée en tant que tel, on utilise une « grille multicritère » portant à la fois sur le timing de l'offre, sur la valeur offerte, sur la possibilité pour les concurrents d'offrir le même type de primes... Ce crible vient de la jurisprudence sur les affaires de fidélisation abusive : les décisions passées des tribunaux sont compilées et au gré des affaires on arrive à établir des critères plus ou moins précis.

Nous ne disposons pas de données juridiques concernant d'autres pays, mais ce cadre semble plus ou moins similaire dans d'autres pays européens. On comprend dès lors pourquoi de nombreux pilotes optent pour des rémunérations sous formes de bons d'achats, la lourdeur du contexte juridique freinant toute mise en situation réaliste des participants.

5.3.2 Le coût d'un pilote : un frein à de larges expérimentations.

La réalisation d'un pilote expérimental à grande échelle est une opération qui s'avère également extrêmement coûteuse pour les compagnies. Il est difficile de chiffrer cette opération, tant de nombreux paramètres entrent en compte : moyens humains, moyens techniques et matériels... La préparation, l'analyse des données et l'accompagnement du pilote nécessitent une main d'œuvre parfois à temps plein durant plusieurs années, et titulaires de qualifications techniques et statistiques poussées. Des partenariats (universitaires, industriels...) sont parfois mis en place ; de même que des financements publics sont possibles. En France par exemple, l'ADEME¹⁶⁷ lance ce qui est appelé des Appels à Manifestation d'intérêt (AMI : appels à proposition). Après étude des projets proposés, des fonds peuvent être débloqués pour lancer des démonstrateurs de projets liés aux *smart grids* et développement durable.

Cependant, le lancement d'un pilote peut rester un acte onéreux et n'est pas une opération prise à la légère. La France n'est pas un cas d'école en la matière car EDF, le fournisseur d'électricité historique, dispose d'un centre de recherche et développement, et d'entités entières dédiées au développement de nouvelles offres tarifaires et d'outils incitatifs. Mais d'autres compagnies d'envergure moindre, dans des pays où le marché est davantage morcelé, peuvent ne pas disposer des mêmes moyens. Aux Etats-Unis, par exemple, l'EPRI¹⁶⁸, un organisme financé par un très grand nombre de compagnies électriques, mène un large nombre d'expérimentations (pas uniquement dédiées aux programmes de *demand response*) conjointes qui permettent aux commercialisateurs de moindre envergure ne disposant pas de leur propre centre R&D de contribuer à des programmes démonstrateurs malgré tout.

5.3.2.1 Les solutions « Low Cost » envisageables.

Certaines compagnies choisissent ces dernières années de développer des programmes dits « low cost » : des programmes peu coûteux, qui même s'ils n'induisent pas de réduction drastique des consommations chez les clients, sont déployés sur une large population et conduisent, de manière globale donc, à des résultats significatifs. Ces programmes misent donc sur un cumul d'efforts de réduction pour parvenir à un effacement notable, plutôt que de consacrer un budget

¹⁶⁷ ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

¹⁶⁸ EPRI : Electric Power Research Institute.

important à un faible segment de clientèle. Pour ces programmes, le pilote de terrain est souvent intégré au lancement du programme, consistant en une phase de calibrage alors que les clients sont encore peu nombreux. Le retour d'expérience des premiers participants fournit les données nécessaires pour affiner le mécanisme et pour réaliser un marketing argumenté, nourri des premiers résultats.

Bien évidemment, ces programmes ne sont pas ceux nécessitant un matériel spécifique ou impliquant des tarifications dynamiques : ce sont uniquement des programmes de feedback indirect sur papier et interface web. Leur mise en place est peu coûteuse : un programme informatique, une base de données suffisent ; le coût marginal d'un participant supplémentaire est extrêmement faible voire nul dans le cas d'une interface web seule.

La réduction de consommation qui s'en suit est, nous l'avons vu, très souvent faible ou nulle. Mais la concaténation de milliers d'efforts individuels peut conduire à l'effacement souhaité. C'est le pari qu'a fait, par exemple, la compagnie Opower.

Créée en 2007, cette compagnie basée aux Etats-Unis a fait le choix de s'intercaler entre les fournisseurs d'électricité et les clients, en leur proposant des services de feedbacks indirects (papier et interface web). Grâce à des algorithmes de *pattern recognition*, et un travail sur les méthodes de motivations en sciences comportementales, Opower parvient à adresser aux clients des informations sans aucune installation à domicile requise. La présentation des feedbacks, l'aspect marketing et le côté *user-friendly* des données affichées sont les aspects les plus travaillés. L'implantation dans les réseaux sociaux permet à Opower d'aiguiser la compétitivité des participants, tout en s'immisçant dans leurs activités quotidiennes (en apparaissant sur leurs pages Facebook et Twitter). L'autopromotion du programme est également réalisée par ces médias contemporains.



Opower est présent sur les réseaux sociaux pour de meilleurs résultats en comptant sur l'effet d'émulation de groupe.

Aujourd'hui, Opower travaille en partenariat avec plus de 60 compagnies électriques aux Etats-Unis, atteignant près de 10 millions de foyers. La réduction moyenne de consommation obtenue varie selon les saisons, et les localisations, mais le chiffre de 2,5% de réduction obtenue (de

0 à 4%) est à retenir.¹⁶⁹ Ainsi, Opower commence à attirer l'attention des compagnies à l'international : ce programme dont les débuts n'étaient pas plus conséquents qu'un simple pilote de terrain sur les feedbacks indirects présente un business plan qui, après avoir suscité la méfiance, intéresse fortement les compagnies occidentales : des solutions *low cost*, bien différentes de celles adoptées jusqu'à aujourd'hui en France, sont bel et bien envisageables, sans même requérir les lourds et coûteux programmes de recherche aujourd'hui élaborés sous nos latitudes.

5.3.3 Des choix antérieurs au début du pilote : comment tester simultanément plusieurs variantes d'une même offre ?

La lourdeur des pilotes de terrain ne réside pas seulement dans le contexte juridique ou dans leur coût de développement. D'autres aspects limitent leur portée. En effet, lorsqu'un pilote est réalisé, de nombreux choix sont effectués antérieurement à son lancement : tout simplement la quasi-totalité des paramètres des outils de *demand response* sont fixés durant la période d'élaboration du pilote. On ne peut pas à proprement parler de design d'offres (tarifaires ou non), dans la mesure où aucun aller-retour n'existe entre le pilote une fois lancé et la conception des outils tarifaires.

Or, le détail des paramètres d'une offre est primordial à sa réussite. Dans le cas d'offres de tarification de *demand response*, le découpage des tranches horaires, les niveaux de prix, leur complexité, ont montré leur importance dans leur impact sur les résultats obtenus en termes de réduction de consommation. Dans le cas d'offres de feedback, les données présentées aux clients, les unités de quantité utilisées, les appareils *in-home displays*, la lisibilité des graphiques, et une multitude d'autres paramètres entrent en compte.

Aujourd'hui ces paramètres sont décidés dans une phase préparatoire, le plus souvent, après lancement d'études compilant les résultats passés de pilotes de terrains et de programmes commerciaux, de la compagnie elle-même, des compagnies concurrentes ou à l'étranger. Les résultats comparés, parfois agrégés ou comparés à des études sociologiques de faible amplitude (comme les focus group) sont utilisés. Les offres présentant les meilleurs résultats et les plus facilement adaptables sont passées au crible, mais le manque de détails d'importance ou des éléments du contexte échappent aux concepteurs des pilotes est fort ; d'autant plus qu'il est parfois difficile d'obtenir des renseignements intégraux de la part d'autres compagnies.

L'idéal pour les concepteurs de pilotes de terrain serait bien entendu de pouvoir modifier à tout moment les paramètres de l'offre de *demand response* en cours d'évaluation. Cette option est impensable : le temps nécessaire à l'adaptation des foyers à un mécanisme incitatif est beaucoup trop important, et celui alloué par les clients à l'apprentissage de ces mécanismes n'est pas infini. Une autre possibilité consisterait en l'évaluation simultanée de diverses variantes d'une même offre :

¹⁶⁹ Sources : Opower.

divers niveaux de prix, affichages d'informations... Encore une fois cette solution n'est pas optimale. En effet cette option nécessite de constituer autant de groupes-test qu'il y a de variantes à évaluer, ce qui peut s'avérer difficile et coûteux lorsqu'on connaît les modalités de recrutement des participants aux pilotes de *demand response*. Dans le cas où les compagnies tentent malgré tout de multiplier les variantes d'outils incitatifs testés, le risque est grand de voir apparaître une composition d'échantillon comportant de trop nombreux groupes, avec des effectifs trop faibles : l'étude statistique des données du pilote peut alors s'avérer impossible ou non significative. C'est par exemple ce qu'il s'est produit pour le pilote EDRP, présenté dans cette partie. Un trop grand nombre de sous-groupes a conduit à des échantillons d'effectifs trop faibles. Alors qu'un effort de segmentation de la clientèle avait été réalisé, les sous-groupes, comportant souvent à peine une dizaine d'individus, n'étaient pas d'effectifs suffisants pour engendrer des données étudiables sur le plan quantitatif.

On a pourtant déjà observé des pilotes présentant l'étude de diverses variantes d'une même offre (par exemple, une même solution tarifaire accompagnée ou non de feedback ou d'automatisation interagissant avec elle). Cependant, les pilotes affichant une réussite sur le plan de la recherche autour de la *demand response* sont ceux qui ont fait le choix de n'étudier que quelques variantes, 3 ou 4 au maximum, et qui présentent ainsi des résultats solides et de confiance.

Comment faire alors pour calibrer au mieux une offre de *demand response* ? Comment effectuer des choix concernant les multiples paramètres qui la composent ? A la manière des études marketing utilisant des méthodes de *trade-off*, comment résoudre les dilemmes auxquels font face les concepteurs d'offres et de pilotes de la *demand response* ? Jusqu'à maintenant, il semblerait qu'aucune méthode non déclarative¹⁷⁰ ne se soit avérée optimale pour calibrer les offres de *demand response*.

5.3.4 L'appétence des offres : la variable oubliée des pilotes de terrain.

Nous venons de voir qu'il est difficile voire impossible pour les pilotes de terrain d'évaluer et de comparer les performances de diverses variantes d'un même outil incitatif. Il est une autre variable dont les pilotes de terrain n'explorent pas les limites : l'appétence pour les clients des offres de *demand response*, que nous avons également appelé acceptabilité ex-ante dans cette première partie. Comment savoir, parmi plusieurs offres de *demand response*, ou parmi plusieurs variantes d'une même offre, quelle est celle qui attire le plus les clients ?

L'attractivité des offres est une composante importante de ces dernières, dans la mesure où elles sont le plus souvent proposées aux clients de manière *opt-in* (et non par défaut). Ce sont aux clients de faire le choix d'adopter l'offre incitative : il faut donc, au-delà de tout aspect purement marketing, que les offres soient suffisamment attractive à leurs yeux. De manière plus précise, il est

¹⁷⁰ Nous appelons ici « méthodes déclaratives » toutes les solutions permettant d'évaluer auprès de la clientèle un produit, en le mettant face à des choix ne les impliquant pas, comme par exemple un questionnaire d'enquête ou un entretien.

également nécessaire de connaître quels sont les paramètres jouant sur l'attractivité de l'outil de *demand response*, et comment leur variations influent sur cette dernière, pour éventuellement parvenir à construire un modèle de l'acceptabilité ex-ante des outils de feedback, et autres tarifications.

Il n'est pas possible, pour les mêmes raisons que celles évoquées dans la section précédente, de proposer aux participants pilotes le choix parmi un panel d'offres différant par leurs paramètres ou leur principe fondamental. L'appétence des outils de la *demand response* est actuellement évaluée chez certaines compagnies par des méthodes déclaratives, et des méthodes de *trade-off*, mais aucune solution impliquant le client concrètement n'est proposée.

L'attractivité des offres peut être qualitativement observée lorsque les concepteurs de pilotes effectuent simultanément un recrutement pour différents outils incitatifs dans un même pilote, mais la différence entre les discours des recruteurs et les campagnes de publicités ou de présentation d'une offre commercialisée est trop importante pour établir de solides conclusions sur les chiffres des taux de retour positif des recrutements ; tout au plus peut-on les observer et les commenter, mais il semble quelque peu optimiste d'utiliser ces résultats comme valides. Il s'agit donc d'une question importante à laquelle les pilotes de terrain ne sont, aujourd'hui, pas en mesure de répondre.

Les pilotes de terrain sont donc la plupart du temps de lourdes machineries, coûteuses, et bridées par le contexte juridique qui encadre les pratiques de commercialisation de l'électricité. Presque entièrement paramétrés avant même leur lancement, toute modification, toute adaptation du concept en cours de route est pratiquement impossible. De même, certaines variables, comme l'attractivité des offres, ne sont pas évaluées par les pilotes de terrain, dont nous avons déjà abordé les limites statistiques et observatoires dans les sections précédentes. Serait-il possible d'imaginer un autre mode d'exploration des préférences, et comportements de consommation, de manière expérimentale et qui implique les participants au-delà de questionnements sur un mode déclaratif ? Pourrait-on combler les limites des pilotes de terrain, ou bien encore imaginer les remplacer par une autre méthodologie d'analyse ?

5.4 Vers une forme d'expérimentations plus légère : l'expérimentation en laboratoire.

Après avoir observé les composantes, la construction, les résultats, apports et limites de la méthode la plus usitée dans le monde du marché de détail de l'électricité pour la construction de nouveaux outils de la *demand response*, à savoir les pilotes de terrain, nous avons pu nous rendre compte des éléments qui semblent indispensables au design d'un nouvel outil incitatif. Les enquêtes classiques ne semblent pas suffire pour cet exercice, car elles ne sont pas impliquantes pour les participants. Afin d'imaginer quels méthodologies pourraient permettre d'apporter une aide à la conception des mécanismes de la *demand response*, il est nécessaire de se rappeler que l'économie

est une science parmi d'autres, et qu'elle implique la compréhension du fonctionnement des agents économiques, seuls, dans leurs mécanismes intrinsèques, leur physiologie en quelque sorte, ou en groupe dans leurs interactions, que l'on pourrait assimiler à une forme d'ethnologie.

Ainsi, dans le vaste monde des sciences en général, il en est que l'on peut rapprocher, de par les similitudes d'approches qui les étudient. Aussi, l'observation des comportements économiques des clients face aux outils de la *demand response*, peut être comparée à l'observation en médecine des effets d'un médicament ou d'une substance sur une population malade. A l'image des études cliniques de large échelle menées sur des individus volontaires et remplissant les conditions d'application du « traitement », on pratique des pilotes de terrain pour observer les effets des outils incitatifs à court et long terme. A une échelle certainement différente de celle des pilotes de terrain de la *demand response*, les études cliniques sont lourdes, longues, coûteuses, parfois risquées... et indispensables aujourd'hui. Cependant, pour les préparer, en réduire les risques, les coûts, minimiser le danger de perdre du temps à réaliser une étude qui s'avèrerait inutile, la médecine s'appuie, d'une part sur la théorie issue des disciplines de la biologie, de la chimie, et d'autre part, sur une autre méthodologie expérimentale : l'expérimentation en laboratoire sur les animaux.

Les expérimentation animales, bien que controversées sur le plan éthique pour des raisons totalement justifiées pour peu que l'on s'intéresse à la cause de tous les êtres vivants de ce monde, a fortiori à ceux dont on sait aujourd'hui qu'ils sont capables, comme nous, d'éprouver de la douleurs ou de faire preuve d'une intelligence supérieure, ont été et sont encore à l'origine de la quasi-totalité des découvertes sur le plan de la santé, de la connaissance des maladies, des molécules permettant de les traiter, ou des mécanismes physiologiques les plus complexes. Certes, le souci d'interprétation et de transposition des résultats à l'homme occupe encore à l'heure actuel les scientifiques, mais sans expérimentation en laboratoire, où en serait la médecine, où en serait le traitement des cancers ?

Bien entendu, il n'est pas question de tester les outils incitatifs de la *demand response* auprès des animaux¹⁷¹, mais nous pouvons imaginer conserver en tête le concept de laboratoire, un univers relativement clos où l'environnement est contrôlé le plus efficacement possible. Les expérimentations économiques en laboratoire sont une science, l'économie expérimentale, qui, bien qu'actuellement encore en développement, est aujourd'hui connue, reconnue et balisée : serait-il possible de faire appel aux méthodologies de cette discipline pour tenter de répondre aux questionnements qui gravitent autour de l'élaboration des outils de la *demand response* ?

Avant d'aborder concrètement les possibilités d'expérimentation en laboratoire au sujet de la *demand response* et de ses offres incitatives, qui feront l'objet d'un chapitre de la seconde partie de cette thèse, nous allons tout d'abord voir en quoi la réalisation d'études expérimentales en laboratoire pourrait apporter de nouvelles pistes à la conception des outils incitatifs et de leur analyse.

¹⁷¹ Bien que ces derniers pourraient avoir face à une incitation quelconque une réponse plus prévisibles aux stimuli que leurs maîtres *homo sapiens* !

5.4.1 Mieux contrôler les variables clés et l'environnement d'expérimentation.

Lorsqu'un chercheur en biologie procède à une expérimentation faisant appel à des animaux, il contrôle entièrement l'environnement de son étude : le milieu dans lequel évoluent les animaux, la nourriture qu'ils absorbent, l'air qu'ils respirent, leurs interactions, leur nombre, leur âge, il les sélectionne éventuellement selon leurs antécédents, les capacités dont ils font preuve... Le protocole expérimental est construit de manière à ce que l'environnement soit précisément fixé et que seules les variables-clés puissent avoir une influence sur les animaux : ainsi les effets qui en résultent sur ces derniers peuvent être mis en relation précise avec les actions des chercheurs.

Dans le cadre de la conception et de l'évaluation des outils de la *demand response*, le manque de contrôle dont disposent les organisateurs de pilotes de terrain sur l'environnement dans lequel se déroulent leurs expérimentations et sur les variables clés qui influent sur la demande électrique est souvent un problème. Chaque foyer est différent, et il est difficile pour une compagnie de complètement caractériser l'échantillon de clientèle qui prendra part à un pilote. Certains sujets sont tabous, tels que le revenu précis du foyer, certaines données sont variables, comme le nombre de personnes vivant sous le même toit, l'équipement électrique du foyer, l'isolation des bâtiments. D'autres variables sont plus difficiles à évaluer ou à maîtriser, comme le niveau de chauffage nécessaire aux occupants du foyer pour atteindre un sentiment de confort, ou leurs connaissances et croyances en termes d'économies d'électricité. Enfin, certaines échappent complètement aux concepteurs de pilotes, comme par exemple les conditions météorologiques.

Sans contrôle de ces variables, il apparaît difficile d'évaluer et de comparer les résultats des divers outils incitatifs, que ce soit en termes d'acceptabilité ou d'efficacité. En effet, il est possible d'observer une baisse de consommation électrique sans que l'outil incitatif y soit directement lié : dans le cas de travaux d'isolation du logement par exemple, ou de remplacement de matériel ancien et énergivore par un matériel plus récent. À l'inverse, un foyer qui héberge temporairement une personne de plus ou voit l'arrivée d'un nouvel enfant, montrera peut-être une augmentation de sa consommation électrique malgré l'installation d'un dispositif de *demand response*. Il devient difficile de « débruiter » suffisamment les relevés de consommation électrique pour n'isoler que les effets potentiels de l'outil de *demand response*. De même, si on ignore ce que savent les clients en matière de sobriété énergétique, comment peut-on jauger correctement leur propension à adopter un contrat de tarification dynamique ou un outil de feedback ?

Pour l'ensemble de ces raisons, il pourrait s'avérer extrêmement intéressant de réaliser des expériences autour de la création et de l'évaluation des outils de la *demand response* en laboratoire, qui est par définition l'endroit où un contrôle est exercé sur l'environnement des sujets observés (ici, des potentiels clients pour lesquels on disposerait d'un certain nombre d'informations à définir précisément). On peut alors imaginer contrôler l'ensemble des variables qui encadrent notre problématique et n'utiliser que les leviers nécessaires à l'observation de l'acceptabilité et de l'efficacité des dispositifs à tester, sous l'angle que nous aurons choisi.

5.4.2 L'observation des liens de cause à effet

Lorsque le chercheur en biologie observe les effets d'un produit sur la santé d'une population de souris dans un laboratoire, il pourra, dans un premier temps, présenter ses résultats en termes de statistiques : « 50% des souris auxquelles on a administré le produit A montre un gain de poids anormal au bout de 2 mois ». Puis, dans un second temps, il pourra pratiquer des analyses, voire une dissection sur certains de ses sujets, dans l'optique de mettre en évidence le lien de cause à effet qui induit la prise de poids chez les souris : « On a montré un faible taux d'hormone X ; on montre un œdème intra-thoracique chez les sujets concernés... ».

Dans le cadre de l'économie expérimentale que nous envisageons d'utiliser pour l'étude des pilotes de la *demand response*, cette analyse et cette dissection sont possibles. Pas au sens premier du terme, bien entendu, mais il est possible, du fait de la taille des échantillons et des données dont on pourra disposer sur les participants, d'effectuer une analyse d'une échelle différente de ce que l'on peut voir lors d'un pilote de terrain. Plutôt que d'observer une population entière et d'en extraire quelques statistiques (souvent descriptives), il pourra être possible de passer à des observations individuelles : en laboratoire, il est possible de retracer le cheminement de chaque participant tout au long de l'expérience. En croisant les choix effectués du début à la fin de l'expérience, ainsi que les données personnelles dont on dispose parfois sur les participants, il devient potentiellement possible de mettre en lumière des liens de causalité parfois insoupçonnés.

Cette potentialité d'une étude en profondeur des mécanismes décisionnels face à une offre de *demand response* est extrêmement intéressante et constitue l'un des enjeux majeurs de l'introduction des outils incitatifs à la réduction de consommation électrique en laboratoire d'économie expérimentale. Quels sont les offres préférées par les clients, quels sont les outils les plus efficaces, et, surtout, qu'est ce qui influence leurs choix, leurs consentements à reporter leurs consommations, leurs efforts de sobriété électrique ? Quels sont les facteurs de réussite (sur le plan de l'acceptabilité comme de l'efficacité) d'une offre de *demand response* ?

5.4.3 Tester des solutions 'radicales' et les amplitudes

En laboratoire, le modèle animal permet d'observer des conditions environnementales extrêmes, subir des injections de produits cancérigènes, tester des remèdes qui sont aussi des poisons... Ces traitements soulèvent parfois la polémique, mais sont souvent à l'origine de grandes découvertes. De plus, tester un produit, même peu dangereux, sur des souris, coûte extrêmement moins cher que de le tester sur des cobayes humains volontaires : il devient possible de tester un panel de produits infiniment plus large. Nous ne sommes pas là pour débattre des questions éthiques soulevées par l'expérimentation animale, mais pour établir des points de comparaison avec notre sujet d'étude et la méthodologie d'analyse que nous proposons.

Nous avons vu que les pilotes de terrain étaient relativement bridés par leur contexte juridique, par les autorités de régulation, par le contexte de concurrence, par leur coût durant

l'expérimentation et le coût potentiel du déploiement global des solutions incitatives testées... Ne sont alors testées dans les pilotes de terrain que des solutions incitatives simples, peu différentes de l'existant. L'innovation réelle est rare, on constate souvent que toutes les tarifications se ressemblent. Pour les compagnies, il n'y a aucun intérêt à tester une tarification extrême dont on imagine qu'elle ne sera jamais acceptée, et il est souvent impossible, d'un point de vue juridique, de les mettre en œuvre même le temps d'un pilote de terrain. Ainsi, ce sont toujours les mêmes solutions qui sont encore et encore évaluées, avec une faible amplitude de variations, autour d'offres de *critical peak pricing* simples à faibles ratios d'heures de pointe/heures hors pointe, des offres de bonus avec des bons d'achat à la clef, des feedbacks imprimés sur les factures...

Une utilisation d'expérimentations en laboratoire permettrait de dynamiser, et, pourquoi pas, de dynamiser le monde de l'innovation des outils de la *demand response*, en particulier celui de l'innovation tarifaire (les outils de feedbacks étant moins bridés sur le plan de l'acceptabilité supposée et sur le plan juridique, un panel beaucoup plus large de solutions est testé sur le terrain, seul le coût de déploiement pouvant constituer un frein réel aux expérimentations).

En effet, il deviendrait possible, tout comme on détermine les doses létales de poison en injectant de plus en plus de produits à des souris de laboratoire, de soumettre à des participants des concepts tarifaires extrêmes, des solutions radicales évidemment impossibles à implémenter mais qui nous permettraient d'en savoir plus sur les limites d'acceptabilité et d'efficacité des outils incitatifs. On peut imaginer, dans un laboratoire idéal, parvenir à bâtir une courbe d'élasticité-prix complète, en testant toute une gamme tarifaire, connaître les grilles horaires optimales, ou encore la valeur maximale qu'attribuent les clients à un feedback sur leurs consommations (consentements à payer). Bien qu'à ce niveau de la thèse nous n'ayons pas encore conscience de la faisabilité de ces études, rien, sur le papier, n'est interdit, dans le cadre feutré du laboratoire.

Bien entendu, dans le cadre d'une expérimentation en laboratoire, tout comme le biologiste devra faire preuve de ses capacités ou non à transposer ses résultats, même partiellement, des animaux vers les humains, il sera obligatoire, dans le cadre de l'utilisation de l'économie expérimentale pour l'analyse des outils de la *demand response*, d'effectuer un travail précis sur la généralisation des résultats obtenus « in vitro ». Il s'agira de faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats, et la connaissance parfaite des caractéristiques du laboratoire pourra nous aider à construire et délimiter cette transposition.

Il semble donc particulièrement intéressant d'envisager une étude des outils incitatifs de la *demand response* via les méthodes de l'économie expérimentale, en laboratoire. Dans cette partie, nous avons fait connaissance avec ces outils incitatifs, nous avons présenté leur principale méthode d'analyse, dans ses défauts et ses qualités, et nous venons de proposer une méthode d'étude alternative. Dans la seconde partie de cette thèse, nous allons donc apprendre à connaître cette discipline qu'est l'économie expérimentale, avant de proposer un protocole expérimental autour de la problématique des offres de *demand response*, dans sa conception comme dans son analyse.

PARTIE 2 : LA DEMAND RESPONSE EN LABORATOIRE : CONCEPTION ET APPORT D'UN PROTOCOLE D'ECONOMIE EXPERIMENTALE.

Face à l'[enjeu de la réduction](#) ~~problématique~~ des pointes de consommation d'électricité, de nombreux outils incitatifs sont aujourd'hui créés, évalués, puis déployés à l'échelle commerciale par les fournisseurs d'électricité, dans le but d'inciter les clients à réguler leur consommation électrique lors des périodes de forte demande. Ces outils incitatifs sont de natures diverses, mais [ils sont](#) usuellement classés [selon](#) ~~dans~~ une typologie qui les démarque selon leur mode d'action. Incitations tarifaires, affichage d'informations de consommation, et automatisation des usages sont les trois grands types d'outils incitatifs utilisés dans le monde dans le but de réduire ou maîtriser la consommation électrique des consommateurs résidentiels. Un tableau détaillant cette typologie de manière plus fine pourra être retrouvé en annexe ~~(Erreur ! Source du renvoi introuvable.)~~. Ces outils incitatifs, majoritairement proposés sous forme de contrats de vente d'électricité ou de services accompagnant cette vente, agissent sur certains leviers de la consommation, comme (entre autres) le prix de l'électricité, le niveau de connaissance ou de prise de conscience du consommateur, pour parvenir aux objectifs de réduction de consommation durant les périodes de pointe mais aussi en tendance.¹⁷²

La ~~leur~~ mise en place [de ces outils](#) passe par les différentes étapes d'un processus d'innovation classique : idées, concepts, cibles, faisabilité, prototypes, tests, ajustements, commercialisation. La phase d'évaluation de ces outils incitatifs, qu'ils soient tarifaires ou informatifs, est cruciale, puisqu'elle permet d'évincer certaines solutions s'avérant impossibles à déployer ou inopérantes sur le terrain ; mais encore de calibrer au mieux les outils de la gestion active de la demande électrique (ou ~~encore~~ *demand response*). Tout comme un produit classique, les contrats ou services incitatifs sont ainsi testés sur des échantillons de consommateurs. Depuis des décennies maintenant¹⁷³, des expérimentations de terrain, des pilotes, sont mis en place afin de tester divers programmes de *demand response*, et d'évaluer la réactivité des consommateurs face à ces politiques de manière qualitative mais surtout quantitative. Ces pilotes sont aussi indispensables que complexes à élaborer. Indispensables, car leurs résultats conditionnent le lancement des outils incitatifs et leur intégration dans les analyses prévisionnelles des fournisseurs d'énergie. Complexes, du fait des nombreuses

¹⁷² Les enjeux de la maîtrise de la consommation d'électricité par les consommateurs (résidentiels) en pointe et en tendance ne sont pas détaillés dans cette note. Pour plus de détails, consulter par exemple : « Les enseignements des pilotes étrangers récents en matière de tarification dynamique et de gestion de la demande en vue du développement d'expérimentations en France. » L. Frachet, 2010 (H-R16-2010-01997-FR)

¹⁷³ Cf « La maîtrise de la consommation électrique résidentielle : Retour sur 30 ans d'expérimentation », V. Lesgard et L. Frachet, La Revue de l'Energie, 2012

contraintes réglementaires, financières, techniques, mais aussi de la durée de maturation des projets de pilotes de *demand response*, sont autant de freins à leur multiplicité. Un pilote de terrain, des premières étapes de sa conceptions jusqu'à l'analyse de ses résultats, dure en moyenne de 2 à 4 ans. Leur analyse présente parfois certains écueils et leur conception des lacunes, que nous avons pu évoquer dans la première partie de cette thèse. De ces constatations provient la nécessité de considérer d'autres méthodologies d'évaluation des outils de la *demand response*. Enquêtes, questionnaires, simulations algorithmiques, sont par exemple des techniques utilisées à ces fins.

Autre méthodologie, l'économie expérimentale¹⁷⁴ a déjà été utilisée dans le secteur de l'électricité, pour étudier les effets de différentes règles de marché. L'objet de cette nouvelle ~~méthodologie ... manque quelque chose ici~~ est d'observer un premier protocole expérimental dédié, cette fois-ci, à l'étude du comportement du consommateur résidentiel d'électricité, face à des offres de fourniture orientées *demand response*.

En quoi consiste l'économie expérimentale pour l'étude du comportement du consommateur ? Quelles sont les possibilités de mise en situation au sein d'un laboratoire ? Que peut-on tester via les méthodologies classiques de la discipline ? Quels sont les résultats obtenus ? Au travers de l'élaboration d'un protocole expérimental ayant pour but d'évaluer le comportement de clients résidentiels face à divers contrats d'effacement, puis de sa mise en œuvre et enfin de l'analyse des données récoltées, nous effectuerons une première approche expérimentale de l'étude du comportement du consommateur résidentiel d'électricité en laboratoire, et tenterons de déterminer quels bénéfices une compagnie comme EDF peut en espérer, aujourd'hui et à l'avenir.

Chapitre 1. L'Économie expérimentale : Une alternative Méthodologique possible ?

Afin de proposer une nouvelle méthodologie d'étude des comportements des consommateurs résidentiels d'électricité face aux outils de la *demand response*, nous allons tout d'abord revenir aux bases théoriques sous-jacentes. Expliquer les comportements des agents économiques est l'objectif de la micro-économie : en posant des hypothèses concernant leur mode de prise de décision, la discipline tente de mettre en évidence des liens de causalité rationnels entre ces différents agents. Mécanismes de prix, processus d'offre et de demande, relations firmes-clients sur divers marchés : peut-on construire un modèle valable issu des hypothèses de la micro-économie ? Dans le cas contraire, quelles sont les alternatives ?

1.1 La théorie économique traditionnelle face aux préférences des consommateurs.

La microéconomie étudie le comportement d'unités économiques élémentaires ~~petites entités économiques~~, appelés agents économiques, tels que les firmes ou les consommateurs finaux ~~(souvent les ménages)~~. ~~Elle~~ Au cœur de la microéconomie se trouve, historiquement la ~~porte également le nom de~~ « *price theory* », ~~car~~ l'un de ses objectifs majeurs de la théorie microéconomique ayant été ~~est~~ d'établir le prix qui équilibre l'offre et la demande et, plus généralement, d'établir l'existence d'un système de prix sur tous les marchés qui soit compatible avec l'intérêt général. Pour y parvenir, le modèle ~~discipline~~ suppose un environnement institutionnel de concurrence précis, ainsi que ~~des analyse et prédit les~~ comportements d'~~ces~~ agents précis dans ~~cet~~ un environnement. L'environnement définit la circulation de l'information et les conditions d'établissement des prix bien défini, ainsi que les interactions sociales, économiques entre ces agents. Pour ce faire ~~Ce modèle, outre qu'il permet de justifier l'option économique libérale de la société au nom de l'intérêt général, elle établit également une démarche méthodologique de la microéconomie, qui est de nature le plus souvent des modèles hypothético-déductice. fs ayant les mêmes postulats d'origine.~~ Depuis, la microéconomie a envahi de multiples domaines et a multiplié ses questions et ses outils. Elle s'intéresse par exemple aux incitations dans des univers d'informations asymétriques, aux contrats sophistiqués, aux mécanismes de coordination et de motivation qui ne sont pas des marchés, etc. La méthode hypothético-déductive demeure néanmoins un outil précieux et irremplaçable de la discipline. Simplement, depuis quelques années, avec l'introduction de l'économie comportementale de seconde génération (*behavioral economics*), les économistes s'intéressent maintenant non plus seulement à l'efficacité prédictive de leurs hypothèses, mais aussi à leur réalisme. Il s'agit notamment de réviser le contenu des hypothèses de base de l'*Homo Oeconomicus* en ayant un souci de naturalité de ces hypothèses. Ainsi par exemple les hypothèses relatives aux préférences sont-elles systématiquement revues : préférences face au risque, préférences inter-temporelles, préférences sociales par exemple. A l'amont des préférences, les économistes comportementaux révisent les hypothèses de perception : la question de l'attention

Mis en forme : Police :Italique

Mis en forme : Police :Italique

est introduite par exemple, ou des biais de perception. Il en va de même des hypothèses relatives aux croyances et à leurs révisions sur la nature et sur autrui. Il en va de même aussi quant aux capacités cognitives des agents économiques : aptitude et motivation calculatoire, recherche de l'optimum, etc. Ces complexités sont introduites dans les modèles de base de façon parcimonieuse et en maintenant autant que possible le paradigme de l'économiste : son aptitude à définir des optimums locaux et à étudier leur compatibilité avec l'efficacité, c'est-à-dire, en dernier ressort, l'intérêt général.

1.1.1 Le modèle du consommateur rationnel.

Puisque nous nous intéressons dans le cadre de cette thèse au comportement des clients des fournisseurs d'électricité, et que nous nous positionnons du côté de la demande, nous allons nous intéresser aux modèles issus de la théorie du consommateur. Le rôle des modèles construits depuis la moitié du siècle dernier par les pères fondateurs de la discipline est de proposer une vision simplifiée, formalisée, et cependant valable de la réalité.

Les modèles courants sont hypothético-déductifs : comme on le ferait pour une démonstration mathématique, on commence par poser des hypothèses qui seront à la base des calculs, des preuves, des inférences et de la résolution des problèmes. Les modèles à la base de la théorie du consommateur et de la théorie des jeux sont fondés sur un nombre d'hypothèses restreint :

1. Les comportements sont orientés par une fonction objectif que le consommateur cherche à maximiser. On parle également de maximisation de l'utilité, que se définit comme étant la satisfaction (sous forme de bien-être lorsqu'on considère un client final) lié à la consommation d'un bien.

L'optimisation d'une fonction _objectif est un problème mathématique potentiellement complexe. Pour ce faire on suppose que les agents économiques :

- disposent de capacités calculatoires infinies,
 - savent se procurer utiliser toutes les informations nécessaires,
 - ont des préférences complètes, ordonnées (réflexives et transitives), et stables dans le temps : les consommateurs sont capables d'exprimer des préférences entre toutes propositions, et ces préférences sont invariables au cours du temps.
2. Les ressources sont rares, le budget des agents est limité : l'optimisation de la fonction objectif se fera donc sous contrainte budgétaire. Le temps est également pris en compte dans les ressources dont disposent les individus pour satisfaire leurs désirs et besoins.
 3. Les comportements sont rationnels, c'est-à-dire que la prise de décision repose uniquement sur un processus minutieux et attentif qui pèse les avantages et les coûts attendus.

C'est donc la combinaison des préférences et des contraintes de budget qui détermine le choix de consommation via un processus de décision rationnel. Il s'agit d'un processus pur, dans lequel rien n'est laissé au hasard. Les hypothèses énoncées ci-dessus définissent ce que l'on appelle l'*homo economicus*, le consommateur rationnel par excellence.

Afin d'établir un modèle autour d'un processus économique (par exemple la demande d'un bien), les économistes établissent ensuite la liste des variables intervenant dans le processus en question (le revenu des clients, le prix du bien, etc.), puis construisent le cœur du modèle, souvent matérialisé par des équations mathématiques mettant en jeu les variables données en entrée, et produisant en sortie les résultats du modèle (quantité de produits demandée, étant données les variables d'entrée).

Le modèle permet donc de clarifier le processus économique étudié via l'analyse des facteurs impactant le résultat, puis de construire des prévisions, des simulations, autour d'une situation que l'on a grandement simplifiée.

Dès lors, on peut se demander s'il ne serait pas possible de chercher à modéliser le consommateur électrique face aux incitations de la *demand response* ?

Mis en forme : Police :Italique

1.1.2 Vers un modèle du consommateur résidentiel d'électricité ? Les écueils de la théorie.

Nous allons démontrer dans cette section qu'il apparaît difficile de construire un modèle valable du consommateur résidentiel d'électricité. Nous allons dans un premier temps nous intéresser au problème de la consommation d'électricité des clients disposant d'un outil de *demand response*.

Dans un modèle théorique classique, les clients sont des individus rationnels, des homo *Homo economicus* contraints dans leur budget par la somme d'argent qu'ils allouent à leur facture électrique. La fonction objectif qu'ils optimisent est celle de l'utilité de la consommation électrique, déterminée par le bien-être du foyer et la satisfaction associés à un pattern de consommation. Leurs préférences sont stables et ils analysent toutes les informations dont ils disposent à chaque prise de décision.

Mis en forme : Police :Italique

Mis en forme : Police :Italique

Avec ce modèle extrêmement simple du consommateur électrique, nous obtenons par exemple les résultats suivants :

- Une offre de type *Critical peak pricing* et une offre de type *Peak time rebate* construites symétriquement induisent les mêmes réductions de consommation chez les clients.
- Face à une incitation à réduire la demande électrique, les appareils éteints en premiers sont ceux dont le ratio (kWh consommés)/(intensité du manque ressenti) est effectivement le plus fort. Ainsi, un chauffage électrique sera

coupé en premier par rapport à une télévision sur un effacement de courte durée, puisque son extinction est quasi transparente pour le consommateur.

- Deux foyers pour lesquels les variables de consommation sont égales présentent une réponse égale aux signaux incitatifs.
- Un afficheur présentant l'information de consommation en kWh ou en € a le même impact sur les comportements.
- Toute réduction de consommation ayant un impact sur la facture et sous conditions de confort acceptable perdue dans le temps.
- Face à l'offre dérégulée, les clients basculent de l'offre régulée (tarif bleu) vers un fournisseur alternatif dès lors que le tarif est moins cher chez ce dernier.
- Le taux de retour positif pour l'une ou l'autre des options PTR et CPP est égal dans le cadre du recrutement pour des pilotes de terrain où ils sont construits de manière symétrique.
- Les offres présentant un schéma tarifaire ou informatif pour lequel les clients n'ont rien à perdre, mais seulement la possibilité d'économiser de l'argent, sont immédiatement adoptées.

Ces exemples n'ont évidemment pas été choisis au hasard : il s'agit d'hypothétiques résultats dont nous avons vu des contre-exemples tout au long de la première partie de cette thèse, en évoquant les pilotes de terrain conduits auprès de la clientèle résidentielle, en ayant observé leur déroulement, ainsi que le fonctionnement d'offres existantes de la *demand response*. Certes, il est difficile dans notre cas de construire correctement la fonction d'utilité que le consommateur cherche à maximiser, car les notions de confort et de satisfaction du foyer sont souvent subjectives et le nombre de variable externe particulièrement élevé, et les paramètres qui régissent la consommation électrique ne sont pas toujours évidents. Nous avons tenté d'établir un modèle schématisé plus complet d'un cycle d'adoption d'offre tarifaire et de consommation sur une période de facturation, présenté en annexe 1.5, mais, bien que listant les variables connues pour impacter la consommation électrique et intervenant dans un choix rationnel d'offre tarifaire, il n'explique pas pour autant les comportements réels observés.

C'est une évidence qu'il faut accepter : le modèle et ses hypothèses fondatrices ne conviennent pas. L'homme, et à fortiori le consommateur résidentiel d'électricité, n'est pas un *homo economicus*. Alors qu'en mécanique par exemple, les modèles offrent une solution prédictive de premier ordre et peuvent le plus souvent être confondus avec la réalité, pour peu qu'on sache leur intégrer les phénomènes de frottement, alors qu'en physique nous ne disposons quasiment que de modèles, l'observation des phénomènes n'étant que partielle, l'économie du comportement fait à bien des parties des sciences du vivant, où les exceptions et anomalies sont légion. L'économie devient ici une science comportementale, une science de la vie, pour laquelle les fondamentaux

neurologiques, la dimension culturelle prennent souvent le pas sur toute logique purement rationnelle, amenant les processus décisionnels à une complexité que les modèles, trop simplistes, ne parviennent pas à embrasser. Comme a dit Paul Valéry : « Ce qui est simple est toujours faux. Ce qui ne l'est pas est inutilisable. » — a dit Paul Valery. références : Mauvaises pensées et autres, 1942, in Œuvres, Tome II, Gallimard, Bibliothèque de La Pléiade 1960, p. 864.

Pour autant, la démarche de modélisation n'en a donc pas moins été indispensable aux sciences économiques. La théorie a besoin de modèles, et de modèles simples. Depuis des siècles la tradition économique se satisfait de modèles dont les équations sont relativement peu complexes et à portée de résolution : s'ils peuvent ne serait-ce qu'expliquer une partie de la réalité, alors leur utilité est déjà avérée. La puissance des hypothèses sert à expliquer une partie des phénomènes observés. Selon Friedman, les théories sont les outils des économistes, et n'ont pas à être fondées sur des hypothèses « vraies » ou « réalistes », si elles parviennent à être prédictives. Des théories et modèles normatifs peuvent trouver leur utilité et donner lieu à des problèmes traités de manière quasi purement mathématique. Rubinstein A. (2006), économiste contemporain spécialiste de la théorie des jeux, par exemple, considère que la mise en avant d'anomalie n'est pas un problème de son point de vue : seule l'écriture des mathématiques du comportement rationnel prévaudrait.

Cependant dans un cas comme le notre, les modèles sont trop simplificateurs pour expliquer la réalité, et leurs capacités prédictives s'en trouvent limitées.

La solution consiste alors à modifier les hypothèses comportementales, en pointant du doigt des irrégularités dans l'observation de résultats sensés conforter la théorie. Ces variations aux hypothèses classiques, appelées anomalies, sont alors recherchées. Leur mise en évidence est cruciale et elles doivent être prises en compte. Car l'économie n'est pas la science des modèles, mais elle a pour objectif d'expliquer la réalité, et non un monde fictif simplifié. Comment mettre en évidence ces anomalies, notamment dans le domaine qui nous intéresse, c'est-à-dire dans le réalisme du consommateur lorsqu'il ne rentre pas dans le cadre de l'homo economicus ?

1.1.3 Aux frontières d'autres disciplines.

Ce n'est donc pas dans le champ de l'économie traditionnelle qu'il faut chercher à puiser les hypothèses comportementales à la base des prises de décisions du consommateur final. Bien entendu, depuis longtemps les économistes ont remarqué les déviations de la réalité par rapport aux modèles théoriques qu'ils utilisaient. Carl Menger, John Maynard Keynes ont très tôt (fin XIX° début XIX°_eme—siècle) émis des réserves quant à la validité des hypothèses de base, remarquant le processus de décision n'était pas totalement guidé uniquement par la rationalité telle que l'économiste la supposait alors.

D'autres champs des sciences humaines, comme la psychologie (comme les travaux de D. Kahneman) ou la sociologie (comme les travaux de P. Bourdieu), apportent des réponses aux questions de la reformulation des hypothèses. Stefano Dellavigna (2009) montre ainsi la ténuité de la frontière entre psychologie et économie dès lors que les processus mettent en jeu des êtres humains, c'est-à-dire la majeure partie du temps en microéconomie. Il montre entre autre que les

Mis en forme : Police :Non Italique

Mis en forme : Police :(Par défaut)
Calibri, 11 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut)
Calibri, 11 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut)
Arial, 16 pt

préférences, les croyances et les prises de décision ne se confortent pas aux hypothèses standards, utilisant de nombreux exemples issus d'observation de terrain. Ainsi, il met en évidence des préférences ~~inter-temporelles~~[inter temporelles](#), des réactions non rationnelles face à la prise de risque, des préférences sociales, des biais de projection, ou encore des effets dits de *framing*, c'est-à-dire lié au cadre global de prise de décision, des effets liés à la pression sociale ou à la manière dont les différents choix d'une prise de décision sont présentés.

La psychologie sociale, branche commune à la psychologie et à la sociologie, tente également d'expliquer, de travailler et d'anticiper certaines interactions de caractère non rationnel entre les individus, et donc potentiellement les agents économiques. C'est dans ce champ que l'on retrouve les travaux, par exemple, autour de l'*Hawthorne Effect* évoqué dans la première partie de cette thèse. Divers principes issus de la psychologie sociale peuvent aider à comprendre cet ~~homo~~[Homo non-oeconomicus](#) qui nous intéresse. Ainsi, on découvre une autre approche des motivations de l'être humain dans tous les instants de la vie et donc face aux choix économiques qu'il peut être amené à faire. L'homme aurait ainsi avant tout un besoin de maîtriser son environnement proche, aurait un biais d'estimation positif envers lui-même. D'autre part, toute idée ancrée dans les processus cognitifs d'un homme a tendance à persister : tout changement alors long, on parle de conservatisme. Enfin, la facilité d'accès à l'information impacte fortement son influence sur les comportements, les croyances et les émotions. On voit très rapidement comment ces perspectives nées de l'observation des hommes et d'expérimentations psychologiques de terrain viennent amender les hypothèses de base de l'économie dans le cas qui nous intéresse.

Ainsi, les changements de la routine quotidienne de l'utilisation d'appareils électrique prendront du temps. L'information affichée sous forme de feedback devra être ciblée et simple d'accès, les données les plus importantes au premier plan. La nécessité de maîtrise de tout système d'automatisation au sein du foyer apparaît. Cependant ce ne sont là que les suggestions découlant des théories revisitées de la psychologie et de la sociologie économique appliquées à notre sujet de recherche. Comment les évaluer et les formaliser tout en les inscrivant dans un cadre scientifique valide ?

1.2 Economie expérimentale et *Behavioural Economics* : la naturalisation des hypothèses classiques.

Dès la fin des années 1950, certains économistes et psychologues commencent alors à tenter de renouveler l'approche économique du comportement du consommateur et même des fonctionnements des marchés. Pour ce faire, on alimente et confronte les grandes théories classiques à des données empiriques, et, grande nouveauté, à des données expérimentales, issues de laboratoire savamment élaborés dans cet objectif : c'est la naissance de l'économie expérimentale ([George Akerlof](#), [Colin Camerer](#), [Jon Esler](#), [Ernst Fehr](#), [Daniel Kahneman](#), [George Loewenstein](#), [Matthew Rabin](#), [Thomas Schelling](#), [Richard Thaler](#), etc.).

1.2.1 Les objectifs d'une démarche nouvelle

L'économie expérimentale a tout d'abord pour objet de définir de nouvelles méthodologies qui permettent de naturaliser les hypothèses de comportement des agents économiques, par exemple, les phénomènes de préférences, d'attention (entre autres), toutes les irrégularités qui viennent interférer avec la lisse théorie classique. A l'interface d'un modèle hypothético déductif trop restreint et d'approche psychologiques ou sociologiques au contraire trop ouvert et trop peu cartésien pour attirer l'attention bienveillante de ceux considérant l'économie comme une science « dure », les économistes eurent besoin d'un nouvel univers dans lequel faire évoluer les agents économiques, les variables, les postulats de l'époque. Ainsi l'économie expérimentale, fondée en parallèle des bases théoriques de ce que l'on appelle désormais l'économie « comportementale » (bien que le terme *behavioural economics* soit encore parfois non traduit), se donne comme projet de définir d'étendre ou de raffiner les hypothèses comportementales liées aux choix économiques, à partir de notions importées de la psychologie ou de la sociologie, en les isolant, les observant et les validant au sein du cadre de laboratoires. Dans ses balbutiements, cette nouvelle discipline avait donc pour but premier de pallier au manque d'études autour des anomalies connues aux grandes théories de comportement.

Parmi les exemples classiques, on peut citer la réfutation de l'hypothèse d'égoïsme. Les agents économiques ne sont finalement pas constamment en train de maximiser leur propre fonction objectif en faisant abstraction du contexte social dans lequel ils évoluent, mais prennent en compte les variables issues des « équations de comportement » des individus qui gravitent autour de lui, à différents degrés. Ils se soucient (parfois) de leur bien être, de leur pensées également. Ainsi, les premiers « *behavioural economists* » définissent un nouveau type d'agent économique voulu plus réaliste, et par la même le premier concept de rationalité limitée (Herber A Simon (1955)).

Petit à petit se construisent alors les méthodes de l'économie expérimentale, qui permettent d'observer une à une, séparément les variables voulues. L'observation des comportements en laboratoire permet aux économistes de développer des corpus et d'affûter les outils de leur discipline, aujourd'hui parfaitement décrits et exportables. Nous verrons dans les sections suivantes quelles sont les contraintes liées au laboratoire, mais aussi et surtout ce que la laboratoire permet en termes d'environnement observatoire. (???). Avec des expériences relativement simples et un petit groupe de participants, que nous appellerons souvent par la suite des « sujets », il devient possible de réfuter les hypothèses sous jacentes aux théories classiques.

1.2.2 Quelques exemples classiques.

Par exemple, on montre à l'aide d'un simple processus de loterie que la neutralité face au risque est loin d'être un cas général et ferait même figure d'exception. Selon les hypothèses classiques de maximisation des gains, face à deux loteries A et B d'espérances de gain différentes, tout individu devrait choisir celle dont l'espérance est la plus élevée. Pourtant, un simple test en laboratoire suffit à montrer que chez les humains, l'aversion au risque induit un biais cognitif bien palpable. Supposons que la loterie A offre 1 chance sur 2 de gagner 100 euros, et 1 chance sur 2 de gagner 190 euros. La loterie B offre 1 chance sur 2 de gagner 300 euros, et 1 chance sur 2 de gagner 0 euros. La rationalité voudrait que l'on choisisse la loterie B, qui maximise l'espérance de gain. Et pourtant, une heure de session expérimentale en laboratoire suffit à comprendre que l'homme ne fonctionne pas ainsi, et présente ce que l'on appelle une forte aversion au risque. Ce sujet est traité entre autres par Holt C. et Laury S. (2002) qui proposent un test d'aversion au risque simple aujourd'hui considéré comme un outil « classique » de l'économie expérimental. Nous évoquerons d'autres anomalies réfutées par l'expérimentation dans la section suivante, mais l'aversion au risque constitue une bonne introduction : en sciences les modèles ne progressent que si l'on ne construit les méthodologies nécessaire à leur calibrage.

Les expérimentations sont donc là pour étalonner les modèles, ici, d'aversion au risque. L'étude de telles anomalies par rapport aux théories classiques des économistes est fortement liée au monde des psychologues, comme D. Kahneman et A. Tversky, qui ont utilisé les laboratoires pour élaborer ce que l'on appelle aujourd'hui la théorie des perspectives, ou prospect theory. Cette théorie qui met en évidence l'aspect asymétrique des pertes par rapport aux gains chez les individus, leur a permis de remporter le prix Nobel d'économie en 2002¹⁷⁵. On voit poindre l'idée de la mise en place de nouveaux modèles, qui, sans devenir trop complexes, vont au-delà des concepts classiques pour gagner en réalisme. Dans le cas de la *prospect theory*, l'idée de neutralité face au risque ne suffit pas à décrire la réalité. Le modèle a donc été révisé. Nous reparlerons de la *prospect theory* à l'occasion de l'analyse des résultats de notre propre protocole, dans les chapitres suivants de cette thèse.

Mis en forme : Police :Italique

La démarche qui consiste à nourrir les modèles théoriques de données empiriques expérimentales est donc récente mais plutôt puissante : nous allons voir que le contexte expérimental permet de contrôler l'environnement des sujets, d'injecter exactement les informations voulues, et de maîtriser certaines sources de biais. L'idée est de confronter les résultats obtenus aux résultats des théories classiques : le laboratoire est – il plus prédictif ? Permet – il de naturaliser les hypothèses de bases de l'économie ? Dans une démarche ultime qui n'est pas la notre aujourd'hui, la porte est ouverte, désormais, à toute tentative d'explication des anomalies de comportements validées par l'économie comportementale. De nos jours, la neuro-économie, ou encore les théories darwinienne, sont les champs disciplinaires les plus utilisés pour tenter d'achever de décortiquer les mécanismes de choix économiques des hommes. Mais cela ne relève déjà plus de notre problématique...

¹⁷⁵ Conjointement avec V. Smith, lui aussi récompensé pour ses travaux en économie expérimentale, et dont nous reparlerons dans la section suivante.

1.3 Les grands thèmes de l'économie expérimentale.

Lorsqu'elle a été développée dans les années 1960, l'économie expérimentale avait pour objectifs de répondre à deux questions majeures :

- Les ~~homo~~*Homo sapiens* sont-ils rationnels ? Quelles sont leurs préférences, leurs croyances, leurs comportements ? Sont-ils proches des ~~homo~~*Homo economicus* ?
- Comment concevoir des marchés (et autres mécanismes de coordination et de motivation) efficaces, compte tenu de ce que sont effectivement les Homo Sapiens ?

Mis en forme : Police :Italique

Mis en forme : Police :Italique

Ces deux questions fondamentales ont été à l'origine du développement de cette méthode, pour laquelle ses fondateurs ont obtenu le prix Nobel d'Économie en 2002 : D. Kahneman et V. Smith.

1.3.1 Étude du comportement des consommateurs face à des prises de décisions économique : *Behavioural economics*, approche psychologique, la voie de Daniel Kahneman.

Le premier objet d'étude de l'économie expérimentale est donc le comportement des agents économiques, seuls ou en groupe, autour de trois terrains d'investigations majeurs, correspondant à des théories classiques qu'il va donc falloir, parfois réviser.

- Les choix individuels, dont les bases sont rassemblées dans la théorie des choix ;
- Les interactions stratégiques (petit nombre d'individus), pour lesquelles la théorie des jeux décrit les stratégies mathématiquement issues de l'optimisation,
- Les comportements de foule (grand nombre d'individus), qui se rapportent à la théorie des marchés concurrentiels.

Dans le monde économique, il existe en fait des acteurs (quasi) rationnels : firmes, employeurs, investisseurs, politiciens. Leurs comportements ne sont la plupart du temps dictés par l'instinct et l'impulsion mais le fruit de la réflexion et de calculs pointus. Ils répondent ~~cependant~~*cependant* à des comportements non standards : consommateurs, employés, citoyens. C'est dans le but d'observer, de comprendre, de prévoir et de limiter ces comportements non standards que les acteurs rationnels ou décideurs ont tout intérêt à réviser les grandes théories classiques si le besoin en est démontré. Les recherches en économie et psychologie (*behavioral Economics*) montrent que les individus dévient des modèles standards de l'économie dans trois classes :

- Préférences (*preferences*)

- Croyances (*beliefs*)
- Prises de décision (*decision making*)

Dans ces trois classes d'analyse, les chercheurs mettent alors en évidence différents biais cognitifs récurrents et leurs impacts inéluctables, en les isolant au sein des laboratoires. Bien que toutes ne nous servent pas directement dans l'étude du comportement du consommateur d'électricité ou n'ont pas fait l'objet de l'expérience développée dans cette thèse, il est intéressant de les passer en revue dans l'optique, peut être, dans un futur proche, de mieux comprendre les agissements des clients des compagnies électriques.

1.3.1.1 Les préférences.

Dans la classe des préférences tout d'abord, parmi les biais étudiés, on retrouve les préférences inter-temporelles des individus. Les chercheurs ont mis en évidence les problèmes de self-control par exemple, qui induise chez les hommes des comportements impulsifs et une préférence non rationnelle pour une gratification immédiate (O'Donoghue, T., et M. Rabin (2006) ; Thaler R. et Richard H. & Shefrin H. M., (1981)), et plus généralement, de comportements de préférences temporellement non uniformes. Ainsi, pour simplifier, un individu préfère souvent gagner 20€ tout de suite que 100€ dans un an.

L'un des grands problèmes de la classe des préférences, traités par l'un des pères fondateurs de l'économie expérimentale, est l'étude des préférences face aux choix risqués. Ainsi, Kahneman D. et Tversky A. (1979) ont révélé ce qu'ils ont appelé la *prospect theory* (théorie des perspectives), qui montre l'aversion qu'ont les individus face aux situations mettant en jeu un gain stochastique. Ainsi, tout gain incertain est sous-estimé, les individus ne prennent pas en compte une optimisation de l'espérance mathématique comme le laisserait entendre une conception de l'homo l'Homo oeconomicus OeEconomicus (et la théorie de l'utilité espérée), mais plutôt une vision minorée de tout gain probabiliste. A l'inverse, une perte probable est surestimée. Ce sont ces travaux qui ont valu à Kahneman sa nobélisation, conjointement à V. Smith donc nous parlons plus bas, en 2002.

Mis en forme : Police :Italique

Mis en forme : Police :Italique

Mis en forme : Police :Italique

Enfin, les préférences sociales sont elles aussi explorées, avec notamment le souci du bien-être d'autrui, qui n'est, encore une fois, pas dicté par un comportement rationnel de maximisation des gains. Des chercheurs comme Charness G., Rabin M. (2002) ou Fehr E., Gächter S. (2000), ont montré que l'homo sapiens avait tendance à la coopération, et ce, pas uniquement lorsque cela lui permet d'augmenter sa richesse personnelle, ou encore, qu'il préférerait parfois sacrifier une partie de ses gains pour que les autres gagnent aussi, par souci d'équité. D'où viennent ces comportements ? Sont-ils innés, inhérents à l'homme, ou bien acquis par l'éducation et l'expérience de notre vie en société ? Ce n'est pas à ces questions que répondent les économistes, mais nous constatons qu'ils ouvrent de nombreux champs de recherche aux autres disciplines comportementales.

1.3.1.2 Les croyances.

Dans la classe des croyances maintenant, les chercheurs mettent en évidence des anomalies liées à la perception erronée qu'ont les individus du monde qui les entoure. Ainsi,

[Kahneman](#) et Tversky (1971) ont également montré que les hommes ont des croyances fausses liées à la chance, et plus particulièrement autour de la loi des petits nombres. Ainsi, il semblera anormal à de nombreuses personnes, voire une étrange coïncidence, que lors du lancer d'une pièce, l'on tombe sur « face » quatre fois de suite. Pourtant, mathématiquement parlant, cette probabilité est grande. De même, c'est ce biais de croyance qui implique que lorsqu'un chiffre « sort » au loto, les individus pensent bien faire en évitant de le jouer la semaine suivante, parce qu'il « ne peut pas ressortir 2 fois de suite ». Et pourtant, le numéro a autant de chance que les autres d'être tiré la semaine suivante...

Les problèmes de sur-confiance (*overconfidence*) ont été et sont également étudiés. C. Camerer C., et Lovallo D. (1999) ont montré pourquoi un grand nombre de nombreuses entreprises nouvellement créées échouent dans leurs premières années d'existence : la tendance qu'ont les individus à surestimer leurs compétences et à faire preuve d'un optimisme non rationnel quant à leur futur les conduisent à mener des actions vouées à l'échec. Nous ne pouvons nous empêcher de penser qu'en un sens, il est plutôt heureux que l'homme ait parfois confiance en un futur compromis. On dit que l'espoir fait vivre, et dans des temps de conjoncture défavorable, cela s'avère, très certainement, une planche de salut. Mais nous quittons ici le domaine de l'économie expérimentale...

Dans un même esprit, on aborde les travaux autour de ce que l'on appelle les biais de projection (*overprojection*, *projection bias*). Ces comportements, bien connus des services de ressources humaines, désignent en général notre tendance à projeter nos propres sentiments, préférences et goûts sur autrui. En économie expérimentale, on étudie également la manière dont les individus se projettent eux-mêmes dans un futur proche en fonction de leur état immédiat, à l'instant t. On a pu montrer par exemple que les sujets manifestant un état de faim avaient tendance à choisir des aliments de type « *junk food* » alors que, lorsqu'on leur demande avant qu'ils n'aient faim ce qu'ils voudront manger à l'instant t, ils effectuent des choix moins néfastes à la santé : leur projection dépend de l'état dans lequel ils effectuent le choix. (Read D., van Leeuwen B. (1998)).

Mis en forme : Police :Italique

1.3.1.3 *Prise de décision.*

L'étude des comportements face à la prise de décision reprend en partie les objets de recherche cités ci-dessus, mais observe particulièrement tous les éléments de l'environnement des individus et de la problématique à laquelle il fait face, et comment ceux-ci impactent leurs choix. Cette section importante de la recherche en économie expérimentale est traitée de manière complète dans le *Handbook of Experimental Economics* (Kagel J. et Roth A., 1995), qui lui consacre un chapitre entier et conséquent (chapitre 8). Parmi les éléments de l'environnement des sujets et de leurs caractéristiques propres pouvant influencer leurs prises de décisions, on retrouve leurs émotions (on pourra voir Loewenstein G. and Lerner (2003)), la pression sociale, mais également les limites de leur attention, ou encore les effets de carte (*menu effects*) qui induisent une orientation des choix. Les chercheurs cherchent alors à caractériser ces inductions, à les dompter et à les reproduire volontairement. C'est l'ensemble de l'étude des comportements humain qui progresse grâce à leurs études, car on comprend alors mieux comment certaines observations peuvent s'en

retrouver biaisées ou orientées malgré tous les efforts de pertinence des scientifiques, des sociologues, des psychologues... Les effets dits de *framing* sont également très importants car, loin de se limiter à un champ de recherche de l'économie expérimentale, ils rejaillissent sur l'ensemble des expérimentations de laboratoire. A. Tversky et D. Kahneman ont montré l'importance des mots et de la manière de décrire les situations et les conséquences d'un choix sur les décisions prises par les sujets (1981). Ils ont également montré (1986) que pour inciter les individus à effectuer les choix de manière réfléchie et pertinente, il convient de leur présenter la situation comme une tentative d'optimisation. De plus, que le choix les concerne ou non, ils doivent être incités dans leurs réponses, et si possible apprendre d'eux-mêmes quelque chose de l'expérience. Nous verrons combien cet aspect est important dans la section suivante.

Ainsi, la recherche autour des prises de décision étudie par exemple les consentements à payer pour divers biens, comment l'information ou l'ajout de l'information a un impact sur ces consentements à payer, par exemple, avec de nombreuses applications dans le domaine du concret : afin que la recherche ne se limite pas à la théorie, il convient d'imaginer la multitude d'applications que peuvent avoir l'ensemble de ces découvertes sur le comportement des consommateurs à chaque moment où ils doivent effectuer un choix, c'est-à-dire, tout au long de leurs journées, et y compris au moment où ils souscrivent à un contrat d'électricité ou lorsqu'ils démarrent un appareil électrique.

1.3.2 Interrogation des modèles théoriques et *market Design*, par Vernon Smith.

Le second objet majeur de l'économie expérimentale est, comme nous l'avons dit, l'étude du fonctionnement des marchés. Alors que D. Kahneman et ses confrères eurent pour problématique l'approche de l'économie par la demande, V. Smith et ses condisciples abordèrent la question du côté de l'offre. Par fonctionnement des marchés, nous entendons d'abord efficacité des marchés. Puis nous verrons qu'il est également possible de pratiquer ce que nous appelons du design de marchés grâce à l'économie expérimentale. L'efficacité d'un marché s'évalue par le degré de maximisation de la valeur totale impliquée par l'ensemble des règles qui le concernent. Des processus, comme l'apparition de bulles spéculatives, sont par exemple observés en laboratoire.

La naissance de l'étude des processus de marchés en laboratoire est simple : le professeur V. Smith a souhaité aider ses étudiants à comprendre les phénomènes issus de la théorie microéconomique¹⁷⁶, et plus précisément l'équilibre concurrentiel sur les marchés. Pour ce faire, il a reproduit dans la salle de classe une situation de marché et a fait « jouer » ses élèves : les premières expérimentations eurent lieu. Smith a ensuite peaufiné ses expériences, ce qui a donné lieu à ses premières publications (Smith V, (1962)), reproduisant les mécanismes de marché par introduction de règles précises modélisant le contrôle des institutions, observant les éventuels effets inattendus apparaître, et fondant lui aussi les solides bases d'une nouvelle discipline.

¹⁷⁶ En 1956, selon l'autobiographie réalisée par Smith pour sa nobélisation en 2002.

Pour la réalisation de cette thèse, c'est bien sur le comportement du consommateur résidentiel qui nous a davantage intéressés. C'est pourquoi, dans cette section, plutôt que d'observer l'ensemble des phénomènes de marchés étudiés par le biais de l'économie expérimentale, nous allons plutôt nous intéresser à un exemple proche de notre problématique : celui du design des marchés électriques. A propos du design des marchés (en général) via l'éclairage des *expérimentations en laboratoire*, nous pouvons citer le discours de nobélisation de V. Smith (2003) « *This branch of experimental economics uses the lab as a test bed to examine the performance of proposed new institutions and modifies their rules and implementation features in the light of the test results* ». La libéralisation des marchés électriques en Europe a offert à la discipline un excellent terrain d'étude appliquée aux économistes, dans le but de concevoir, structurer et organiser les marchés concurrentiels du produit, en évaluant le cadre que la réglementation propose.

1.3.2.1 *L'économie expérimentale au service du design des marchés électriques : détails d'une expérimentation.*

L'électricité est de fait un produit quelque peu différents des autres, dont les caractéristiques rendent difficile, techniquement et économiquement, l'ajustement de l'offre et de la demande, et la conception de marchés efficaces autour de cet ajustement à court et à long termes. Les axes de recherche de l'économie expérimentale autour des marchés de gros de l'électricité permettent donc de tenter d'anticiper les éventuelles inefficacités des designs de marché tout en tenant compte des spécificités du contexte : acteurs, technologie et réseau physique, et de proposer des solutions pour s'approcher d'un hypothétique optimal. On peut ainsi voir apparaître des effets de bords insoupçonnés et modifier les règles de marché pour contrer ces artefacts. De nombreuses propriétés propres aux marchés des industries de réseau (comme l'électricité) ont été démontrées : nous listerons quelques résultats dans la suite de cette section.

Parmi les expérimentations réalisées autour des marchés de gros de l'électricité, nous pouvons commencer par citer et nous intéresser plus en détails à l'une d'elles devenue un grand classique (Rassenti S., Smith V., Wilson B. (2003) :- "*Controlling Market Power and Price Spikes in Electricity Networks: Demand-Side Bidding*,"), et dont l'observation nous permettra de comprendre quel type de résultats l'économie expérimentale peut offrir au design des marchés de gros de l'électricité. Un exemple de cadre institutionnel (règles de marchés) est donné aux participants au début de l'expérimentation :

« Ceci est une expérience sur la décision individuelle en environnement de marché. Si vous suivez soigneusement les instructions et prenez les bonnes décisions, vous pouvez gagner de l'argent, qui vous sera payé à la fin de cette expérience. À partir de maintenant, toutes les références à l'argent seront en termes de 'dollars électroniques'. À la fin de la session, vos dollars seront convertis en argent comptant au taux indiqué à la fin des instructions.

Cette expérience est une suite de périodes. À chaque période, vous participerez à un marché pour échanger des unités d'un bien que des acheteurs achètent à des vendeurs afin de revendre à leurs clients. Au début de chaque période, vous serez informé de la demande de cette période :

intermédiaire, de pointe ou basse. D'une période à l'autre, l'expérience suivra toujours le même cycle de demande de 4 périodes : intermédiaire, de pointe, intermédiaire, e-basse, etc. Chaque vendeur sur ce marché possède des usines de production qui produisent des unités du bien qu'il peut vendre. Chaque unité produite a un coût de production associé. Le gain (en dollars électroniques) gagné de la vente d'une unité est égal au prix du marché reçu pour cette unité moins le coût de production.

A chaque période, vous aurez l'occasion de soumettre des offres de vente de vos unités. Chaque offre se compose d'un prix, d'une quantité égale au nombre d'unités que vous voulez vendre à ce prix. Une fois que tous les offreurs ont soumis leurs offres de vente, l'opérateur du marché les ordonne, du plus bas prix au prix le plus élevé. Le prix de marché de la période correspond au prix de la dernière offre de vente qui permet de satisfaire le niveau de demande, compte tenu des contraintes de réseau. » (Traduction C. Jullien).

La lecture de cet extrait des instructions de l'expérimentation nous permet d'aborder une des facettes fondamentales de l'économie expérimentale : le processus d'incitations financières en lien direct avec les décisions prises, de sorte à ce que le vécu des institutions coïncide avec la maximisation individuelle des gains des participants.

Cette expérimentation visant à observer les effets de mécanismes institutionnels introduisant la demande sur les prix de gros comporte également des composantes d'informations sur le réseau d'échange, les quantités demandées et potentiellement produites, ainsi qu'une série de simplifications destinée à faciliter la compréhension et le déroulement de l'expérience utilisant des sujets non experts, sans pour autant entraver la validité des résultats :

- Des pertes de transmission négligeables,
- Des producteurs sans coûts irrécupérables, sans coûts fixes, sans capacité minimum de production,
- Des acheteurs (en gros) sans pénalité en cas non fourniture de leurs clients,
- Pas de réserves de sécurité.

Trois effets sont principalement attendus de l'introduction de la demande sur le marché de gros : l'intensification de la concurrence, une réduction du niveau des prix, ainsi que la réduction de la volatilité des prix, qui est traditionnellement importante sur les marchés électriques.

Par le biais des expérimentations menées, les auteurs ont démontré une réduction de la volatilité des prix et une élévation des prix hors période de pointe de la demande : un effet inattendu du mécanisme dit de « *demand-side bidding* » (enchères du côté de la demande) introduit dans les lois du marché ainsi créé.

1.3.2.2 D'autres exemples de résultats expérimentaux autour des marchés électriques.

Il existe un certain nombre d'autres publications traitant de la question du design des marchés de gros de l'électricité, autour de quelques problématiques majeures. Dans cette section, sans prétendre effectuer un abord exhaustif de l'existant, nous proposons quelques résultats autour de la question.

1.3.2.2.1 Economie expérimentale et libéralisation.

La libéralisation des marchés électrique a induit un certain bouleversement sur toutes les places où elle s'est déroulée durant les dernières années. Elle a donc fait l'objet de diverses études. Nous pouvons citer Rassenti S., Smith V. (1986), dont les résultats montrent l'efficacité pour le cas de l'Arizona, d'un système électrique fortement décentralisé, privatisé et verticalement dés-intégré, y compris dans le cas de l'introduction de la demande sur les marchés de gros. Une autre étude de Rassenti S., Smith V. Et Wilson B. (2002) évoque dans ses conclusions le fait que le cadre historique institutionnel des marchés de gros de l'électricité, l'introduction de la demande dans les mécanismes d'ajustement conduirait à davantage d'efficacité (réduction de la volatilité des prix, baisse du besoin de réserves d'électricité de backup...), alors que la problématique est trop souvent uniquement considérée comme celle du côté de l'offre.

1.3.2.2.2 Congestion et tarification du réseau.

Certaines traitent quant à elle de la question des congestions sur les réseaux électriques : peuvent-elles être régulées par des mécanismes de tarification ? Nous ne détaillerons pas les résultats, plutôt complexes obtenus, dans cette thèse, mais nous pouvons renvoyer à la lecture de Backerman, Rassenti S., Smith V. (2000), ou encore Jullien C., Pignon V., Robin S., Staropoli C. (2012), qui investiguent différentes possibilités autour du transport d'électricité dans un monde décentralisé.

1.3.2.2.3 Pouvoir de marché.

Des auteurs se sont attachés à démontrer les comportements stratégiques et opportunités existant sur un marché de l'électricité que se partagent différents compétiteurs, vendeurs ou acheteurs, en particuliers dues à l'existence d'une couche réseau dans la filière électrique, ou encore en fonction de différents paramètres d'enchères (Zimmerman R., Bernard J., Thomas R., Schulze W. (1999), Denton M., Rassenti S., Smith V., Beckerman S. (2001)).

1.3.2.2.4 Mécanismes d'enchères.

Enfin, des études récentes portent, elles, sur l'efficacité de différents mécanismes d'enchères sur les marchés de l'électricité : enchères continues, enchères scellées, enchères uniformes ou discriminantes... (Denton M., Rassenti S., Smith V. (2001), Olson M., Rassenti S., Smith V., et Rigdon M.(2002), Abbink K., Brandts J. et McDaniel T. (2003). D'autres travaux incluent également la

participation de la demande sur les marchés (sous forme de capacités d'effacement) et l'effet potentiel sur les investissements en évaluant par exemple le cas des *forward capacity markets*, sensés les favoriser, en laboratoire. On peut voir autour de ce sujet Jullien C., Rassenti S., Winn A (2008), ou encore Jullien C., Pignon V., Robin S., Staropoli C. (2009).

1.3.3 Vers une utilisation de l'économie expérimentale pour répondre à des problèmes appliqués de préférences et de comportements.

Comme nous venons de le voir, au fil des années l'économie expérimentale s'est montrée disponible pour résoudre les problèmes très pointus et appliqués des phénomènes de marché. Petit à petit, sur le plan du comportement du consommateur également, la discipline s'est révélée très utile pour traiter de problèmes appliqués, bien loin de certains concepts abstraits de la psychologie sociale, et pour lesquels il n'était pas pertinent d'effectuer une approche purement théorique.

Ainsi, ces dernières années, de plus en plus d'institutions et d'entreprises de biens de grande consommation (agro-alimentaire, automobile...) font appel à des laboratoires d'économie expérimentale pour répondre à des problématiques on ne peut plus concrètes. Les méthodologies utilisées par les compagnies pour répondre à ces questions aujourd'hui sont celles évoquées dans la première partie de cette thèse concernant les offres de la *demand response*; les enquêtes de type questionnaire et les focus group sont souvent employés. L'économie expérimentale peut alors pour elle constituer une intéressante alternative car l'étude des préférences individuelles est alors débarrassée de certains biais. Cette fois encore nous allons évoquer un exemple précis, issu du laboratoire GAEL, inscrit dans le domaine de l'agro-alimentaire (Muller L., Ruffieux B, 2012). Cet exemple de recherche autour de l'étiquetage nutritionnel est intéressant à observer car le monde de l'agro-alimentaire et du marché de détail de l'électricité peuvent sembler similaire selon certains angles d'approche.

Nous allons évoquer le comportement nutritionnel des consommateurs et nous poser la question suivante : dans le cadre de la recherche d'une alimentation équilibrée, quels sont les mesures à conseiller aux pouvoirs publics et aux compagnies pour réussir à inciter à la consommation de produits sains et limiter celle des produits trop gras, trop sucrés ou trop salés ? Plusieurs alternatives sont envisageables (et complémentaires). Il est possible d'agir sur les prix des produits, en imposant des taxes sur les produits nutritionnellement peu intéressants, comme les sodas par exemple (solution adoptée en France dès 2011), en espérant que l'augmentation des prix réduira les achats de ce type de produits. Il est également possible d'opter pour une solution sans demi-mesure, et de supprimer, à la base, tout ou partie des ingrédients néfastes dans les produits, potentiellement par le biais de lois : par exemple instaurer un taux de sucre maximum dans les boissons sucrées, en prenant le risque que le consommateur reporte ses consommations vers d'autres produits néfastes. Enfin, il est possible d'obliger aux compagnies d'informer les consommateurs sur le contenu des produits, en appliquant un étiquetage nutritionnel adapté sur ses produits, comme les calories contenues dans un verre de soda par exemple.

Mis en forme : Police :Italique

Une multitude de questions se pose alors : dans quelle mesure une taxe sur les sodas induira une baisse de la consommation ? Cette baisse de la consommation nuira-t-elle outre mesure aux compagnies vendant du soda ? Quel niveau de taxe contente – il l'offre et la demande tout en induisant une incitation suffisante ? Les consommateurs accepteraient-ils d'acheter des produits dont le contenu est modifié de manière plus ou moins transparente pour eux dans le but de les rendre plus sains ? L'étiquetage informatif est-il efficace ? Quelles sont les informations affichées les plus efficaces ? Comment présenter les informations nutritionnelles ? Quels esont leur impact sur les paniers alimentaires ? Y-a-t-il des effets de bord néfastes à ces trois types de politiques sur le régime alimentaire global ?

Le parallèle avec notre problématique électrique semble évident. Tout comme les nutriments sont cachés dans les aliments, la consommation électrique est cachée derrière la consommation d'un usage électrique final. On ne consomme pas des lipides, mais du saucisson, on ne consomme pas des kWh, mais on utilise un sèche-cheveux. Les questions évoquées dans le paragraphe ci-dessus sont dès lors toutes transposables au contexte de l'électricité : quelles tarifications sont les plus incitatives ? Peut-on automatiser les usages sans exacerber le sentiment de contrainte du consommateur ? Les outils de feedback sont-ils utiles à la réduction de consommation électrique, et si oui, sous quelles formes ? Quels sont les effets de bord des outils de la *demand response* ?

Mis en forme : Police :Italique

Une revue de la littérature concernant les problèmes de l'agro-alimentaire est de bon augure pour l'étude des comportements de consommation de l'électricité. Ainsi, alors que Robin S. et al (2008) présentent l'intérêt d'utilisation de la discipline pour ces problématiques dans une approche globale, Muller L. et Ruffieux B. (2011 et 2012) montrent l'impact des logos sur les achats des consommateurs. Leurs résultats présentent un impact positif sur la composition des paniers des consommateurs du fait de l'adjonction d'étiquettes nutritionnelles, et ce d'autant plus si le produit reçoit un logo indicateur global plutôt qu'une information détaillée nutriment par nutriment. Mahé T (2009) observe quant à elle l'impact des labels sociaux et environnementaux sur les préférences des consommateurs. Une autre approche consiste à évaluer cette fois-ci des consentements à payer pour les produits, par exemple en fonction des informations délivrées (Doyon M., Jullien C. et Labrecque J. (2008)), et montre une grande variabilité des consentements à payer selon les caractéristiques des individus (âge, IMC...), selon l'intensité fonctionnelle des produits, et surtout selon le niveau d'information accessible pour le consommateur, fournissant de précieuses indications aux pouvoirs publics et aux compagnies de l'agro-alimentaire quant aux politiques à mener dans le cadre de la modification des habitudes alimentaires des consommateurs. Enfin, Saulais L, Doyon M. , Ruffieux B. et Kaiser H., (2012) étudient l'impact des croyances potentiellement erronées des consommateurs sur leurs choix alimentaires, montrant entre autres la disparité des connaissances en diététiques et le lien de corrélation positif existant entre ce niveau de connaissance et les bons comportements alimentaires.

L'économie expérimentale apparaît donc comme une méthodologie relativement nouvelle mais à l'intérêt indéniable pour les institutions et compagnie pour l'étude de problématiques même extrêmement ciblées, bien au-delà de la révision des grandes théories classiques évoquées au début de ce chapitre. Les raisons en sont claires : les spécificités du laboratoire permettent une évaluation complémentaire, sinon meilleure que d'autres méthodes telles que les questionnaires déclaratifs, les enquêtes ou évaluations contingentes utilisées aujourd'hui. Quels paramètres de cet environnement particulier permettent ces conclusions ? Avant de résumer les raisons qui nous poussent à soumettre

au laboratoire notre problématique autour de la *demand response*, nous allons passer en revue les spécificités de la méthode expérimentale.

1.4 L'étude des comportements en laboratoire : les bases méthodologiques de la discipline.

L'économie expérimentale consiste à reproduire, dans le cadre d'un laboratoire, une situation de choix économique autour d'une question à instruire. Il s'agit donc pour l'expérimentaliste de modéliser cette situation de manière plus ou moins décorrélée de la réalité, puis d'amener un certain nombre de participants, appelés parfois sujets, à face à des prises de décisions pour lesquelles les variables sont contrôlées. La procédure durant laquelle les sujets sont exposés à la situation économique constitue le cœur de l'expérience, suit une trame minutieusement calibrée appelée protocole (expérimental)¹⁷⁷. L'expérimentateur met en place le cadre de sa situation, et les sujets prennent connaissance des « règles du jeu » de l'expérience et du rôle qu'ils auront à tenir. Durant l'expérience, qui peut se dérouler sur une ou plusieurs « sessions » (séances au sein du laboratoire), pour les décisions qu'il prendra face aux situations qui lui seront exposées, le sujet reçoit un gain ou subit une perte monétaire réel : on dit que ses choix sont incités. Le protocole est construit de manière à ce que les sujets soient incités à fournir le processus de réflexion que l'on attend de lui : il peut s'agir de l'inciter à révéler un prix, une tendance à la coopération... L'idée n'est pas de formater les réponses mais bien de conduire le sujet à s'exprimer de la manière dont on le souhaite. Le recueil puis l'analyse des choix réalisés tout au long des sessions de l'expérimentation peut alors donner des résultats révélant les comportements des agents économiques, dont les sujets jouaient le rôle au sein du laboratoire.

1.4.1 Théorie des valeurs induites et validité des résultats.

La validité des résultats obtenus s'appuie sur la théorie des valeurs induites (Smith V., 1976), que nous pouvons tenter de résumer ainsi : supposons qu'une personne se trouve dans une situation où elle a la possibilité de gagner de l'argent. Dans l'hypothèse où ses préférences sont strictement monotones et où elle est uniquement intéressée par ses propres entrées et sorties monétaires, alors ses choix et préférences seront représentés par l'argent gagné quelles qu'en soient les conséquences. La théorie des valeurs induites, qui valide la légitimité de la méthode expérimentale, repose en fait sur 5 hypothèses majeures concernant le comportement des sujets, qui sont reprises et détaillées par Denant-Boemont L. Delvert K., Petiot R. (1999) que nous reprenons ci-dessous :

¹⁷⁷ « [Le protocole expérimental correspond aux] règles de décision (en fait les règles du jeu) qui organisent les choix individuels et les éventuelles interactions entre les joueurs dans le cadre environnemental défini. », Denant-Boemont L.

- L'insatiabilité : « *le joueur préfère toujours disposer de plus de rémunération que ce qu'il détient déjà ; l'utilité de chaque joueur est une fonction monotone croissante de ses gains* »,
- La prééminence (ou saillance, traduction de l'anglais *saliency*) : « *Le joueur assume toutes les conséquences financières de ses choix* ». Il connaît la fonction qui détermine ses gains, qui sont fonction de ses actions et éventuellement des actions d'autres sujets.
- La dominance : « *les gains monétaires issus de l'expérimentation expliquent les actes des joueurs mieux que tout autre facteur* »,
- Le secret : le sujet est le seul à connaître ses gains, pour que soit préservée son autonomie de choix. Cette hypothèse n'est cependant pas toujours vérifiées, certains protocoles comportant un partage explicite d'informations à ce niveau, mais dans un but en général bien précis (généralement il s'agit de voir comment le fait de connaître le gain d'autrui à un moment *t* impacte les choix...)
- Le parallélisme : « il s'agit de la mesure de la différence entre le réel et le laboratoire, autrement dit, la validité externe des données produites dans le laboratoire ». Sous cette hypothèse, il devient possible de généraliser, sous réserve d'analyser les limites de cette induction, les résultats d'un laboratoire vers un cadre extérieur réel. Selon Plott C. (1982), toute théorie valide dans le monde réel devrait à fortiori l'être dans la lumière artificielle d'un laboratoire, sans quoi sa validité devrait être justement remise en question. Cela permet de légitimer les travaux de remise en question des grandes théories classiques, entres autres.

La validité des résultats collectés par l'expérimentaliste est donc issue du système de valeurs induites qu'il aura construit autour de sa problématique, et proposé aux sujets via son protocole expérimental : c'est principalement là où l'économie expérimentale prend de l'ampleur et se détache des autres méthodes d'investigation de type déclaratif. Dans le laboratoire, on ne fait pas « semblant » : la mise en situation réelle de prise de décision implique concrètement les sujets dans le processus expérimental, et déclenche de vrais comportements d'agents économiques. L'élaboration du système d'incitations est donc cruciale lors de la création de tout protocole, et fait appel à de nombreux mécanismes largement référencés, comme par exemple les enchères de Vickrey, le mécanisme BDM (Becker et al (1964)), le *Beauty contest*... qui, malgré des noms pouvant évoquer principalement les expériences de marché, sont parfois utilisées en laboratoire pour des expérimentations de comportement appliqué dans le but d'extraire, de révéler, par exemple, des consentements à payer. Nous verrons dans la section suivante comment les incitations dans le milieu expérimental nous permettent de nous éloigner de certains biais liés aux enquêtes et questionnaires déclaratifs.

1.4.2 Le cadre contrôlé d'un laboratoire expérimental.

En plus de fournir une méthodologie basée sur une théorie validant les résultats collectés sous l'hypothèse de pertinence du système d'incitations, l'économie expérimentale fournit aux études menées un cadre entièrement contrôlé, des variables maîtrisées et une reproductibilité qui sont à la base de toute science expérimentale. En chimie, tous les composants utilisés lors d'une expérience en laboratoire sont connus, introduits dans une séquence précise. La température du laboratoire peut être contrôlée, de même que les quantités des réactifs. On pèse, on chauffe, on refroidit, on augmente la pression ou au contraire on la diminue : le scientifique maîtrise l'ensemble de ces paramètres, pour reproduire le contexte nécessaire à l'observation de telle ou telle réaction chimique. Un autre scientifique, à l'autre bout du monde, qui reproduira à l'exact ces conditions expérimentales, est sensé obtenir le même résultat. La reproductibilité est par ailleurs primordiale pour l'ensemble des sciences expérimentales.

De la même manière, les expérimentations économiques se doivent d'être reproductibles. Bien entendu l'échantillon de sujets y participants pourra répondre à certains critères spécifiés par l'expérimentaliste, mais, de manière générale, c'est la répétition des sessions expérimentale et le cumul de résultats qui permettent de construire de robustes conclusions.

La reproductibilité des expérimentations permet également, puisque toutes les variables identifiées du problème sont sous le contrôle de l'expérimentaliste, d'observer comment les résultats sont influencées par la modification d'une de ces variables, toutes choses égales par ailleurs. Il est très difficile dans le monde réel de pouvoir évaluer l'influence d'une variable car deux contextes vérifient rarement, voire jamais, la condition « toutes choses égales par ailleurs ». On peut donc se permettre d'obtenir une analyse fine des problématiques étudiées en laboratoire, et imaginer comprendre l'influence de chacune des variables du système en observant l'impact de changements marginaux opérés sur elles.

On visualise dès lors les perspectives que font miroiter les spécificités de l'économie expérimentale appliquée à l'étude du comportement du consommateur d'électricité face aux outils de la *demand response*. On aimerait pouvoir construire un protocole qui nous permettrait d'isoler les différentes variables composant les offres de la *demand response*, les signaux tarifaires, les éventuels outils de feedback, pour comprendre leur impact sur l'efficacité et l'acceptabilité des mécanismes incitatifs ; et, pourquoi pas, parvenir à réaliser du design de contrat incitatif pour les consommateurs résidentiels, sous les contraintes connues imposées par le cadre réglementaire autour du produit électricité.

1.5 Economie expérimentale et *demand response*

Nous avons vu que l'économie expérimentale avait déjà plutôt largement été mise à contribution lors de l'étude des marchés de gros de l'électricité. Pourtant, à ce jour, **aucune**

expérimentation n'a été menée autour des marchés de détails et de la demande finale d'électricité ; aucune étude de la discipline ne porte sur l'acceptabilité ou l'efficacité des mécanismes de la *demand response* lorsqu'ils s'appliquent aux clients résidentiels, pourtant majoritaires en nombre et en volume de consommation.

Quel serait l'intérêt de l'utilisation des méthodes de l'économie expérimentales pour la conception d'outils de la *demand response*, pour une compagnie telle que EDF ? Dans cette section, nous émettons des suggestions de pistes pour étudier la réaction des consommateurs résidentiels d'électricité face aux outils de la *demand response*, en termes d'acceptabilité et d'impact sur les consommations. Il ne s'agit que de suggestions : nous verrons ultérieurement quelles peuvent être certaines limites apparaissant lorsqu'on souhaite les mettre en œuvre, lesquelles n'étant pour autant probablement pas incontournables par ailleurs.

Comme nous l'avons vu, l'étude des comportements des consommateurs résidentiels au sein des compagnies comme EDF est réalisée par le biais de pilotes de terrain, ou, plus rarement (et davantage autour des questions d'acceptabilité peut – être), par des spécialistes en sociologie, via des enquêtes et questionnaires déclaratifs, ou encore des analyse par ~~trade-off~~Trade off, évaluation contingente. Or, hormis les pilotes de terrain, ces méthodologies d'analyse comportementale basées sur les intentions déclarées présentent une série de biais potentiels bien connus des behaviouristes. Ils sont décrits, par exemple, par Robin, S., Rozan, A. Ruffieux B. (2008), nous retrouvons (de manière non exhaustive) :

- **Le biais hypothétique.**

Ce premier biais est induit par le manque d'implication réelle des sujets dans leurs réponses, qui n'ont alors aucun impact sur leur bien-être immédiat ou futur : il exprime donc la distance qui existe entre un choix hypothétique (dans un questionnaire déclaratif) et un choix réel (monde réel). Ainsi, un individu peut se déclarer, sur le papier, prêt à adopter une tarification incitative mais être rebuté par cette option si elle se présentait à lui dans le monde réel. Ce biais peut être réduit si on révèle son existence aux participants dans l'énoncé du questionnaire ou de l'évaluation en leur expliquant tout simplement en quoi il consiste (Lusk (2003)) mais n'est pas supprimé totalement.

- **L'effet *Warm Glow*.**

L'effet *warm glow* est à rapprocher en partie de l'*Hawthorne effect* que nous avons déjà évoqué à plusieurs reprises dans cette thèse. Il exprime le fait que l'opinion et les jugements des participants répondant par intention ne révèlent pas leur opinion réelle : le sujet aurait tendance à répondre ce qu'il pense qu'on attend de lui en tant que « bon client » ou « bon citoyen », comme s'il souhaitait s'acheter une bonne conscience. Dans le cas de notre problématique, des arguments écologiques en faveur d'un outil de *demand response* peuvent inciter les participants d'une enquête à se déclarer favorables à des pratiques tarifaires de pointe, parce qu'il est de bon ton d'avoir une conscience écologique, même si leurs choix réels se montreraient différents. En marge de la référence citée ci – dessus, nous pensons que ce processus, ce désir d'être « un bon élève » n'est même pas nécessairement

conscient mais ancré dans nos personnalités, c'est pourquoi il peut être particulièrement difficile à combattre pour les personnes souhaitant réaliser une enquête d'intentions.

- **Le biais stratégique.**

Le biais stratégique est plus retors, et n'existe que dans certains cas de figure. Cependant, il pourrait intervenir dans le cadre de notre problématique. Le biais stratégique est, lui, à rapprocher du comportement d'un passager clandestin : si le participant pense, plus tard, qu'il sera amené à payer pour le produit sur lequel on l'interroge de manière déclarative, il aura tendance à le sous-estimer (pour pouvoir le payer moins cher). Inversement, s'il n'a pas à payer pour ce bien ultérieurement, il aura tendance à le surestimer. Par exemple, si on cherche à connaître le consentement à payer des participants à une simple enquête déclarative pour l'installation d'un appareil de feedback à leur domicile, et qu'ils pensent que dans l'avenir ils seront amenés à être contraints d'en acheter un, ils auront tendance, *stratégiquement*, à évaluer sa valeur à la baisse.

- **Le biais d'ancrage.**

Le biais d'ancrage est lié à la portée limitée des questions fermées dans des questionnaires où pourtant une question ouverte laisserait bien des participants « muets » : les individus ont alors tendance à se référer aux suggestions induites par les premières questions d'une étude pour répondre aux suivantes (nous supposons qu'il s'agit, encore une fois, d'un processus partiellement inconscient). Par exemple, si on demande d'abord aux participants : « seriez-vous prêts à payer 1€ le kWh d'électricité en période de pointe ? », tous les participants n'ayant aucune idée du prix actuel moyen du kWh vendu aux particuliers vont avoir tendance à prendre pour référence la valeur suggérée dans la première question.

L'utilisation des méthodes de l'économie expérimentales (notamment des incitations décrites dans la section précédente) va nous permettre de réduire, voire de supprimer certains de ces biais, en particulier le biais hypothétique, l'effet *warm glow* et le biais stratégique (nous verrons à nos dépens que le biais d'ancrage reste un écueil à éviter y compris dans la rédaction de protocoles d'économie expérimentale !). En impliquant directement les sujets dans leurs décisions via les systèmes d'incitations financières, on arrive à mener les sujets à livrer, révéler leur vraie opinion, leur vrai consentement à payer. Leurs gains sont fonction de leurs choix : ils ont tout avantage à exprimer leurs intentions véritables, dans l'optique de maximiser leur bien-être. Par exemple, tout consentement à payer (CAP) révélé en laboratoire va impacter directement le sujet, qu'il remporte ou non l'enchère : il n'a pas intérêt à donner un prix plus bas que celui qui exprime son CAP, sans quoi il peut manquer l'acquisition d'un produit qui l'intéresse, ni un prix plus haut, sans quoi il risque d'emporter l'enchère et de payer un produit au-delà de son CAP. Des applications directes et simples peuvent être imaginées, autour de l'évaluation de consentements à payer pour des appareils de feedback direct ou des services de feedbacks indirects en ligne, pour lesquelles aucune étude de ce genre ne semble avoir été réalisée.

De plus, pour pouvoir anticiper correctement l'impact d'une politique de tarification dynamique, il est nécessaire de comprendre les stratégies de consommation inter temporelles des consommateurs finaux. En effet, l'efficacité en termes de report de consommation des systèmes tarifaires que nous avons évoqués (RTP, TOU, CPP...), ainsi que leur acceptation (adoption) par les

consommateurs, dépendent d'un ensemble de paramètres tels que l'aversion au risque, le taux de préférence pour le présent... D'un point de vue prédictif, il est donc nécessaire de pouvoir mesurer ces paramètres et de comprendre comment ceux-ci interviennent dans l'élaboration des choix inter temporels de consommation. Par exemple, si nous savons qu'en moyenne les ménages français sont averses au risque, cela diminue fortement la probabilité qu'ils acceptent un système RTP qui nous l'avons vu, les expose fortement à la volatilité des prix amonts.

Le questionnement d'EDF s'inscrit donc également entre autres dans la littérature propre aux choix inter temporels de consommation Il pourrait être utile pour la compagnie de parvenir à élaborer un modèle de choix de consommation d'électricité permettant d'anticiper l'impact d'une politique tarifaire donnée, en termes de report et de réduction de la demande. L'étalonnage d'un tel modèle pourrait se faire via la réalisation de sessions expérimentales : la mesure de paramètres tels que l'aversion au risque ou le taux préférence pour le présent est aujourd'hui bien maîtrisée dans cette branche de l'analyse économique et fait l'objet de procédures standardisées.

Il apparaît donc tout à fait légitime de considérer l'économie expérimentale en tant qu'approche du comportement des consommateurs résidentiels d'électricité face aux outils de la *demand response*, qu'ils soient tarifaires ou informatifs, et tant dans des considérations d'acceptabilité que d'efficacité. Etant donné que tout reste à faire dans ce domaine, la discipline n'ayant pas encore été utilisée autour de ces problématiques et du produit final « électricité », la première étape logique consiste à évaluer ce qui est du domaine du faisable, dans l'objectif de construire un premier protocole expérimental : c'est l'objet de notre prochain chapitre, qui nous éclairera davantage sur les limites de la méthode, mais surtout nous plongera directement dans l'univers du laboratoire.

Chapitre 2. Evaluer des contrats de *demand response* :

L'Elaboration d'un protocole expérimental.

L'élaboration du protocole nécessite à la fois de connaître les spécificités de la discipline telle qu'elle a été imaginée et approuvée par les économistes expérimentaux depuis les années 1960, et d'intégrer les problématiques et questionnement propres à EDF quant aux outils de *demand response*.

Le socle méthodologique de la discipline implique le respect des fondamentaux des expérimentations économiques en laboratoire : il s'agit d'un **environnement totalement contrôlé** sur 3 points essentiels : **l'information, les ressources et l'incitation, des** éléments clefs de la reproductibilité et de la validité scientifique des résultats. L'intérêt est de demander aux participants de prendre des décisions (incitées par rémunération), et d'observer leurs choix plutôt que de les interroger (modèle déclaratif). L'expérimentation se déroule selon un **protocole** qui apporte l'information aux participants et établit les règles du « jeu économique » auquel ils prennent part. Les informations apportées sont uniquement celles contenues dans le protocole, ce qui permet le contrôle de l'environnement. Un ou plusieurs expérimentalistes accompagnent le déroulement de l'expérimentation. Le laboratoire permet également d'observer des **dynamiques collectives**, dans le cadre d'expérimentations où les participants prennent des décisions en fonction en groupe ou en fonction des autres.

La problématique du comportement des consommateurs face aux outils de la *demand response* du point de vue d'EDF est vaste et le choix des questions précises à instruire s'est révélé être un travail inhérent à l'élaboration du protocole. Dans un souci d'exploitation des résultats et d'intérêt direct pour la conception de futures offres commerciales, nous avons choisi de dessiner le protocole asymptotiquement aux pilotes de terrain en élaboration au sein de la R&D. Ainsi, c'est dans une optique de lissage de la courbe de charge, et éventuellement par effet secondaire de réduction globale du niveau de consommation, que l'on cherche à établir et tester des contrats dits « d'effacement » pour la clientèle résidentielle.

Ce que nous appelons « contrat d'effacement » est un package d'options constituant une offre commerciale dont le but est de contribuer à réduire les consommations des consommateurs résidentiels d'électricité lors des périodes de pointes de demande¹⁷⁸. Dans la section 2, nous observerons les choix majeurs qui ont déterminé les caractéristiques finales de notre protocole expérimental.

¹⁷⁸ Nous rappelons une définition d'effacement donnée par le CR séance de concertation CURTE, Valorisation des effacements, 2010 : « Sur sollicitation externe, baisse de puissance électrique appelée au point de raccordement, pendant un temps donné, résultant d'une action qui modifie le comportement du consommateur »

2.1 Les possibilités d'une expérimentation en laboratoire sur la question des outils incitatifs à la réduction de consommation d'électricité.

L'utilisation d'une nouvelle méthodologie commence par l'exploration des limites de son interface avec l'univers de la problématique.

2.1.1 Des produits dans les laboratoires : le cas particulier de l'électricité.

Depuis qu'elle est reconnue en tant que discipline à part entière par un nombre croissant d'économistes et de chercheurs en sciences sociales, l'économie expérimentale s'intéresse au comportement des consommateurs finaux, éléments atomiques d'un monde économique où tout s'explique par des théories... et des anomalies. Dans les cas les plus appliqués de la recherche en économie expérimentale, ce sont directement des produits commerciaux qu'on propose aux clients. De plus en plus d'entreprises, d'industries mais aussi des institutions officielles, ou d'instituts de recherche appliquée, font appel aux laboratoires d'économie expérimentale afin d'affûter leurs stratégies commerciales, de design, de politiques publiques, en élaborant des protocoles dont l'analyse des résultats constitue une aide à la prise de décision.

On peut citer, à titre d'exemple illustratif, une étude menée pour le CREA (Centre de Recherche en Economie Agroalimentaire). Dans le but d'évaluer la propension des consommateurs occidentaux à payer pour des aliments dits « fonctionnels » (aliments courants dont la capacité à réduire les risques de maladie chronique ou affecte positivement certaines fonctions du corps), une expérimentation a été menée au laboratoire GAEL de Grenoble¹. Quatre types de yaourts ont été proposés aux sujets participant aux expériences (yaourts normaux, au bifidus, aux oméga 3, aux stérols végétaux), avec divers niveaux d'information sur leurs propriétés « santé ». Dans le cadre de cette expérience, les sujets ont eu la possibilité d'acheter, des packs de ces différents yaourts, à un prix incité qui permettait de révéler leur consentement à payer pour de tels produits. Les produits ont été présentés aux participants accompagnés ou non d'informations, comme ils pourraient l'être dans un point de vente, et les transactions ont été effectivement réalisées : les acheteurs ont quitté le laboratoire avec les produits laitiers qu'ils ont payé en monnaie sonnante et trébuchante, en fonction de l'apport d'information contrôlé qu'ils ont reçu pendant la session expérimentale.

Cet exemple est particulièrement parlant : les produits sont simples à appréhender par les participants, faciles à amener dans le laboratoire, et dont il est aisé de recréer le processus de vente. Mais qu'en est-il du produit « électricité » ? De par ses caractéristiques intrinsèques, c'est un produit radicalement différent de ceux habituellement impliqués dans des expérimentations en laboratoire.¹⁷⁹ Façonnant dans un premier lieu les marchés de l'énergie, ces caractéristiques en font

¹⁷⁹ Sa valeur ici est bien différente de celle des kWh « échangés » lors des expérimentations sur le

un produit au mode de consommation final singulier. L'électricité est un produit non stockable, à l'usage dissimulé. Il est déjà difficile de jauger une consommation d'eau courante, tant dans nos pays ce type de ressource semble jaillir sans fin des fondations de nos logements. C'est encore plus difficile pour l'électricité, invisible et d'usage indirect. Nous retiendrons donc qu'il s'agit d'un produit :

- Non stockable ni du point de vue du fournisseur, ni du point de vue de l'utilisateur final. Les seuls moyens de stocker de l'électricité (à échelle cependant limitée, surtout pour l'utilisateur résidentiel) est de convertir l'électricité en une autre forme d'énergie.
- Indispensable pour tous à domicile dans un pays déjà développé (et indispensable au développement et à la croissance par ailleurs¹⁸⁰). L'électricité est un bien de première nécessité. Pour certains usages il existe des substituts (chauffage par le gaz, chaudière à bois, poêle à pétrole, chauffe-eau à gaz ou solaire...), mais pour la majorité d'entre eux aucune alternative n'est possible.
- De consommation parfois inconsciente : Au-delà des exemples d'usages électriques listés ci-dessus, et pour lesquels la notion de mise en route et arrêt (ou allumer/éteindre, vocabulaire découlant directement de l'image la plus couramment associée à la consommation électrique : la lumière), d'autres usages sont inconscients, car parfaitement intégrés à une routine (utilisation d'un réfrigérateur, congélateur tout le temps en fonctionnement) ou liés à la notion globale de confort (chauffage électrique, chauffe-eau sanitaire. La mise en route ou l'extinction de ces appareils n'est pas un mécanisme intégré dans l'ensemble d'un quotidien, c'est un événement ponctuel réalisé à l'installation de l'appareillage ou à l'approche de l'hiver. A ce niveau là, le produit électricité est complètement dissimulé. Il n'est pas rare d'entendre dire « *Le chauffage [électrique] coûte cher* », ou « *l'eau chaude coûte cher* ».

De ces caractéristiques, on devine d'ores et déjà qu'il sera compliqué d'élaborer une expérimentation en laboratoire autour de l'activité de fourniture d'électricité aux clients résidentiels, quelle que soit la thématique incitative à explorer.

Les barrières sont multiples. Tout d'abord, il est dénué de sens de « vendre » de l'électricité en laboratoire. Ensuite, il est difficile de recréer une situation de choix d'achat d'électricité via les usages du domicile, car importer ces usages n'a pas d'intérêt propre en laboratoire : ils font partie d'une routine quotidienne, répondent à des besoins bien échelonnés sur la journée (chauffage, télévision, grille-pain, aspirateur, ballon d'eau chaude...), liés au confort, ou encore à des envies intempestives (console de jeux...). Les variables de la consommation résidentielle, que nous ne détaillerons pas ici, sont de natures variées, sont endogènes ou exogènes, et ne peuvent pas être simulées, ou maîtrisées en laboratoire. Il apparaît dès lors difficile d'étudier de manière pertinente les effets d'un outil incitatif à la réduction de consommation en dehors d'un milieu de vie, dans un laboratoire décorrélé du quotidien.

secteur des marchés de gros de l'électricité qui déjà fait l'objet d'études en économie expérimentale.

¹⁸⁰ La croissance du PIB d'un pays et celle de sa consommation en électricité sont souvent mises en relation. Cf par exemple, pour les chiffres des USA et de la France pour la période 2000-2010 : <http://www.leblogenergie.com/2011/03/la-consommation-d%C3%A9lectricit%C3%A9-marqueur-objectif-de-la-richesse-des-nations.html>

La mise en situation n'est pas le seul problème auquel on se heurte lorsqu'on souhaite étudier en laboratoire un produit tel que l'électricité (impossible à vendre en laboratoire et extrêmement lié à une activité quotidienne). En effet, l'une des caractéristiques des protocoles d'économie expérimentale reste l'incitation des choix réalisés par les sujets. Inciter ne signifie pas forcément vendre un produit, il est également possible de créer un système de rémunérations associées à des décisions à prendre, lesquels se rapportant à des comportements de consommation électrique. Cependant, on peut difficilement se passer du concept de confort, et on ne peut modéliser l'ensemble des usages électriques et rémunérer les participants selon leurs choix de consommation. Virtualiser ces éléments au sein d'un protocole d'une durée de quelques heures n'a pas un grand intérêt, car on rejoindrait alors une méthodologie purement déclarative, ou bien un jeu incité où les efforts de réduction de consommation sont aussi virtuels que les usages éventuellement simulés.

De ces constatations est née une évidence : il apparaît extrêmement difficile de réaliser une expérience en laboratoire qui viserait à observer l'impact des outils incitatifs de la *demand response* sur le comportement des consommateurs résidentiels. Ceci constitue l'un des premiers résultats de ce rapport : **l'économie expérimentale ne semble pas constituer pas un substitut aux pilotes de terrain** menés par les fournisseurs d'électricité pour évaluer les programmes de réduction de consommation (en terme de baisse de consommation, d'usages reportés ou annulés, en terme de persistance des résultats sur la durée d'une semaine, d'une saison, de plusieurs années...). Ces expérimentations de terrain, sur des périodes idéalement longues, apportent des réponses à des questionnements essentiels sur l'efficacité d'un programme de *demand response*, que l'économie expérimentale ne peut éclairer de la même façon.

Cependant, un outil de *demand response* n'a d'intérêt pour un fournisseur d'électricité que s'il est à la fois efficace, en termes d'objectifs de réduction, et acceptable pour la clientèle (à minima pour le segment de clientèle visé par le programme en question). En effet, un programme extrêmement efficace et fiable, s'il est jugé trop contraignant, trop risqué, peu attractif par rapport à l'offre électrique actuelle, s'il est rejeté par la quasi-totalité de la clientèle (visée), n'a pas d'intérêt sur le plan macroéconomique. Il convient donc d'explorer non seulement l'efficacité des offres, mais aussi leur acceptabilité, de court terme et de long terme¹⁸¹.

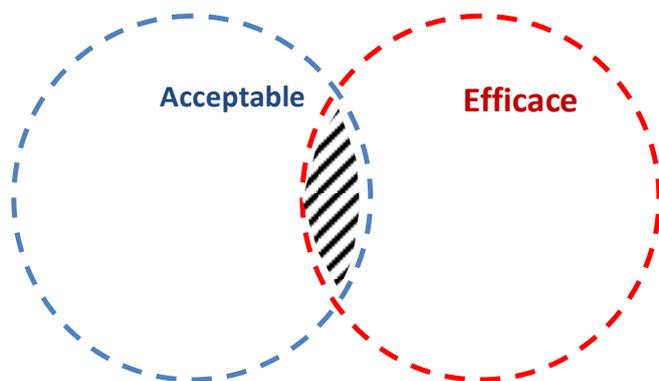
C'est la zone de recoupement entre l'ensemble des programmes de *demand response* efficaces (L'intérêt du contrat pour l'entreprise regroupe un ensemble de critères de faisabilité technique, de rentabilité et d'atteinte des objectifs de réduction des pointes/de la consommation en tendance - nous qualifierons cet intérêt d'efficacité de du contrat) et l'ensemble des programmes acceptables (à court et long terme) qui englobe les solutions de maîtrise de consommation que recherchent les fournisseurs d'électricité.

L'interaction entre le client et le contrat se décompose quant à elle en 2 phases :

- comportement face à un contrat à laquelle il n'a pas adhéré (comportement **ex ante**, acceptabilité).

¹⁸¹ On définit l'acceptabilité de court terme comme la propension d'un programme de *demand response* à être adopté par la clientèle (comportement ex-ante, face à la description du programme), alors que l'acceptabilité de long terme est la propension de ce même programme à conserver la clientèle adhérente après une période d'expérimentation du programme,

- comportement après adhésion au contrat (comportement de consommation, *ex post*).



L'efficacité est, nous venons de le voir, explorée par les pilotes de terrain, qui permettent de quantifier la réponse de la clientèle aux incitations et de jauger le potentiel déploiement technologique, mais également par prospective et analyses prévisionnelles intégrant l'ampleur potentielle de réponse aux incitations dans les scénarios de consommation et les analyses cout-bénéfice.

L'acceptabilité de long terme est parfois évaluée sur un mode déclaratif, mais l'acceptabilité de court terme n'est, à notre connaissance, qu'extrêmement peu mesurée dans les pilotes de terrain de la *demand response*. Tout au plus peut-on observer, par exemple, les taux de retour positifs lors du recrutement de différents groupes de participants aux pilotes, selon les variantes testées¹⁸². L'adoption d'un programme de *demand response*, de la part du consommateur (par exemple sous forme d'un nouveau contrat d'électricité), relève d'un choix ponctuel associé à une réflexion basée sur un apport de connaissance (descriptif de l'offre par exemple). Ce type de comportement d'adoption d'un produit (d'un outil d'incitation à la réduction de consommation) se prête, cette fois-ci, particulièrement à l'étude par l'expérimentation en laboratoire, avec pour seule contrainte l'élaboration d'un mode d'incitations adapté. **Nous avons donc effectué le choix de construire un protocole autour de la question de l'adoption de contrat dis « contrats d'effacements », outils potentiels de la *demand response*.** C'est donc, dans ce cas, l'acceptabilité des consommateurs pour divers types de contrats et toutes leurs variantes, qui se heurte à leur efficacité respective. En explorant les zones d'acceptabilités du consommateur, nous espérons franchir celles de l'efficacité pour EDF.

Afin de compléter ce que nous appelons « comportement ex-ante » du consommateur résidentiel d'électricité face à différents contrats incitatifs (c'est-à-dire l'ensemble de prises de décisions antérieures à l'adoption effective d'un contrat, par opposition au comportement ex-post, qui concerne les décisions prises consécutivement à l'adoption du contrat d'effacement, à court ou

¹⁸² Cf par exemple le pilote de l'Ofgem, EDRP, pour lequel on observe des taux de retour positifs très différents selon les variantes testées du programme.

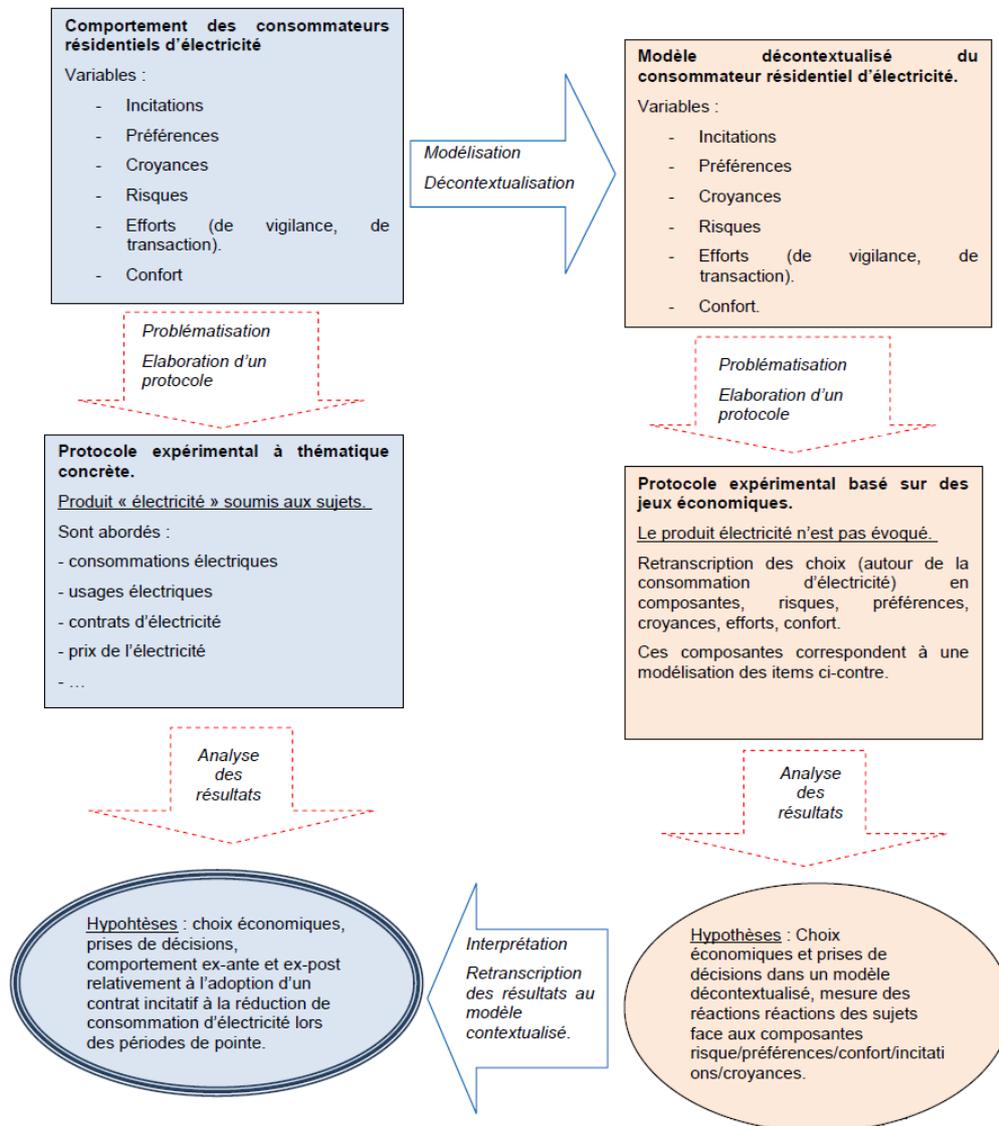
long terme), et d'explorer au mieux les horizons ouverts par la méthodologie expérimentale, nous avons également opté pour une évaluation des projections des sujets dans un futur post adoption du contrat, via des décisions à prendre initialement (choix d'appareils électriques du domicile à automatiser).

2.1.2 Une alternative envisageable : l'expérimentation décontextualisée.

Pour étudier des questions économiques autour de produits qu'il n'est pas possible de « faire rentrer » dans le laboratoire lors des sessions expérimentales, une autre possibilité existe, et consiste à déshabiller la problématique de son contexte concret. Ainsi, on pourrait tenter de dépouiller le contexte des pointes de consommation, de l'entreprise EDF et du produit électricité pour parvenir à une modélisation du problème de préférence que représente le choix de contrats d'électricité. Le schéma ci-dessous nous présente ce second cheminement expérimental, en parallèle avec le premier cheminement évoqué (qui consiste à aborder le sujet « électricité » en laboratoire).

Alors que dans une expérimentation orientée « produit électricité », l'essentiel de la difficulté réside dans l'élaboration d'un protocole adapté aux contraintes du produit, dans le cas de figure d'une expérimentation décontextualisée, c'est la phase de modélisation et de retranscription de la problématique concrète en jeux économiques interprétables qui constitue l'obstacle majeur.

Schéma suivant : *Cheminement expérimental autour de la problématique du comportement des consommateurs résidentiels d'électricité face aux contrats incitatifs à la réduction de consommation : option contextualisée vs option décontextualisée.*



2.1.3 Vers un design en amont des pilotes de terrain.

A ce niveau, il convient de rappeler que cette étude s'inscrit dans un travail de thèse CIFRE au sein d'EDF R&D : ce cadre général nous a conduits à laisser de côté la piste décontextualisée, pour des résultats plus aisément validés et valorisables en milieu industriel, et à adopter, comme nous l'avons évoqué précédemment, un protocole autour du comportement ex-ante à l'adoption de contrats incitatifs d'électricité. L'intérêt d'un tel protocole pour un commercialisateur d'électricité est bien entendu **de contribuer au design d'outils incitatifs acceptables par la clientèle**, mais également et surtout d'intervenir **sur un plan complémentaire aux pilotes de terrain**, dans une phase préalable à la commercialisation de nouveaux outils de *demand response*. A défaut de pouvoir

réaliser plusieurs expérimentations « grandeur réelle » pour évaluer différents outils incitatifs, ce qui en démultiplierait le coût et la main d'œuvre requise, on peut imaginer exploiter les résultats d'un tel protocole en laboratoire pour cibler les outils les plus pertinents à déployer ensuite sur un pilote de terrain, et ainsi éviter d'étudier pendant des années des offres non viables commercialement parlant, massivement rejetées par la clientèle, à l'acceptabilité trop délicate. L'élaboration à proprement parler du protocole permettant cette complémentarité terrain/laboratoire en évitant les écueils méthodologiques fait l'objet des parties suivantes de cette note.

2.2 Choix méthodologiques : le principe du *beauty contest* et choix des individus-types présentés aux sujets.

Tout au long du processus d'élaboration du protocole expérimental, des choix méthodologiques ont été effectués dans le but de construire une expérience en adéquation avec les questionnements d'EDF mais également un système d'incitations pertinents. Le système d'incitations d'une expérimentation est le garant de résultats non biaisés et exploitables : la rémunération doit créer ou conforter la motivation des sujets à répondre à nos questions, sans excès de zèle ni désinvolture. Toute réflexion calculée doit être anticipée et peut tout à fait servir les intérêts de l'expérimentation, pour éliciter des réponses qui sont l'aboutissement d'un cheminement de pensée que nous souhaitons orienter mais pas piloter.

2.2.1 Incitation des choix : le principe du *beauty contest*.

Une fois l'objet de l'expérimentation choisi, l'étape suivante consiste donc à choisir un système d'incitations qui nous permette de révéler l'acceptabilité des contrats de fourniture électrique. Il semble évident qu'il est impossible de réellement vendre ces contrats aux sujets en laboratoire. Il est déjà complexe voire impossible pour des questions juridiques de modifier le contrat de fourniture d'un client consentant et volontaire pour une expérimentation de terrain au long cours, ce qui nous conforte dans la recherche d'un autre type de solutions.

Une rémunération uniforme pour simple participation n'est pas non plus adéquate : en récompensant les sujets quelles que soient leurs réponses, nous finirions par retomber dans un mode de questionnaire déclaratif, et, de plus, nous risquerions de tomber dans 2 travers des expérimentations à sujets humains. D'une part, certains individus, motivés davantage par le gain en espèce sonnante et trébuchante que par leur contribution capitale aux avancées de la science, risquent de ne pas du tout s'intéresser à la problématique qui leur est présentée, puisque quelles que soient leurs réponses, avec ce mécanisme de rémunération, leur gain est identique. A l'inverse, d'autres personnes peuvent, réminiscence des années scolaires, faire preuve d'un zèle affirmé, se

sachant observés, dans l'optique peut être inconsciente de « plaire à l'instituteur »¹⁸³, et tenter de déterminer non pas quel serait « leur » choix mais celui qui est le plus socialement révélateur de leur bonne personne. L'être humain n'étant décidément pas un animal de laboratoire comme les autres, des mécanismes incitatifs plus complexes, comme le *beauty contest* que nous allons détailler, ont été approuvés par les expérimentalistes depuis des décennies.

Le principe de *beauty contest* consiste à mettre les sujets en situation d'expertise face à un choix économique : il s'agit pour eux d'estimer au mieux quel sera l'avis d'un ensemble de personnes devant une prise de décision, comment cet ensemble évalue une situation, un objet, un produit, un personnage, etc.

L'origine historique (et étymologique !) de cette méthodologie remonte au début du siècle dernier, lorsque les journaux américains proposaient à ses lecteurs de contribuer au vote d'un concours de beauté (*beauty contest*) dont l'enjeu était de déterminer, sur l'ensemble d'une liste de 100 pin-up, quelles seraient les 6 qui plaisaient le plus à l'ensemble des participants. Le gagnant parmi les lecteurs contribuant à l'élection était celui dont le classement était le plus proche du classement moyen établi par l'ensemble des participants. Ce principe a inspiré les économistes, et une méthodologie similaire a été proposée par Keynes pour étudier le comportement d'investisseurs sur les marchés financiers.

On peut observer dans ce principe une similarité avec certains phénomènes de transactions boursières : les décisions sont parfois prises par anticipation des pensées et actions de l'ensemble des autres actionnaires. Plus proche de nos questionnements, cette méthodologie est largement utilisée en économie expérimentale, et fait l'objet de nombreuses publications. En effet il a été montré qu'elle donne de bons résultats en termes de révélation de consentements à payer. Les sujets sont libérés du biais induit par leurs excès de zèle, et sont souvent plus réalistes vis-à-vis du comportement altruiste de leurs voisins que du leur. On peut voir à titre d'exemple le travail de J. Lusk J. et F. Norwood (2011), qui a étudié récemment les consentements à payer relatifs pour des œufs de poules élevées en plein air et en cage. Il apparaît que les individus se disent tous bien plus préoccupés par le bien-être des poules pondeuses que ne le sont leurs voisins... mais que le consentement à payer exprimé par les sujets lorsqu'on les questionne sur le mode du *beauty contest* (consentement à payer moyen du groupe présent dans le laboratoire) est bel et bien le plus proche de la réalité observée sur le terrain (de la vente d'œufs en dehors du laboratoire). D'autres études amènent au même constat. Ainsi, il a par exemple été montré que 80% des gens pensent qu'ils font partie des 20% des meilleurs conducteurs : on constate bien l'absurdité de l'effet de zèle présent lorsqu'on interroge des sujets sur un mode déclaratif, ou lorsque les produits sont peu chers en laboratoire (comme c'est le cas pour les œufs de Lusk). Enfin, sur le même principe, le *beauty contest* nous permet d'éviter l'écueil d'une surestimation des capacités des individus, lorsqu'il s'agit d'une prise de décision engageante les concernant. A titre d'exemple, une partie des personnes souscrivant à une salle de sport, se sentent capables de se tenir à leurs engagements et efforts sur la durée, mais finalement, abandonnent rapidement, non pas parce qu'ils deviennent paresseux, mais parce que la projection qu'ils ont de leurs capacités est parfois supérieure à la réalité. (On peut voir à ce sujet O'Donoghue T., Rabin M. (1999)), qui évoquent la naïveté des sujets concernant leurs problèmes de *self-control* dans un futur plus ou moins proche)

¹⁸³ Ce biais expérimental est connu sous le nom d'*Hawthorne effect*.

C'est donc **ce procédé de *beauty contest* qui nous permettra d'inciter les réponses des sujets quant au design des contrats d'électricité que nous leur proposerons**. Plutôt que d'exprimer quels seraient leur choix face à ces contrats dans la vraie vie, nous allons les questionner sur l'avis du groupe, c'est-à-dire l'ensemble des sujets présents dans la salle, et pour les inciter à effectuer l'exercice mental de la prise de recul par rapport aux décisions, et à vraiment tenter de déterminer quelle sera la réponse du groupe, nous les récompenserons selon leur proximité à cette dernière. D'un point de vue logistique, cela implique d'organiser des sessions expérimentales comportant un nombre minimum de sujets. Nous arrêterons ce nombre à 6 sujets au minimum, même si idéalement, une dizaine de sujets sont requis pour la constitution de données de groupe. De par la construction des prises de décisions de notre protocole, nous verrons que ce détail est sans grande importance, puisque la majorité des choix proposés seront binaires. Par ailleurs, pour établir les réponses issues du groupe, dans un tel cas de figure et pour les réponses non binaires, il est important de noter que la moyenne est bien piètre indicateur. En effet, la moyenne peut aisément être manipulée par les sujets du groupe eux-mêmes si leur voix est prise en compte dans son calcul (ce qui sera le cas dans un groupe de très petite taille). L'utilisation de la médiane comme indicateur permet de tuer tout comportement stratégique.

Deux remarques sont cependant à émettre quant à l'utilisation du *beauty contest* dans notre cas. Tout d'abord, il convient de noter que l'on ne peut pas déduire les préférences individuelles des sujets depuis les résultats obtenus. D'autre part, l'hétérogénéité potentielle des participants à une même session peut poser problème lorsqu'il s'agit d'évaluer l'appétence de contrats d'électricité : le choix d'une offre de fourniture électrique dépend avant tout du type de logement, du mode de vie et des appareils électriques du domicile des individus. Comment évaluer la réponse moyenne d'un groupe dont on ne connaît pas les lieux et modes de vie ? Quelle est la pertinence d'un choix médian lorsqu'on considère des individus aux logements totalement différents ?

Nous allons donc utiliser cette méthodologie en demandant aux sujets non pas de déterminer quelle sera la réponse du groupe quant aux design des contrats incitatifs pour le groupe, mais **d'évaluer au mieux la réponse d'un individu que nous décrivons**. Les sujets les mieux rémunérés seront donc ceux dont les réponses s'approcheront le plus de la réponse médiane du groupe de leur session concernant cet individu. Nous offrirons également aux participants une somme forfaitaire de 20€, dédommagement fixe pour l'effort et le temps passé au laboratoire. Nous avons donc la possibilité d'inciter l'expérimentation tout en travaillant sur une base d'informations homogènes et partagées, tout en nous offrant la possibilité de travailler non pas avec un, mais plusieurs profils de clients – types calibrés par nos soins à proposer aux sujets, dans l'optique d'observer des disparités potentielles d'acceptabilité selon différents segments de la clientèle.

2.2.2 Les individus-types présentés aux sujets.

Pour l'élaboration du protocole expérimental « Contrats d'électricité pour la pointe 18-20 », nous avons construit deux **foyers-types** face auxquels nous avons placé les sujets en position

d'experts. C'est dans la peau des preneurs de décisions de ces foyers type qu'ils devront se glisser pour estimer au mieux leurs réactions face à différents contrats incitatifs, et tenter de répondre comme la majorité du groupe de leur session.

Nous avons choisi d'utiliser deux foyers très différents et plutôt « stéréotypés » afin de faciliter la transposition de pensée pour les sujets des sessions expérimentales. **Nous avons nommé les preneurs de décisions de ces foyers Paul et Betty.** En premier lieu, nous avons déterminé les caractéristiques principales des foyers de Paul et Betty, puis nous avons croisé ces informations avec les données issues des clients du Panel des 6000 d'EDF¹⁸⁴ : nous avons isolé les clients du panel qui correspondaient aux descriptions des foyers de Paul et Betty, grâce à des critères sociodémographique. Nous avons ensuite recherché quels étaient les comportements et courbes de charges moyens de ces foyers afin de partir sur des bases de consommation et facturation chiffrées plausibles, dans l'optique de présenter de nouveaux contrats aux sujets. Une rapide simplification a été effectuée par rapport aux résultats issus du panel, afin de rendre les profils plus « présentables », pour aboutir aux fiches de profils de Paul et Betty proposée en annexe de cette note (section **Erreur ! source du renvoi introuvable.**). Nous présentons dans les deux sous-sections suivantes un bref aperçu de ces deux profils.

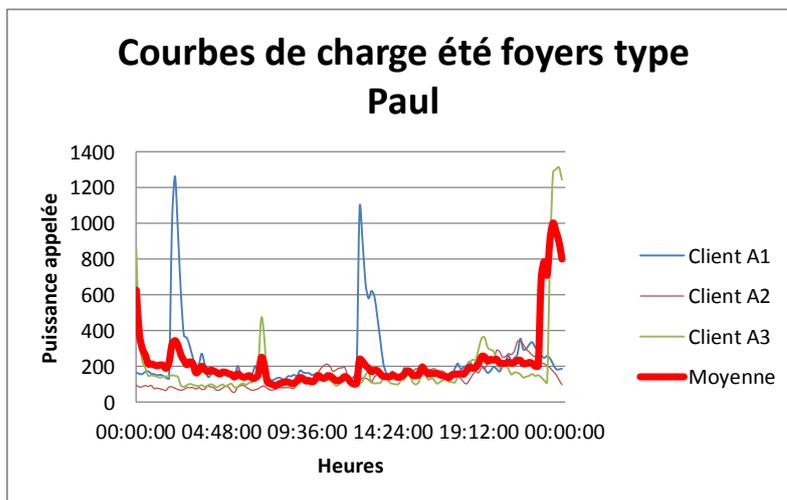
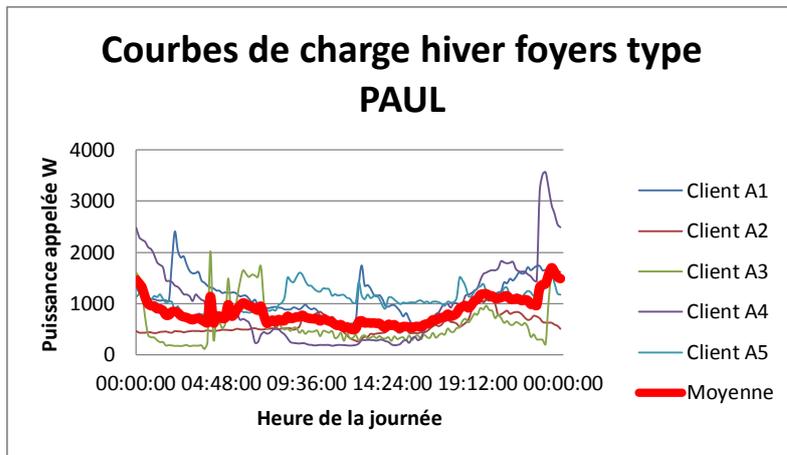
2.2.2.1 *L'individu Paul.*

Paul est un individu de genre masculin, vivant seul dans appartement en ville, doté d'un chauffage et d'ECS électrique. Afin de recueillir les informations de consommation des clients du panel des 6000 dotés du même profil, nous avons isolé les données des foyers présentant les caractéristiques suivantes :

- Abonnement = 6 KVA
- Personne seule, habitant en pole urbain
- Tout électrique (chauffage et eau chaude)
- Equipements électriques à minima : TV, PC, Lave - Linge

Nous avons ensuite établi les courbes de charges moyennes de l'échantillon de clients présentant ces caractéristiques, pour les jours les plus froids ainsi que pour la période estivale.

¹⁸⁴ Panel de consommateurs régulièrement renouvelés, utilisés par EDF R&D et Commerce pour l'étude, entre autres, des courbes de charges et comportements de consommation. Ce panel est constitué de clients volontaires ayant été soumis au préalable à un questionnaire, lequel nous permet d'isoler exactement les foyers qui nous intéressent. Ce travail a été réalisé avec l'aide précieuse de Christallan Briend, dept. ICAME d'EDF R&D.



Les index relevés toutes les 10 minutes nous amènent les niveaux de consommations moyennes suivants :

Consommation annuelle moyenne :	4050 kWh
Conso HP moyenne :	2424 kWh
Conso HC moyenne :	1626 kWh
Facture moyenne (HC/HP) =	527 €

Nous nous intéressons à la période de pointe de consommation électrique : la tranche horaire 18-20H, qui est au centre de toutes les attentions en termes de *demand response* en France.

Consommation moyenne sur la tranche horaire 18-20h :

Durant les 20 jours de pointe hivernale¹⁸⁵ : **2,06 kWh**

Moyenne estivale : **0,4 kWh**

Afin de rendre les profils plus lisibles pour les sujets, nous avons fixé pour Paul une facture électrique annuelle de 500€ avec son contrat actuel. Il consomme en moyenne 2kWh pour chaque tranche horaire 18 – 20H en période de pointe hivernale, soit une consommation horaire de 1kWh. Cette consommation (sur la tranche 18-20h) est divisée par 5 durant la période estivale.

2.2.2.2 *L'individu Betty.*

Betty est un individu de genre féminin, vivant en couple avec enfants dans un pavillon en périphérie d'une petite ville, doté d'un chauffage et d'ECS électrique. Tout comme pour Paul, afin de recueillir les informations de consommation des clients du panel des 6000 dotés du même profil, nous avons isolé les données des foyers présentant les caractéristiques suivantes :

Abonnement = 12 KVA

Couple + 1 ou 2 enfants en commune monopolarisée¹⁸⁶

Tout électrique (chauffage et eau chaude)

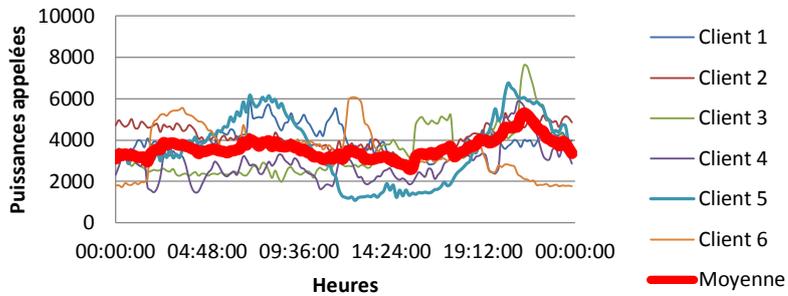
Equipements électriques à minima : TV, PC, Lave Linge, sèche linge

Nous avons ensuite établi les courbes de charges moyennes de l'échantillon de clients présentant ces caractéristiques, pour les jours les plus froids ainsi que pour la période estivale.

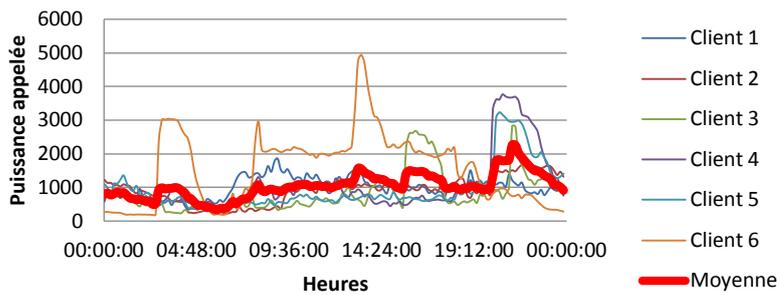
¹⁸⁵ Les 20 jours de pointe hivernale correspondent à 20 jours décrétés « rouge » sur le calendrier de l'offre Tempo d'EDF. Il s'agit de jour de très forte consommation électrique, compris entre le 1^{er} novembre et le 30 mars de chaque années scolaire, durant lesquels le fournisseur d'électricité tente de refreiner les consommations électriques de sa clientèle pour un meilleur équilibre offre/demande. Nous estimons que les tranches horaires 18-20H de ces 20 jours peuvent être considérées comme spécifiquement critiques.

¹⁸⁶ Terminologie INSEE : Petite ville entourée de campagne.

Courbes de charge hiver foyers type Betty



Courbes de charge été foyers type Betty



Les index relevés toutes les 10 minutes nous amènent les niveaux de consommations moyennes suivants :

Consommation annuelle moyenne :	18330 kWh
Conso HP moyenne :	10659 kWh
Conso HC moyenne :	7671 kWh
Facture moyenne (HC/HP) =	2121 €

Nous nous intéressons maintenant à la période de pointe de consommation électrique : la tranche horaire 18-20H :

Consommation moyenne sur la tranche horaire 18-20h :

Durant les 20 jours de pointe hivernale : **7,55 kWh**

Moyenne estivale : **1,96 kWh**

Pour terminer, afin de rendre son plus lisibles pour les sujets, nous avons fixé pour Betty et son foyer une facture électrique annuelle de 2000€ avec son contrat actuel. Son foyer consomme en moyenne 8kWh pour chaque tranche horaire 18 – 20H en période de pointe hivernale, soit une consommation horaire de 4kWh. Cette consommation (sur la tranche 18-20h) est, comme pour Paul divisée par 5 durant la période estivale.

Nous avons donc établi 2 profils-types de clients à présenter aux sujets, de manière approfondie. Nous sommes à même de détailler leurs équipements et leurs données de consommations, qui sont basées sur des chiffres réels pour un rendu vraisemblable et un résultat pertinent, mais arrondies pour une plus grande lisibilité. La méthodologie du *beauty contest* que nous avons utilisée nécessite donc une double référence externe pour les sujets : le foyer de référence, et les réponses du groupe à propos de ce foyer. Nous supposons pouvoir atténuer l'effet *Warm Glow* décrit en section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** de cette partie¹⁸⁷. Cette gymnastique de l'esprit nécessite des explications claires et précises lors du déroulement de sessions, ainsi que d'une phase d'apprentissage, afin qu'elle soit totalement assimilée lorsque vient le moment de présenter aux sujets les contrats de fourniture d'électricité dont nous souhaitons évaluer l'acceptabilité.

2.3 Le choix des contrats à proposer aux sujets.

2.3.1 Qu'est-ce qu'un contrat d'effacement ?

Ce que nous appelons « contrat d'effacement » est un package d'options constituant une offre commerciale dont le but est de contribuer à réduire les consommations des consommateurs résidentiels d'électricité lors des périodes de pointes de demande, par des méthodes incitatives ou coercitives.¹⁸⁸ La caractérisation des pointes de demande ne faisant pas l'objet de cette note, nous considérerons ici une définition simple de ce phénomène.

Les pointes de demande électrique sont des périodes de consommation élevée sur une partie du territoire (pointe locale) ou l'ensemble du territoire. Elles peuvent être journalières, ou saisonnières. Nous nous intéressons dans cette étude aux instants de l'année où ces deux pointes coïncident, pour former des pics de consommation exceptionnels, situés, de par les caractéristiques

¹⁸⁷ Mais nous ne disposons pas de moyens nous permettant de vérifier concrètement cette supposition, dans ce protocole.

¹⁸⁸ Nous rappelons une définition d'effacement donnée par le CR séance de concertation CURTE, Valorisation des effacements, 2010 : « *Sur sollicitation externe, baisse de puissance électrique appelée au point de raccordement, pendant un temps donné, résultant d'une action qui modifie le comportement du consommateur* »

de la consommation électrique en France, durant la période hivernale (jours de grand froid), en début de soirée (autour de 19h). Ces pointes de consommation électrique sont dues en grande partie à la consommation électrique résidentielle, et posent un certain nombre de problèmes connus liés aux moyens mis en œuvre pour maintenir l'équilibre offre/demande à tout moment (liste non exhaustive) :

- Coût pour les producteurs, transporteurs et distributeurs d'électricité (intégralité du système électrique). Ce coût est principalement dû à l'utilisation des centrales au fioul avec un fort coût marginal du KWh et aux importations éventuelles dont les prix sont soumis aux lois du marché.
- Emissions de CO₂ accrues par l'utilisation de centrales à énergie fossile (moyens de production de pointes, mais également lors de l'import d'électricité potentiellement peu propre)
- Perturbations sur le réseau du fait de congestion notamment dans les péninsules électriques quelle que Bretagne et PACA.
- Lourds investissements en termes de moyens de production de pointe, ces centrales n'étant utilisées qu'un nombre très restreints d'heures sur une année, mais nécessaires pour compléter la production de base.

C'est dans une optique de lissage de la courbe de charge (écrêtement des pointes de consommation et/ou report de consommation des périodes de pointe vers les périodes creuses), et éventuellement par effet secondaire de réduction globale du niveau de consommation, que l'on cherche à établir des contrats dits « d'effacement » pour la clientèle résidentielle. On estime que l'objectif en termes de réduction des pointes saisonnière est compris entre 5% et 10%.

Des offres commerciales visant à réduire la consommation lors des périodes de pointes peuvent être caractérisées par des variables qui découlent directement des particularités des périodes de pointes (période, durée, facteurs impactants...) et par la spécificité des outils mis en œuvre pour inciter ou contraindre à la baisse de consommation (de pointe).

Les variables qui caractérisent un contrat d'effacement sont regroupées en deux catégories distinctes :

- Les paramètres liés à la pointe que l'on souhaite diminuer, qui sont directement liés à la typologie des pointes. Ces caractéristiques sont quantitatives ou relative au temps (moment ou durée)
- Les paramètres liés aux outils mis en œuvre pour réduire la consommation des consommateurs. Ils peuvent être incitatifs, ou contraignants, manuels ou automatisés, éducatifs ou transparents.

Ces caractéristiques sont rassemblées et classées dans une table qui nous a également servi de grille de conception des contrats d'effacement.

Caractéristiques liées à la pointe que l'on souhaite diminuer

Durée d'effacement souhaitée

- Unité : minutes, heures.
- Exemple : de 2H, de 4h.

Amplitude d'effacement

- Coupeure, réduction de charge relative ou en KWh ou en KW, température « plancher » (seuil min ou max selon contexte clim ou chauffage élec)
- Exemple : 25% de réduction de consommation.

Moment de l'effacement

- Jour, semaine, moment dans la journée.
- Exemple : effacements possibles du lundi au vendredi, de la première semaine de novembre à la dernière semaine de mars. De 18 à 20h, les soirs de semaine.

Fréquence et Incertitude sur la requête d'effacement pour EDF

- Densité et occurrence, fois/an, mois Degré d'information sur l'incertitude. Dynamique de l'incertitude au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'échéance.
- Exemple : tous les jours de semaine, 22 jours par an entre novembre et mars.

Caractéristiques liées aux outils à mettre en œuvre pour déclencher la réduction de consommation

Information

- Connaissances : potentiel de réduction de facture en fonction des efforts réalisés, connaissances des usages, problématique des pointes de consommation
- Feedbacks indirects : informations de consommation précédentes sur factures papier, interface web, TV ou smartphone.
- Feedbacks directs : informations de consommation (et potentiellement informations tarifaires) en temps réel, nécessité d'un outil de display adapté.
- Avertissement sur l'état du réseau électrique/sur les Préavis d'effacement :
- Localisé en amont dans le temps tarifs du jour communiqués la veille à 17H,

calendrier prévu à l'avance.

Customisation possible

- Soit sur les usages différenciés que l'on souhaite réduire ou conserver
- Soit sur les plages horaires de pointe
- Soit sur les niveaux de puissance seuils dans le cadre d'une tarification double selon puissance demandée

Incitation tarifaire et financière

- Tarification : Time Of Use, *Critical peak pricing*, Real Time Pricing, Increasing Blocks Rate
- Bonus/malus à l'effacement ou à la réduction de consommation : *Peak time rebate*, primes fixes
- Bonus de réduction sur le prix de l'abonnement.

Moyens techniques (délégation à un automate ou à une société)

- Automatisation ou pilotage du chauffage électrique/ Eau chaude sanitaire
- Automatisation des appareils électriques à domicile
- Pilotage de la puissance (solution hypothétique)
- Compteur à électricité prépayée (solution hypothétique. Doit-on le mettre à part ?)
- Caractère débrayable de la solution d'automatisation ou de pilotage.

Un contrat d'effacement peut donc être considéré comme un package dans lequel sont fixées un ensemble de variables binaires ou non binaires. Ces variables sont pour certaines totalement caractérisantes de l'offre d'effacement (présence ou non de tarification spécifique, d'automatisation, périodicité des incitations...), mais d'autres peuvent permettre d'ajuster le contrat pour une meilleure réponse au problème et une meilleure acceptabilité des contraintes, comme les niveaux de tarifs, les niveaux d'information, etc... Nous disposons donc de différents leviers à adapter au mieux pour un compromis entre efficacité et acceptabilité.

La forme selon laquelle les contrats sont introduits auprès des sujets lors des sessions est d'une grande importance : nous devons décider quelles seront les variables étudiées lors du protocole avant de construire le panel de contrats dont l'acceptabilité est à évaluer. Deux options principales sont envisageables pour explorer l'acceptabilité de différents types de contrats par les consommateurs :

- Une expérimentation dite *self-design*.

Dans une expérimentation de self design, le participant est amené à construire lui-même un contrat d'effacement qui lui semble acceptable, dans le but d'atteindre des cibles que le protocole lui

fournit. Les cibles peuvent être de l'ordre de la réduction de consommation durant des périodes précises, des économies à réaliser de manière globale. Les paramètres laissés au libre arbitre du client sont la fréquence, l'amplitude, le moment, la durée, l'incertitude des effacements qu'il accepte de subir (en échange d'information, tarifs, automatisation, qui, eux, seraient proposés dans le protocole). Le libre arbitre ne peut donc pas être laissé pour les outils (les participants y verraient probablement un effet d'aubaine et choisiraient de se munir systématiquement d'un maximum d'outils pour un minimum de contraintes ou d'efforts de vigilance), cependant différentes options peuvent être explorées en créant des groupes de participants. Une autre solution consiste à imposer des contraintes et on construit un bonus

- Une expérimentation dite *picking*.

Dans une expérimentation de type *picking*, les packages d'offre de fourniture électrique sont déjà construits et les variables fixées. Un panel d'offres est proposé aux participants (les offres peuvent être proposées 2 par 2 comme lors d'une étude par choix contingent, ou de manière plus simultanée) qui désignent leur contrat préféré, ou les classent éventuellement. On remarque que la différence entre *self design* et *picking* est ténue si on augmente le nombre d'offres de contrat dans le panel proposé.

L'orientation finale choisie pour le protocole est celle d'une expérimentation de type *picking*. En effet, une expérimentation de type *self design* fournirait d'une part des résultats très difficiles à exploiter statistiquement parlant, et d'autre part, nous n'avons aucune certitude de construire de cette manière des offres appartenant au domaine de l'efficace, du techniquement réalisable ou du rentable. Un panel de contrats a donc été élaboré selon la grille proposée ci-dessus, et soumis au choix des participants.

2.3.2 Contrats d'effacement autour de la pointe hivernale 18-20H.

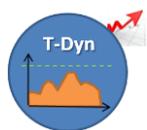
Initialement, 5 contrats ont été élaborés pour être proposés aux sujets lors des expérimentations, sur la base de la grille de critères ci-dessus. Ces contrats ont tous été majoritairement inspirés par des cas de figures de pilotes de terrain issus de France et d'ailleurs, ainsi que de tarifications existant pour d'autres segments de la clientèle (e.g. industriels et tarif vert EDF). A l'origine, les offres différaient tant par les outils incitatifs qu'elles mettaient en œuvre, que par les caractéristiques des contraintes horaires ou tarifaires qu'elles déployaient. Puis la décision fut prise d'harmoniser ces 5 offres et d'articuler tout le protocole autour de contrats d'effacements pour la tranche horaire 18-20H (avec 20 jours de pointe annuels, localisés sur la période hivernale), comme c'était déjà le cas pour l'un des contrats d'effacement, inspiré par des pilotes de terrains actuellement élaborés chez EDF R&D. D'une part, expliquer aux sujets les 5 contrats extrêmement dissemblables, avec des caractéristiques techniques très différentes d'un contrat basique, peut relever de l'utopie lorsqu'on dispose de créneaux de 2h environ par session. Le risque de ne pas y parvenir ou celui de ne pas conserver l'attention des sujets est très grand. D'autre part cela permet de limiter le nombre de variables. En effet, dans leur version initiale les contrats étaient trop

différents pour que leur comparaison constitue une base exploitable. Comment analyser en détails les effets des contrats suggérés lorsqu'une foule de composants peuvent entrer en compte dans l'acceptabilité d'un contrat ? La modification proposée consiste donc à factoriser l'ensemble des contrats autour d'une base « 20 jours de pointe entre novembre et mars inclus de 18h à 20h hors WE et jours fériés », chaque contrat se différenciant par les moyens incitatifs mis en œuvres pour parvenir à un effacement des consommations sur ces périodes de pointe auprès de la population cliente.

Les 5 contrats élaborés sont donc les suivants :

1. Eco Pointe : Tarification de pointe Critique (*Critical peak pricing*, CPP).

Eco-Pointe correspond à un tarif CPP basé sur les prix du kWh en heures creuses et en heures pleines. Le prix du kWh durant les heures de pointe (de 18 à 20h, 20 jours par an durant la période hivernale) constitue une variable à explorer.



2. Bonus à l'effacement (*Peak time rebate*, PTR).

Bonus à l'Effacement permet aux clients de cumuler des bonus sur leur facture annuelle lorsqu'ils réalisent des économies d'énergie durant les heures de pointe (au même format que dans l'offre précédente), en plus de l'argent économisé en ne consommant pas les kWh effacés.

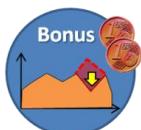
3. Tarification Dynamique de la pointe (CPP variable).

La Tarification Dynamique de la pointe est similaire au contrat Eco-Pointe, excepté pour le prix au kWh lors des heures de pointe. Avec ce troisième contrat, ce prix varie selon les jours de pointe, et est indexé sur le prix de gros de l'électricité sur le marché *day-ahead*. Le prix est donc déterminé la veille de chaque jour de pointe et est également capé, afin d'assurer un certain niveau de garantie aux clients.



4. Tarification de Puissances Variables (TPV).

La Tarification de Puissance Variable est inspiré d'un type de contrat proposé aux entreprises par EDF (Tarif Vert), et consiste en la limitation en puissance de la fourniture électrique du foyer, durant les heures de pointe. Cette limitation est virtuelle et non physique (la puissance maximum appelée est en fait la même tout le temps), mais chaque KW au-delà d'une certaine puissance appelée entraîne, lors des périodes de pointe, des pénalités financières qui viennent s'ajouter à la facture. A l'inverse, plus le client consent à un seuil de puissance bas lors des périodes de pointes (et qu'il pense parvenir à respecter), moins son abonnement est élevé.



5. Double Tarification.

Le contrat Double Tarification permet d'explorer les limites de l'acceptable sans se limiter à des conditions de faisabilité technique immédiate. Une fois qu'il a adopté ce contrat, le client dispose de 2 arrivées d'électricité sur son compteur (et donc virtuellement de 2 systèmes électriques à son domicile). La première est une entrée « classique » avec tarification HC/HP. La seconde dispose d'un tarif HC/HP réduit toute l'année sauf durant les périodes de pointe où le prix de l'électricité est décuplé. Au moyen de prises intelligentes, le client détermine quels appareils brancher sur quelle entrée, et ce de manière verrouillée (chaque changement dans les branchements implique des coûts fixes).



Les contrats 1 et 2 sont des classiques de la tarification dynamique de l'électricité lorsqu'elle est destinée aux clients résidentiels. Ce sont les plus testés par les pilotes de terrain, y compris en France par EDF sur les démonstrateurs les plus récents. Le contrat 3 est une variante de la tarification de pointe critique où le tarif de pointe est variable au fil des jours. Il a été vu sur le terrain des variantes d'offre de type CPP où la durée de pointe critique était variable (A. Faruqi, 2010). Les contrats 4 et 5, quant à eux, ne sont pas directement basés sur des offres existantes pour les clients résidentiels, que ce soit à l'état expérimental ou commercial. A mesure de l'élaboration du protocole, nous avons décidé de réduire encore ce panel, afin de pouvoir travailler sur les variables des contrats d'effacement proposés et identifier les leviers de l'acceptabilité, plutôt que de proposer un éventail très diversifié mais d'en limiter l'exploration, faute de temps durant les sessions expérimentales. Nous rappelons que pour une expérimentation de ce type, la durée d'une session ne doit pas excéder 2 heures, sans quoi nous risquons de perdre totalement les sujets, sous la masse d'information que nous leur apportons, et devant un thème peu fréquemment abordé risquant de les laisser malgré tous nos efforts d'animation des séances. **Nous avons donc effectué le choix, pour consolider l'aspect complémentaire de la méthodologie avec les pilotes de terrains réalisés par EDF en France, de ne conserver pour la phase finale seulement les contrats Eco-Pointe et Bonus à l'effacement.** Les trois autres contrats sont détaillés en annexe 1.1.

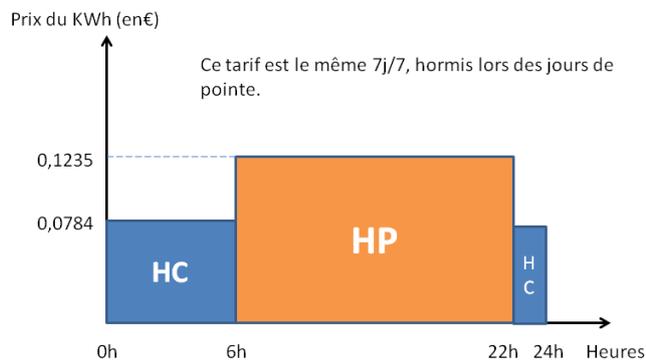
2.3.2.1 *Eco-Pointe et Bonus à l'Effacement : contrats proposés aux sujets.*

Les deux offres retenues pour être présentées aux sujets sont construites sur une même base dite « contrat d'effacement », qui présente les caractéristiques suivantes :

- Une base tarifaire horosaisonnaire Heures Creuses/ Heures pleines, avec heures creuses nocturnes (22h-6). Nous avons retenu les tarifs suivants : 0,1235€ le kWh de 6h à 22h et 0,0784€ le kWh de 22h à 6h. (Tarif appliqué par EDF pour les clients résidentiels abonnés à HC/HP du 15/08/2010 au 01/01/2011¹⁸⁹)

¹⁸⁹ Voir :

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023751601&dateTexte=&categorieLien=id>



Le tarif quotidien en dehors des jours de pointe : c'est le même pour les deux contrats d'effacement.

- Un abonnement annuel qui dépend de la puissance souscrite et qui est équivalent à l'abonnement pour HC/HP (Tarif appliqué par EDF pour les clients résidentiels abonnés à HC/HP du 15/08/2010 au 01/01/2011¹⁹⁰). A titre d'exemple, cet abonnement est de 100€ pour une puissance souscrite de 6kVA comme c'est le cas de notre individu-type Paul, et d'environ 203€ pour une puissance souscrite de 12kVA, comme c'est le cas de notre individu-type Betty.
- Chaque année (de septembre à septembre), 20 jours sont décrétés « jours de pointe ». Ces 20 jours de pointe sont compris entre le 1^{er} novembre et le 30 mars. Ils ne peuvent pas être des jours fériés ou de weekend : ce sont donc uniquement des jours ouvrables (du lundi au vendredi). Ils peuvent être consécutifs. Ces jours de pointe sont semblables, par exemple, aux jours rouges du tarif bleu Tempo d'EDF, bien que ces derniers soient au nombre de 22.

¹⁹⁰ Voir :

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023751601&dateTexte=&categorieLien=id>

Année 2009 2010	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Septembre				S	D						S	D						S	D					S	D						
Octobre		S	D						S	D						S	D						S	D						S	D
Novembre						S	D					S	D					S	D						S	D					
Décembre				S	D						S	D						S	D					S	D						
Janvier	S	D						S	D						S	D				S	D					S	D				
Février				S	D						S	D						S	D					S	D						
Mars						S	D					S	D					S	D					S	D						
Avril		S	D						S	D						S	D						S	D							
Mai	D						S	D							S	D						S	D					S	D		
Juin				S	D						S	D						S	D					S	D						
Juillet		S	D						S	D						S	D						S	D					S	D	
Août						S	D					S	D						S	D					S	D					

 Jour de pointe
  Jour éligible pour pointe

 Jour non éligible pour pointe (WE, jours fériés, avril-oct)

Exemple d'un calendrier (septembre à septembre) avec jour de pointe.

- Durant les jours de pointe, un mécanisme incitatif est mis en place de 18h à 20h pour inciter les clients à réduire leur consommation d'électricité au foyer. Chaque contrat propose un mécanisme incitatif différent : c'est là leur principale divergence.

Pour résumer, et pour reprendre les mots utilisés pour expliquer le principe aux sujets lors des sessions expérimentales :

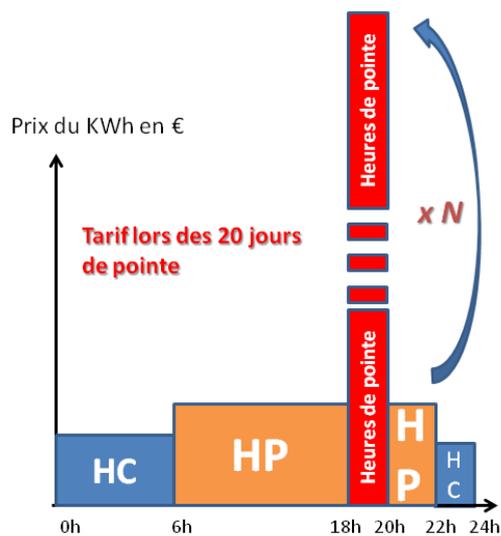
« [Le] contrat d'effacement [...] est semblable au contrat HC/HP pour la majeure partie de l'année : il comprend un abonnement et la vente d'électricité en heures pleines et en heures creuses. Il diffère 20 jours par an (jours de pointe). Ces jours là, de 18H à 20H, un mécanisme est mis en place pour inciter [le client] à réduire sa consommation. »

Nous détaillerons les deux mécanismes incitatifs dans les paragraphes suivants.

2.3.2.1.1 Eco-Pointe.

L'offre Eco-Pointe est caractérisée par une tarification de pointe critique lors du créneau horaire 18-20h. Durant les jours de pointe, l'électricité consommée durant ces heures est beaucoup plus coûteuse qu'en heures pleines habituelles.





Design tarifaire lors d'un jour de pointe.

Le facteur de prix peut varier de 5 à 30 entre heures pleines et heures de pointe selon les variantes de l'offre. L'une de ces variantes comprend même un facteur de prix non fixé, et indexé sur le prix spot de l'électricité sur le marché de gros, la veille du jour de pointe. Dans ce cas, on assure au client que le facteur est capé (compris entre $\times 5$ et $\times 30$), et que la moyenne annuelle du facteur de pointe sur les 40H de pointe (20 jours fois 2h) ne dépasse pas le facteur 20.

Afin de respecter une certaine neutralité budgétaire, une prime fixe annuelle est accordée aux clients qui optent pour l'offre Eco Pointe. Cette prime est calculée de manière à compenser le surcoût lié à la consommation inévitable d'électricité durant les jours de pointe, de 18 à 20h. Elle est basée sur la consommation moyenne d'un panel de clients sur les heures de pointe pour chaque niveau de puissance souscrite. Afin de simplifier le schéma d'application de la prime pour mieux l'expliquer aux sujets durant les sessions expérimentales, nous avons supposé que les consommations sur les heures de pointe du foyer de Paul (resp. de Betty pouvaient être considérées comme moyennes pour une puissance souscrite de 6kVA (resp. 12 KVA). Ainsi, si la consommation des foyers de Paul et Betty reste inchangée durant les heures de pointe, après adoption du contrat Eco-Pointe, alors leur facture sera également inchangée (la prime compense le surcoût lié à la consommation durant les heures de pointe).

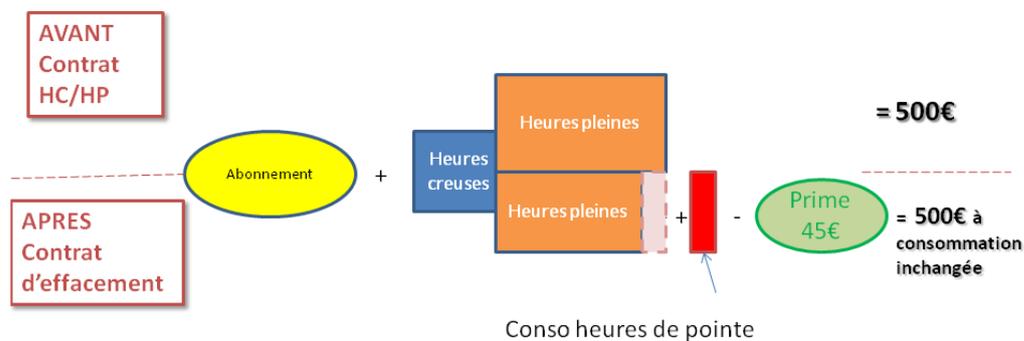


Schéma utilisé durant les sessions pour expliquer aux sujets la neutralité du contrat Eco-Pointe (avec prix de pointe Facteur 10) pour l'individu Paul, considéré comme consommateur moyen pour le segment HC/HP 6kVA sur la tranche horaire 18-20h.

En revanche, s'ils parviennent à réduire la consommation d'électricité de leur foyer durant les heures de pointe, non seulement ils ne payeront pas l'électricité économisée, mais de plus, une partie de la prime sera excédentaire aux dépenses électriques en heures de pointe (la prime surcompense cette consommation réduite puisqu'elle est fixe et correspond à une consommation normale) et donc constituera une réduction de la facture annuelle des clients. Inversement, si Paul et Betty ne parviennent pas à maîtriser leur consommation d'électricité et surconsomment par rapport à leurs habitudes, alors la facture grimpe, d'autant plus vite que le facteur de prix de pointe est élevé. Le montant de la prime est évidemment directement lié au facteur de prix entre heures pleines et heures de pointe.

Encore dans le but de rendre ce système de prix de pointe et prime plus abordable, nous l'avons également présenté aux sujets sous forme d'un résumé en 2 chiffres pour Paul et pour Betty :

- Le facteur de prix de pointe (prix de pointe)/(prix en HP).
- Le coût de la facture annuelle de Paul (ou Betty) sans les consommations de pointe. Ce chiffre permet d'avoir une idée très visuelle à la fois du montant de la prime, mais aussi du montant de la facture hypothétique si l'on parvient à réduire à néant ses consommations électriques durant les heures de pointe, et donc à empocher une partie de la prime annuelle.

Prix du KWh en pointe = 10 fois le KWh en HP

Coût de la facture hors pointe = 450€

Nous avons présenté 5 variantes du contrat Eco-Pointe aux sujets, pour chacun des deux individus types (l'exemple donné est pour Paul, dont, nous le rappelons, la facture annuelle sous le contrat HC/HP et de 500€).

Eco-Pointe Facteur 5	Eco-Pointe Facteur 10	Eco-Pointe Facteur 20	Eco-Pointe Facteur 30	Eco-Pointe Facteur Variable
Prix du KWh en pointe = 5 fois le KWh en HP	Prix du KWh en pointe = 10 fois le KWh en HP	Prix du KWh en pointe = 20 fois le KWh en HP	Prix du KWh en pointe = 30 fois le KWh en HP	Prix du KWh en pointe compris entre 5 et 30 selon les jours fois le KWh en HP
Facture hors pointe = 475€	Facture hors pointe = 450€	Facture hors pointe = 400€	Facture hors pointe = 350€	Facture moyenne hors pointe = 400€

Ces offres sont ici classées dans l'ordre de prise de risque associée de la part du client en les adoptant. La plus risquée est évidemment l'offre Eco-Pointe Variable, pour laquelle la moyenne des prix en période de pointe est au maximum de facteur 20 par rapport aux prix HP, et dont la prime est identique à l'offre Eco-Pointe de Facteur 20.

2.3.2.1.2 Bonus à l'Effacement.



Deux types de Bonus à l'Effacement ont été proposés aux sujets :

- Bonus à l'Effacement Type 1.

L'offre Bonus à l'Effacement Type 1 (BET1) est caractérisée par un bonus remis au client, proportionnel à l'électricité qu'il aura économisée (=non consommée) durant les 40 heures de pointe annuelles, en comparaison à un niveau de consommation de référence (*baseline*) établi par calcul d'après données historiques détaillé ci-dessous. La rémunération par kWh économisé ne dépend pas de la puissance souscrite du foyer. Elle est de 2€ par kWh économisé par rapport à la baseline pour un abonnement de 6 kVA (Paul) comme pour un abonnement de 12 kVA (Betty).

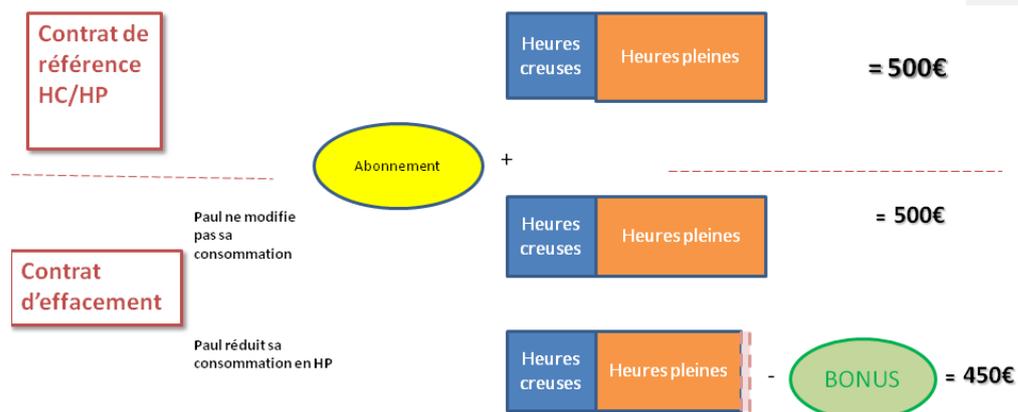


Schéma utilisé durant les sessions pour expliquer aux sujets le contrat BET1.

- Bonus à l'Effacement Type 2.

L'offre Bonus à l'Effacement de Type 2 (BET2) est identique à BET1, si ce n'est que pour avoir droit à toucher un bonus pour chaque kWh économisé par rapport à sa *baseline*, le client doit payer une majoration à l'abonnement. Cette fois-ci, s'il ne modifie pas ses habitudes de consommation sur la tranche horaire 18-20h, la neutralité de l'offre n'est plus respectée : sa facture sera plus élevée qu'elle ne l'était avec son contrat d'origine (HC/HP). Il apparaît évident qu'on ne proposera jamais face à face les contrats BET1 et BET2, puisque le niveau de rémunération est le même mais qu'un surcoût majora la facture liée à BET2. En revanche, ce type d'offre pourrait s'avérer extrêmement intéressante pour un fournisseur d'électricité, si elle se révélait acceptable par les clients. En effet, demander un « droit d'entrée » pour recevoir un bonus à l'effacement présente de grands avantages :

- Un client qui a payé pour accéder au bonus est en toute logique plus motivé pour réaliser des efforts d'économie d'énergie, afin de « rentrer dans ses frais ». Ce type d'hypothèse est, par ailleurs, probablement confirmable ou infirmable par les méthodes de l'économie expérimentale.
- La dualité de la valorisation des effacements de consommation résidentiels et de la récompense des efforts des clients est extrêmement compliquée à chiffrer. La majoration à l'effacement limite les risques, cette fois-ci pour le fournisseur. Même si les kWh effacés ont une valeur pour ce dernier, elle ne permet pas forcément de générer un bonus intéressant du point de vue du consommateur, si la récompense est basée sur les économies d'argent engendrées par l'effacement des pointes.

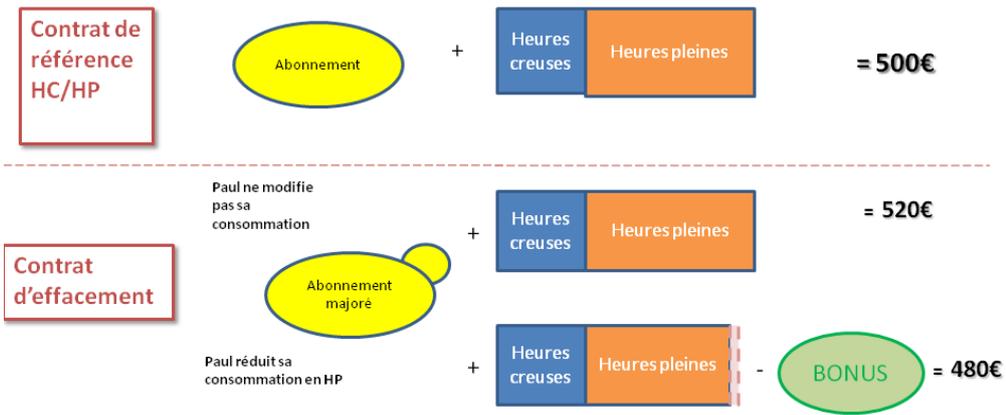


Schéma illustrant le contrat BET2.

Nous avons imaginé pour le contrat BET2 diverses variantes, en modifiant à la fois le taux de récompense de chaque kWh non consommé, mais également le surcoût de l'abonnement pour accéder aux bonus, afin de conserver des offres équilibrées. La majoration de l'abonnement est donc liée au niveau de rémunération du kWh effacé, mais également à la puissance souscrite pour le foyer du client. On admet l'hypothèse qu'une plus grande puissance souscrite indique un plus grand

potentiel d'effacement. Ce sont trois variantes qui sont proposées aux sujets pour Paul et Betty (l'exemple donné est celui de Paul). C'est ce contrat qui sera principalement opposé à Eco Pointe lors de l'expérimentation.

BET2 Bonus 2€	BET2 Bonus 4€	BET2 Bonus 6€
<p>1 kWh économisé = 2€</p> <p>Abonnement +20€</p>	<p>1 kWh économisé = 4€</p> <p>Abonnement +40€</p>	<p>1 kWh économisé = 6€</p> <p>Abonnement +60€</p>

Le niveau de *baseline* (dont le calcul est identique pour BET1 et BET2), est également un élément constitutif important. Il est inspiré des calculs de consommation de référence rencontrés dans les pilotes de terrain à l'étranger¹⁹¹ et reprend celui qui nous paraît à la fois simple et pertinent :

Baseline = (consommation moyenne pour les heures de pointe des 5 jours éligibles pointe précédents) X (facteur d'ajustement)

Les jours éligibles pointes sont les jours de semaine, non fériés, et n'ayant pas été décrétés jours de pointe.

Le facteur d'ajustement indique la différence relative de consommation électrique entre le créneau horaire 18-20 d'un jour de pointe par rapport à un jour éligible pointe (mais n'ayant pas été décrété jour de pointe). En effet si les jours de pointe sont notifiés en tant que tel, c'est que justement la consommation est particulièrement élevée ces jours – là. Donc pour estimer au mieux la consommation estimée d'un jour de pointe en utilisant des relevés de consommation de jours éligibles pointe, il convient d'utiliser un coefficient d'ajustement (supérieur à 1 et issu soit de données historiques, soit d'un groupe témoin)¹⁹².

¹⁹¹ C'est par exemple le même mode de calcul que pour le pilote PowerCents DC du fournisseur Pepco (cf <http://www.powercentsdc.org/ESC%2010-09-08%20PCDC%20Final%20Report%20-%20FINAL.pdf>).

¹⁹² On pourra calculer le ratio (consommation jour de pointe)/(consommation hors jour de pointe) sur des données historiques (antécédentes) de consommation des clients ayant souscrit au contrat BET1 ou BET2 ou sur un groupe témoin, sur la même période cette fois-ci.

Calcul du niveau de consommation de référence :

Eligible pointe		Non Eligible pointe		Pointe		
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	1			2		
3	4	5	Jour J			

Conso de référence du jour J =

$$[(\text{Conso } 1 + \text{conso } 2 + \text{conso } 3 + \text{conso } 4 + \text{conso } 5) / 5] \times 1,2$$

Facteur d'ajustement

Visuel utilisé pour expliquer aux sujets le calcul du niveau de consommation de référence, lors des sessions expérimentales.

Nous avons donc construit deux grandes familles de contrats d'effacement pour les clients résidentiels : Eco-Pointe et Bonus à l'Effacement. Si ces contrats sont déclinés en diverses variantes, on remarque qu'ils sont aussi, sur le principe, totalement symétriques (en considérant BET2 pour l'offre de type Bonus, ce qui sera majoritairement le cas dans la suite de ce document). Eco-pointe propose une prime fixe, et des pénalités variables en fonction du nombre de kWh consommés lors des périodes de pointe, alors que BET2 implique une majoration fixe, et des bonus proportionnels au nombre de kWh économisés. Cette dualité ne manquera pas de nous intéresser dans l'élaboration du protocole ainsi que, bien entendu, dans son analyse. C'est une problématique connue dans le milieu des pilotes de terrain, où les deux types d'offres coexistent et ont déjà été soumis à une comparaison directe, comme c'est le cas pour le pilote PowerCentDC de Pepco évoqué ci-dessus, ou encore le *Statewide Pricing Pilot* de BGE (Baltimore Gas & Electric). La compagnie du Maryland a effectué en 2008 une expérimentation de terrain comprenant des composantes CPP et PTR, sous divers niveaux de rémunération. (A. Faruqui(2009)). Les résultats varient d'un pilote à l'autre : alors que chez Pepco, le contrat CPP a déclenché davantage de réduction de consommation que le contrat PTR, pour BGE, les résultats sont équivalents, et, plus étonnant, ne dépendent pas forcément du taux de rémunération bonus de l'offre PTR. Ce questionnement renforce notre intérêt pour l'analyse en parallèle et confrontée de ces deux types de contrats : alors que les pilotes évaluent l'efficacité des outils incitatifs sans pour l'instant parvenir à des conclusions convergentes, leur attrait et acceptabilité comparés pour la clientèle reste à analyser.

Chapitre 3. Déroulement de la phase expérimentale.

La phase expérimentale rassemble tout ce qui suit le choix des grandes variables et des grandes questions qui orientent notre étude, et prend fin lorsque débute l'analyse des résultats. Alors que toute la préparation de l'expérimentation antécédente à l'écriture du protocole relève d'un jeu d'échange entre EDF et le laboratoire GAEL, la phase expérimentale s'est déroulée presque entièrement au laboratoire grenoblois, afin de trouver auprès de l'équipe chevronnée une aide souvent indispensable à l'élaboration de l'expérimentation. Cette élaboration nécessite d'autres réflexions que la première phase de conception axée sur le fond, puisqu'il s'agit d'organiser la forme, de rédiger le protocole en respectant les principes élémentaires de l'économie expérimentale, tout en faisant preuve d'un maximum de pédagogie et en soignant chaque mot, chaque forme, chaque image utilisée.

En parallèle avec la rédaction du protocole à proprement parler, le recrutement des sujets, réalisé par nous-mêmes avec l'aide du personnel du GAEL, a été un enjeu à part entière. De la détermination des caractéristiques des individus requises pour leur participation : jusqu'à l'organisation de groupes homogènes en nombre pour les sessions, tout en garantissant un échantillon suffisamment conséquent pour obtenir des données exploitables.

Enfin, apogée de la phase expérimentale, l'animation sessions nous a montré qu'avec organisation et détermination, il est possible de toucher et d'intéresser un large public avec un sujet pourtant pointu, et ce sont près de 120 personnes qui ont finalement pris part à notre expérimentation portant sur les contrats d'effacements pour la tranche horaire 18-20h.

3.1 Structure et portrait du protocole.

Le protocole que nous avons élaboré est composé de 4 grandes parties distinctes, ainsi que d'un préambule d'apprentissage et d'un questionnaire final. Il est disponible en annexe 1.8. Les phases 1 et 2 sont indépendantes entre elles et des phases 3 et 4, lesquelles sont étroitement liées puisqu'elles sont les 2 variantes de l'évaluation d'acceptabilité des contrats pour les individus Paul et Betty.

Parvenir à traiter du sujet de contrats incitatifs à la réduction de consommation avec un large public a constitué l'un des enjeux majeurs de la phase de rédaction du protocole. En effet, rares sont les personnes habituées à parler de formes de contrats d'électricité ou d'enjeux des pointes de consommation. La plupart ont entendu parler, tout de même, des phénomènes de niveaux de consommation record, battus hiver après hiver en France, réalisant à chaque fois la une des journaux télévisés, lors des vagues de grand froid. Une grande majorité est également au courant de l'existence des tarifs horosaisonniers, grâce au très fort taux de pénétration du tarif Heures Creuses proposé par EDF en France : rares sont les individus totalement non avertis à ce sujet. Mais, lorsqu'il s'agit de rentrer dans le détail de la structure des offres tarifaires, d'effectuer des observations

comparatives, la tâche demeure difficile, et de gros efforts de pédagogie de notre part sont indispensables.

Il s'agit à la fois de trouver les mots pour expliquer les concepts de contrats d'effacement, les images pour illustrer, les graphiques pour faciliter la compréhension, sans pour autant noyer les sujets sous une masse d'information, sans insuffler trop de stress, sans les rebuter, générer des refus catégoriques liés à une trop forte densité visuelle. Nous le verrons plus tard, nous avons fait le choix de recruter des sujets non étudiants, pour une plus grande pertinence des résultats, avec pour conséquence la nécessité d'adapter le contenu des sessions à des personnes de tous âges, et pas forcément accoutumée à la lecture d'un contenu présenté sous forme de graphiques inclus dans des slides commentés. Les problèmes de compréhension ont été évités en employant un maximum de langage courant et en utilisant les cas de Paul ou Betty comme exemples illustratifs de l'application des contrats. Les profils de Paul et Betty avaient été construits pour présenter à la fois un réalisme marqué et des données chiffrées « rondes » facilement présentables à l'oral.

Après la facilité d'approche par un public non averti, la contrainte de temps a été le deuxième cadre à la rédaction du protocole. Une durée de 2H est le maximum acceptable pour éviter, à la fois, de rebuter les futurs participants potentiels lors du processus de recrutement, mais également le maximum à respecter pour ne pas perdre leur attention et leur concentration durant les sessions, l'analyse de différents contrats d'électricités ne constituant pas forcément un sujet fédérateur et passionnant les foules de prime abord.

3.1.1 Partie 1 : Questionnaire d'identification préalable.

Les deux premières phases ont pour objectif la caractérisation des sujets participant à l'expérimentation, de leurs caractéristiques sociodémographiques jusqu'à leur niveau d'aversion au risque. La toute première partie, intitulée questionnaire d'identification préalable, nous permet de caractériser nos sujets sur le plan sociodémographique. Il s'agit d'un questionnaire en partie inspiré des enquêtes de l'INSEE. Lors de la conception du protocole, nous n'avions pas encore déterminé sur quels critères nous allions discriminer les réponses des sujets. Les informations récoltées portent d'une part sur les caractéristiques des individus et de leur foyer, d'autre part sur leur logement (type, situation)

La phase 1, malgré son caractère simple de formulaire à remplir, revêt une importance particulière car elle sert également à établir le contact avec les sujets, à imprégner la session de crédibilité, et à plonger le laboratoire dans l'ambiance particulière des expérimentations.

Année de naissance :

Sexe : H / F

Nombre de personnes composant le foyer y compris vous :

Nombres d'enfants à charge (vivant au foyer) :

Age des enfants à charge :

Catégorie socioprofessionnelle :

- Agriculteurs, exploitants
- Artisans, commerçants et Chefs d'entreprise
- Cadres, professions intellectuelles supérieures
- Professions intermédiaires (contremaîtres, agents de maîtrise, enseignement, santé, social)
- Employés
- Etudiants
- Ouvriers
- Retraités
- Parents au foyer
- Autres personnes sans activité

3.1.2 Partie 2 : Test d'Aversion au Risque (TAR).

La seconde partie du protocole consiste en un test d'aversion au risque (TAR) classique directement inspiré des travaux de Holt C. & Laury S. (2002). Ce test relativement simple, que nous avons nommé « Jeu des 10 décisions » afin de ne pas troubler les participants, nous permet de noter la propension de ces derniers à prendre des décisions risquées face à des décisions peu risquées de 1 à 10. La mesure est effectuée au vu des choix effectués face à 10 situations de loteries avec des options plus ou moins risquées. Ce test est fréquemment utilisé en économie expérimentale, lorsqu'on souhaite discriminer les sujets sur le critère de leur aversion au risque, en début ou en fin de session. Ainsi, au laboratoire GAEL, de nombreux travaux incluent un test de ce type.

Le TAR de Holt et Laury¹⁹³ se compose de 10 loteries basées sur le même principe :

¹⁹³ Les montants des gains ont été modifiés par rapport au test original de Holt et Laury.

	A		B	
7	7 chances sur 10 ▲	2,00 €	7 chances sur 10 ▲	3,85 €
	3 chances sur 10 ■	1,60 €	3 chances sur 10 ■	0,10 €

Le sujet doit effectuer un choix entre l'option A et l'option B. Ensuite, un symbole (triangle vert ou carré rouge) est tiré au sort, les chances de réalisation du tirage étant indiquées dans le tableau. Les probabilités de réalisation sont les mêmes, ce sont les gains associés aux symboles tirés qui varient d'une option à l'autre. L'option A est donc la moins risquée, et l'option B la plus risquée : avec l'option A on s'assure un revenu minimum de 1,60€, alors qu'avec l'option B, le gain maximum est certes supérieur (3,85€) mais on prend également le risque de ne repartir qu'avec 0,10€. Un choix comme celui – ci constitue une loterie. Comme nous l'avons dit plus haut, le TAR en comporte 10 ainsi présentées.

Décisions	Option A		Option B	
	Probabilités	Gains	Probabilités	Gains
1	1 chance sur 10 ▲	2,00 €	1 chance sur 10 ▲	3,85 €
	9 chances sur 10 ■	1,60 €	9 chances sur 10 ■	0,10 €
2	2 chances sur 10 ▲	2,00 €	2 chances sur 10 ▲	3,85 €
	8 chances sur 10 ■	1,60 €	8 chances sur 10 ■	0,10 €
3	3 chances sur 10 ▲	2,00 €	3 chances sur 10 ▲	3,85 €
	7 chances sur 10 ■	1,60 €	7 chances sur 10 ■	0,10 €
4	4 chances sur 10 ▲	2,00 €	4 chances sur 10 ▲	3,85 €
	6 chances sur 10 ■	1,60 €	6 chances sur 10 ■	0,10 €
5	5 chances sur 10 ▲	2,00 €	5 chances sur 10 ▲	3,85 €
	5 chances sur 10 ■	1,60 €	5 chances sur 10 ■	0,10 €
6	6 chances sur 10 ▲	2,00 €	6 chances sur 10 ▲	3,85 €
	4 chances sur 10 ■	1,60 €	4 chances sur 10 ■	0,10 €
7	7 chances sur 10 ▲	2,00 €	7 chances sur 10 ▲	3,85 €
	3 chances sur 10 ■	1,60 €	3 chances sur 10 ■	0,10 €
8	8 chances sur 10 ▲	2,00 €	8 chances sur 10 ▲	3,85 €
	2 chances sur 10 ■	1,60 €	2 chances sur 10 ■	0,10 €
9	9 chances sur 10 ▲	2,00 €	9 chances sur 10 ▲	3,85 €
	1 chance sur 10 ■	1,60 €	1 chance sur 10 ■	0,10 €
10	10 chances sur 10 ▲	2,00 €	10 chances sur 10 ▲	3,85 €
	0 chance sur 10 ■	1,60 €	0 chance sur 10 ■	0,10 €

Nous demandons donc au sujet de répéter 10 fois l'opération de prise de décision. Chaque ligne constitue une loterie indépendante. Les gains associés aux symboles (triangle, carré) sont les mêmes pour toutes les lignes et ne dépendent que de l'option choisie à chaque fois. En revanche, les probabilités de réalisation de chaque symbole varient de ligne en ligne. On constate que la prise de risque liée au choix de l'option B s'amenuise au fur et à mesure des lignes (de 1 à 10) ; jusqu'à la dernière loterie, le sujet a 10 chances sur 10 d'obtenir 3,85€ s'il choisit cette ligne. Le phénomène inverse se produit dans la première ligne : il apparaît absurde d'opter pour l'option B qui garantit à coup sûr le gain de 0,10€. Nous glissons donc d'un choix logique de l'option A vers un choix logique de l'option B, en passant par une série de loterie dans lesquelles la prise de risque liée au choix de

l'option B est décroissante. La mesure de l'aversion au risque est déterminée par le moment (i.e. la ligne du tableau) où le sujet bascule de l'option A vers l'option B.

Un sujet dit « *risk-neutral* » (neutre face à la prise de risque) effectuera un choix totalement rationnel : il calculera (ou pressentira !) les espérances de gain de chaque option des 10 loteries et optera pour l'option à la plus forte espérance pour chacune d'entre elles. Ce type de calcul l'amènera à basculer de l'option A vers l'option B entre la ligne 4 et la ligne 5. Toute personne basculant de l'option A vers l'option B au-delà de la ligne 5 sera dite « *risk averse* » : cela signifie qu'elle préfère s'assurer un gain de 1,60€ plutôt de prendre un (petit) risque de ne repartir qu'avec 0,10€. Inversement, toute personne basculant de l'option A vers l'option B plus tôt sera dite « *risk taker* », et montera son caractère plutôt joueur en tentant de remporter les 3,85€ malgré les chances plus faibles d'obtenir ce montant.

Lors de l'analyse des résultats, nous classerons les sujets en 3 catégories (*Risk taker, risk neutral et risk averse*), selon le moment où s'effectue le basculement de l'option A à l'option B. Evidemment, une partie des sujets ne se comporte pas de manière logique et opte tour à tour pour l'option A, puis l'option B, puis à nouveau l'option A... Leur demander d'indiquer seulement le moment à partir duquel ils passent de l'option A à l'option B aurait pu être possible, mais cela risquerait d'induire une trop grande part de calcul dans leur comportement, et la perte des réactions spontanées, par la recherche de leur part d'un point d'équilibre. L'avantage de leur laisser la divagation possible d'une option à l'autre, est que les sujets ne recherchent pas forcément à savoir ce que nous attendons d'eux à cette étape. Plusieurs possibilités existent quant au traitement des résultats des sujets n'ayant pas des réponses « nettes » (un basculement simple de A vers B) au TAR. Certains (Holt C. & Laury S. (2002)) choisissent de comptabiliser le moment du premier choix de l'option B comme étant la note d'aversion au risque. Nous avons choisi de retirer totalement les réponses nous paraissant « aléatoires » ou « totalement illogiques » (des personnes indiquant l'option B dès le début même si le gain est assurément 0,10€).

Cette étape constitue la première partie incitée du protocole : à l'issue de la session, nous tirons au sort pour chaque sujet l'une des 10 loteries (l'une des lignes numérotées de 1 à 10), puis le participant effectue un tirage au sort personnel de symboles (triangles ou carrés), s'attribuant le gain associé au choix de l'option (A ou B) qu'il a fait en remplissant le tableau de TAR. Cette première partie incitée (premier gain potentiel en sus des 20€ forfaitaires pour participation) vient renforcer encore la crédibilité de la procédure.

Il est à noter que ce test mesure l'aversion au risque des sujets eux-mêmes, et non des personnages fictifs (Paul et Betty) dans la peau desquels nous allons leur demander de se glisser pour analyser les contrats d'effacements proposés. Nous garderons en tête ce décalage structurel lors de l'analyse des résultats : souhaitons-nous réellement observer une différence en termes de prise de décision alors même que nous faisons notre possible pour inciter les sujets à penser à la place d'individus bien spécifiques et non en leur propre chef ? Les caractéristiques intrinsèques des sujets doivent-elles ressurgir au travers des résultats ?

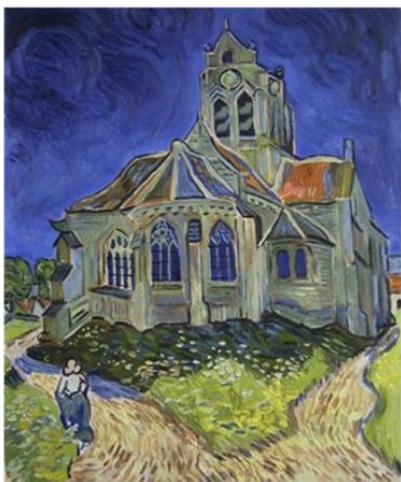
3.1.3 Phase d'apprentissage.

A ce niveau du protocole, nous n'avons pas encore présenté aux sujets le principe du *beauty contest*, ni la transposition des prises de décisions à la place d'individus spécifiques. Afin d'aborder la présentation des contrats d'effacement avec ces principes parfaitement acquis, nous avons intercalé entre les phases 2 et 3 une phase d'apprentissage regroupant ces deux concepts.

Dans la phase d'apprentissage, qui était rémunérée « en direct », c'est-à-dire durant la session elle-même et non à la fin, nous proposons aux sujets de se glisser dans la peau d'une femme retraitée d'environ 60 ans, vivant seule. Deux tableaux connus (la colombe de Magritte et l'église de Van Gogh) ont été affichés. Les sujets dont la réponse était la même que la majorité du groupe présent dans la salle à chaque session en regard de la question « Quel tableau va préférer cette personne de 60 ans ? » remportent 0,50€. En cas de groupe pair et de réponses ex-aequo, l'ensemble des sujets remportaient 0,50€.

Selon le groupe ici présent, l'individu préfère-t-il le tableau A ou le tableau B?

A



B



Nous avons révélé les résultats à voix haute et à écran découvert, afin de confirmer aux sujets l'honnêteté du procédé et de nous assurer de la bonne compréhension de chacun. Nous avons renommé l'ensemble du principe de double transposition de pensée « concours », afin de simplifier les rappels effectués tout au long du protocole. Nous avons indiqué toutes les questions incitées selon ce mode de rémunération par une étiquette « concours ».

3.1.4 Parties 3 et 4 : Paul, Betty et les contrats d'effacement.

Les parties 3 et 4 constituaient le cœur du protocole : à ce niveau d'avancement, nous connaissions les caractéristiques sociodémographiques et le niveau d'aversion au risque de nos sujets, et nous leur avons inculqué le mode de rémunération qui allait leur permettre d'accumuler de l'argent tout au long du reste de la session (0,50€ pour chaque réponse identique à la réponse majoritaire du groupe présent dans la salle).

Nous ne reprendrons pas successivement les descriptifs des parties 3 et 4 puisque les deux sont parfaitement identiques, si ce n'est que l'on s'intéresse à Paul dans la première, et à Betty dans la seconde, avec les variations de factures et d'équipements ménagers que cela peut impliquer. Nous observerons dans cette section la partie 3, consacrée à l'étude du comportement de Paul.

La partie 3 se compose en réalité de deux sous-parties : la première traite de la prise de décision de Paul face aux contrats d'effacement que nous avons présenté dans les sections précédentes. La partie suivante propose aux sujets d'étudier le comportement de Paul sous l'influence d'un contrat d'effacement, en observant quelles seraient par exemple les appareils dont il automatiserait volontiers l'extinction pour réaliser des économies d'énergies, et donc, réduire sa facture électrique.

3.1.4.1 *Prises de décisions face aux contrats d'effacement.*

Le premier enjeu de cette partie était, après avoir immergé les sujets dans le contexte de la salle de laboratoire, leur avoir expliqué le TAR et le principe du « Concours », de leur expliquer ce que nous appelons un contrat d'effacement, puis plus spécifiquement les contrats Eco Pointe et Bonus à l'effacement. Afin de partir d'une base connue de tous ou presque, nous commençons par évoquer le contrat Heures Creuses (HC/HP) d'EDF, qui constitue la base de nos contrats d'effacement. Puis nous présentons le principe des contrats d'effacement en ces termes :

« Ce contrat est semblable au contrat HC/HP pour la majeure partie de l'année : il comprend un abonnement et la vente d'électricité en heures pleines et en heures creuses. Il diffère 20 jours par an (jours de pointe). Ces jours là, de 18H à 20H, un mécanisme est mis en place pour inciter Paul à réduire sa consommation. ».

L'idée est d'expliquer sans dévoiler aux sujets les enjeux des phénomènes de pointe de consommation. L'un des avantages majeurs des expérimentations en laboratoire est de pouvoir contrôler l'apport d'information réalisé auprès des sujets. Ici, nous ne souhaitons pas prendre le risque d'induire un biais dans les résultats en évoquant tout enjeu écologique ou économique lié aux phénomènes de pointe. Il est évident que certains sujets ont déjà conscience de ces aspects de la consommation électrique, mais nous avons besoin d'un socle commun à tous les participants, sur lequel nous reposer.

De là nous expliquons ensuite le calendrier des jours de pointe, puis le premier contrat : Eco Pointe. Nous avons choisi de maximiser le taux de compréhension de nos sujets en répétant

plusieurs fois l'explication du mécanisme de prime, à l'aide de différents visuels présentés à l'écran. Puis nous proposons aux sujets de choisir pour Paul de conserver son contrat HC/HP ou d'adopter Eco Pointe. Ensuite, différentes variantes d'Eco Pointe (présentées dans la section 2.3.2.1.1) sont proposées 2 par 2 au cours de ce que nous appelons des « duels de contrats » (choix binaire entre deux variantes). Puis, nous demandons aux sujets de nous indiquer quel serait, pour Paul, le délai de préavis minimum nécessaire d'avertissement avant la tranche horaire 18-20h d'un jour de pointe. Le même enchaînement de choix a été reproduit concernant, cette fois-ci, le contrat Bonus à l'Effacement et ses deux variantes principales (BET1 et BET2). Pour terminer, un « duel de contrat » oppose une version d'Eco Pointe et une version de Bonus à l'Effacement (cf encadré « séquence des questions de la phase 3).

Afin d'opposer deux contrats suffisamment symétrique pour que ce soit non pas les prix et montant des avantages, mais le mécanisme incitatif lui-même qui intervienne dans le choix des sujets, nous avons établi un duel entre un contrat Eco Pointe Facteur 20 et un contrat Bonus à l'Effacement de type 2 avec un Bonus à 4€ :

**Prix du kWh en
pointe = 20
fois le kWh en
HP**

**1 kWh économisé = 4€
Abonnement +40€**

En effet, nous avons calculé qu'avec le système de primes, bonus et surcoûts, pour Betty comme pour Paul, une réduction de 50% et plus de la consommation durant les 40 heures de pointe annuelle amène environ à la même facture électrique¹⁹⁴.

A ce niveau de l'expérimentation, la plupart des choix effectués par les sujets sont binaires et incités. La question concernant le préavis d'effacement est également incitée selon le principe du « Concours » : il s'agit d'un choix discret entre 6 options (pas de préavis, 2H, 12H, 24H, 48H et plus de 48H). Il est à noter que nous avons inversé l'ordre des duels entre la partie 3 consacrée à Paul, et la partie 4 consacrée à Betty.

¹⁹⁴ Pour Paul, une réduction de 60% des consommations durant les 40 heures de pointe donne comme facture annuelle :

- Avec Eco Pointe : 400 € (consos hors pointe) + 20 x 0,1235€ x 16 (prix horaire pointe x kWh) = **440€**
- Avec BET2 4€ : 540€ (abonnement + surcoût) – 4 x 24 = **444€**

Pour Betty, avec la même réduction de 60% de consommation électrique durant les 40 heures de pointe :

- Avec Eco Pointe : 1600€ + 20 x 0,1235€ x 64 = **1760€**
- Avec BET2 4€ : 2160 – 4 x 96 = **1776€**

Séquence des questions de la phase 3 : décisions face aux contrats d'effacement.

- Eco Pointe
 - [Présentation du contrat Eco Pointe Facteur 10]
 - Quels sont les points forts du contrat Eco Pointe pour Paul ? (QCM + CL)
 - Quels sont les points faibles du contrat Eco Pointe pour Paul ? (QCM + CL)
 - Pensez vous que Paul va adopter le contrat Eco Pointe ? (CB)
 - [Présentation des contrats Eco Pointe avec autres facteurs de prix]
 - Duel Eco Pointe Facteur 30 vs Facteur 20 (CB)
 - Duel Eco Pointe Facteur 10 vs Facteur 5 (CB)
 - Duel Eco Pointe Facteur 10 vs Facteur 20 (CB)
 - Duel Eco Pointe Facteur 20 vs Facteur Variable (CB)
 - Délai de préavis nécessaire à Paul pour adapter sa consommation ? (QCM)
- Bonus à l'effacement
 - [Présentation du contrat Bonus à l'Effacement Type 1]
 - Quels sont les points forts du contrat BET1 pour Paul ? (QCM + CL)
 - Quels sont les points faibles du contrat BET1 pour Paul ? (QCM + CL)
 - Pensez vous que Paul va adopter le contrat BET1 ? (CB)
 - [Présentation du contrat Bonus à l'Effacement Type 2]
 - Quels sont les points forts du contrat BET2 pour Paul ? (QCM + CL)
 - Quels sont les points faibles du contrat BET2 pour Paul ? (QCM + CL)
 - Pensez vous que Paul va adopter le contrat BET2 ? (CB)
 - Duel BET2 Bonus 2€ vs BET2 Bonus 4€ (CB)
 - Duel BET2 Bonus 6€ vs BET2 Bonus 4€ (CB)
- Duel Eco Pointe Facteur 20 vs BET2 Bonus 4€ (CB)

(CB = Choix Binaire ; QCM = Questionnaire à Choix Multiples ; CL = Commentaire Libre. Seules les questions disposant d'un champ CL ne sont pas rémunérées et donc purement déclaratives)

3.1.4.2 Comportement sous l'influence d'un contrat d'effacement.

Comme nous l'avons suggéré précédemment, nous avons réutilisé l'idée de base du contrat Double Tarification pour tenter d'établir une typologie des usages électriques en fonction de leur « *effaçabilité* »¹⁹⁵. Le réseau électrique des foyers type est dès lors supposé séparé en deux parties : l'une est totalement classique, l'autre est coupée automatiquement en alimentation électrique durant les jours de pointe, pour une durée de 30 minutes ou 2 heures. C'est au preneur de décision

¹⁹⁵ Nous appelons *effaçabilité* la propension d'un usage électrique à être coupé automatiquement durant les périodes de pointe par le preneur de décision du foyer.

(Paul ou Betty) de choisir, après avoir adopté l'un des contrats d'effacement, quels sont les appareils à brancher sur l'arrivée d'électricité dite « interruptible ». Le schéma projeté aux sujets, certes simpliste, nous permet d'enfermer ce système dans une boîte noire, ne soulevant aucune question de faisabilité technique. L'objectif est d'évaluer les consentements de reports ou d'effacements d'appareils du domicile, et non de savoir comment pourrait fonctionner une telle automatisation dans la vie réelle. La vision simplifiée proposée a parfaitement joué son rôle et coupé court à toute question de la part des sujets concernant les technologies potentiellement employées.

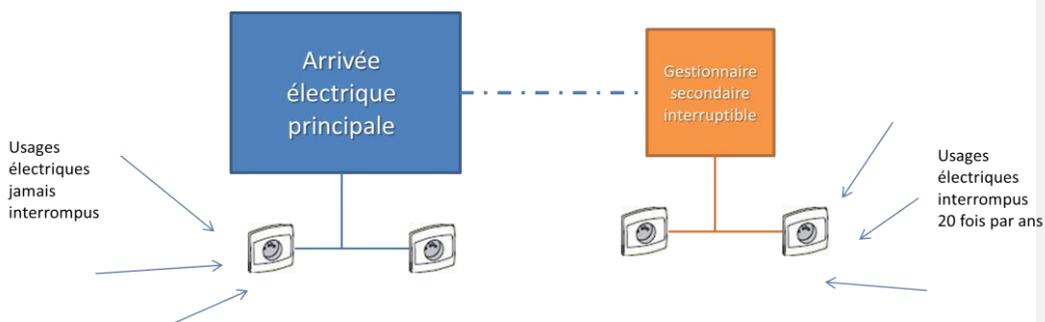


Schéma explicatif simpliste proposé aux sujets, l'objectif étant de faire admettre le concept sans soulever d'interrogations sur la faisabilité technique du procédé.

Nous demandons ensuite aux sujets de nous indiquer quels appareils de la liste qui leur est fournie pour Paul puis pour Betty ces derniers brancheraient, ou inversement, ne brancheraient pas sur cette arrivée interruptible, nous indiquant quels appareils ont un potentiel d'effaçabilité et quels sont ceux qui, au contraire, n'en ont absolument aucun.

Pour terminé, nous demandons aux sujets de nous indiquer s'ils pensent que les individus, après avoir adopté l'un des contrats d'effacement, réaliseront des économies d'électricité (i.e. s'ils seront suffisamment incités pour le faire), ainsi que le montant minimum d'économies sur la facture annuelle nécessaire pour susciter l'intérêt d'un réel effort de sobriété. A partir de quel montant économisé accepte-t-on d'intégrer les contraintes d'un contrat d'effacement dans son quotidien ?

Dans cette partie de la phase 3 (comme de la phase 4), seule la question concernant la concrétisation des économies d'électricité (choix binaire) est rémunérée.

Séquence des questions de la phase 3 : comportement sous l'influence d'un contrat d'effacement.

- Branchement des appareils électriques sur l'arrivée interruptible : l'arrivée est coupée de 19h à 19h30 lors des jours de pointe.
 - Quels sont les appareils que Paul va refuser de brancher sur l'arrivée interruptible ? (QCM)
- Branchement des appareils électriques sur l'arrivée interruptible : l'arrivée est coupée de 18h à 20h lors des jours de pointe.
 - Quels sont les appareils que Paul va choisir de brancher sur l'arrivée interruptible ? (QCM)
 - Quels sont les appareils que Paul va refuser de brancher sur l'arrivée interruptible ? (QCM)
- Avec le contrat Eco Pointe de Facteur 20, pensez vous que Paul va réduire sa consommation d'électricité lors des périodes de pointe ? (CB)
- A partir de quel montant (en euros) économisé sur sa facture annuelle Paul trouve-t-il intéressant de faire des efforts pour réduire sa consommation électrique lors des jours de pointe ? (CL)

3.1.5 Questionnaire final : avis, croyances et connaissances des sujets eux-mêmes.

La toute dernière section du protocole, qui ne constitue pas une partie à proprement parler,

Test final de connaissances.

❖ Disposez-vous d'un chauffage :

- D. Electrique uniquement ?
- E. Chauffage électrique + appoint autre ?
- F. Autres + chauffage électrique d'appoint ?

❖ Est-ce vous qui vous occupez du contrat/des factures d'électricité à votre foyer ?

Oui Non

❖ Connaissez-vous le montant de votre dernière facture d'électricité?

Oui Non

Si oui, pouvez-vous indiquer une fourchette de prix pour cette facture ?

Entre et€

❖ Seriez – vous intéressés par un contrat d'effacement tel que ceux proposés ?

Oui Non

❖ Si oui, lequel préféreriez – vous ? Pourquoi?

.....

❖ Les pointes de consommation d'électricité correspondent aux moments où la demande en électricité est très forte. Quand les pointes de consommation d'électricité ont-elles lieu dans l'année?

.....

❖ A quel(s) moment(s) de la journée ?

❖ Quels sont les moyens de production pour l'électricité en France?

.....

❖ Y a-t'il des émissions de CO₂ lors de la production d'électricité ?

Oui Non Je ne sais pas

fait écho à la première partie, en interrogeant cette fois-ci directement les sujets, sur leurs connaissances autour de la question de l'offre et de la demande électrique en France. Nous avons choisi de placer ce questionnaire à la fin du protocole, tout d'abord car cela nous permet de laisser aux personnes moins à l'aise avec la rédaction des réponses un laps de temps plus long, mais cela nous évite surtout de biaiser éventuellement les réponses des sujets en les incitant à réfléchir, dès le début, à la question des enjeux soulevés par les points de consommations. Il est fortement possible que si l'on insuffle aux sujets l'idée que la production d'électricité en France est à l'origine d'émissions de CO₂, de surcroît lors des pointes, leurs réactions déclaratives face aux contrats d'effacement s'en trouveront modifiées.

Ce test final, totalement déclaratif mais indispensable, nous indique le niveau de conscience des sujets quant à leurs consommations électriques mais aussi quant au système électrique Français, ce qui peut éventuellement nous donner des clés de lecture pour les résultats des parties précédentes. La question concernant directement les contrats d'effacements proposés dans le protocole pourra confirmer ou infirmer les tendances dégagées chez Paul et Betty. Enfin, l'approche qualitative de cette dernière section nous apprendra davantage quelle idée du produit Electricité se font nos sujets, échantillon hétérogène à défaut d'une garantie de représentativité, comme nous allons le voir dans la partie suivante de ce rapport.

3.2 Recrutement des sujets : une étape pratique mais cruciale.

En parallèle avec la finalisation du protocole, nous avons procédé au recrutement des sujets de notre expérimentation. Cette étape de préparation des sessions peut paraître anodine de prime abord mais constitue pourtant l'une des clefs de la réussite de l'expérimentation. En effet, sans un nombre suffisant de participants, la validité des résultats ne sera pas au rendez-vous, et le protocole préparé n'aboutira à aucune conclusion. Nous l'avons réalisé sans passer par une agence de recrutement, par souci de moindre coût de l'expérimentation mais aussi parce que, nous le verrons, nos propres capacités à mobiliser les volontaires se sont avérées tout à fait suffisantes. Nous avons donc lancé la campagne de recrutement au début du mois de décembre, suffisamment en avance pour garantir les disponibilités des sujets, et suffisamment proche de l'échéance pour ne pas situer l'évènement dans un avenir encore flou de leur agenda, particulièrement au-delà de la période des fêtes de fin d'année, visant un objectif de 100 à 150 participants.

3.2.1 Caractéristiques des sujets recrutés.

La définition des caractéristiques des sujets recrutés a été établie bien plus tôt, dès lors que nous avons décidé de travailler en *beauty contest* et sur des individus types comme Paul et Betty. Dès lors, les critères de sélection se sont élargis : puisque nous ne travaillions pas sur les préférences des sujets eux-mêmes, nul besoin de nous assurer d'une certaine homogénéité des caractéristiques

sociodémographiques (type d'habitat, nombre de personnes dans le foyer, équipements électriques...) ou de consommation (niveau de consommation, type de contrat électrique actuel...), ni de tenter d'établir une représentativité de quelque segment de la clientèle EDF au travers d'un échantillon finement calibré.

Les laboratoires d'économie expérimentale, comme le GAEL, ont pour habitude de recruter fréquemment des étudiants pour participer à leurs études. Les avantages sont nombreux :

- les laboratoires sont implantés dans des universités (ou comme pour le GAEL dans les locaux d'une école d'ingénieurs en génie industriel),
- les chercheurs, souvent enseignants, ont accès aux mailing list des promotions d'élèves, permettant une diffusion large à moindres frais,
- les étudiants sont plus à même de se déplacer et de prendre quelques heures de leur temps libre pour un gain d'une trentaine d'euros qu'une mère de famille débordée,
- la flexibilité de leur emploi du temps est plus grande,
- les étudiants sont accoutumés au travail sur ordinateur, à la lecture d'informations vidéoprojetées, à comprendre rapidement les exercices demandés, par habitude du travail scolaire.

Cependant, ce type de recrutement ne présente pas seulement des avantages, et, dans notre cas, ne s'avère absolument pas pertinent. En effet, les étudiants, logés majoritairement en résidence, en location avec charges comprises, ou chez leurs parents, sont peu concernés par l'adoption de contrats d'électricité, et n'ont pour une majorité jamais payé directement une facture d'électricité : la consommation électrique des appareils du foyer les intéresse probablement assez peu¹⁹⁶. De plus, habitués à déjouer les pièges des énoncés des exercices scolaires, ils ont tendance à avoir une approche très calculatoire des questions abordées, tentant parfois de maximiser leur profit au détriment d'une réflexion basée sur les préférences. Nous avons donc abandonné la piste des étudiants. Puisque nous travaillons avec nos individus types précisément définis (Paul et Betty), nous avons choisi de ne pas resserrer les contraintes autour du profil des sujets (âge, CSP...)

Cependant, afin de ne recruter que des individus qui soient un minimum concernés par la problématique du choix de contrats électriques, nous avons décidé de ne convoquer uniquement des candidats :

- **Qui payent ou contribuent à payer leur facture d'électricité** (nous évitant ainsi les d'étudiants chez leurs parents ou les locataires dont les charges sont comprises dans le montant du loyer)

¹⁹⁶ Nous avons pu constater que, si la question des consommations comparées d'appareils électriques peut intéresser les étudiants, connaître les consommations de leurs propres appareils ne les enthousiasme que peu. Une expérimentation « beta » ayant eu lieu au GAEL en juin 2010 (aucune publication rattachée à cette expérimentation), a montré des consentements à payer extrêmement faibles, de l'ordre de quelques centimes d'euros, d'un échantillon d'étudiants pour des multiprises dotés d'appareils de display des consommations électriques.

- Qui **possèdent au moins une source de chauffage électrique à domicile** (chauffage d'appoint autorisé), étant donné que nos contrats s'adressent plutôt à ce type de clientèle. Ce dernier point n'était pas crucial mais conférait une certaine homogénéité de l'échantillon.

Les sujets, de plus, ont tous été contactés, après avoir rempli un formulaire d'inscription en ligne : nous nous assurons ainsi de l'aptitude de notre échantillon à utiliser l'outil informatique. Des copies d'écran des formulaires de recrutement sont disponibles en Annexe 1.7.

3.2.2 Procédure de recrutement.

Le recrutement des participants nécessite 3 allers-retours entre la personne organisant les sessions¹⁹⁷ et les futurs participants, une procédure particulièrement bien rodée est donc indispensable.

3.2.2.1 *Diffusion de l'appel à participants, inscription en ligne et sélection des candidats.*

La première étape, lancée au début du mois de décembre, a été la diffusion de l'appel à participant, réalisé de plusieurs manières en simultané :

- Contact par mail de l'ensemble des participants de la base de données du laboratoire GAEL (environ 500 personnes), qui ont déjà contribué à des études antérieures.
- Diffusion d'un message informatif sur le site web du. Le message a été travaillé pour attirer la curiosité des visiteurs du site web en effectuant un *teasing* efficace (« améliorer l'environnement », « contrats d'électricité plus intelligents »...), sans pour autant pousser les futurs sujets à la réflexion ni surprendre l'expérimentation. La société EDF n'a jamais été mentionnée, ni durant le recrutement ni durant les sessions. Nous avançons à couvert académique pour ne pas éveiller la méfiance des sujets et travailler de manière assez libre par rapport à l'entreprise.
- Diffusion par le bouche à oreilles et par une liste de contacts personnels (en évitant le cercle trop restreint de la famille et des proches, ou en leur demandant de relayer l'information, on parvient à toucher des individus au 2^{ème} ou 3^{ème} degrés d'éloignement relationnel).
- Diffusion sur *Facebook* (via profil personnel, annonce partagée par plusieurs contacts avec succès).

¹⁹⁷ Dans le cadre de l'expérimentation « Contrats d'effacement pour la tranche horaire 18-20h », j'ai été la principale organisatrice de l'ensemble des sessions, mais j'ai pu compter sur l'aide précieuse de trois membres du GAEL : Jean-Loup Dupuis s'est occupé de toute la partie informatique du recrutement et des formulaires d'inscription, Mariane Damois et Janine Barba m'ont aidée, entre autres pour les étapes de contact des sujets.

La diffusion quelle qu'elle soit comprend un lien vers le formulaire de pré-inscription, lequel interroge les volontaires sur les critères évoqués plus haut. La validation du formulaire enregistre les données dans un fichier texte facilement importable dans un logiciel de tableur, constituant notre base de données de participants potentiels. Les réponses aux questions du formulaire, encodées de manière simple, nous permettent de discriminer les volontaires selon leur capacité à remplir ou non nos critères de sélections. Tous les volontaires ont alors été contactés rapidement pour leur annoncer s'ils étaient ou non susceptibles de participer à l'expérimentation, via un mail standardisé.

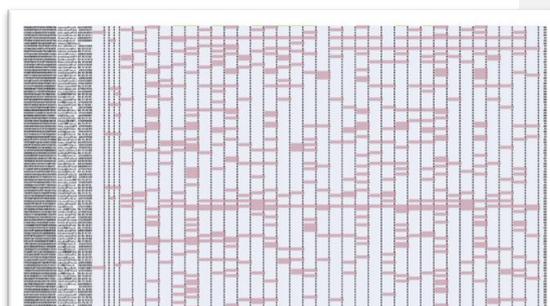
Nous estimons qu'environ 800 personnes ont été touchées par l'appel à participants. 347 personnes sont venues s'inscrire sur le site et on rempli le formulaire, ce qui correspond à un taux de retour situé entre 40 et 45%. La moitié des inscrits ne faisaient pas partie des bases de données du GAEL, démontrant une certaine efficacité des moyens de contact autre que l'envoi de mail aux anciens participants, tels que le bouche à oreilles ou les réseaux sociaux. Ce sont au final 187 participants qui ont rempli les critères de participation à l'expérimentation, soit 54% des volontaires. Ce taux d'admissibilité relativement faible au vu de nos critères sensés être peu contraignant, est peut être dû au fait qu'une partie des contacts de la base de données GAEL est encore étudiante.

3.2.3 Attribution des dates de sessions

Les 187 volontaires remplissant les critères ont été recontactés une seconde fois, recevant par mail une adresse leur permettant de renseigner leurs disponibilités pour participer à une session. Nous avons proposé aux participants 32 plages horaires de 2H, du lundi matin au samedi matin (10H, 14H et 17H30 à 18H30 selon les soirs), réparties sur les 2 semaines à partir du premier lundi du mois de janvier 2012. Nous avons reçu, au fil des jours, 157 réponses de disponibilités. Après réception d'un nombre conséquent de créneaux de disponibilités (encodées dans un tableau de tableur), la tâche la plus complexe du processus de recrutement a pu commencer : la répartition des volontaires par session, selon leurs disponibilités. Plusieurs contraintes compliquent le problème :

- un minimum de 6 participants par session, si possible 8 en cas de défection de quelques personnes (afin d'être en mesure d'effectuer les rémunérations par *beauty contest*),
- un maximum de 15 participants par session (le laboratoire dispose de 16 postes individuel, et par mesure de précaution, nous en laissons un libre en cas de panne matérielle),
- un minimum de volontaires pour lesquels aucune session ne peut être attribuée (par exemple, cas d'un volontaire ne disposant que d'un créneau pour lequel moins de 6 participants sont inscrits),
- et, dans la mesure du possible, un minimum de sessions ouvertes (nous préférons effectuer 6 sessions à 10 sujets que 10 sessions à 6 sujets) !

Ces contraintes transforment notre attribution de session en un problème mathématique complexe (un problème d'ordonnancement probablement NP-complet), et nous ne disposons pas d'un programme informatique capable de le résoudre à l'optimal. L'attribution des sessions aux volontaires a donc été réalisée « à la main », en observant tour à tour les disponibilités de chacun des 157 inscrits, et en utilisant une « heuristique » sans garantie de résultat parfait, dont les règles découlent des contraintes ci-dessus. Il est à noter que son implémentation informatique pourra être réalisée à l'avenir, et utilisée pour de prochaines expérimentations.



Un tableau des disponibilités nous permet de consigner les réponses des sujets. A nous de satisfaire un maximum des 154 demandes.

En remplissant les créneaux tout en assurant une répartition la plus homogène possible sur l'ensemble des plages horaires (certaines étant particulièrement demandées), nous avons réussi à satisfaire 153 participants en leur proposant de prendre part à une session parmi leurs vœux. Les personnes pour lesquelles nous n'avons pas pu trouver une correspondance de disponibilité ont été recontactées personnellement pour tenter de trouver une autre plage horaire.

Les 153 sujets ont été répartis sur 14 sessions parmi les 32 proposées initialement, et ont été averti du jour de leur convocation au laboratoire GAEL. Une procédure de rappel téléphonique la veille des sessions a également été mise en place, avec l'aide précieuse du personnel du laboratoire Grenoblois, forts de leurs années d'expérience dans l'organisation de ce type de sessions, et conscients du risque fort de défection de la part des sujets engagés moralement à se présenter au GAEL à l'heure prévue.

3.3 Le déroulement des sessions.

Ce sont donc 14 sessions, ainsi qu'une session « bêta » réalisée avec l'aimable participation de volontaires dans le but de calibrer le protocole et de roder parfaitement le discours explicatif, qui ont été animées dans les délais impartis, par respect pour le planning des sujets. Leur déroulement est un processus parfaitement ajusté, caractéristique des méthodologies de l'économie expérimentale, dans le respect des procédures garantissant l'utilisabilité des résultats. Toute l'expérimentation s'est déroulée au sein du laboratoire GAEL de Grenoble, lequel est constitué d'une salle équipée en matériel informatique, ainsi que d'une salle de régie reliée au laboratoire par des capteurs (micros, écrans de communication, vitre permettant la communication entre l'animateur de session et l'informaticien).



Vue de la salle d'expérimentation du GAEL : une partie des postes attribués aux sujets, et la régie informatique au fond, par laquelle une communication gestuelle ou via un écran (en haut à gauche de la fenêtre) est possible entre la personne animant la session (lieu de la prise de vue) et l'informaticien responsable du bon déroulement de la séance.

3.3.1 Informatisation du protocole expérimental.

La question de l'informatisation du protocole s'est posée très rapidement lors de la préparation de ce dernier. En effet, utiliser l'outil informatique présente de nombreux avantages :

- Cela permet d'éviter la longue procédure de saisie des résultats, à la main, dans une base de données, une fois les sessions terminées.
- La convivialité et la rapidité de l'outil informatique permet un déroulement des sessions plus fluide et rythmé par les étapes de validation des résultats.
- La logistique est grandement simplifiée par l'outil informatique : au niveau de la préparation des sessions dans un premier temps (les formulaires de réponse en version papier comprennent une vingtaine de pages), durant les sessions elles – mêmes, en évitant de passer continuellement dans la salle pour distribuer et ramasser chaque partie du formulaire de réponses, et à l'issue des sessions pour terminer : calculer les gains de *beauty contest* en temps réel nécessite d'analyser les réponses de tous les participants pour plus de 20 questions, afin de pouvoir effectuer les rémunérations dès la fin de la séance.

Nous avons donc adapté le protocole pour assurer son implémentation, réalisée par Mr Dupuis, informaticien du laboratoire. Durant ses années de travail au GAEL, Mr Dupuis a construit une base de « briques » élémentaires correspondant à des questions de *beauty contest*, à des tests d'aversion au risque, à des formulaires de réponses libres... Programmées en PHP, ces briques sont

customisables et donc s'adaptent à toute thématique d'expérimentation, pour peu que le protocole soit construit de manière adéquate¹⁹⁸.

L'ensemble des postes informatiques du laboratoire est donc relié à un serveur, qui diffuse les formulaires de réponse sur les écrans et réceptionne puis enregistre les réponses dans une base de données en temps réel. Un autre programme réalisé ad hoc calcule dès lors les résultats de chaque question de *beauty contest* et fournit la grille de rémunération dès la fin de la séance.

L'outil informatique s'est donc révélé indispensable dans le cas de notre expérimentation, ne nécessitant que quelques précautions en cas de panne ou de mauvaise connexion au serveur (un poste était gardé libre en cas de défaut matériel), ainsi que la présence constante de Mr Dupuis, qui assurait alors une co-animation « en coulisses » des sessions, me permettant de surveiller le déroulement des sessions et la rapidité de réponse des résultats. Aucune panne majeure ni perte de données n'a été à déplorer sur l'ensemble de l'expérimentation.

Il est à noter que la toute première session, réalisée le lundi 9 janvier, a été effectuée entièrement « sur papier », une personne effectuant un parallèle un test final du programme informatique. Les réponses ont donc été saisies à la main par les participants, et concaténées aux autres données informatisées par la suite. Ce type de saisie est particulièrement éprouvant car il nécessite de maintenir, tout au long de la session, un tableau (tableur Excel) nous permettant de calculer en direct les gains. Nous avons préparé ce tableau pour que le calcul soit automatique une fois les réponses saisies, mais cette session a nécessité l'aide d'une personne supplémentaire du laboratoire, tant il est complexe d'animer une session, de distribuer tous les formulaires papier étape par étape, et de saisir les résultats dans un même temps.

3.3.2 Déroulement d'une session.

La session type débute par la préparation du laboratoire, qu'il s'agisse du matériel informatique, des feuilles de commentaires libres, ou des enveloppes de rémunération fixe pour participation (20€) distribuées dès le début des séances.

L'accueil des sujets nous permet d'établir un premier contact, de leur faire signer une feuille de présence, mais aussi et surtout de leur attribuer pour les 2 heures à suivre un identifiant chiffré, garant de l'anonymat des réponses : une fois la feuille de présence chiffrée, ce code leur permet de démarrer le formulaire et d'associer leurs réponses à leurs gains finaux.

¹⁹⁸ Des logiciels commercialisés ou Open source existent pour le design d'expérimentations, en laboratoire ou à l'attention des enseignants souhaitant réaliser une expérimentation en classe, leur permettant de faire « vivre » un jeu de marché à leurs élèves. On peut citer par exemple Z-Tree, développé à l'Université Zürich (<http://www.iew.uzh.ch/ztree/index.php>), JessX, développé à l'École Centrale de Lille (<http://jessx.ec-lille.fr/index.php>), ou encore les logiciels de marchés et d'enchères développés et distribués par l'Economic Science Institute de Chapman University (<http://www.chapman.edu/research-and-institutions/economic-science-institute/academics-research/software.aspx>). Ces programmes sont plus ou moins « user friendly » pour les économistes, mais fonctionnent souvent sur le principe des briques constitutionnelles qui permettent de construire un protocole en quelques heures. Cependant, ces logiciels sont créés pour les expérimentations de design de marché : enchères, règles de marchés, jeux de biens publics... aucun d'entre eux ne se prête à la plupart des expérimentations ayant lieu au GAEL, à fortiori la notre.

Avant de démarrer l'expérimentation, nous prodiguons toutes les informations nécessaires à son bon déroulement, notamment la marche à suivre pour l'utilisation du logiciel « fait maison » ainsi que les règles de discrétion et de non-communication entre les sujets. Les questions sont autorisées durant la session, mais dans la mesure du possible, nous nous déplaçons dans la salle pour répondre individuellement. L'hétérogénéité des sujets, tant au niveau de l'âge que du milieu socioculturel, nous amène à résoudre des problèmes de manipulation de l'ordinateur autant que d'assurer une certaine « discipline », en dehors de toute question relative au fond du protocole et aux contrats électriques. Afin de rassurer les participants, un avertissement quant à la densité des informations apportées est émis en début de séance : « il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, nous vous demandons de comprendre le principe des contrats présentés dans son ensemble, et de répondre de manière instinctive, aucune question ne nécessite de longs calculs ».

Tout au long de la session, un support visuel est assuré sous forme de « slides ». En sus, deux supports papiers sont distribués successivement lors des phases 3 et 4 concernant Paul et Betty : il s'agit des descriptifs des foyers de ces derniers, de leur équipement ménager ainsi que de leurs habitudes de consommations électriques (cf annexe 1.6). Ce type de support est un choix : en les distribuant, en effectuant une lecture commune des informations, et en les ramassant dès la partie terminée, nous souhaitons amplifier la transposition des sujets dans la peau de ces personnages, ainsi que marquer une coupure nette entre les parties 3 et 4, matérialisée par le changement des supports.

A l'issue de la session, une fois la partie 4 terminée, nous procédons au tirage au sort des gains au test d'aversion au risque : chaque sujet tire au sort la loterie avec laquelle il joue, puis, lors d'un second tirage au sort correspondant à cette loterie, et en fonction du choix d'option (A ou B) qu'il a choisi pour cette dernière, ils prennent connaissance de leur gain.

Puis, dernière étape, les sujets passent l'un après l'autre auprès d'un représentant de la trésorerie du laboratoire, afin de récupérer l'argent (liquide) correspondant à leur gain cumulé des *beauty contest* et du TAR. Cette étape se réalisant en toute discrétion, elle impliquait une légère attente pour les sujets rémunérés les derniers, ce qui pouvait donner lieu à des discussions sur le sujet de fond de la session, entre les sujets. C'est avec grand plaisir que nous avons pu constater l'intérêt marqué de la part des participants pour cette thématique, pourtant peu porteuse de prime abord. Des différences de connaissances sur le domaine sont très marquées, mais la plupart se sentent concernés par la problématique, et posent des questions très précises sur les mécanismes tarifaires existants ou à venir. Nous rappelons que le nom d'EDF n'a pas été mentionné durant les séances, ce que nous conférait de plus une certaine étiquette d'impartialité aux yeux des sujets.

Le principal et quasiment unique problème rencontré lors des sessions a été la défection de la part des candidats : il nous a fallu composer avec les absents (et les retardataires), malgré les rappels téléphoniques, ce qui peut constituer un élément fortement perturbateur lorsque les sessions doivent être terminées dans les temps et comporter un nombre minimum de 6 participants. Pour ces raisons, il nous est arrivé de pratiquer la technique du surbooking. Dans le cas où plus de 16 participants se seraient présentés à la séance, les derniers arrivés auraient reçu le dédommagement de 20€ avant de pouvoir quitter le laboratoire, mais ce cas de figure ne s'est pas présenté.

3.3.3 Quelques chiffres autour du déroulement des sessions.

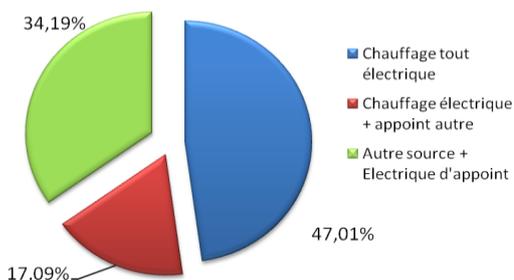
Malgré le risque de perte de participants entre leur confirmation téléphonique et leur venue effective au laboratoire, nous avons réussi à maintenir le minimum de 6 sujets par session, et à terminer l'ensemble des séances dans les délais impartis.

Outre le questionnement autour du « fond » de l'expérimentation, le travail autour de la « forme » du protocole a donc requis, cette fois, les connaissances du laboratoire GAEL, où se sont déroulées physiquement les sessions expérimentales. Depuis la mise en place du système d'incitations et de rémunération des participants en garantissant le respect des principes de l'économie expérimentale, jusqu'à l'accueil des sujets et l'animation des sessions, en passant par le long processus de recrutement des volontaires : grâce à l'expérience du laboratoire en ce domaine, le montage du protocole et le déroulement effectif des sessions a été une réussite, avec 118 participants réunis dans 14 sessions au début du mois de janvier 2012.

Sur 14 sessions, ce sont 118 sujets qui sont venus prendre part à l'expérimentation, soit une moyenne de 8,4 sujets par session : nous avons reçu des groupes composés de 6 à 14 personnes. Le taux de défection a donc été de 21%

Le gain moyen des sujets (prime fixe de participation + gains du TAR + gain des questions « concours ») a été de 30€, les rémunérations finales oscillant entre 24 et 34€.

Type de chauffage du foyer des sujets



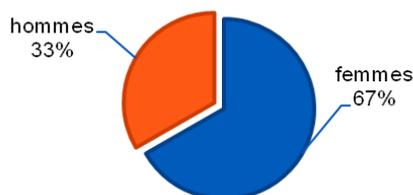
on vers le système de prise de décision de Paul ou Betty leur sera facilitée.

Quels que soient nos sujets, l'ensemble des participations a donné lieu à l'insertion des résultats dans la base de données du serveur : aucune perte de données ou incompréhension totale des

D'un point de vue démographique, la population touchée a été très hétérogène, puisque l'âge des sujets s'étalait de 21 à 71 ans, pour une moyenne de 39 ans. La parité hommes/femme n'a pas été respectée, puisque 66,6% des sujets étaient des femmes, ce qui semble être fréquemment le cas pour les expérimentations sans critères précis au laboratoire GAEL. Près de la moitié des sujets étaient dotés d'un chauffage tout électrique (près de la moitié des sujets), ce qui nous amène à penser que

la transposition

Répartition Hommes/Femmes des sujets



manipulations à effectuer (de la part des sujets) n'a été à déplorer, ce qui nous permet de disposer, d'un panel potentiellement assez large à exploiter pour une analyse significative des résultats,

Chapitre 4. Résultats.

Une fois l'ensemble des résultats collectés dans la base de données, le travail d'analyse des résultats peut commencer. Face à un protocole composé de parties bien distinctes, concernant à la fois différents individus (Paul et Betty), différents contrats d'effacement (Eco Pointe et bonus à l'effacement), différents niveaux de réflexion et de prise de recul (mise en situation des individus – types, réflexion par rapport au groupe lors des *beauty contest...*), il est nécessaire de mettre en place un plan d'analyse ainsi qu'un plan de restitution des résultats, organisés afin de porter les principales hypothèses formulées lors de l'analyse. Le plan de restitution, thématique et comparatif, suit le tracé de cette partie de la note. Nous avons découpé l'analyse en plusieurs pistes logiques et étapes graduelles :

- Niveau de base (intra-contrats) :

Nous analysons les résultats propres à chaque contrat, tous clients confondus. Pour cette étape, nous cumulons les résultats obtenus pour Paul et Betty, pour l'ensemble des 118 sujets. Nous constituons ainsi une base de 236 « clients » non typés. Les parties 3 et 4 du protocole étant totalement identiques, et les choix économiques appliqués successivement à Paul et Betty, nous disposons de réponses très facile à additionner pour l'étude des contrats dans leur ensemble :

- Acceptabilité des contrats d'effacement, de leurs points forts et points faibles.
- Reports d'usages acceptables et non acceptables, une fois le contrat d'effacement accepté.¹⁹⁹
- Choix d'options pour chaque contrat : quels sont les options préférées ? Pour chaque contrat, nous proposons différentes variantes reportant plus ou moins le risque du côté du fournisseur (faibles ratios de prix pointe/hors pointe ou faibles bonus) ou du client (forts ratios de prix pointe/hors pointe ou forts bonus).
- Préavis souhaités par les clients à l'approche d'une période de pointe : quel est le préavis minimum requis pour un contrat d'effacement *acceptable* ?

- Niveau inter-contrats :

Nous comparons les résultats obtenus à chaque question pour les différents contrats, tous clients confondus. Nous conservons notre base de données de 236 profils, Paul et Betty confondus, pour nous intéresser maintenant à la comparaison ou la confrontation des deux types de contrats. Encore une fois, la dualité des parties 3 et 4 nous permet de conserver notre cumul de profils comme s'il s'agissait de réponses indépendantes.

¹⁹⁹ Pour ce point, nous ne pouvons pas cumuler directement les résultats des foyers de Paul et Betty, puisque leur équipement ménager diffère. En revanche, nous essaierons d'établir une typologie d'usages selon le degré de « reportabilité », commune (ou non !) aux deux protagonistes.

- Quels est le type de contrat d'effacement préféré par les clients ?
 - Quels sont les points forts et points faibles comparés des différents contrats? Observe-t-on des différences marquées entre les contrats ?
 - Les choix d'options sont-ils cohérents entre les différents contrats? Nous avons vu que les contrats étaient déclinés en un panel de variantes, plus ou moins « risquées » pour le client. Observe-t-on la même aversion (ou attractivité) des options risquées pour le contrat Eco Pointe que pour le contrat Bonus à l'Effacement ?
- Niveau inter-individus types :

Nous considérons maintenant les résultats récoltés pour chacun des individus types Paul et Betty, afin de les comparer, et ce non seulement pour chaque contrat, mais également dans un angle d'observation inter-contrat.

- Quelles sont les analogies et les différences en matière de choix de type de contrat selon les profils ? Les mêmes variantes sont-elles plébiscitées en termes de prises de risque associées ?
 - Quelles sont les analogies et différences en matière de points forts et points faibles évoqués pour l'un ou l'autre des profils ?
 - Les catégories d'appareils reportés sont-ils les mêmes chez Paul et chez Betty?
- Niveau d'analyse transversale :

A ce niveau, nous tentons d'établir un lien entre les sujets et leurs réponses à travers les profils de Paul et Betty. Il est à noter que nos attentes concernant cette partie ne sont pas forcément dans l'affirmative de cette hypothèse. En effet, le principe même de construction de notre protocole suppose que les sujets répondent en se glissant dans la peau d'un personnage complètement décrit. Notre objectif est de constater en quelle mesure les caractéristiques des sujets peuvent créer des disparités qui y seraient corrélées parmi les résultats.

- Y a-t-il un lien entre les caractéristiques sociodémographiques du sujet et ses réponses face à des choix risqués ? Nous utiliserons à ce niveau les résultats individuels du test d'aversion au risque pratiqué en partie 2.
- Y a-t-il un lien entre grade d'aversion au risque des sujets et points forts/points faibles évoqués ?
- Y a-t-il un lien éventuel entre caractéristiques sociodémographiques des sujets et réponses face aux choix proposés, pour Paul et Betty?
- Les réponses sont-elles inter-dépendantes pour une même personne ? (un exemple au niveau des points forts et points faibles : une personne qui n'a pas répondu « on peut gagner de l'argent avec ce contrat » répond-elle automatiquement « il n'est pas avantageux de faire d'efforts avec ce type de contrat » ?)

- Meta-analyse :

Quelles sont les possibilités de la méthodologie adoptée dans notre protocole ?

- Le protocole a été construit autour du choix d'adoption des contrats principalement. Peut-on, au vu des résultats, imaginer une nouvelle solution pour l'analyse post-adoption de contrat ?
- Le protocole permet-il de répondre aux questions cruciales entourant d'élaboration de contrats d'effacement ?
- Quelle complémentarité peut-on dessiner entre les expérimentations de laboratoire et les pilotes de terrain ?

Nous avons donc utilisé ces axes d'analyse autour de notre base de données de résultats, afin de tenter d'extraire des hypothèses consolidées, à la fois de manière méthodique et de manière exploratoire, dans le but de faire émerger des hypothèses inattendues. La liste ci-dessus ne sera pas traitée de manière exhaustive dans le présent document : nous avons choisi de distiller et regrouper nos résultats par grandes thématiques.

4.1 *Critical peak pricing (Eco Pointe) contre Peak time rebate (Bonus à l'effacement). Quel est le type de contrat le plus acceptable?*

L'étude de l'acceptabilité des deux types d'offres tarifaires les plus répandues en matière de gestion des points de demande électrique est l'enjeu principal qui anime notre protocole. L'analyse des résultats nous permet de montrer que, à potentiel de gain similaire, le contrat Eco Pointe semble être le plus acceptable pour les clients (par rapport à Bonus à l'Effacement de type 2 qui lui est structurellement symétrique (cf section 3.1.4.1 et note de bas de page 194), qu'il s'agisse de Paul ou Betty. Les différentes questions du protocole nous permettent d'explorer davantage ces préférences et de tenter de comprendre quels éléments attirent ou rebutent les clients dans le design de ces contrats.

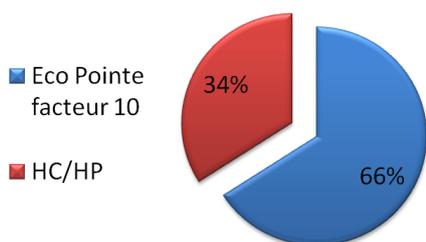
4.1.1 Acceptabilité générale des contrats Eco Pointe et Bonus à l'Effacement comparée : Eco Pointe plébiscité.

Dans un premier temps nous observons les acceptabilités comparées deux contrats d'effacements, pour les individus-type Paul et Betty cumulés. Le choix proposé aux sujets pour les clients était celui du « *switching* » de leur contrat de base (Heures Creuses/Heures Pleines) vers un contrat d'effacement, Eco Pointe dans un premier temps, puis Bonus à l'Effacement (de type 1 et type 2) par la suite. Dans cette section (et d'après la construction logique du protocole) nous avons choisi de présenter les résultats du contrat BET2 et non BET1 car seul le premier équivalait

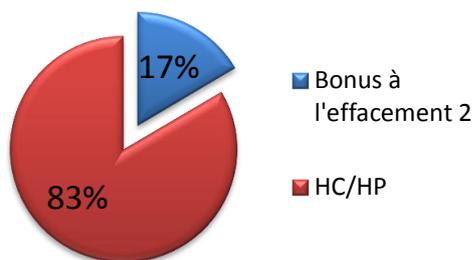
structurellement à Eco Pointe. La pertinence de comparaison entre Eco Pointe et BET1 est bien plus discutable, ce dernier ne présentant manifestement que des avantages.

Nous avons calculé la proportion de clients (rappel : échantillon de 236 individus) acceptant de passer d'HC/HP à Eco Pointe puis à BET2 :

Acceptabilité du contrat Eco Pointe en remplacement de HC/HP



Acceptabilité du contrat d'effacement Bonus 2 (cumul Paul+Betty)

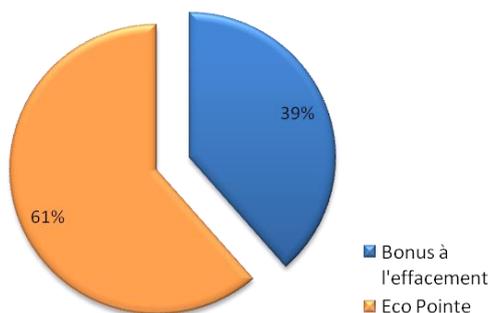


66% des clients choisissent de passer de leur offre de base à Eco Pointe Facteur 10. 17% des clients choisissent de passer de leur offre de base à BET2 2€de bonus.

Nous pouvons affirmer que :

- Eco Pointe (Facteur 10) est préférée à l'offre de base HC/HP par les clients ($P\text{-value} < 0,01$)²⁰⁰
- Bonus à l'Effacement Type 2 (Bonus 2€) est préférée à l'offre de base HC/HP par les client ($P\text{-value} < 0,01$)
- Eco Pointe a un meilleur taux de switching que Bonus à l'Effacement (dans leurs variantes proposées à ce niveau du protocole) ($P\text{-value} < 0,01$)

Choix du client: Bonus à l'effacement ou Eco pointe



Non seulement l'offre Eco-Pointe intéresse, selon les sujets, plus de la moitié des 236 individus ($P\text{-value} < 0,01$), mais, de plus, elle impliquerait un taux de switching près de 4 fois supérieur à BET2. Nous ne pouvons cependant

²⁰⁰ Nous rappelons qu'une $P\text{-value}$ inférieure à α signifie que nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle H_0 = « les proportions de clients souhaitant adopter le contrat ou ne souhaitant pas l'adopter sont égales » avec moins de α de chances nous tromper. Ainsi dans notre cas : nous avons plus de 99% de chances d'avoir raison en affirmant que Eco Pointe sera majoritairement choisie par les sujets plutôt que leur offre de base. Les calculs ont été réalisés avec le Z-test de comparaison des proportions, en utilisant une population de base de taille « infinie ». Le test du $khi-2$ pourrait également être utilisé pour réaliser ce test.

pour le moment rien déduire de manière certaine concernant un duel direct Eco Pointe / Bonus à l'effacement. La comparaison directe des contrats confirmera-t-elle la tendance indirecte ? Nous utilisons pour cela les réponses à la question de notre protocole opposant nos deux contrats dans des variantes que nous avons voulues fixés.

Nous proposons aux sujets de choisir pour les clients-type entre un contrat Eco Pointe de Facteur 20 et un contrat Bonus à l'Effacement de type 2 avec un bonus de 4€ par kWh effacé.

Selon les résultats, 61% des clients préfèrent le contrat Eco Pointe Facteur 20 au contrat BET2 Bonus 4€.

Nous pouvons affirmer que selon les sujets, le contrat Eco Pointe est préféré au BET2. (*P-value <0,01*)

Ce résultat confirme le précédent : l'acceptabilité du contrat de *Critical peak pricing* semble supérieure à celle de *Peak time rebate*.

Il nous est difficile de comparer ces résultats avec ceux obtenus dans le cas de pilote de terrain : d'une part il n'existe pas, à notre connaissance, de pilote de terrain ayant proposé des offres CPP et PTR structurellement identiques, et dans lesquelles les participants des échantillons test ont eu le choix entre l'une ou l'autre des options : généralement les groupes d'appartenance sont déjà constitués lors du recrutement. Seuls les taux de retours positifs au recrutement peuvent nous indiquer une plus ou moins grande appétence pour l'une ou l'autre des offres.

Nous avons observé des taux de retours différents pour ces deux types d'offres, en particulier lors du programme PowerCentsDC de Pepco évoqué ci-dessus²⁰¹.

D'après les données de Pepco et calculs personnels, sur des populations de respectivement 3520 et 4297 sujets contacté pour les contrats CPP et PTR, les taux de retours ont été de 6,6 et 7,4% : selon notre traitement et les résultats du Z-test, cette différence n'est pas significative (*p-value* >0,15). Un test du *Khi-2* nous donne une *P-value* de 0,17, ce qui est trop pour affirmer une hypothèse consolidée de différence d'appétence pour l'une ou l'autre des offres, bien qu'il soit tentant de le faire !

D'autre part, les offres proposées lors des pilotes de terrain, n'ayant forcément une visée de rentabilité, peuvent être déployées sur le modèle du Bonus à l'Effacement de type 1, qui n'est pas l'offre comparée dans cette section.

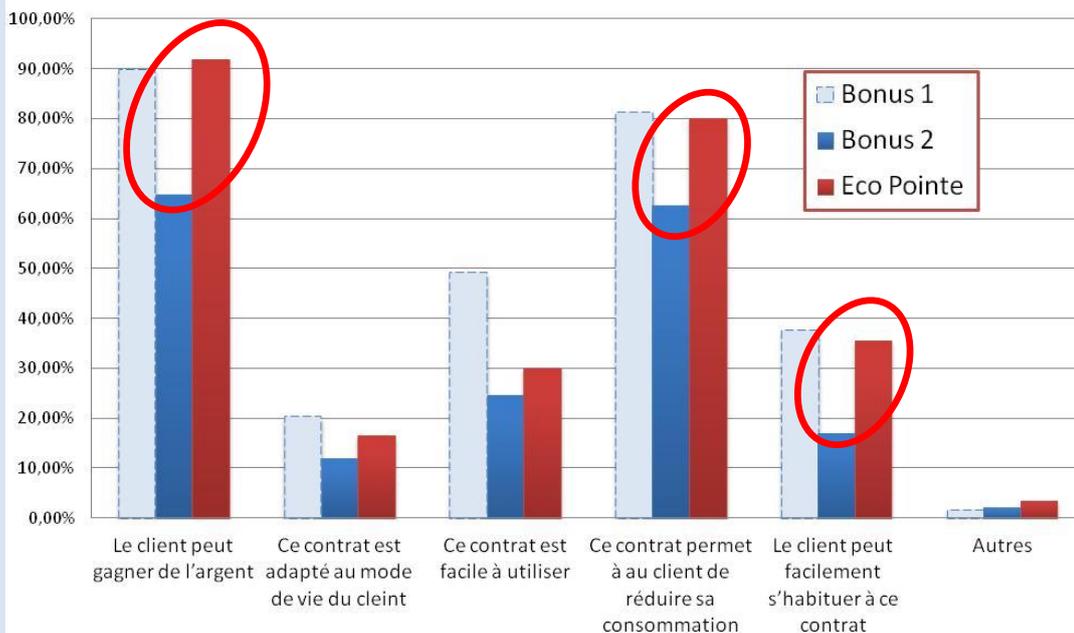
A ce stade, nous ne pouvons pas en déduire non plus ni d'en déduire une quelconque croyance d'efficacité de l'un ou l'autre : nous poursuivons donc l'analyse avec l'étude des points forts et points faibles comparés.

²⁰¹ <http://www.powercentsdc.org/ESC%2010-09-08%20PCDC%20Final%20Report%20-%20FINAL.pdf>

4.1.2 Points forts et points faibles comparés des deux types de contrats.

Le protocole comprend, pour chacun des types de contrats proposés aux sujets (Eco Pointe, BET1 et BET2), un QCM autour des points forts, puis des points faibles de chacun. Une liste de 5 points forts et 6 points faibles étaient proposés : nous avons préféré les suggérer, pour faciliter le travail de réflexion des sujets. Ces suggestions ont été améliorées lors de la session bêta, afin de ne pas passer à côté d'une composante majeure. Un champ a été laissé libre pour tout point fort ou point faible additionnel. Nous traiterons ces commentaires libres individuellement pour Paul et Betty, dans une section suivante. Nous observons donc les résultats concernant les points forts et points faibles comparés des 3 types de contrats : notre objectif dans cette section est principalement d'observer les différences ou similitudes entre Eco Pointe et BET2 (Sous la dénomination de Bonus 2 sur le graphique ci-dessous). BET1 sera aussi observé dans une moindre mesure, toujours pour les mêmes raisons. Enfin, l'étude des points forts et faibles des contrats d'effacement dans leur globalité sera réalisée ultérieurement, dans la section 4.3 de ce document.

Point forts comparés : contrats Eco-pointe, bonus 1 et 2

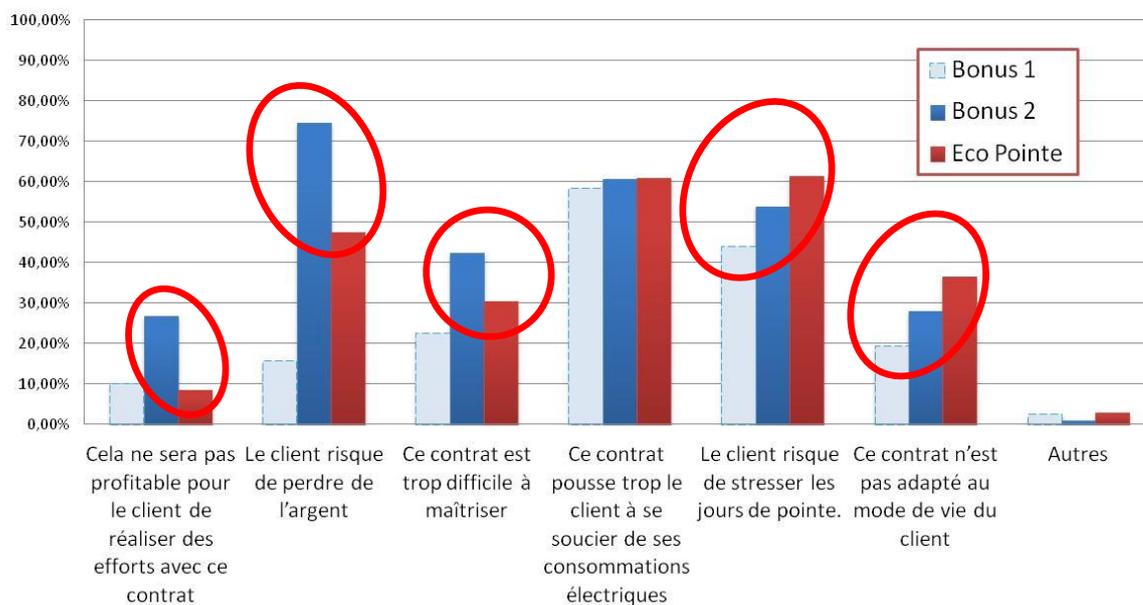


Nous observons une homothétie entre les taux de citation des points fort de Eco Pointe/BET2 pour la plupart des items, excepté celui concernant la facilité d'utilisation du contrat. Eco Pointe (et BET1) apparaissent plutôt convainquant dans leur objectif de permettre au client de gagner de l'argent (plus de 90% de taux d'occurrence), ainsi que dans l'objectif de réduction de la consommation électrique du foyer (plus de 80% d'occurrence). La différence est marquée (significative entre BET1 et BET2 pour tous les items, et pour la majorité des cas (sauf facilité et

adaptabilité du contrat) entre Eco Pointe et BET2 ; les résultats significatifs sont entourés) avec le contrat BET2 : le contrat Eco Pointe semble présenter beaucoup plus de points forts que BET2. En revanche, aucune différence n'est significative (hormis en ce qui concerne la facilité d'utilisation du contrat), entre BET1 et Eco pointe.

Concernant ce dernier point, il est possible que les clients soient davantage déboussolés par le mécanisme de prime et tarifs élevés, que par un bonus reçu après avoir payé un abonnement « plus cher ». Le mécanisme de compensation est probablement plus difficile à assimiler. Le fait d'aborder le contrat Eco Pointe en premier lors des sessions peut également avoir un impact : la familiarisation avec les concepts de contrats d'effacement et la présentation associée n'est peut être pas immédiate : un coup d'œil aux résultats dissociés de Paul et Betty (non affichés dans ce rapport) nous apporte la réponse, la séquence du protocole impliquant un retour au contrat Eco Pointe pour Betty après avoir proposé le contrat Bonus à l'Effacement à Paul. La facilité d'utilisation du contrat Eco Pointe est moindre pour Betty que pour Paul : c'est donc bien la facilité d'utilisation, et non d'assimilation du contrat, qui a été ici notée par les sujets. Le fait que BET2 (structurellement pas plus complexe que BET1) obtienne un score bas et similaire à Eco-Pointe nous conforte dans cette position. Eco Pointe est donc jugé plus difficile à utiliser, mais aussi avantageux que BET1.

Point faibles comparés : contrats Eco-pointe, bonus 1 et 2



Ce graphique nous permet de comparer les occurrences de points faibles tous individus confondus, pour les 3 types de contrats. Les résultats sont moins homogènes qu'en ce qui concerne les points forts. Le risque de perte d'argent (à plus de 70%) et le manque de profitabilité (par rapport à Eco Pointe) du contrat BET2 sont mis en avant par les sujets (*différence significative, p-value <0,01*),

alors qu'il peut apporter la même réduction de facture en cas d'effort : le mécanisme de surcoût fixe à l'abonnement semble être perçu comme de l'argent perdu.

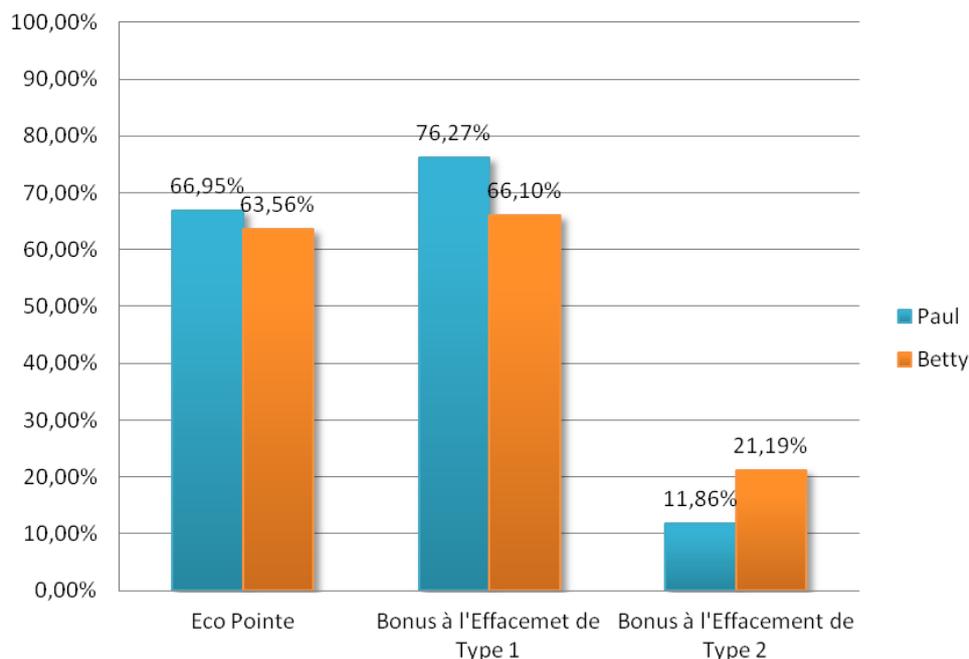
En revanche en ce qui concerne le souci engendré par l'attention portée aux consommations électriques, nous observons une quasi égalité des 3 types de contrats. Eco Pointe est également dénoté comme étant le plus stressant ($P\text{-value} < 0,1$) et le moins adapté au mode de vie du client ($p\text{-value} < 0,05$). En combinant ces résultats, nous obtenons que Eco Pointe apparaît comme le plus contraignant et le plus stressant, mais également le plus profitable, et comportant beaucoup moins de prise de risque de perte d'argent que BET2 : il semble que le mécanisme de *critical peak pricing* soit jugé efficace... car exigeant.

4.1.3 L'acceptabilité des contrats Eco Pointe et Bonus à l'Effacement est-elle en lien avec le segment d'appartenance du client ?

Nous disposons de résultats différenciés pour les clients Paul et Betty : nous souhaitons maintenant savoir si l'acceptabilité des contrats diffère selon l'un ou l'autre de ces profils. Le contrat Eco Pointe est-il plébiscité par les 2 types de clients ? Les points forts et points faibles sont-ils cités de manière homogène ?

Nous commençons par observer les taux d'adoptions de contrats Eco Pointe, BET1 et BET2 chez Paul et Betty.

Taux d'adoption des Contrats d'effacement: comparaison Paul/Betty



Ce graphique nous montre les taux de *switching* de l'offre de base des clients (HC/HP) vers les 3 contrats proposés. Les résultats sont les suivants :

Il n'y a pas de différence significative entre le taux d'adoption du contrat Eco Pointe par Paul et par Betty (Z-test le donne une *p-value* >> 0,15 et Khi2 donne une *p-value* >0,58)

Le contrat BET1 est davantage adopté par Paul que par Betty. (*p-value*<0,1)

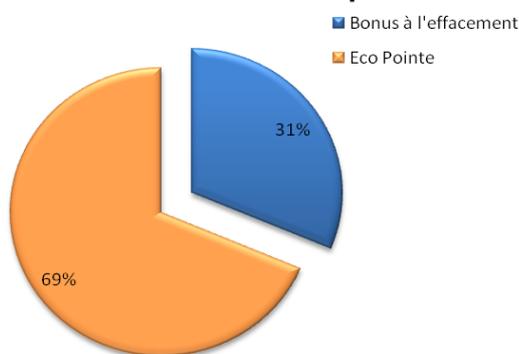
Le contrat BET2 est davantage adopté par Betty que par Paul. (*p-value*<0,1)

Les différences concernant les contrats de Bonus à l'Effacement sont difficiles à expliquer, mais il est possible que Paul soit imaginé comme étant un client appréciant peut la contrainte morale que représente le souhait de « gagner » de quoi compenser le surcoût à l'abonnement. L'étude des points forts et points faibles comparés nous en apprendra davantage. Il est difficile de maintenir toute hypothèse de rationalité pure, puisqu'un comportement rationnel impliquerait forcément

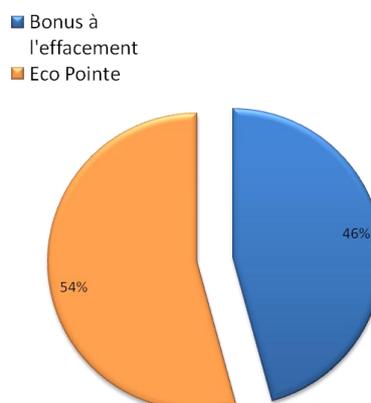
l'adoption à 100% de BET1. Des éléments comme l'aversion au changement, ou le rejet de propositions émanant d'un fournisseur d'électricité perçu négativement par la population, peuvent entrer en compte.

Nous nous intéressons maintenant au choix proposé aux clients entre le contrat Eco Pointe (facteur 20) et BET1 (bonus de 4€), qui rappelons le, peuvent donner une facture électrique équivalente et réduite par rapport à la facture de base en cas d'efforts marqués de réduction.

Choix de Betty : Bonus à l'effacement ou Eco pointe



Choix de Paul : Bonus à l'effacement ou Eco pointe

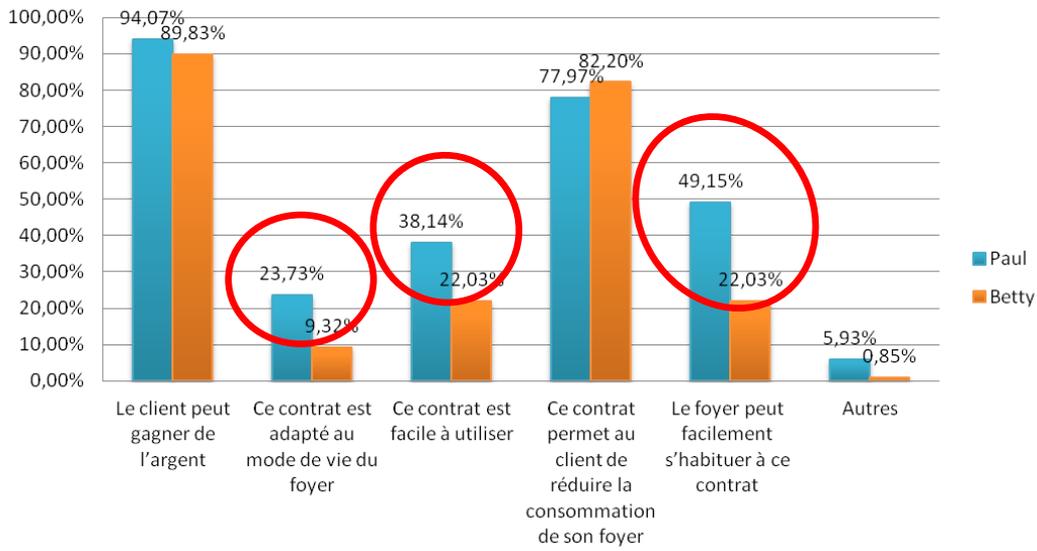


Nous constatons une différence très marquée entre les proportions des choix effectués :

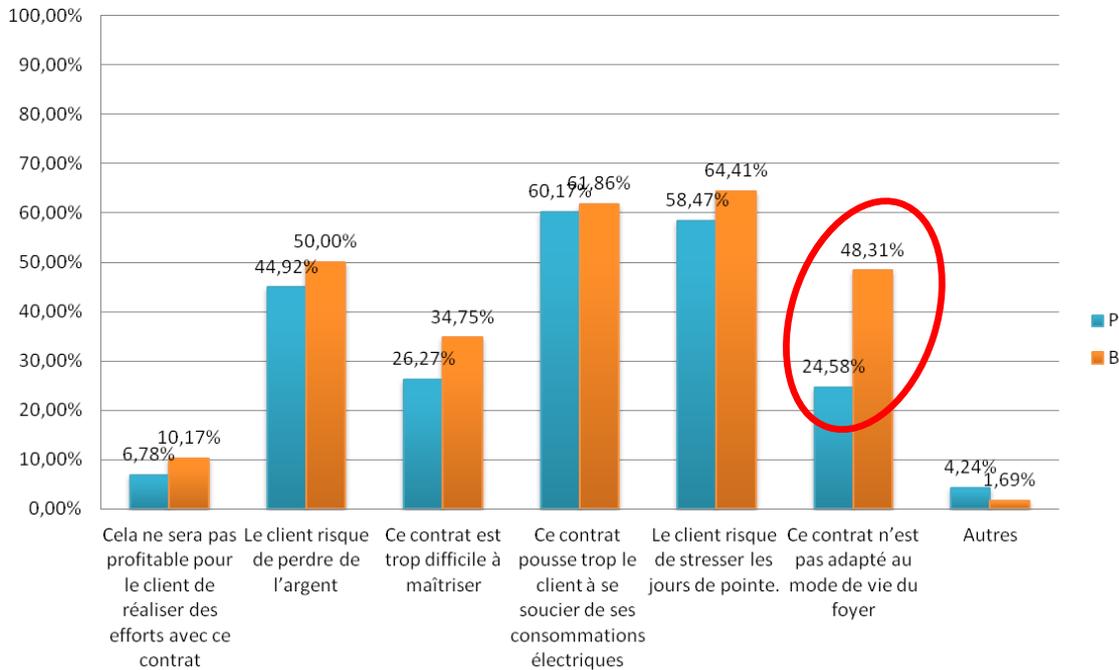
Ainsi, 69% des sujets pensent que Betty préférera Eco Pointe à Bonus à l'Effacement, contre 54% en ce qui concerne le choix de Paul. Cette différence est significative (p -value < 0,05). Le profil de Betty l'incite donc davantage à opter pour l'offre de *critical peak pricing*. Instinctivement, il est possible que le profil « mère de famille » pousse davantage les sujets à opter pour un contrat où la prime est fixe et acquise, qu'un contrat où l'énoncé implique un malus à « reconquérir ».

Afin de comprendre peut être ces différences, nous observons les points forts et points faibles de chaque contrat, selon le type de client.

ECO Pointe : les Points forts, Comparatif Paul/Betty

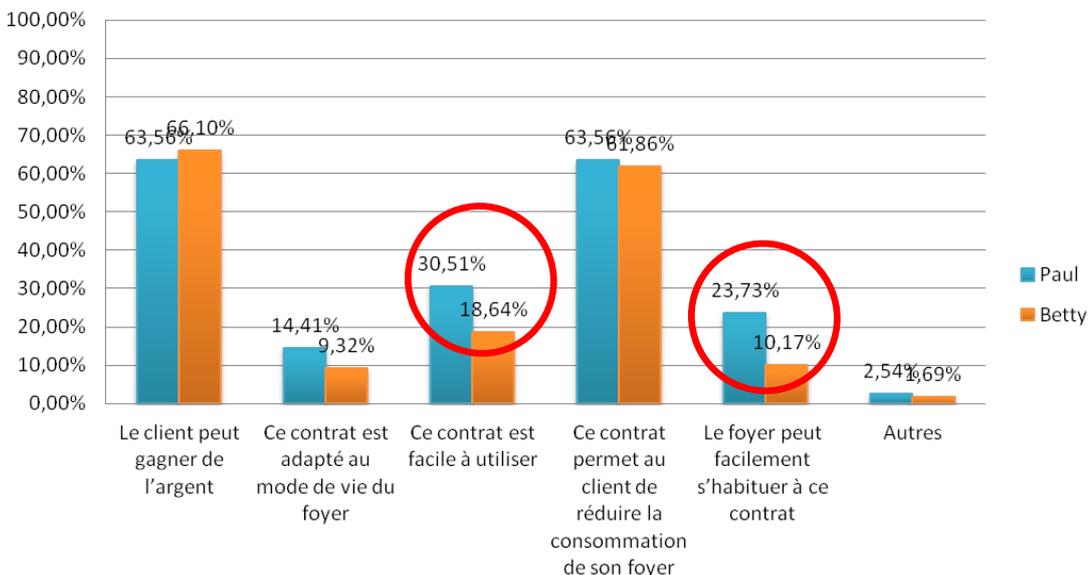


ECO Pointe : les Points faibles, Comparatif Paul/Betty



Les différences statistiquement significatives, au vu des proportions et de la taille de nos échantillons (118) et elles seules, sont entourées de rouge dans les graphiques ci-dessus ($p\text{-value} < 0,01$ dans tous les cas). Ces deux histogrammes nous montrent que les craintes liées au contrat Eco Pointe pour le foyer de Betty sont essentiellement de l'ordre de la difficulté de discipline qu'il implique au sein d'une famille avec enfants. Les risques ou avantages liés au montant de la facture n'ont pas un impact différent, que ce soit chez Paul ou Betty. L'observation des mêmes graphiques pour BET2 nous montrera peut-être d'autres différences marquées qui expliqueraient un

Bonus 2 : les Points forts, Comparatif Paul/Betty



Les différences d'occurrence des points forts et points faibles statistiquement significative sont entourées de rouge. Concernant les points forts, l'item « *ce contrat est facile à utiliser* » admet une différence d'occurrence entre Paul et Betty dont la *p-value* est inférieure à 0,05. Toutes les autres différences entourées sont valides avec une *p-value* inférieure à 0,01.

Alors que pour Eco Pointe, les différences entre les points de vue de Paul et Betty étaient principalement marquées au niveau des points forts, pour BET2, ce sont les points faibles qui créent la divergence. Surcroit de stress durant les jours de pointe, contrat difficile à maîtriser et peu adapté au foyer : ces facteurs de non-acceptabilité apparaissent comme très importants dans un foyer comprenant des enfants. Ces ressentis sont également présents pour le contrat Eco Pointe, comme nous l'avons pu voir ci-dessus, mais c'est bien le gap entre le ressenti des contraintes et du stress généré par Paul et par Betty qui peut expliquer la différence d'adoption de contrats lorsque BET2 et Eco Pointe sont opposés en duel. Pour la famille, ce n'est pas l'inquiétude au sujet du résultat des efforts ou excès sur la facture qui génère une désaffection pour l'un ou l'autre des contrats, mais la **contrainte « quotidienne » de modification des comportements.**

L'item « autres » du QCM points forts/points faibles de chaque contrat nous permet aussi de recueillir des informations libres mais néanmoins intéressantes, car elles reflètent les mots et concepts que les sujets attachent aux contrats d'effacement. Au fur et à mesure du déroulement du protocole, nous avons récolté de moins en moins de remarques libres : après 6 passages par la question des points forts et points faibles, cela apparaît humain, d'autant que ce type de question n'est pas incité. Voici un tableau où sont consignés les résultats :

Points forts et faibles cités spontanément par les sujets concernant Paul et Betty		
	<u>Paul</u>	<u>Betty</u>
Eco Pointe : POINTS FORTS	<ul style="list-style-type: none"> • Paul est averti des jours de pointe • Moins de rejet de gaz carbonique en cas de consommation moindre • En tant que célibataire cela reste maitrisable • Responsabilise sa conso • Réfléchir sur la consommation • Contrat qui peut inciter à réduire sa conso • Etre prévenu en avance permet de pouvoir s'organiser, "faire tourner une lessive en heures creuses en dehors des heures de pointe". 	<ul style="list-style-type: none"> • Peut faire prendre conscience de sa consommation réelle • Avantage pour grande famille
Eco Pointe : POINTS FAIBLES	<ul style="list-style-type: none"> • Paul hésitera à utiliser son ordinateur pendant les heures de pointes • Doit penser à suivre sa conso. • Cela permet à Paul de réduire efficacement sa consommation (?) • Nouvelles habitudes à adopter • Demande une grande organisation au départ 	<ul style="list-style-type: none"> • Demande un effort pour toute la famille !!! • Faire prendre conscience aux enfants moins vigilants est difficile

	<ul style="list-style-type: none"> • N'être averti que la veille des jours de pointe • Ce n'est pas forcément adapté aux heures de retour de travail 	
Bonus T 1 : POINTS FORTS	<ul style="list-style-type: none"> • Prise de conscience green améliorée • Plus simple à comprendre • Responsabilise sa conso • Ecologique 	
Bonus T1 : POINTS FAIBLES	<ul style="list-style-type: none"> • Le jour J, Paul ne connaît pas la moyenne des 5j précédents • Risque de payer beaucoup plus cher que prévu sa facture !!! (?) • Changer ses habitudes • Aucun • Il ne semble pas attractif (<i>mal présenté ?</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficile pour les enfants
Bonus T2 : POINTS FORTS	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun • Pareil (ce sujet était celui ayant indiqué en point fort du contrat Eco Pointe pour Paul : «Contrat qui peut inciter à réduire sa conso ». Mais il est difficile de savoir s'il fait référence à ce commentaire!) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun vigilance des consommations.
Bonus T2 : POINTS FAIBLES	<ul style="list-style-type: none"> • Suivi difficile 	<ul style="list-style-type: none"> • Majoration de 80 euros trop élevée • Participation des enfants difficile • Abonnement trop cher

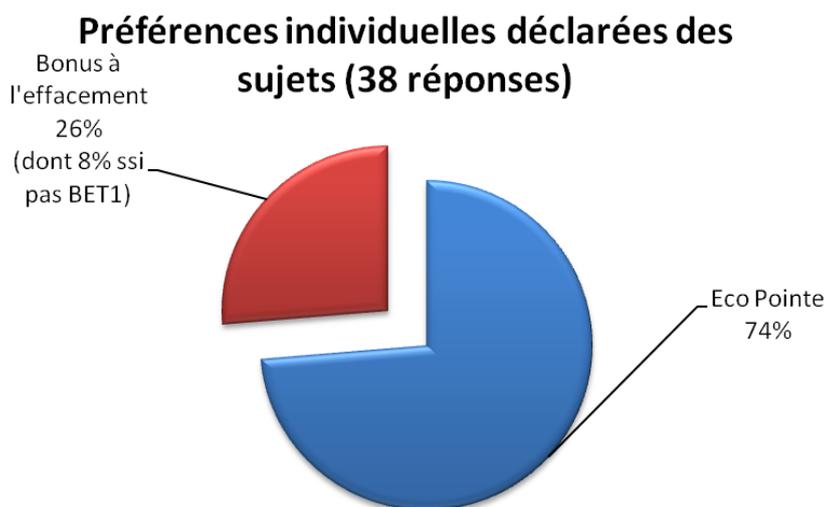
Les points forts cités sont souvent le pendant positif des points faibles, et inversement : on se félicite d'avoir à prendre garde à ses consommation mais on déplore de devoir y consacrer du temps de pensée, de la vigilance. C'est la sensibilisation des enfants qui apparaît rebuter les clients. Cependant cet aspect est aussi évoqué dans les points positifs, le contrat apparaissant comme un **vecteur de sensibilisation**. L'individu Paul, en revanche, apparaît comme peu enclin à se plier aux horaires des jours de pointe.

Nous avons donc vu de que d'une manière **générale, le contrat Eco Pointe est davantage plébiscité que Bonus à l'Effacement de type 2 par les sujets pour les clients**. Cette différence est encore plus marquée pour les clients de type Betty, dans le cas où on impose le choix d'un contrat parmi les deux types d'offres proposées. En revanche, le stress, les contraintes qu'il faut tenter d'imposer au foyer au-delà d'une considération personnelle, impactent le taux d'adoption des contrats d'effacement. Paul, en revanche, semble moins enclin à subir les effets négatifs de ces derniers, mais ne semble pas pour autant vraiment plus intéressé, voire moins pour certaines offres (BET2). Il est dès lors possible que la perception des contraintes soit moins forte pour ce type d'individus, mais que sa tolérance aux contraintes soit également plus faible.

Afin de terminer l'analyse des résultats concernant l'acceptabilité binaire des deux types d'offres, nous avons demandé aux sujets quel type d'offre ils préféreraient adopter, dans le cas où ils seraient intéressés par une offre d'effacement.

4.1.4 Les sujets face aux contrats d'effacement : un avis qui conforte nos hypothèses.

La question de la préférence entre les deux grandes familles de contrats incitatifs traitées dans notre protocole a été directement posée aux sujets, dans le questionnaire déclaratif final concernant leur propre opinion. Bien qu'il s'agisse d'une question non incitée, nous pouvons espérer que le fait d'avoir balayé les points forts, points faibles, ainsi que d'avoir proposé des mises en situations virtuelles aux sujets réduira le risque d'effet de zèle, risqué questionnaires déclaratifs. Nous utilisons donc l'analyse de cette réponse non pas comme un élément majeur, mais comme un complément des résultats ci-dessus.



Parmi les sujets ayant souhaité s'exprimer sur leur type de contrat préféré (au nombre de 38 : même ceux ayant précisé qu'ils seraient intéressés par un contrat d'effacement (75 personnes) n'ont pas toujours indiqué par lequel), 26% d'entre eux seulement ont choisi le contrat Bonus à l'Effacement (dont près du tiers, c'est-à-dire 8% sur les 38 personnes, ont signalé clairement que seul BET1 les intéressait). Ainsi, 74% des sujets ayant exprimé leur avis préféreraient Eco Pointe. Cette différence est tout à fait significative même malgré la faible taille de l'échantillon (p -value < 0,01, avec le Z-test comme avec le test du χ^2).

L'observation des points forts cités spontanément par les sujets (mode déclaratif) nous confirme la préférence pour Eco Pointe : voir tableau ci-après.

Le contrat Eco Pointe est plébiscité pour sa simplicité (facile à gérer, simple à comprendre sont des expressions qui reviennent), son efficacité (permet de faire des économies, primes plus

intéressantes). Le contrat Bonus à l'Effacement suscite des commentaires très intéressants : le mécanisme de bonus, même accompagné d'un surcoût à l'abonnement, permet à certains clients de mieux matérialiser les économies d'électricité, et constitue une meilleure motivation sur le plan psychologique qu'un mécanisme de *critical peak pricing* : la « carotte » est plus encourageante que le « bâton » ! En d'autres termes, le renforcement positif est plus attractif que la « punition ». Attention : leur efficacité n'est pas forcément en lien direct avec cette affirmation ! Dans des pilotes de terrain, le *critical peak pricing* s'est déjà avéré plus efficace²⁰², à facture équivalente. Cela concorde parfaitement avec les déclarations de nos sujets concernant « la pression plus forte pour réaliser des économies »

Points forts cités spontanément par les sujets dans que le questionnaire final (mode déclaratif)	
Points forts ECO POINTE	<ul style="list-style-type: none"> • Plus régulier • Il est intéressant et pratique pour des jeunes • Il me semble plus intéressant de faire des efforts dans ce cas là • Mieux adapté à mon mode de vie • Plus facile à gérer • Plus simple à comprendre • Cela me permettrait de faire des économies en faisant attention • Plus simple • Plus facile à gérer • Plus facile à gérer • Car correspond mieux à mon type de vie. la prime est plus intéressante • La pression me semble plus forte pour réaliser des économies. • Simple à utiliser
Points forts : A L' EFFACEMENT	<ul style="list-style-type: none"> • Rémunération des heures économisées à un tarif supérieur à leur cout • Sans coût supplémentaire • Ce type de contrat me permet de faire attention à ma consommation. • Sans frais de dossier supplémentaire • Sans surcout d'abonnement • Même si le coût de l'abonnement varie on peut matérialiser de façon plus claire les économies faites. La chasse au gaspillage est de tous les instants. • Cela revient certainement au même mais psychologiquement on a plus envie de faire des efforts si on se dit que cela rapporte un bonus

Nous avons donc vu que le contrat Eco Pointe est mieux accepté que le contrat Bonus à l'Effacement, que ce soit par nos clients-types ou par les sujets expérimentés. Si elles existent et sont

²⁰² Le pilote Powercents de Pepco est encore une fois un très bon exemple : voir <http://www.powercentsdc.org/ESC%2010-09-08%20PCDC%20Final%20Report%20-%20FINAL.pdf>

significatives, les nuances entre les différents profils ne sont pas absolument contrastées. Dans la suite de notre analyse, nous nous intéresserons donc principalement au contrat Eco Pointe : puisque c'est celui que les sujets adopteront le plus volontiers, nous souhaitons savoir quelles en sont les variantes optimales. Ratios de prix de pointe, préavis d'effacement : quel design les sujets souhaitent-ils pour leur contrat ?

4.2 Design de contrat d'effacement : quelles sont les caractéristiques idéales pour les clients ?

Notre protocole comprend une phase d'évaluation de diverses variantes des contrats, que ce soit pour Eco Pointe ou Bonus à l'effacement. Les différentes versions diffèrent soit par le ratio de prix de pointe/hors pointe, sur le taux de rémunération des bonus, ou encore par le délai avec lequel le client est prévenu des heures de pointes à l'approche : autant de paramètres qui influent **sur la prise de risque liée à l'adoption d'un tel contrat**. Nous essayerons de comprendre, dans cette section, quelles sont les variantes préférées, et les liens entre profils type et calibrage des paramètres du contrat.

4.2.1 Ratios de prix pour le contrat Eco Pointe : une différence de prix marquée remporte les suffrages.

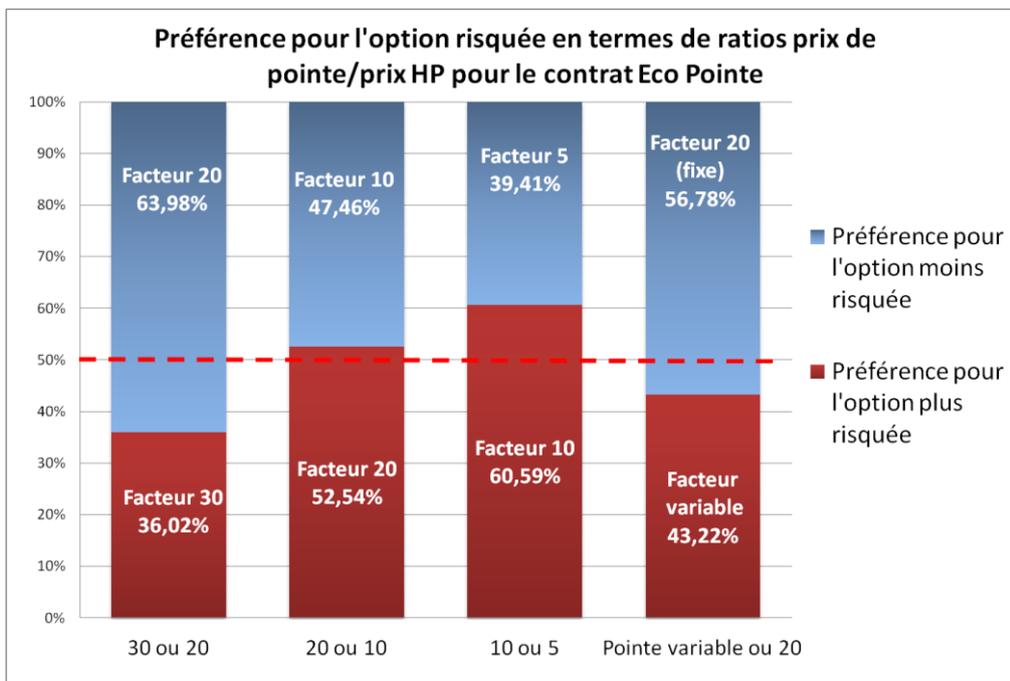
Nous nous intéressons dans un premier lieu au paramètre majeur du contrat Eco Pointe : le ratio de prix entre heures de pointes et heures « pleines », c'est-à-dire le tarif de base sur la tranche horaire 18-20h. Nous appelons ce ratio le « facteur » du contrat (cf section 2.3.2.1.1). Plus le ratio est grand, plus le prix de l'électricité en heures de pointe est élevé, et plus la prime fixe associée à ce contrat est grande. Mais le risque de voir la facture électrique augmenter fortement est également plus marqué, puisque tout excès, volontaire ou non, en heure de pointes sera tarifé au prix fort. Inversement, plus le ratio est faible, moins la prise de risque est grande. Mais l'opportunité de gain en cas de bonne conduite est également moins importante.

4.2.1.1 *Observation globale.*

Dans un premier temps nous utilisons les résultats issus du cumul des profils « Paul » et Betty » pour observer les préférences en termes de facteurs de prix pour l'offre Eco Pointe. Les options testées sont : facteur 5, facteur 10, facteur 20, facteur 30 et facteur variable. Nous avons opposé ces variantes dans 4 duels :

- Eco Pointe Facteur 30 ou Eco Pointe facteur 20,
- Eco Pointe Facteur 20 ou Eco Pointe facteur 10,
- Eco Pointe Facteur 10 ou Eco Pointe Facteur 5,
- Eco Pointe Facteur 20 ou Eco Pointe Facteur variable

Nous n'avons pas proposé toutes les combinaisons possibles aux sujets, afin de ne pas les noyer sous les décisions à prendre dans le temps imparti. Il aurait été possible de proposer à chaque participant un certain nombre de duels parmi les combinaisons possibles et d'alterner ces combinaisons d'un sujet à un autre, de manière à proposer l'ensemble des combinaisons sur l'ensemble des sujets. Nous avons choisi de ne pas utiliser cette méthode afin de ne pas décomposer notre échantillon en sous-groupe, pas souci d'exploitabilité des résultats : obtenir des résultats statistiquement significatifs. En conséquence, il ne nous est pas possible d'établir un ordre logique et absolu des variantes selon leur ordre de préférence. Nous pouvons cependant tout à fait comparer les scores qu'elles obtiennent l'une par rapport à l'autre. Dans le graphique ci-dessous, nous avons relevé le taux de sélection de l'offre la plus risquée parmi les 2 proposées (ratio le plus élevé, ou offre variable). Exemple de lecture : « 36,02% des clients-types, selon les sujets, préféreront choisir l'offre Eco Pointe Facteur 30 plutôt que l'offre Eco Pointe Facteur 20 ».



La lecture de ce graphique nous montre que ce sont les offres dites « moyennes » (facteur 10 ou 20) qui intéressent le plus les clients. La différence observée entre ces deux derniers n'est pas significative (Z-test : $p\text{-value} > 0,15$; d'après le test du χ^2 , $p\text{-value} = 0,27$).

- L'offre de facteur 30, la plus risquée, est majoritairement délaissée au profit de l'offre de facteur 20 ($p\text{-value} < 0,01$). L'aversion au risque pousse les clients à opter pour un facteur de prix plus raisonnable.
- L'offre de facteur 5, la moins risquée, est également délaissée au profit de l'offre de facteur 10 ($p\text{-value} < 0,05$).

Il n'est pas possible d'établir un classement direct qui nous permettrait de comparer l'offre de facteur 30 à l'offre de facteur 5 à la lecture de ces résultats. Nous pouvons essayer de comparer leur taux d'adhésion par rapport à une offre de facteur « moyen » (10 ou 20) : la différence de taux d'adoption n'est alors pas significative.

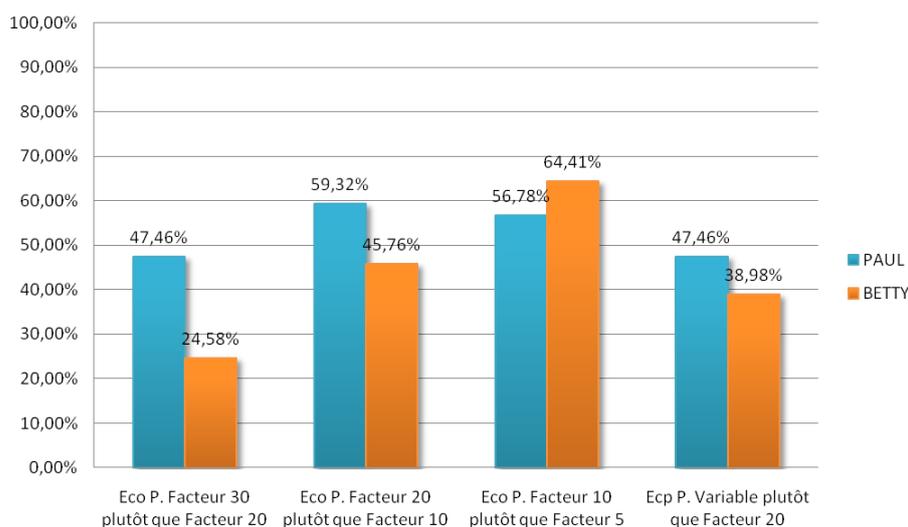
L'offre de facteur 20 est également préférée à l'offre de facteur variable (option risquée) (p -value < 0,01). Cet « ovni » de notre sélection d'offre, ne parvient pas à convaincre la moitié des clients types, selon les sujets (p -value < 0,15) face à sa concurrente à prix fixe.

De ces résultats, nous pouvons conclure que ce sont les offres à ratio moyen qui emportent les suffrages : Facteur 10 ou Facteur 20. Les offres extrêmes effrayent (Facteur 30) ou n'incitent pas suffisamment (Facteur 5). Un écart de prix plutôt conséquent est donc souhaité pour que l'offre soit avantageuse, mais dans une certaine limite. L'observation des résultats différenciés de Paul et Betty nous permettra-t-il d'affiner ces premières conclusions ?

4.2.1.2 Cette tendance est – elle la même pour Paul et pour Betty ?

Nous comparons les choix entre variantes d'Eco Pointe pour Paul et pour Betty dans l'histogramme ci-dessous. La première colonne est un rappel du taux d'adoption d'Eco Pointe Facteur 10 pour un client dont l'offre actuelle est HC/HP. Pour chaque duel, c'est la proportion de choix portés vers l'option la plus risquée qui est affichée dans le graphique.

Préférences pour les options risquées ECO Pointe : comparaison Paul/Betty



Les différences entre les préférences de variantes Eco Pointe paraissent du premier coup d'œil assez marquée entre Paul et Betty : les options risquées de chaque duel sont moins choisies par les clients de type Betty que par les clients de type Paul, excepté pour le duel Facteur 10/Facteur 5 où les clients de type Betty affichent une préférence encore plus marquée que Paul pour l'option Facteur 10.

- Duel Facteur 30 / Facteur 20 : la différence entre le choix des clients type Paul et les clients type Betty est très nette.

(Différence significative, p-value <0,01).

Les sujets ont rejeté à plus de 75% l'offre Facteur 30 pour Betty, alors que ce n'était pas le cas pour Paul, chez qui cette option était plus ou moins autant plébiscitée que l'offre Facteur 20. *(différence non significative entre le choix Facteur 20 et Facteur 30 pour ce dernier, que ce soit avec le Z-test ou le test du Khi-2, avec p-value >0,4)* Les clients de type Betty sont donc moins enclins à choisir une offre à risque élevé.

- Duel Facteur 20/Facteur 10 : ici encore la différence entre le choix des sujets pour Paul et pour Betty est significative et penche pour l'adoption du contrat le moins risqué pour cette dernière, inversement au choix majoritaire pour Paul : L'offre de facteur 10 est beaucoup plus fortement approuvée pour Betty que pour Paul. En revanche, la proportion de sujets ayant choisi l'offre de facteur 10 pour Betty n'est pas suffisamment *significative* (*p-value>0,15 avec le Z-test, p-value = 0,19 avec le test du khi-2*) pour affirmer avec certitude que c'est celle qui est majoritairement choisie par les clients de type Betty. On peut en revanche remarquer que les clients de type Paul sont enclins à choisir l'option Facteur 20

(proportion significative, p-value <0,01) .

- Duel Facteur 10/Facteur 5 : Le profil Betty semble plus enclin à opter pour l'option Facteur 10 que pour l'option Facteur 5 que le profil de type Paul... cependant cette différence n'est pas significative (*Z-test : p-value>0,15, khi-2 : p-value =0,23*). On peut cependant confirmer que la tendance qu'à Betty à choisir l'offre Facteur 10 plutôt que l'offre Facteur 5 est encore plus certaine que pour Paul

(Pour Betty : test significatif, p-value <0,01 ; pour Paul : test significatif, p-value<0,05).

- Duel Facteur 20/Facteur Variable : La différence entre les choix de Paul et Betty n'est pas fortement significative (*Z-test : p-value > 0,15 ; khi-2 : p-value =0,19*). Cette fois-ci, on peut quand même affirmer que Betty est plus encline à choisir l'offre Facteur 20 que l'offre Variable, évitant alors l'option risquée.

Pour résumer, en ce qui concerne Paul pour le contrat Eco Pointe, les participants préfèrent une prime forte et un prix du KWh fort en pointe (Facteur 20 est le ratio le plus plébiscité, et face à Facteur 10 et Facteur 30, c'est avec Facteur 30 que l'écart entre les 2 options est le plus faible). **Les**

options modérément risquées à risquées sont préférées aux options faibles (facteur 5 est le moins plébiscité).

Pour Betty, la tendance est légèrement différente, puisque l'aversion au risque lié aux aléas de gestion de consommation au sein d'un foyer intervient. Ainsi, l'option préférée est l'Eco Pointe de Facteur 10, et les moins plébiscitées sont les options Facteur 30 et Facteur 5 : **selon les sujets, Betty préfère pour son foyer une offre modérément risquée (un bon compromis entre prime et risque), plutôt que risquée ou peu incitative.**

Face à ce contrat Eco Pointe, pour lequel nous rappelons que la partie fixe est une prime (compensation pour l'acceptation de prix forts pendant les pointes) et la partie variable un malus sous forme d'une tarification élevée des heures de pointes, **la prise de risque est tout à fait acceptée**, et même souhaitée, pour que l'adoption du contrat soit intéressante du point de vue financier (et donc une source de motivation pour la réduction de consommation).

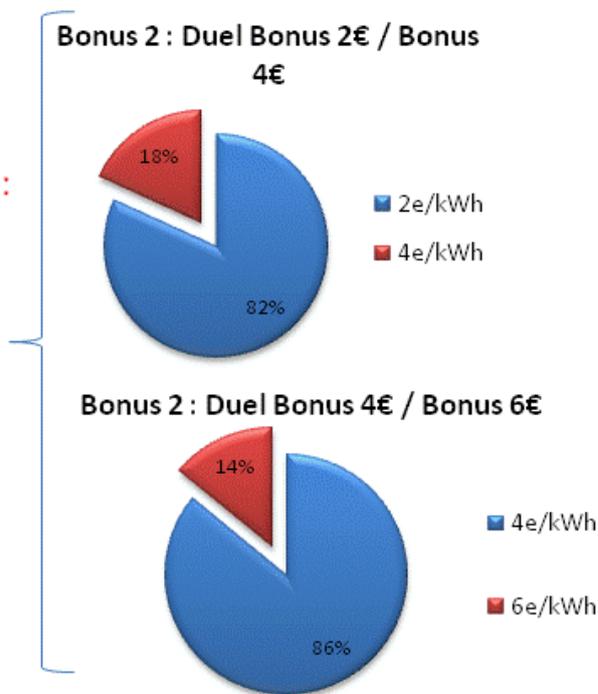
Afin de comprendre pourquoi ce contrat Eco-Pointe, doté d'option risquées qui intéressent davantage les clients, remporte la majorité des suffrages, nous observons résultats des choix entre différentes variantes de son concurrent, Bonus à l'Effacement de Type 2.

4.2.1.3 Observe-t-on la même tendance de préférences pour le contrat Bonus à l'Effacement de Type 2 ?

Nous proposons dans le protocole des duels d'offres BET2, qui diffèrent par le taux de bonus récompensant le kWh économisé lors des périodes de pointe (2€, 4€ et 6€), mais aussi par le surcoût de l'abonnement, proportionnel à ce taux de bonus. Deux duels sont proposés : 2€/4€ de bonus par kWh économisé, ainsi que 4€/6€ de bonus par kWh économisé.

Nous commençons par analyser les résultats de tous les profils-types cumulés (236 réponses) :

En rouge :
option
risquée



Dans les 2 duels, c'est l'option la moins risquée qui prédomine dans les choix des sujets pour les clients (*significativité très importante, p-value < 0,01*) : l'option BET2 à 2€ de bonus est davantage choisie que BET2 à 4€ de bonus dans le premier duel, et l'option BET2 à 4€ est davantage choisie que BET2 à 6€ de bonus.

La différence entre le taux d'adoption de l'option risquée dans les 2 duels (14% et 18%) pourrait laisser penser que la variante BET2 à 6€ de bonus est encore plus fortement rejetée face à BET2 à 4€ de bonus que BET2 à 4€ de bonus face à BET2 à 2€ de bonus. Cependant cette différence n'est pas statistiquement significative (*Z-test : p-value > 0,15 ; khi-2 = 0,21*)

Nous pouvons donc conclure à un fort rejet des options risquées pour les contrats d'effacement BET2.

- La tendance est donc différente entre les deux types de contrats
- Pour Eco Pointe, une offre modérément risquée à risquée est préférée par les clients,
- Pour BET2 en revanche, l'aversion pour les offres risquées est très marquée, et les offres les moins risquées sont préférées.

Malgré deux contrats sensés être symétriques, l'offre BET2 paraît beaucoup plus risquée aux clients, qui choisissent de minimiser le risque.

Plusieurs hypothèses sont envisageables :

- **Les clients sont plus avertis au risque lorsqu'il se présente sous la forme d'un surcoût fixe à l'abonnement, que l'on tente de rembourser** (voire, au-delà, de gagner de l'argent), **que lorsqu'il se présente sous forme d'un tarif du kWh élevé en échange d'une prime fixe**. Quoi qu'il en soit, un abonnement cher est inacceptable, même contrebalancé par un taux de bonus important.
- Eco Pointe est plus intéressant pour le client qui fait peu d'efforts, et BET2 est plus intéressant pour que client qui en fait beaucoup (on retrouve une équivalence pour un niveau d'effort moyen). Les sujets ont-ils pressenti cette particularité ? Ont - il effectué le calcul durant les sessions ?

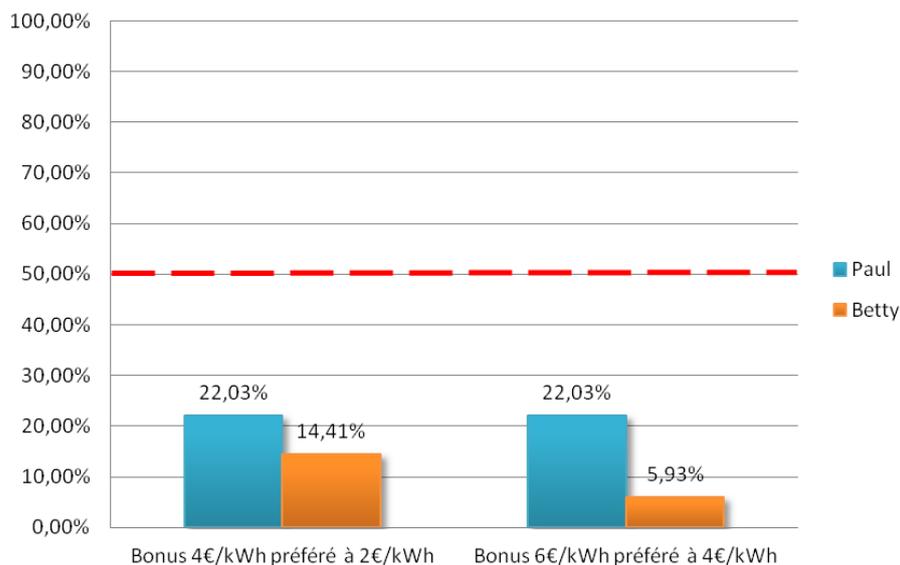
Etant donné la rapidité de réponse aux questions (imposée par le timing des sessions !), il y a peu de chances que les sujets aient pu effectuer un tel calcul. Nous pensons donc **que les clients préfèrent obtenir une prime fixe, en compensation d'un malus variable** (prix élevé du kWh), **que de subir un surcoût fixe** (probablement considéré comme de l'argent que l'on est sûr de perdre et pas certain de reconquérir) **potentiellement remboursé par les bonus variables** reçus en cas d'efforts de sobriété électrique.

Ce résultat rappelle clairement les travaux effectués autour de la **théorie des perspectives** (*prospect theory*), théorie économique mise en lumière par D. Kahneman et A. Tversky²⁰³ (1979). Cette théorie explique pourquoi, face à une décision impliquant une perte, les êtres humains démontrent une anomalie de comportement. Alors qu'en toute logique un comportement rationnel est attendu (selon la théorie de l'utilité espérée), guidé par l'optimisation du gain, les individus tendent à percevoir de manière asymétrique les pertes et les gains potentiels de la situation. Toute perte certaine est ressentie de manière beaucoup plus négative, même accompagnée d'un gain la couvrant potentiellement, qu'un gain certain éventuellement rogné par une perte incertaine. De plus, les gains probabilistes ont tendances à être sous-estimés, et un gain assuré (probabilité 1) de même espérance sera préféré par les individus.

Cette aversion pour la prise de risque liée à un surcoût fixe que l'on n'est pas sûr de pouvoir (au moins) rembourser ou (au mieux) rentabiliser est-elle uniforme selon les types de client ? L'observation des résultats différenciés selon Paul et Betty nous donne des éléments de réponse :

²⁰³ Nous avons parlé des travaux du Pr . D. Kahneman dans le Chapitre 1 de cette partie.

Préférences pour les variantes risquées de Bonus à l'effacement : comparaison Paul/Betty



Concernant les duels de contrats BET2 observés en séparant les clients type Paul des clients type Betty, nous obtenons les résultats suivants :

- Betty est moins encline que Paul à choisir l'option risquée (BET2 à 4€ de bonus) dans le premier duel (face à BET2 à 2€ de bonus)

(Différence significative, p -value < 0,15)

- Betty est beaucoup moins encline que Paul à choisir l'option risquée (BET2 à 6€ de bonus) dans le premier duel (face à BET2 à 4€ de bonus)

(Différence significative, p -value < 0,01)

- L'aversion au risque de Betty face à ces contrats n'est pas constante : elle croit lorsque le risque augmente. Ainsi, Betty est encore plus réticente à opter pour l'offre très risquée (bonus 6€) dans le second duel qu'à opter pour l'offre moyennement risquée (bonus 4€) dans le premier duel.

(Différence significative des taux d'adoption de l'option risquée, p -value < 0,05).

Dans le cas de Betty encore plus que pour Paul, l'aversion au risque lorsqu'il se présente sous la forme d'un surcoût fixe potentiellement compensé par les gains en Bonus est donc très forte. Les choix entre différents contrats sont extrêmement marqués (l'offre bonus 4€/kwh est préférée par seulement 14% à la 2€/kwh, et l'offre 6€/kwh est préférée par seulement 6% des participants à l'offre 4€/kwh pour Betty.)

Les ratios de prix ou les taux de bonus/malus ne sont pas les seuls éléments constituant un risque dans le design de nos contrats d'effacement. Le second élément majeur de cette prise de risque, et également primordial dans la construction du contrat, est **le délai de préavis précédent le créneau horaire de pointe**.

Ce délai correspond au laps de temps écoulé entre l'annonce du jour de pointe, et le début de la tranche horaire 18-20 du jour de pointe lui-même. Plus ce préavis est court, plus le risque est grand : il s'agit du risque de ne pas avoir le temps de moduler et d'adapter la consommation électrique du foyer pour parvenir à limiter la demande sur ce créneau horaire, et encourir ainsi une augmentation de la facture, ou un manque à gagner en termes de bonus, selon l'offre d'effacement souscrite. Quels sont les préavis minimum nécessaires aux clients ? Ces délais sont-ils les mêmes pour Paul et Betty ?

4.2.2 Préavis avant un jour de pointe : le délai incompressible des 24H.

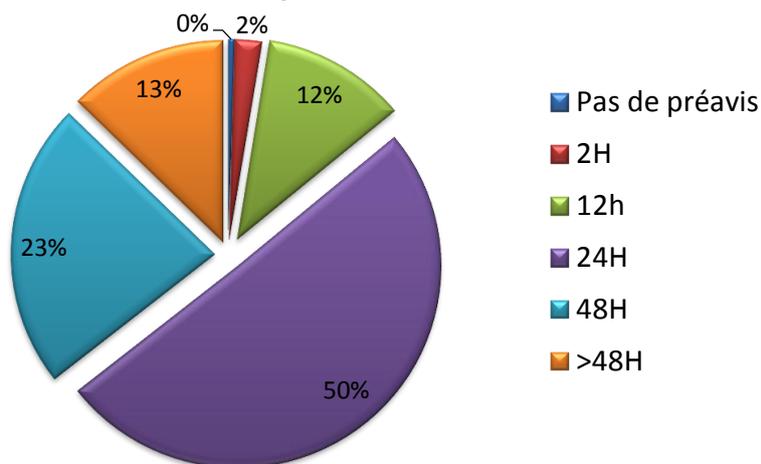
La question du délai de préavis a été posée au sujet pour Paul puis pour Betty dans le cadre de l'étude du contrat Eco Pointe, sous la forme d'un QCM incité par *beauty contest* à choix discret, comme l'ensemble des questions « concours ». Nous avons choisi de proposer 6 options, tout en précisant que le client peut être averti par SMS, par mail et que l'alerte est disponible sur un site internet dédié (seuls les délais de préavis étaient proposés dans le QCM pour les sujets)

- Pas de préavis (avertissement le jour même en temps réel).
- Préavis de 2H (avertissement le jour même, à 16H)
- Préavis de 12H (avertissement le matin même, à partir de 6H)
- Préavis de 24H (avertissement la veille à 18H)
- Préavis de 48H (avertissement l'avant-veille à 18H)
- Préavis de plus de 48H (avertissement compris entre l'avant – veille à 18H et « aussi tôt que possible » : 3 jours plus tôt, une semaine plus tôt, calendrier établi en avance...).

(Le préavis le plus courant en matière de contrats incitatifs commercialisés ou testés dans les pilotes de terrain est de 24H environ).

Nous observons dans un premier temps les réponses globales (cumul des données Paul et Betty).

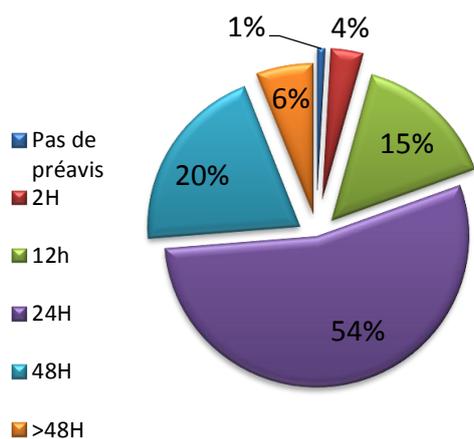
Préavis nécessaire au client pour adapter sa consommation s'il le souhaite lors des jours de pointe.



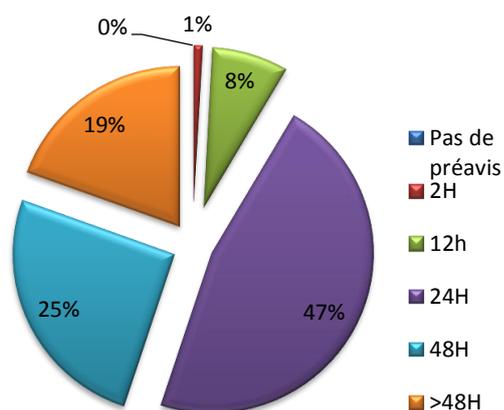
Les participants pensent donc pour la moitié (à 50,42%), que le préavis minimum nécessaire au client pour adapter son comportement de consommation à la notification de jour de pointe est de 24H. Dans l'ordre décroissant de fréquence de réponse, les préavis choisis sont respectivement de 48H, plus de 48H, 12H, 2H et « pas de préavis » (resp. 22,88%, 12,71%, 11,44%, 2,12%, 0,42% des réponses totales). Ainsi, **86% des participants pensent que le minimum requis en matière de préavis est 24H ou plus**. Il apparaît donc peu envisageable de proposer des contrats d'effacement dont le délai de préavis serait inférieur à 24H, délai qui semble incompressible pour la très large majorité des clients.

Le délai de préavis est fortement lié à la fois à la prise de risque associée à l'adoption d'une offre d'effacement, et à la correspondance entre contrat proposé et mode de vie du foyer, deux paramètres potentiellement impactés par le type de client auquel nous avons affaire. C'est pourquoi il est intéressant de comparer les préavis nécessaires pour l'individu-type Paul et l'individu-type Betty.

Préavis nécessaire à Paul pour adapter sa consommation s'il le souhaite lors des jours de pointe.

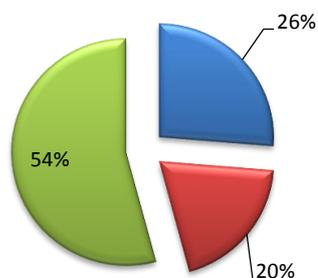


Préavis nécessaire à Betty pour adapter la consommation de son foyer si elle le souhaite lors des jours de pointe.



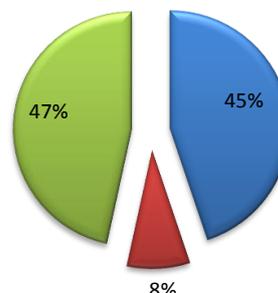
A première vue, ces deux secteurs représentant les préavis nécessaires pour Paul et Betty sont différents. Nous pratiquons un test du *khi-2* avec 6 modalités différentes pour les 2 variables. Les résultats sont significativement différents (*p-value* < 0,01). Cependant, les effectifs de certaines modalités sont inférieurs à 5 personnes, ce qui invalide quelque peu ce test. Une possibilité consiste à regrouper les différentes modalités : nous regroupons les réponses en trois catégories : préavis supérieur à 24H, préavis égal à 24H, préavis inférieur à 24H. Nous obtenons les résultats suivants :

Préavis nécessaire à Paul pour adapter sa consommation



- Préavis supérieur à 24H
- Préavis inférieur à 24H
- Préavis de 24H

Préavis nécessaire à Betty pour adapter sa consommation



- Préavis supérieur à 24H
- Préavis inférieur à 24H
- Préavis de 24H

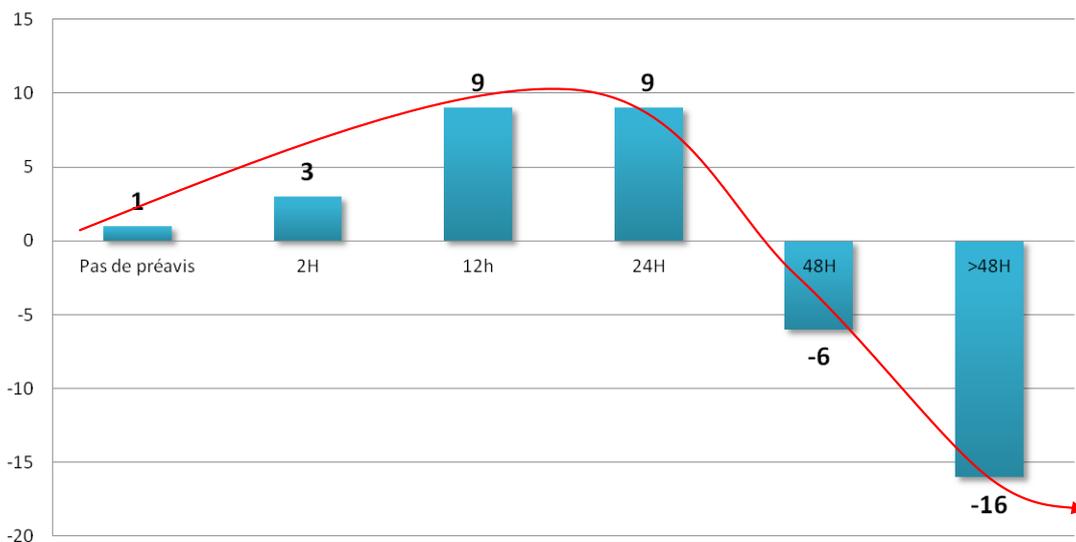
D'après le test du *khi-2*, ces proportions sont donc très significativement différentes (p -value < 0,005).

Seulement 8% des sujets indiquent que Betty peut se contenter d'un préavis inférieur à 24H, alors que 20% pensent que le délai minimum nécessaire à Paul est inférieur. Inversement, 45% des sujets choisissent pour Betty un délai supérieur à 24H, alors qu'ils ne sont que 26% à sélectionner cette option pour Paul. Betty est donc plutôt *long-termiste*, et a besoin d'un délai de préavis long, alors que Paul est plutôt *court-termiste*, et se contente d'un délai plus court, n'ayant pas de famille à prévenir ni de contraintes ni pertes de contrôle énergétiques liées à la présence d'enfants à domicile. Ce résultat va dans le sens des attentes des psychologues, qui subodorent le comportement prévisionniste d'une mère de famille par rapport à celui d'un jeune homme vivant seul.

Malgré une analyse statistique précise peu pertinente au vu de la faible taille des effectifs, il

Préavis : différentiel Paul - Betty par options

Différence de scores des différentes options de préavis, exprimée en nombre de personnes ayant choisi ce préavis pour Paul et non pour Betty. Exprimé par délai de préavis en (#ReponsePaul - #ReponseBetty)



est intéressant d'observer les différences entre effectifs de chaque modalité pour Paul et Betty.

Ce graphique nous indique la différence absolue du nombre de sujets ayant opté pour chaque option de préavis pour Paul moins le nombre de sujets ayant opté pour cette même option dans le cas de Betty. Exemple de lecture : 9 sujets de plus ont opté pour l'option « préavis 12H » pour Paul par rapport à Betty. L'avantage de ce graphique est de mettre en évidence le point d'inflexion de la tendance des préavis minimum nécessaire, situé entre 24H et 48H : c'est autour de ce clivage que s'exprime la différence d'anticipation temporelle entre Paul et Betty. Alors que le premier se satisfait majoritairement d'un préavis inférieur ou égal à 24H, ces classes d'effectif se dépeuplent en faveur des préavis supérieurs à 24H lorsqu'on s'intéresse à Betty.

Dans cette section, nous avons observé l'acceptabilité de différentes caractéristiques intrinsèques aux contrats d'effacement, et plus particulièrement au contrat Eco Pointe.

Nous avons mis en évidence la nécessité pour cette offre de *critical peak pricing* de présenter un rapport entre prix de l'électricité durant les périodes de pointe et hors période de pointe qui soit suffisamment important (facteur compris entre 10 et 20), d'une part pour constituer une incitation valable à la réduction de consommation, d'autre part, pour rendre l'économie potentielle suffisamment intéressante. L'aversion au risque liée à un ratio de prix pointe/hors pointe élevée est plus forte chez le client-type Betty que chez le client-type Paul. Cette tendance n'est pas observée en ce qui concerne l'offre Bonus à l'Effacement de type 2 : pour cette offre, l'aversion au risque est

grande, et les variantes du contrat proposant un fort taux de bonus couplé à une majoration du prix de l'abonnement plus élevée sont massivement rejetées par les clients. Encore une fois, ce rejet est davantage marqué chez les clients de type Betty.

Le délai de préavis minimum nécessaire aux clients pour adapter leur comportement de consommation d'électricité est vraisemblablement de 24H (avertissement par sms, mail, sur internet). 86% des sujets plébiscitent un délai supérieur ou égal à 24H. Là encore, l'aversion au risque et à l'imprévu du client type Betty implique un délai minimum parfois supérieur à 24H, alors que le client de type Paul se contente plus facilement d'un délai plus bref, les contraintes liées à son mode de vie étant probablement plus faibles que celles de Betty.

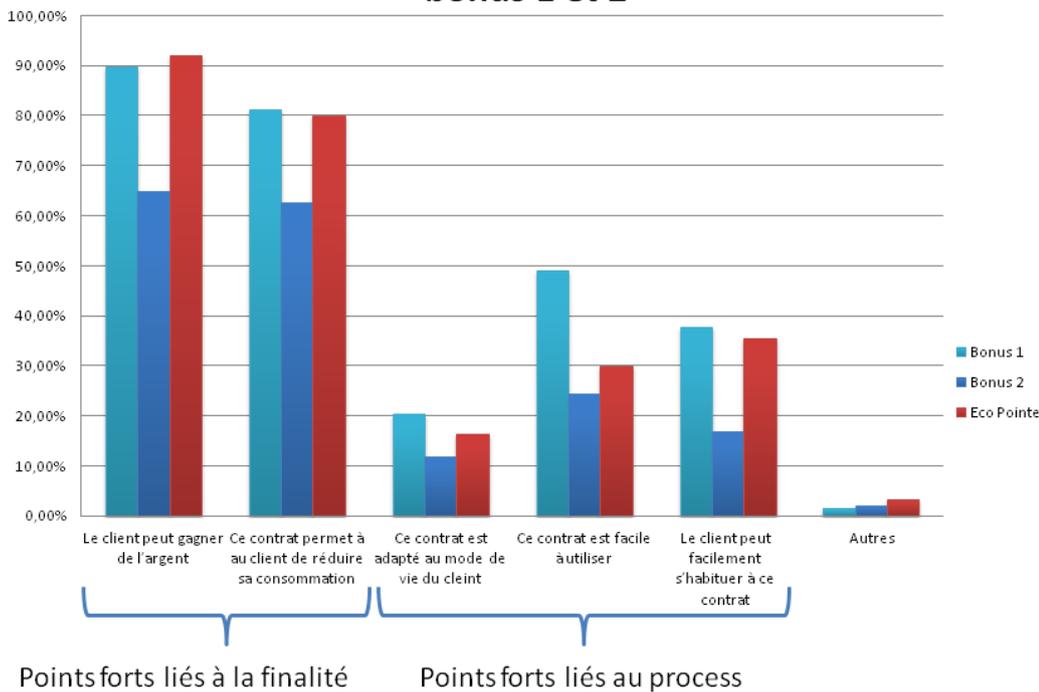
Après cette étude quantitative et comparative de l'acceptabilité des contrats d'effacement, nous nous interrogeons sur la perception globale et qualitative qu'ont les clients de ce type d'offres : quels sont les freins et catalyseurs de l'acceptabilité des offres ?

4.3 Perception globale des contrats d'effacement : quel accueil par la clientèle ?

Pour tenter de répondre à cette nouvelle question, nous observons dans un premier temps à nouveau les points forts et points faibles cités par les sujets pour l'ensemble des clients-types, mais également les réactions face au contrat BET1, qui, rappelons-le, ne présente que des avantages pour les abonnés : par rapport à un contrat HC/HP, le seul « risque » de BET1 est de permettre au client de gagner de l'argent en cumulant des bonus.

4.3.1 L'attrait de la finalité et la crainte du processus : un équilibre à construire.

Point forts comparés triés : contrats Eco-pointe, bonus 1 et 2



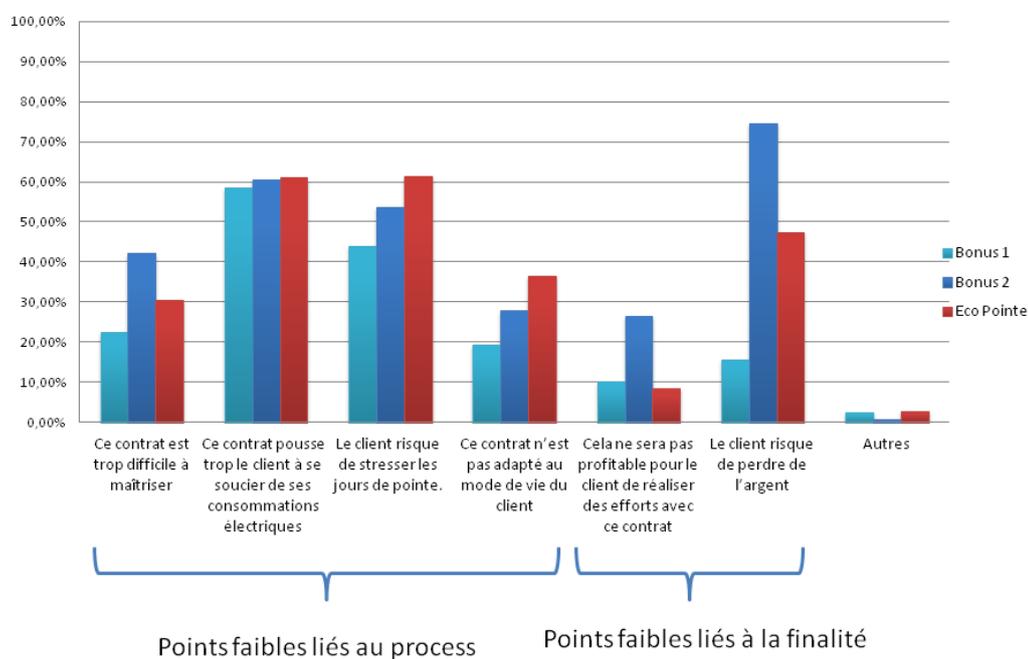
En étudiant à nouveau le graphique présentant les points forts et points faibles liés aux différents contrats d'effacement, nous nous apercevons que dans les 2 cas, les items peuvent être regroupés en 2 catégories : les points forts (resp. faibles) majeurs, dont l'occurrence de citation est élevée pour l'ensemble des contrats, et les points forts (resp. faibles) mineurs, dont l'occurrence de citation est basse, pour l'ensemble des contrats. Les items au sein d'un même groupe (e.g. points faibles majeurs, points forts mineurs, etc...) présentent des spécificités communes. Nous avons, dans les deux graphiques suivants, regroupé les points forts et points faibles selon leur occurrence (élevée ou basse), afin de faire apparaître ces caractéristiques communes qui nous en apprennent davantage sur les éléments clefs de l'attractivité d'un contrat d'effacement.

En regroupant les points forts d'occurrence élevée (à gauche) et ceux d'occurrence faible (à droite), nous nous apercevons que nous venons de séparer d'un côté les items évoquant la finalité du contrat d'effacement, c'est-à-dire l'économie d'énergie et la réduction de la facture électrique (« le client peut gagner de l'argent » ; « ce contrat permet au client de réduire sa consommation »), et d'un autre les items en lien avec le vécu de la réduction de consommation, que nous appellerons

process (procédés visant à la sobriété électrique durant les heures de pointe) : « Ce contrat est adapté au mode de vie du client », « ce contrat est facile à utiliser », « le client peut facilement s'habituer à ce contrat ».

Les points forts majoritairement cités par les sujets sont donc en lien avec la finalité du contrat d'effacement. C'est ainsi le gain financier potentiel qui est le moteur principal de l'adoption du contrat. La faible occurrence de citation des items liés avec le *process* nous indiquent que les contrats d'effacement sont perçus comme globalement contraignants et peu adaptés au mode de vie des foyers, compliqués à appréhender comme à apprivoiser.

Point faibles comparés triés : contrats Eco-pointe, bonus 1 et 2



En effectuant la même manipulation sur le graphique représentant les points faibles évoqués par les sujets, nous rassemblons les items de la manière suivante :

- Points faibles liés au *process* :
 - « ce contrat est trop difficile à maîtriser »
 - « ce contrat pousse trop le client à se soucier de ses consommation électriques »
 - « Le client risque de stresser lors des jours de pointe »
 - « ce contrat n'est pas adapté au mode de vie du client ».
- Points faibles liés à la finalité :

- « ce ne sera pas profitable pour le client de réaliser des efforts avec ce contrat »'
- « le client risque de perdre de l'argent »

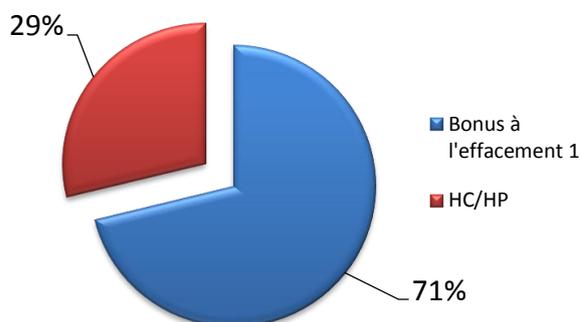
L'homogénéité des réponses par catégorie de points est moins flagrante que dans les cas de l'étude des points forts. On remarque cependant que l'homogénéité et l'occurrence des items liés au *process* sont plus importantes que concernant la finalité des contrats d'effacement (le risque de perdre de l'argent exprimé pour le contrat BET2 fait figure d'exception et rejoint les constatations réalisées en section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi, ce sont davantage les contraintes liées aux efforts d'attention, et de réduction, qui risquent de rebuter les clients. Le manque de profitabilité du contrat ne semble pas être ce qui les décourage.

Lors de l'élaboration des futurs contrats d'effacement, l'accent devrait donc être porté sur la facilité d'intégration à la vie quotidienne des foyers, dans le cas où l'optique est d'atteindre le plus de segments de la population.

4.3.2 Une désaffection affichée pour les contrats d'effacement.

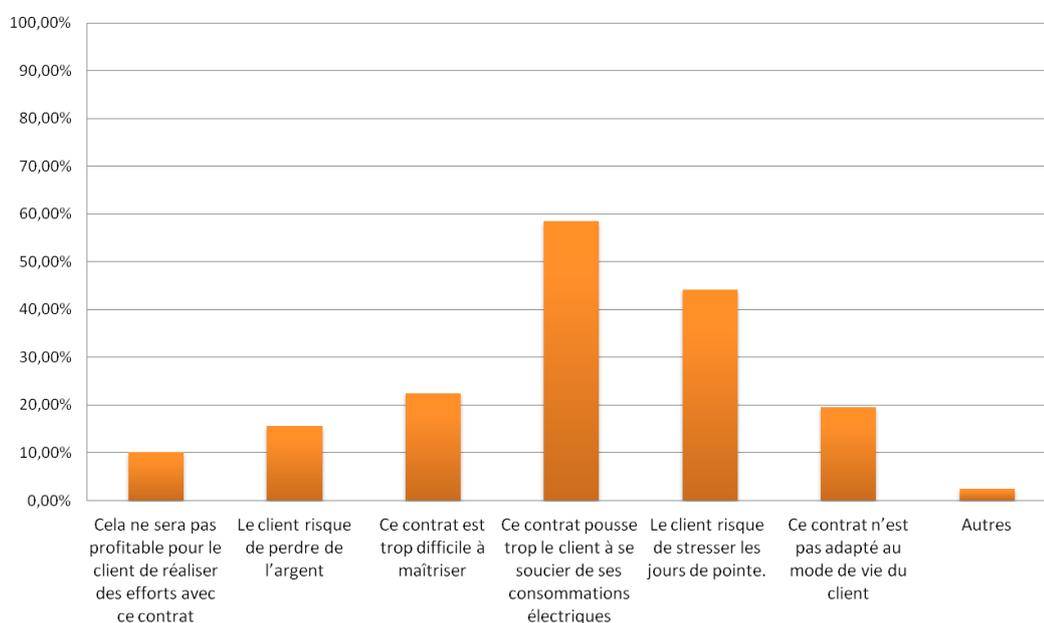
Au-delà des points forts et points faibles évoqués par les sujets, divers éléments parmi les résultats de l'expérimentation nous montrent que la perception des contrats d'effacement est à améliorer, aussi peu contraignants qu'ils puissent être. A ce titre, nous observons dans un premier temps l'acceptabilité du contrat BET1. Ce contrat n'a aucune raison de ne pas être adopté par l'ensemble des clients : pas de perte possible, le gain en bonus éventuel étant la seule option supplémentaire par rapport à un contrat classique. Le taux d'adoption devrait alors, en toute logique, atteindre les 100%. Pourtant, ça n'est pas le cas :

**Acceptabilité du contrat d'effacement
Bonus 1 (cumul Paul+Betty)**



Le taux d'adoption du contrat BET1 par tous les individus-type confondus n'atteint que 71%. Comment expliquer cette désaffection pour un contrat absolument avantageux, dont la présentation explicait clairement le potentiel de gain ? Pour tenter de comprendre ce qui rebute les clients dans cette offre, l'étude des points faibles évoqués semble indiquée.

Points faibles du contrat Bonus BET1 pour le client



Plusieurs constats sont à établir à la lecture de cet histogramme des occurrences de citation des points faibles pour le contrat BET1.

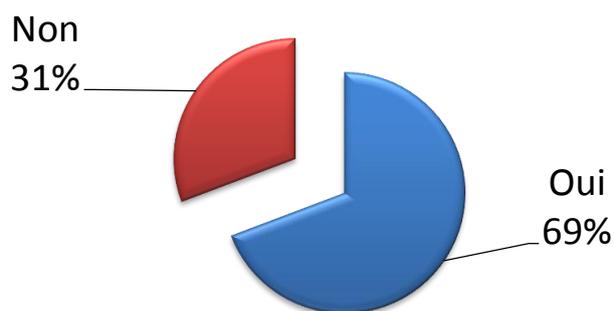
- Tout d'abord, 16% des sujets pensent que les clients risquent de perdre de l'argent avec ce type de contrat. Ce score est significativement différent de 0% ($p\text{-value} < 0,01$). Une partie des sujets a soit mal compris le contrat, soit, plus probable, mal perçu cette proposition d'offre nouvelle. Une certaine méfiance existe vis-à-vis de toute nouveauté en matière de contrats d'électricité, particulièrement en France où les clients sont habitués pour la plupart au fournisseur historique EDF et à ses tarifs règlementés. Le changement vers des offres alternatives inspire la crainte et l'appréhension : ce phénomène peut également engendrer le scepticisme vis-à-vis de notre contrat « inoffensif », les clients cherchant peut être une « arnaque » cachée derrière le descriptif.
- Ensuite, près de 60% (resp. 45%) des sujets pensent que le contrat BET1 est source d'un trop

grand souci au sujet des consommations électriques chez les clients (resp. générateur de stress lors des jours de pointe). C'est donc là que se situe le point clef du rejet irrationnel de ce type de contrat : **l'effort de vigilance qu'il implique pour ne pas subir de coûts d'opportunité** (= de manque à gagner), ou éventuellement pour jouer le jeu du contrat d'effacement, rebute les clients, qui ne souhaitent pas forcément ajouter l'inquiétude de la sobriété électrique entre 18h et 20h à leurs autres soucis quotidiens.

L'accent est donc à mettre sur la facilité d'intégration aux contraintes de la vie quotidienne et sur une explication claire des risques et garanties du contrat. Il n'est pas certain que les offres élaborées, surfant sur la pointe de la technologie des smart phones et permettant aux usagers une vigilance et un contrôle permanent de leurs consommations électriques ne conquiert plus qu'un segment technophile de la population, la majorité des clients ne souhaitant consacrer ni temps ni capacités cognitives à ce genre de dispositifs. L'électricité est un **besoin primaire** pour la plupart des personnes, et ne doit pas devenir une **préoccupation**. Nous suggérons donc une réflexion autour des mécanismes d'automatisation qu'il serait envisageable de proposer aux clients en marge d'une tarification incitative, afin de limiter l'effort de vigilance à réaliser de leur part, ce qui aurait, de plus, l'avantage immense de fiabiliser les effacements du point de vue des responsables d'équilibre ; les appareils d'automatisation s'avérant plus constants dans leur fonctionnement que le bon vouloir des consommateurs.

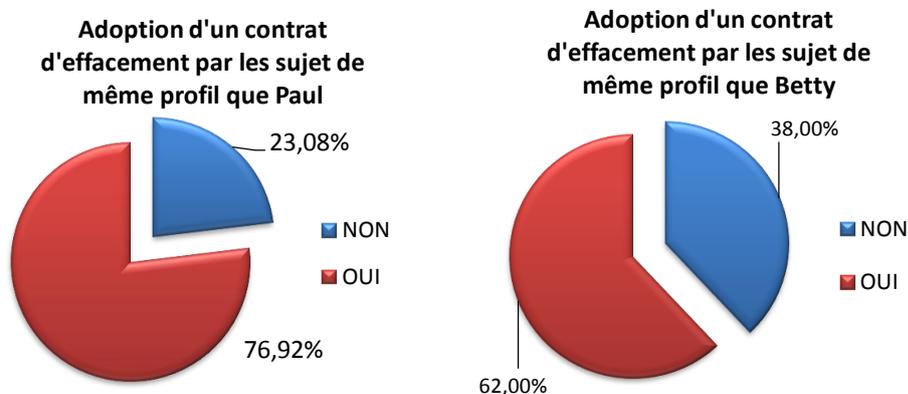
Pour terminer, nous avons souhaité analyser l'opinion des sujets eux-mêmes, via les réponses du questionnaire final du protocole.

Seriez-vous intéressés par l'adoption d'un contrat d'effacement? (117 réponses)



Une majorité des sujets (69%) se dit prête à adopter un contrat d'effacement. Ce chiffre est à observer avec réserve, car il s'agit d'une réponse purement déclarative, sur un panel de sujet venant de parler contrats d'électricité pendant près de 2H. Afin d'apporter davantage de finesse à ce résultat, nous avons isolé les sujets présentant un profil se rapprochant de celui de Paul (homme

vivant seul, sans enfants) et ceux présentant un profil proche de celui de Betty (femme avec enfants de moins de 18 ans à charge).



Malheureusement, les faibles effectifs de ces sous catégories (26 sujets similaires à Paul, 34 sujets similaires à Betty) ne nous permettent pas d'affirmer une validité statistique solide et de dire que les sujets de type Betty ont une plus forte aversion pour les contrats d'effacement que ceux de type Paul (Z-test : $p\text{-value} > 0,15$. Khi2 : $p\text{-value} > 0,6$). Nous devons donc nous contenter d'un résultat global et de l'idée que l'intérêt total de la population pour ce type de contrat reste à construire.

Nous avons observé ces résultats à travers le prisme des caractéristiques propres aux profils – types élaborés pour les besoins du protocole. Mais, durant les sessions, ce sont 118 sujets aux caractéristiques psychologiques et sociodémographiques très aléatoires qui ont effectivement répondu en le nom de Paul et Betty. Nous nous demandons alors si ces caractéristiques peuvent avoir un impact sur les réponses fournies lors des différentes étapes du protocole, y compris lors du questionnaire final déclaratif et les concernant eux-mêmes.

4.4 Les effets des caractéristiques propres aux sujets sur leurs réponses : l'exemple de l'aversion au risque.

Comme nous avons pu le voir dans les sections de résultats précédentes, l'un des éléments – clefs de nos contrats, variable élémentaire de leur structure, est le risque qui y est associé. Risque pour le fournisseur : celui de ne pas remplir les objectifs d'effacements et de rencontrer des troubles de l'équilibre offre-demande. Risque aussi pour le client, lié à l'incertitude des effacements, de ne pas parvenir à faire des économies d'électricité et donc de voir sa facture annuelle augmenter. L'étude des comportements face aux risques est une thématique récurrente en économie, que l'on retrouve souvent traitée dans des expérimentations de laboratoire. Mettre en évidence des anomalies par rapport à la théorie des comportements rationnels est l'un des leitmotifs de

nombreux chercheurs. Nous avons vu que c'est ici aussi le cas : les sujets ne répondent pas avec pour seul guide la rationalité et l'optimisation mathématique.

A défaut de pouvoir évaluer précisément l'aversion au risque de nos « clients » Paul et Betty²⁰⁴, nous avons évalué celle de nos sujets, en utilisant un test classique décrit en section 3.1.2 de cette partie du rapport de thèse. Grâce à ce test nous pouvons partitionner notre échantillon en différents groupes en fonction de leur score au TAR (la méthodologie est également décrite dans la section 3.1.2). Nous avons isolé les résultats que nous appelons « consistants », qui représentent 64% des réponses, soit 75 personnes, réparties groupes d'effectifs suivants :

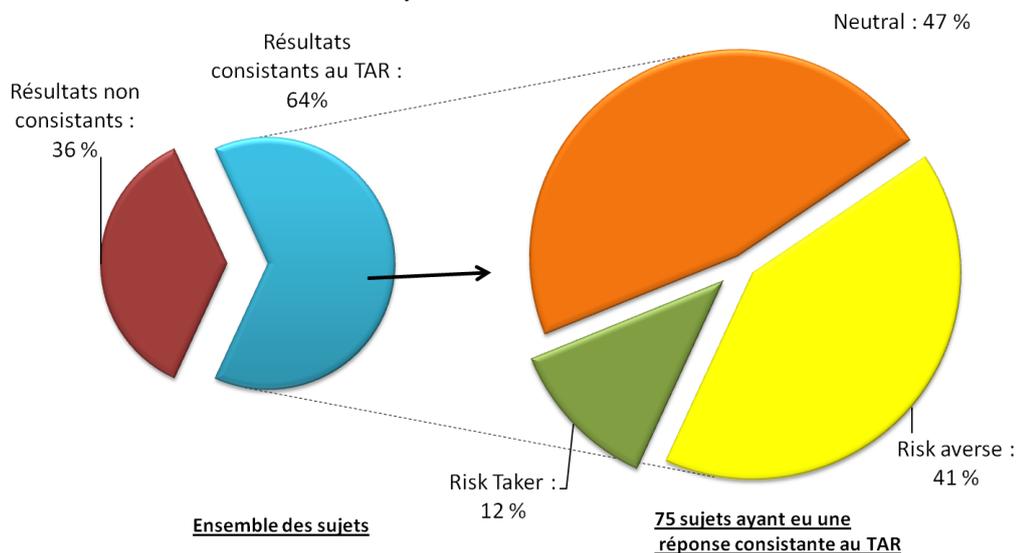
<i>Risk taker</i>	<i>Neutral</i>	<i>Risk averse</i>
9 individus	35 individus	31 individus

Les individus dits « *risk taker* » sont sensés ne pas être rebutés par la prise de risque (comportement « joueur »), les individus « *neutral* » sont sensés adopter une posture rationnelle face au risque, et les individus « *risk averse* » sont plutôt rebutés par le risque et tendent à l'éviter.

Le fait de recouper notre échantillon et d'écarter les sujets n'ayant pas produit des résultats exploitables au TAR selon nous ne facilitera pas la tâche : la significativité des résultats obtenus par l'un ou l'autre de ces sous-groupes risque de s'en trouver limitée. Cependant, une analyse qualitative pourra déjà nous dire si, oui ou non, on retrouve des différences majeures entre le comportement des individus appartenant à chacun de ces groupes.

²⁰⁴ Nous avons certes envisagé cette possibilité, en faisant participer les sujets à une loterie en leur demandant de choisir les options A ou B selon le principe du *beauty contest* pour Paul et Betty, et rémunéré en tant que tel, mais ces 2 niveaux de mise en abîme supplémentaires auraient probablement eu pour effet principal de rebuter nos sujets avant même d'aborder la question des contrats électriques. De plus, un TAR en *beauty contest* n'a jamais, à notre connaissance, été pratique : nous n'avions pas de socle théorique pour approuver cette pratique avant de l'utiliser dans un protocole, bien que c'eût pu être intéressant à étudier.

Répartition des sujets selon leur aversion au risque, parmi ceux ayant une réponse consistante au TAR.



4.4.1 Aversion au risque des sujets et réponses face aux contrats d'effacement pour les individus-types.

Nous observons dans un premier temps les acceptabilités comparées des diverses offres Eco Pointe, puis Bonus à l'Effacement. Ces taux d'acceptabilité sont présentés dans les graphiques ci-dessous.

En première colonne du graphique concernant Eco Pointe, c'est l'acceptabilité de Eco Pointe Facteur 10 à partir d'un contrat HC/HP classique qui est présentée, puis ce sont les taux de sélection de l'option risquée (=facteur élevé ou variable) par rapport à l'option moins risquée qui sont ensuite tracés, selon le score au TAR et en moyenne. Concernant le graphique de Bonus à l'Effacement, les 2 premières colonnes, de la même manière, présente les acceptabilités de BET1 et BET2 depuis un contrat HC/HP classique, puis, à droite, les résultats de sélection de l'offre la plus risquée lors des 2 duels de contrats BET2.

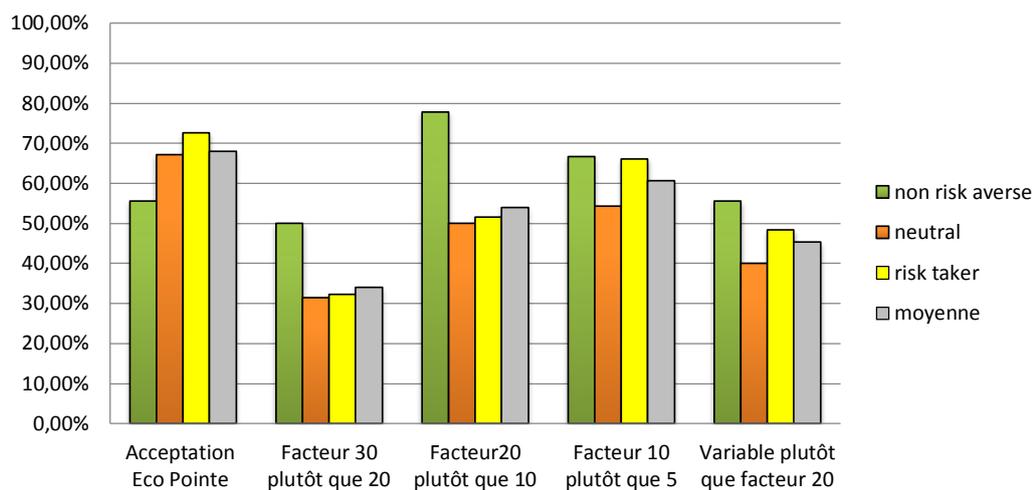
A première vue, seuls les choix de variante pour le contrat Eco Pointe semble montrer un résultat différent entre réponses des sujets *Risk taker* et les autres. En effet, lors des duels « Eco Pointe Facteur 30 vs Eco Pointe Facteur 20 » et « Eco Pointe Facteur 20 vs Eco Pointe Facteur 10 », les différences entre les réponses du groupe *Risk taker* et les réponses des autres sujets, sont statistiquement significative (*p-values respectives inférieures à 0,15 et 0,05*). Nous avons donc une différence avérée entre les choix des sujets *Risk taker* et les autres pour ces deux duels, le choix se

portant vers les ratios de prix élevés, en concordance avec ce qu'on pourrait attendre d'un sujet *Risk taker*.

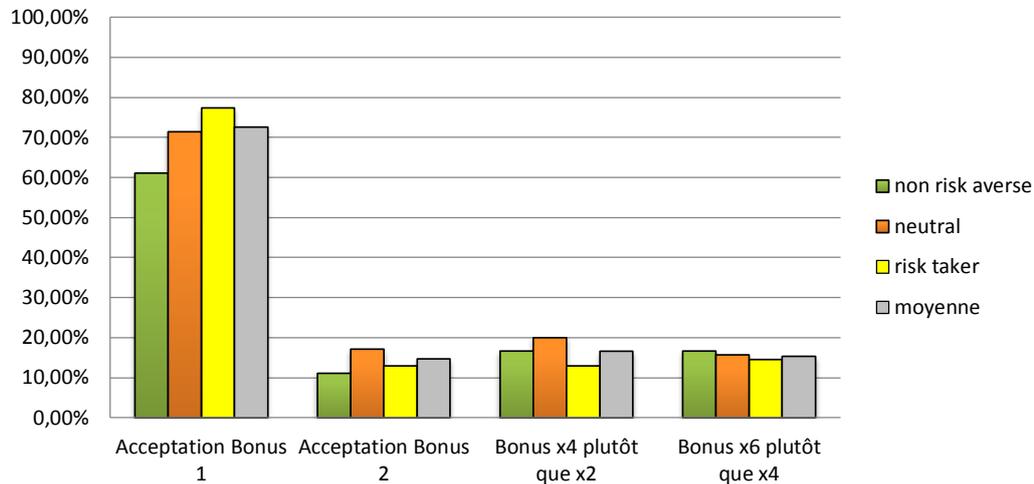
Pour l'ensemble des autres prises de décision, les résultats ne sont pas significativement différents les uns des autres, et on ne retrouve pas forcément le même genre de « pattern » de différence comme c'était visuellement le cas pour le groupe *Risk taker* face aux duels de contrats Eco Pointe.

Il est donc hasardeux de faire l'hypothèse d'un impact récurrent de l'aversion au risque des sujets sur leurs préférences en matière de choix de contrats pour les clients-types, et dans la plupart des cas aucune différence n'est mise en évidence : cette caractéristique de nos participants ne transparait pas de manière générale pour ces questions au travers de la « boîte noire » du beauty contest, ce qui est plutôt satisfaisant pour la fiabilité de nos résultats !

Acceptabilité des offres risquées d'Eco Pointe selon classe d'aversion au risque.

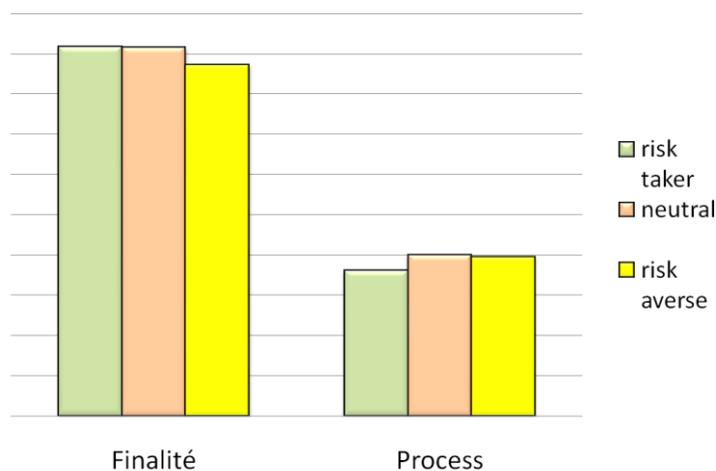


Acceptabilité des offres Bonus à l'effacement selon classe d'aversion au risque.

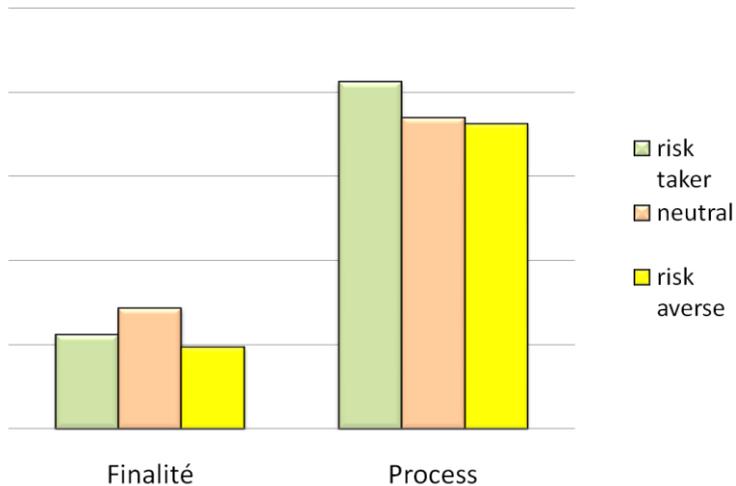


Nous souhaitons maintenant savoir si le niveau d'aversion au risque de nos sujet peut avoir un impact sur la perception qu'ils ont des contrats en termes de points forts et points faibles. Au vu des résultats précédemment observés, nous avons choisi de n'étudier que le contrat Eco Pointe (les tendances d'occurrences de points forts et faibles étant les mêmes pour tous les contrats. Nous avons rassemblés les points forts ou faibles selon les catégories que nous avons établies dans les sections précédentes : items liés au *process* (vécu de l'effort d'effacement) ou liés à la finalité (économies d'énergie et financières). Nous n'effectuerons qu'un constat visuel sans preuve statistique, peu pertinente dans ce cas de figure.

Points forts Eco Pointe : lien avec l'aversion au risque des sujets? (Observation des cumuls Finalité/Process)



Points faibles Eco Pointe : lien avec l'aversion au risque des sujets? (Observation des cumuls Finalité/Process)



Les résultats liés aux préavis minimum nécessaire pour l'anticipation de l'effacement selon les profils d'aversion au risque ne sont pas présentés ici, pour plusieurs raisons. Tout d'abord en raison du grand nombre de modalités et au très faible effectif de certaines d'entre elles, les résultats ne font pas preuve de fiabilité statistique. D'autre part, aucune régularité (ou anomalie !) n'est à notifier : les proportions allouées par les sujets à chaque préavis varient d'un groupe à l'autre, sans que cela ne semble suivre une logique quelconque (que ce soit un résultat « attendu » ou non).

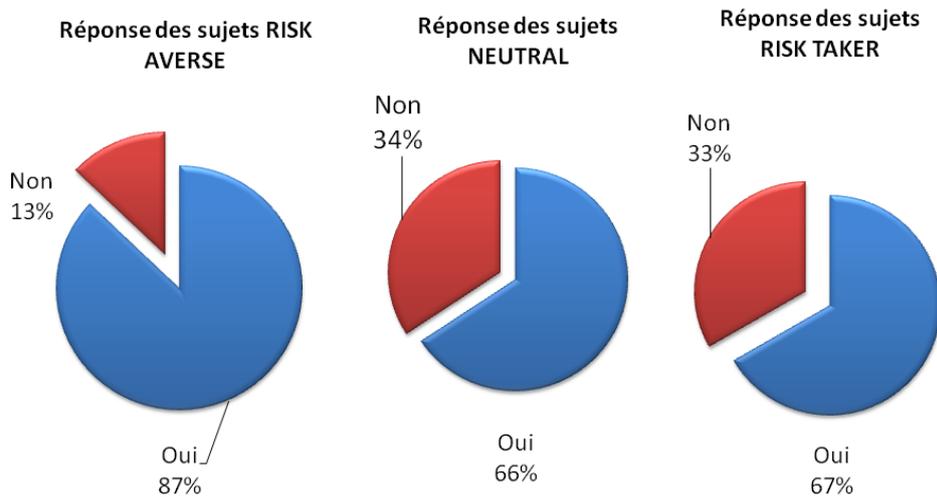
Le constat est donc sans appel : aucune différence de sensibilité à l'un ou l'autre des types de points forts ou faibles n'est à noter entre les différents groupes. Dans la plupart des cas, les résultats sont très proches, et, même avec des groupes de plus gros effectifs, ces résultats n'auraient pas donné de preuve significative d'une différence de comportement face à l'étude des points forts et points faibles du contrat Eco Pointe.

Puisque le TAR a été pratiqué pour évaluer l'aversion au risque des sujets eux-mêmes, nous utilisons cette segmentation en 3 groupes pour observer les réponses des sujets au questionnaire final sous un nouvel angle.

4.4.2 Aversion au risque et avis personnel (questionnaire final déclaratif) : Eco Pointe semble moins plaire aux sujets risk-averse.

Dans cette optique, nous comparons l'intérêt déclaré des sujets pour les contrats d'effacement, à travers le prisme de leur score au TAR :

Question aux sujets : seriez-vous intéressés par un contrat d'effacement comme ceux proposés?



On observe une différence statistiquement significative ($p\text{-value} < 0,05$) des individus ayant une aversion au risque prononcée (secteur de gauche) : ils sont plus intéressés par les contrats d'effacement que les autres sujets (*Risk taker* et *neural* cumulés). C'est surprenant car les contrats d'effacement impliquent généralement une part de prise de risque. Il devient compliqué de tenter d'expliquer de tels résultats.

Pour résumer, l'étude des résultats au travers des scores des sujets au TAR n'a pas montré une corrélation des comportements au fil des questions. Seule une différence dans la préférence des ratios de prix les plus élevés a été relevée (les ratios les plus risqués étant davantage plébiscités par les sujets *Risk taker*), et mériterait d'être analysée plus en profondeur avec des groupes de plus gros

effectifs. D'autres irrégularités, comme la proportion relativement élevée de sujets *risk averse* affichant un intérêt pour les contrats d'effacement, est moins attendue. Encore une fois, ces résultats sont à observer avec du recul, en raison des faibles effectifs exploitables, et aucune nouvelle hypothèse forte n'est, à notre sens, à extraire de cette analyse précise : aucun biais lié à l'aversion au risque des sujets n'est modélisable.

Nous avons maintenant observé le comportement des clients et sujet « ex ante », c'est-à-dire avant l'adoption d'un contrat d'effacement, et face à la prise de décision qui conduit à son adoption. Nous allons à présent nous intéresser à ce qu'il se passe lorsque les sujets se projettent dans un futur où le contrat est adopté. Quels sont les attentes et modifications induites par la souscription à ce type d'offre ?

4.5 Usages et comportement : Au-delà de l'adoption du contrat, quels reports sont envisagés et économies acceptées par les clients ?

Dans cette dernière section consacrée à l'étude des résultats de notre expérimentation, nous allons nous intéresser, dans un premier temps, aux modifications de comportement induites par l'adoption d'un contrat d'effacement (quel qu'il soit), puis aux attentes en termes d'économies sur la facture annuelle pour que des clients comme Paul ou Betty soient incités à faire des efforts de sobriété électrique durant les heures de pointe. Ces deux éléments impliquent une projection dans un futur où le contrat est adopté, puisqu'ils sont en lien avec l'effort de réduction potentiel.

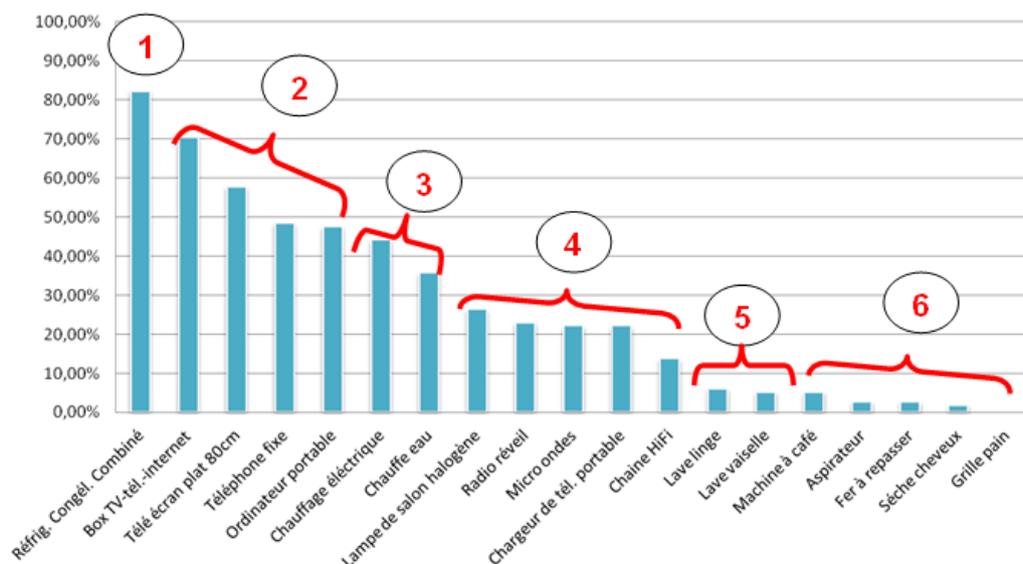
4.5.1 Reports d'usages envisagés : une typologie par acceptabilité de report.

Nous ne pouvons pas comparer directement les résultats de consentement d'effacement de Paul et Betty, puisque leurs équipements électriques ne sont pas les mêmes. Nous allons tenter de construire des catégories d'appareils dont on attribuera un ordre d' « effacement » potentiel (usage que l'on pourra ou non éteindre pour contribuer à réduire la consommation électrique du foyer durant les heures de pointes).

L'observation des taux de citation des appareils électriques que Paul refusera de couper durant les 2H de pointes 20 jours par an nous donne dès le départ une base solide de typologie d'appareils.

4.5.1.1 Les interruptions d'appareils électriques au foyer de Paul : une typologie des usages.

Appareils que Paul refuse d'interrompre pour une durée de 2H lors des jours de pointe (fréquence de citation)



Nous construisons 6 groupes d'appareils ou usages électriques comme il suit :

1) Réfrigérateur : « Le Froid »

Réfrigérateur congélateur combiné

2) TV-tel-internet : « le Triple Play »

Box TV-tel-internet ; TV ; tel fixe ; ordinateur portable

3) Chauffage et chauffe-eau : « le chaud »

Chauffage électrique ; chauffe-eau

4) Petit électroménager à usage fréquent

Lampe halogène ; radio réveil ; micro - ondes ; chargeurs ; chaîne HiFi

5) Gros électroménager de lavage.

Lave-Linge ; lave-vaisselle

6) Petit électroménager à usage ponctuel

Machine à café ; aspirateur ; fer à repasser ; Sèche – cheveux ; Grille pain.

Ces 6 groupes d'usages sont d'ordre de potentiel d'effacement croissant : le numéro 1 est le moins susceptible d'être coupé automatiquement chez Paul pour des interruptions de 2H, le numéro 6 est le plus susceptible d'être automatiquement interrompu.

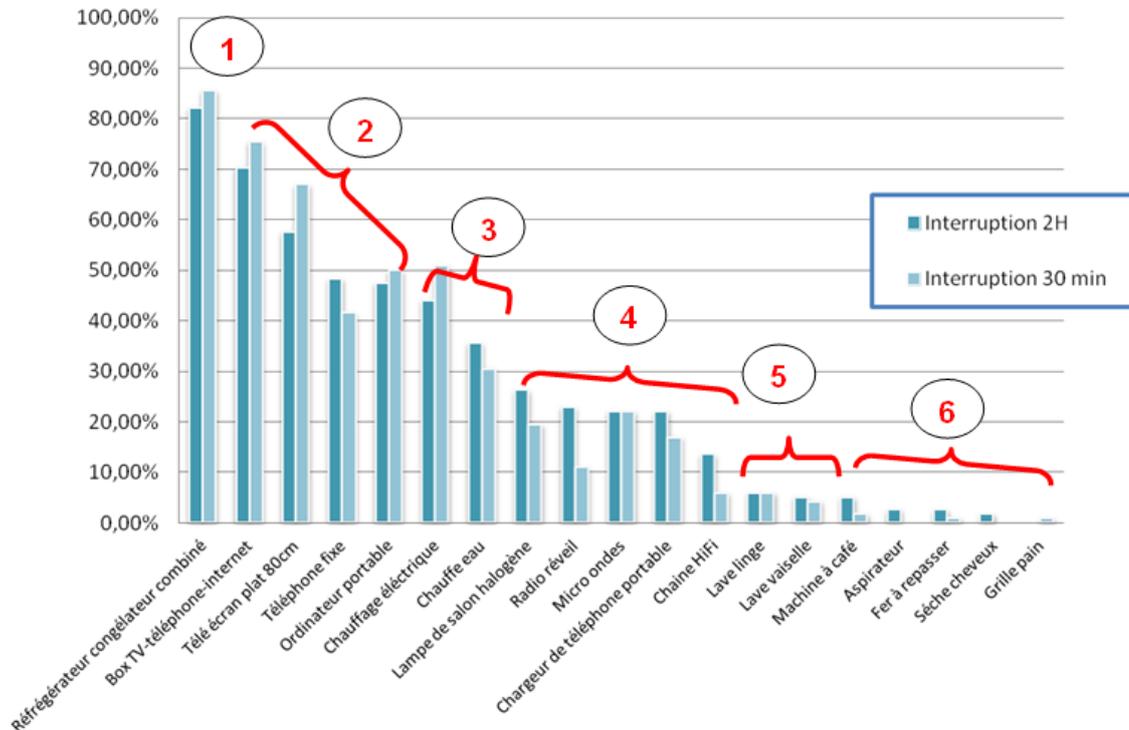
Les appareils à usage ponctuel et le gros électroménager de lavage (lui aussi à usage ponctuel et facilement reportable) sont donc ceux dont l'interruption durant les 2H de pointe sera la plus facilement acceptée (moins de 10% de refus d'interruption). Le petit électroménager en général (groupe 4) apparaît comme facilement interruptible également (moins de 25% de refus). En revanche, le chauffage électrique, et, plus surprenant, le chauffe – eau (pourtant capable d'accumuler de la chaleur avant 18H) provoquent déjà davantage de réticences (35% à 45% de refus).

La vie moderne impliquant une connexion permanente avec le monde qui nous entoure (surtout durant les longues soirées de grand froid), les médias et technologies de communications (appelés triple play dans notre typologie) apparaissent comme parmi les usages les plus importants et les moins facile à interrompre sur une durée de 2H (de 50 à 70% de refus). Les scores de cette catégorie sont particulièrement hauts : en effet, s'il est impossible de remplacer l'aspirateur par le sèche – cheveux, ou encore le micro – onde par la lampe halogène, au sein de ce groupe, certains appareils sont substituables : ainsi la télévision peut remplacer l'ordinateur comme moyen de divertissement, lequel peut remplacer le téléphone fixe, lesquels peuvent (de plus en plus fréquemment) être remplacés par le téléphone portable... Alors que les sujets étaient limités dans leur nombre de réponses (8 appareils), les forts taux d'occurrence de tous les appareils de ce groupe démontrent bien l'importance qu'ils ont pris dans notre quotidien, à défaut de représenter un gisement ou un potentiel d'effacement intéressant.

Enfin le réfrigérateur apparaît – et de loin – l'appareil le plus important de notre classement. Il est pourtant peu probable qu'une coupure de 2H dans le fonctionnement d'un réfrigérateur en bon état de marche et bien isolé ait un impact sur la qualité de la nourriture, surtout durant une période de grand froid où la température des intérieurs n'est généralement pas excessive, si la porte est conservée au maximum fermée (on estime que jusqu'à 4 à 6H d'interruption et sous ces conditions, les aliments ne risquent rien).

Nous ajoutons à ce graphique les résultats obtenus lorsqu'on demande quels appareils Paul refusera d'interrompre automatiquement, cette fois-ci pour une durée de 30 min. La tolérance est-elle plus grande ? Observe-t-on de grandes différences ? Y-a-t'il des appareils pour lesquels passer de 30 min à 2h d'effacement constitue un gap non acceptable ?

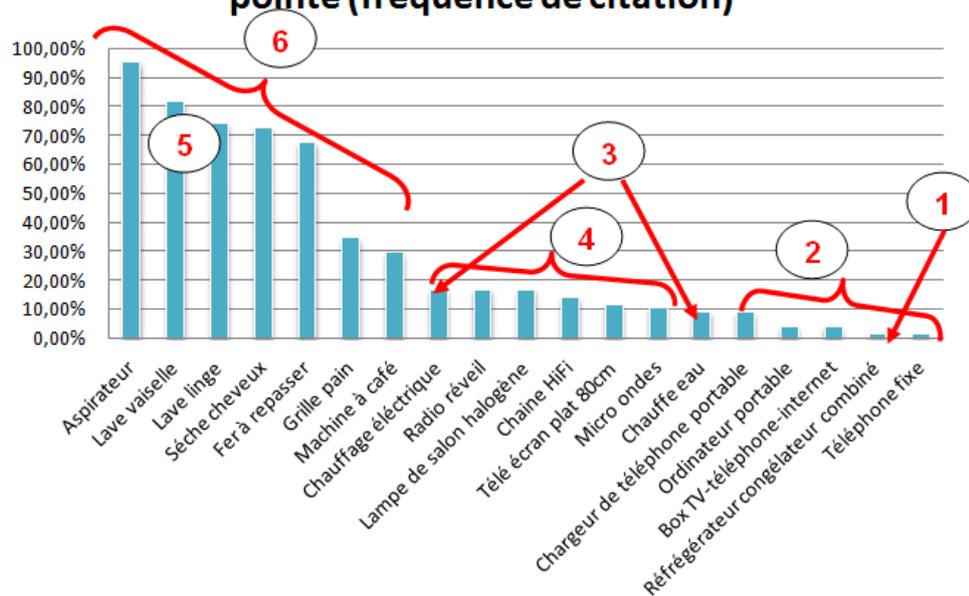
Comparatif : Appareils que Paul refuse d'interrompre pour une durée de 2H vs 30 min lors des jours de pointe (fréquence de citation)



A notre grande surprise, pas de changement majeur entre les interruptions refusées pour une durée de 2h et celles refusées pour une interruption de 30 min. Paradoxalement, le taux de citation de certains appareils (les plus fortement refusés à l'interruption) augmente même. Nous pouvons faire l'hypothèse que les clients pensent alors que « ça ne vaut pas la peine » d'interrompre pour seulement 30 minutes les appareils électriques : ça ne se verra pas sur la facture. Cependant, les choses n'ont pas du tout été présentées sur ce plan là lors des sessions, et il reste surprenant d'obtenir de tels paradoxes. Seuls quelques appareils, comme le radioréveil, ou la chaîne HiFi apparaissent comme plus facilement effaçables sur une période de 30 minutes.

Nous posons maintenant la question inverse : quels sont les appareils que Paul accepte d'interrompre automatiquement pour une durée de 30 minutes ?

Appareils que Paul **accepte** d'interrompre pour une durée de 30 min lors des jours de pointe (fréquence de citation)

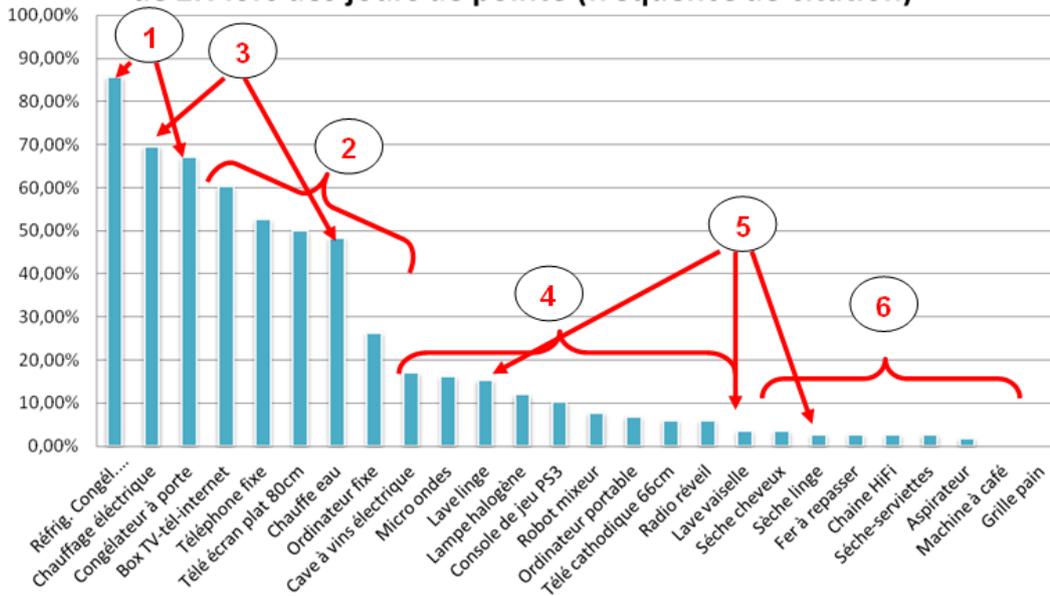


L'ordre n'est pas fondamentalement bouleversé : les usages dont l'interruption est la moins souhaitée sont bien les mêmes que ceux dont l'interruption est le plus refusée, avec également les mêmes paradoxes concernant les usages (réfrigérateur, chauffe-eau) dont l'interruption pourrait être transparente pour l'utilisateur. L'ordre a peu changé et a peu d'importance, étant donné leur faible taux d'occurrence moyen (inférieur à 15%). A cette question, les sujets ne pouvaient donner que 6 réponses au maximum : c'est pourquoi les 6 à 8 premiers éléments sont les plus importants. On retrouve le groupe 6, qui ne représente pas un gisement extrêmement intéressant pour l'effacement, en revanche, on retrouve en 2ème et 3ème position l'électroménager de lavage : le groupe 5. Peut être la « machine lancée en heure creuse » a-t-elle fait son chemin dans la pensée collective, ce qui expliquerait la bonne place (encourageante !) de ces appareils énergivores.

4.5.1.2 Les reports d'usage au foyer de Betty.

Nous souhaitons savoir si cette typologie des usages selon leur propension à être reportés ou effacés lors des périodes de pointe est la même chez Betty, dont le foyer présente des contraintes et des besoins différents que celui de Paul.

Appareils que Betty refuse d'interrompre pour une durée de 2H lors des jours de pointe (fréquence de citation)



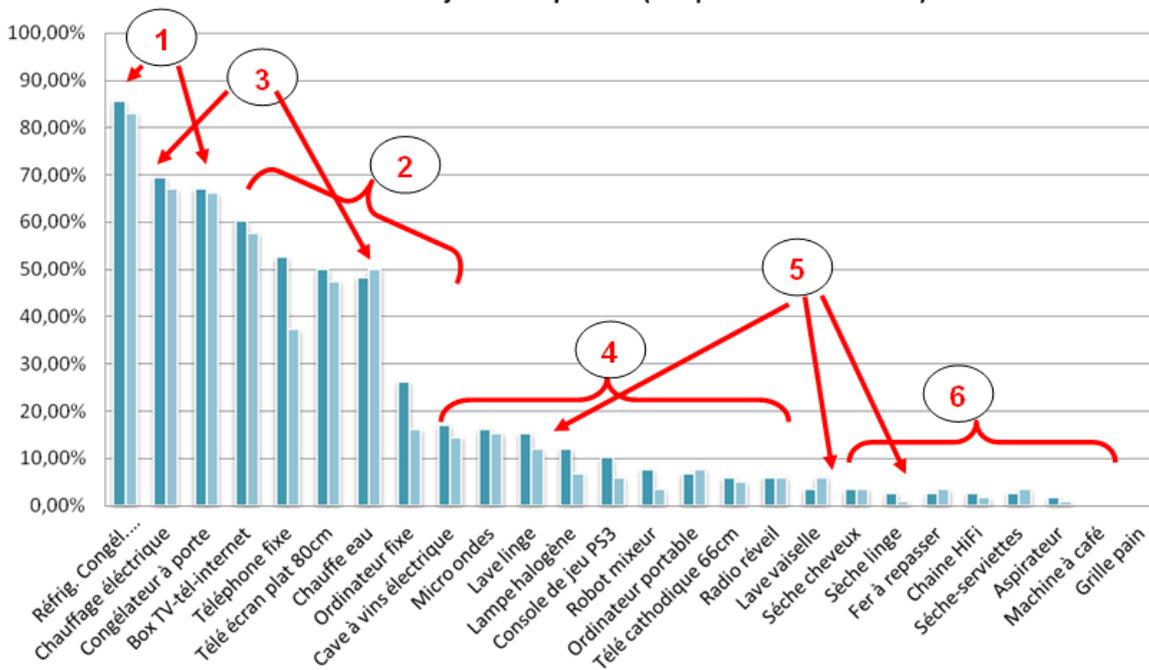
Nous avons insérés les appareils supplémentaires qui équipent le foyer de Betty dans les 6 catégories construites pour Paul. Nous retrouvons un tableau d'honneur quasiment identique, à quelques exceptions près :

Tout d'abord on remarque l'importance du chauffage électrique pour la mère de famille : il arrive en seconde position des usages que l'on ne souhaite pas voir interrompus, avec un score de près de 70% de refus (rappel : 50% chez Paul).

Ensuite, on remarque l'importance (relative : 15%) du refus d'interruption du lave-linge chez les clients type Betty, tant par rapport aux autres appareils de lavage (lave vaisselle et sèche-linge) que par rapport à Paul (seulement 5% de refus). Cela concorde bien avec le comportement attendu des parents responsables d'une famille avec de jeunes enfants. Nous comprenons mieux l'importance du mode de vie, si souvent cité dans les points faibles des contrats d'effacement, et des contraintes de la vie quotidienne d'un foyer, dans l'engagement pour une nouvelle offre électrique.

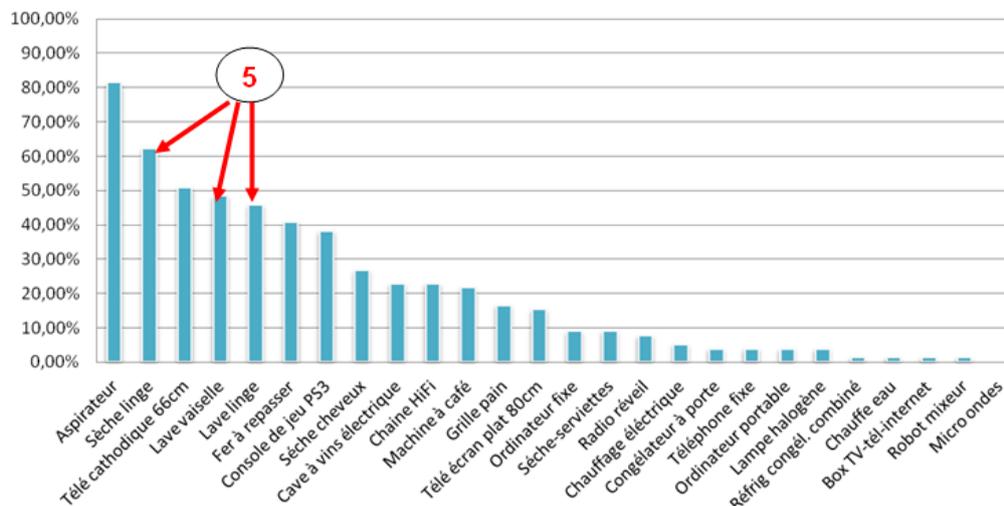
Le niveau d'occurrence des appareils des groupes 4, 5 et 6 a, plus globalement, peu d'importance : ils font partie des appareils interruptibles pour la majorité des foyers.

Comparatif : Appareils que Betty refuse d'interrompre pour une durée de 2H vs 30 min lors des jours de pointe (fréquence de citation)



L'ordre d'occurrence de refus d'interruption des appareils n'est encore une fois pas du tout bouleversé lorsqu'on réduit la coupure électrique d'une durée de 2H vers une durée de 30 min. Seules les interruption automatiques du téléphone fixe et de l'ordinateur fixe (dont il existe des substituts : téléphone et ordinateurs portables) semblent plus acceptables. Pour terminer, nous observons les usages dont l'interruption est acceptable pour Betty, et nous retrouvons le même type de résultat exploitable que nous avons chez Paul : hormis divers petits appareils électroménagers à l'usage ponctuel, les gros appareils de lavage apparaissent comme étant les plus intéressants et acceptables à automatiser, bien que difficilement substituables.

Appareils que Betty **accepte** d'interrompre pour une durée de 30 min lors des jours de pointe (fréquence de citation)



Nous avons donc réalisé une typologie des usages électriques du foyer, classés en fonction de leur potentiel en termes d'acceptabilité d'effacement. Trois constats majeurs sont à dresser après cette analyse

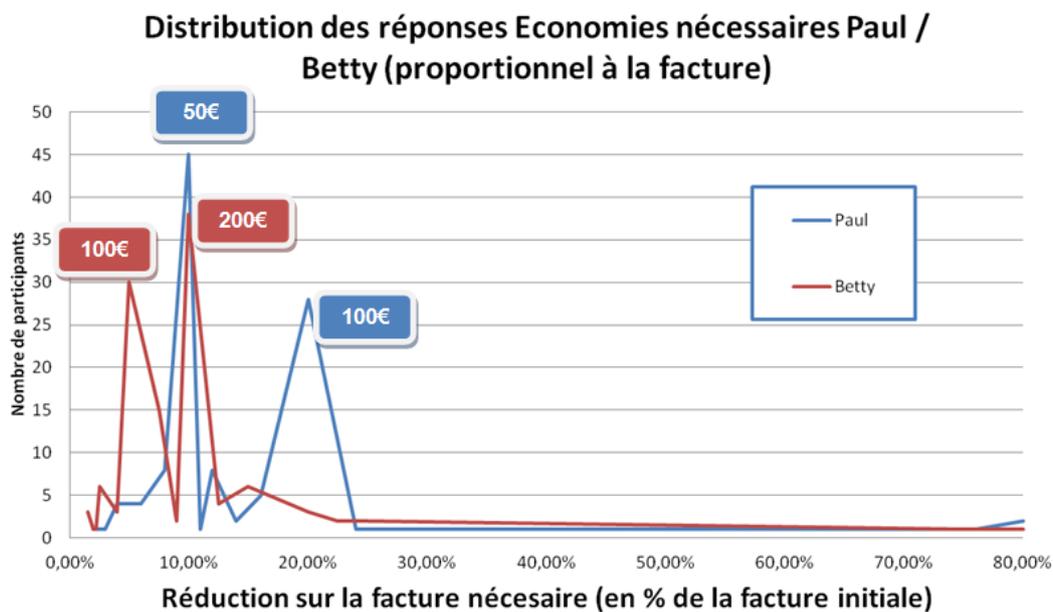
- Premièrement, la contrainte de l'effacement est perçue de la même manière, du point de vue des usages, que l'interruption soit de courte ou de longue durée. Nous nous attendions à voir les occurrences de refus d'interruption d'appareils baisser de manière globale et significative en réduisant la durée de l'effacement de 2H à 30 min. Cela n'a pas été le cas
- Deuxièmement, une certaine méconnaissance du fonctionnement des appareils et de leurs consommations électrique entraîne des comportements peu logiques : interrompre un réfrigérateur, un congélateur ou un chauffe-eau (voire même un chauffage électrique) pour une durée de 2H (à fortiori de 30 min) peut être totalement transparent pour le client (qui n'a donc aucune raison de refuser de le faire)
- Troisièmement, le gros électroménager de lavage est le seul groupe qui à la fois consomme beaucoup d'électricité et est globalement bien perçu comme effaçable.

Des différences mineures mais statistiquement significatives (p -value <0,01) dans la fréquence de citation des usages électriques qu'il n'est pas envisagé de couper au domicile sont observables entre les foyers de Paul et Betty (chauffage, lave-linge), ces disparités étant liées aux contraintes liées à la présence d'enfants d'un jeune âge au domicile.

4.5.2 Economies nécessaires sur la facture annuelle : l'attente réelle des clients.

Après avoir adopté le contrat d'effacement, qu'il soit de type Eco Pointe ou Bonus à l'Effacement, ce sont les efforts des clients au sein de leur foyer qui détermineront la réduction finale qu'ils obtiendront sur leur facture. La concordance de ce gain avec les attentes du client est importante : un gain trop faible risque de le décourager à faire des efforts, jugés vains, voire même de l'inciter à changer de contrat.

Ainsi, afin de compléter et terminer cette analyse, nous étudions la réponse des sujets concernant la réduction annuelle minimum pouvant justifier des efforts de sobriété électrique durant les heures de pointe, 20 jours par an. Nous avons présenté ces résultats en terme de réduction relatives à la facture initiale des deux protagonistes (rappel : Paul = 500€ ; Betty = 2000€).



- La réduction de facture médiane nécessaire pour Paul est de 50€, soit 10% de sa facture annuelle initiale.
- La réduction de facture médiane nécessaire pour Betty est de 165€, soit 0,825% de sa facture annuelle initiale.

- 15% des sujets estiment qu'une réduction annuelle de plus de 200€ (soit 10% de sa facture annuelle initiale) est nécessaire pour inciter Betty à réaliser des efforts de sobriété électrique.
- 42% des sujets estiment qu'une réduction annuelle de plus de 50€ (soit 10% de sa facture annuelle initiale) est nécessaire pour inciter Paul à réaliser des efforts de sobriété électrique.
- 11,9% des sujets estiment qu'une réduction inférieure à 100€ (soit 5% de sa facture annuelle initiale) suffira pour inciter Betty à réduire sa consommation.
- 5,1 % des sujets estiment qu'une réduction inférieure à 25€ (soit 5% de sa facture annuelle initiale) suffira pour inciter Paul à réduire sa consommation.

Nous remarquons pour cette question dont la réponse chiffrée était totalement libre, que ce sont les chiffres ronds reviennent le plus fréquemment (voir les pointes sur le graphique, qui représentent 50, 100 ou 200€ selon l'individu-type observé). Les chiffres « 50 » et « 100 » sont fédérateurs. C'est en quelque sorte un pendant du biais d'ancrage évoqué dans la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** de cette partie : ayant aucune idée de valeur pouvant ancrer leur déclaration, les participants s'arriment à ces bouées que sont les chiffres ronds !

Ces réductions nécessaires sur la facture annuelle ne sont pas proportionnelles à cette dernière : plus la facture est basse, plus la réduction relative doit être grande. Il semblerait qu'un montant « non insignifiant », quel que soit le montant annuel de la facture, soit nécessaire pour déclencher l'effort de sobriété. Pour certains individus, le problème pourra même être inverse : plus la consommation électrique du foyer est restreinte, plus le montant d'un bonus ou d'une prime accordé en échange de davantage d'efforts de sobriété devra être important, car la marge de manœuvre est réduite. C'est donc le montant absolu de réduction qui semble importer, davantage que le montant relatif à la facture annuelle. Une partie des clients n'effectue probablement même pas la conversion : nul besoin de connaître quelle proportion cela représente sur une facture annuelle pour savoir que 50€, ou 100€ sont des sommes dont on peut faire bon usage. Il y a fort à parier que dans le cas où l'on aurait évalué la réduction nécessaire à la motivation du client en fonction de sa facture annuelle, nous observerions un tracé « logarithmique » à la croissance lente.

Ces sommes sont cependant certainement bien éloignées de la réalité et de la nécessité de rentabilité d'un fournisseur d'électricité : il échoit à ces derniers la mission de construire des offres et des services qui permettront de rendre acceptable les solutions d'effacement sans avoir à atteindre de tels niveaux de réductions de facture à grande échelle, ce qui semble d'ores et déjà impossible.

4.6 Synthèse des résultats obtenus.

Avant de terminer cette thèse par un chapitre conclusif explorant, entre autres, la portée des résultats que nous venons de présenter, pour EDF, et l'avenir potentiel de la discipline autour de la problématique de la *demand response*, nous proposons une synthèse des résultats appliqués obtenus, sous forme de phrases-clé à retenir.

- **Les tarifications de pointe (type Eco-pointe) sont préférées à des solutions de type « bonus à l'effacement », à facture électrique égale.**

L'explication est liée à la crainte du client de perdre une somme fixe (coût d'abonnement) qu'il devra ensuite regagner en bonus. Il préférera plutôt payer chaque kWh plus cher en période de pointe en échange d'un coût d'abonnement fixe. Cette asymétrie est en lien avec l'aversion des consommateurs face aux pertes économiques, étudiée par la théorie des perspectives.

- **Pour la tarification de pointe : Un ratio de prix pointe/hors pointe moyen est préféré à des prix extrêmes.**

Plus le ratio est grand, plus le prix de l'électricité en heures de pointe est élevé, et plus la prime fixe associée à ce contrat est grande. Mais le risque de voir la facture électrique augmenter fortement est également plus marqué, puisque tout excès, volontaire ou non, en heure de pointes sera tarifé au prix fort. Inversement, plus le ratio est faible, moins la prise de risque est grande, mais l'opportunité de gain en cas de bonne conduite est également moins importante. Les consommateurs font part ici d'un certain attrait pour des solutions à l'attrait suffisamment prononcés sans pour autant souhaiter risquer de fortes pénalités : les offres intermédiaires sont préférées.

Ainsi, pour le tarif Eco Pointe :

- L'offre de facteur 30, la plus risquée, est majoritairement délaissée au profit de l'offre de facteur 20. L'aversion au risque pousse les clients à opter pour un facteur de prix plus raisonnable.
- L'offre de facteur 5, la moins risquée, est également délaissée au profit de l'offre de facteur 10
- L'offre de facteur 20 est également préférée à l'offre de facteur variable (option risquée).

- **Pour le bonus à l'effacement : les sujets rejettent les solutions risquées.**

Le protocole propose des duels d'offres qui diffèrent par le taux de bonus récompensant le kWh économisé lors des périodes de pointe (2€, 4€ et 6€), mais aussi par le surcoût de

l'abonnement, proportionnel à ce taux de bonus. Résultat : c'est l'option la moins risquée qui prédomine dans les choix des sujets (*significativité très importante, p-value<0,01*).

- **Les sujets sont plus averses au risque lorsqu'il se présente sous la forme d'un surcoût fixe à l'abonnement, que l'on tente de rembourser (voire, au-delà, de gagner de l'argent), que lorsqu'il se présente sous forme d'un tarif du kWh élevé en échange d'une prime fixe (à l'abonnement).**

En d'autres termes, les sujets préfèrent obtenir une prime fixe, en compensation d'un malus variable (prix élevé du kWh), que de subir un surcoût fixe (probablement considéré comme de l'argent que l'on est sûr de perdre et pas certain de reconquérir) potentiellement remboursé par les bonus variables reçus en cas d'efforts de sobriété électrique.

- **Préavis du jour de pointe : Un délai minimum requis de 24h pour 86% des participants, avec des variantes selon le type de client (Paul et Betty)**

Le délai de préavis est fortement lié à la fois à la prise de risque associée à l'adoption d'une offre d'effacement, et à la correspondance entre contrat proposé et mode de vie du foyer, deux paramètres potentiellement impactés par le type de client auquel nous avons affaire.

Seulement 8% des sujets indiquent que Betty peut se contenter d'un préavis inférieur à 24H, alors que 20% pensent que le délai minimum nécessaire à Paul est inférieur. Inversement, 45% des sujets choisissent pour Betty un délai supérieur à 24H, alors qu'ils ne sont que 26% à sélectionner cette option pour Paul. Betty est donc plutôt *long-termiste*, et a besoin d'un délai de préavis long, alors que Paul est plutôt *court-termiste*.

- **Le processus d'effacement est perçu comme un effort de vigilance et une source de stress (solutions non-automatisées)**

Même lorsque le contrat ne semble pas avoir de désavantage en termes de finalité (pas de perte possible, le gain en bonus éventuel est la seule option supplémentaire par rapport à un contrat classique), il est néanmoins rejeté par une partie des sujets, en raison du processus « coûteux » en termes de vigilance : l'effort de vigilance qu'il implique pour ne pas subir de coûts d'opportunité (= de manque à gagner), ou pour jouer le jeu du contrat d'effacement, rebute les clients, qui ne souhaitent pas forcément ajouter l'inquiétude de la sobriété électrique entre 18h et 20h à leurs autres soucis quotidiens. L'électricité est un besoin primaire pour la plupart des personnes, et ne doit pas devenir une préoccupation. Proposer des solutions d'automatisation de l'effacement de certains appareils électrique, si possible de manière transparente, pourrait s'avérer favorable et améliorer l'acceptabilité des offres tarifaires incitatives, abaissant le niveau de risque à la fois du point de vue du client (en termes d'augmentation de sa facture) et du point de vue des responsables d'équilibre (en fiabilisant les effacements résidentiels).

- **Le report « acceptable » des usages permet d'établir une typologie des appareils, dans laquelle : Le gros électroménager de lavage (lave-vaisselle, lave-linge, sèche-linge) est le seul groupe qui consomme beaucoup d'électricité et qui soit globalement bien perçu comme effaçable.**

Pour l'expérience, le réseau électrique des foyers type est dès lors supposé séparé en deux parties : l'une est totalement classique, l'autre est coupée automatiquement en alimentation électrique durant les jours de pointe, pour une durée de 30 minutes ou 2 heures. C'est au preneur de décision (Paul ou Betty) de choisir, après avoir adopté l'un des contrats d'effacement, quels sont les appareils à brancher sur l'arrivée d'électricité dite « interruptible ».

Les appareils qui rencontrent le plus de réticence pour être « interruptibles » sont dans l'ordre : Le froid (réfrigérateur, congélateur, combiné), le triple play (box-tv-tel-internet) et le chaud (chauffage électrique, chauffe-eau). Notons pour le chauffage électrique, une réticence beaucoup plus forte pour la mère de famille : il arrive en seconde position des usages que l'on ne souhaite pas voir interrompus, avec un score de près de 70% de refus (contre 50% chez Paul).

Chapitre 5. Quelle place possible pour l'économie expérimentale chez E.D.F.

Dans les chapitres précédents, nous avons abordé notre problématique initiale via la méthodologie expérimentale. Après avoir présenté les bases de la discipline, nous avons élaboré un protocole, déroulé des sessions expérimentales et proposé une analyse des résultats obtenus. Mais nous ne devons pas perdre de vue les objectifs majeurs de cette thèse, au-delà des conclusions de l'expérience réalisée en janvier 2012 : l'économie expérimentale peut – elle trouver sa place dans l'étude des comportements des consommateurs résidentiels d'électricité face aux outils de la *demand response* ? Peut-elle remplacer les études aujourd'hui réalisées dans les compagnies, qu'il s'agisse de pilotes de terrain ou d'autres méthodologies d'étude comportementale ? Dans ce chapitre, nous étudierons la portée des résultats apportés par l'économie expérimentale dans notre cas de figure. Nous verrons quelles sont les limites de cette de notre protocole tel qu'il a été conçu, et proposerons des suggestions pour un éventuel prochain protocole expérimental autour de la question de la *demand response*. Enfin, nous proposerons une place pour l'économie expérimentale dans les compagnies telles que EDF, dans une démarche d'aide à la conception des offres de la future *demand response*.

La généralisation des résultats de l'économie expérimentale est une problématique qui a accompagné la discipline dès ses débuts. D'une part, ses détracteurs ont tenté d'en montrer les lacunes en la matière, parfois avec succès. D'autre part, les experts en économie expérimentale ont dans un souci de pertinence scientifique eux-mêmes étudié les limites de la portée de leurs résultats expérimentaux. Quelles peuvent être ces limites lorsqu'on étudie le comportement des consommateurs en laboratoire ? Peut-on généraliser les résultats présentés dans le chapitre précédent ?

5.1 Validité externe des résultats en économie expérimentale : les lacunes et avantages du laboratoire.

La validité externe des résultats obtenus en laboratoire est une question récurrente, en effet c'est elle qui détermine la portée finale du travail de recherche effectué. En effet, au premier abord, les plus sceptiques pourraient avoir du mal à admettre que l'univers du laboratoire permette de recréer les situations de prises de décisions économiques et d'obtenir des résultats que l'on retrouverait « dans la vraie vie ». Nous avons vu que, contrairement au terrain (*field*), les limites du laboratoire ne sont pas dans sa plausibilité ; c'est donc davantage dans la transposabilité des résultats que l'on peut en trouver.

5.1.1 Les limites de la validité externe: lorsque l'extrapolation est risquée.

Ainsi, Levitt S., List J. (2007) ont identifié des cas où l'artificialité des laboratoires peut conduire à produire des résultats qu'on ne peut pas généraliser. Par exemple, tout comme dans les enquêtes déclaratives plus traditionnelles et malgré les systèmes incitatifs mis en place, les sujets se savent ici aussi observés. De ce fait, on a montré qu'ils ont parfois tendance à agir d'une manière qu'il pensent morale, ce qui n'est pas toujours le cas chez les « vrais » preneurs de décision dans le monde de l'économie, qui sont, eux, devenus décideurs par le biais d'un mécanisme de sélection et d'escalade de pouvoir, dus au fait, justement, d'avoir une morale sélective. De plus, les participants aux expérimentations, venus jusqu'au laboratoire, sont parfois en quête de reconnaissance sociale. Les laboratoires jouent parfois sur cette corde sensible lors des campagnes de recrutements aux expérimentations (comme celle que nous avons menée). Même si les appels à candidats se veulent neutres, il est souvent stipulé que l'expérience nourrit les résultats d'études scientifiques, universitaires, d'un travail de thèse... Les participants, supposés être incités par l'argent en jeu, viennent également en quête de reconnaissance, aussi ténue soit-elle. Il n'est alors pas étonnant qu'ils se conduisent ensuite de manière plus « morale » que ceux qu'on appelle parfois « les requins de la finance » ! Dans le même esprit, Robin S. *et al.* (2008) suggèrent que les sujets se positionnent en tant qu'« experts » plutôt que consommateurs, pensant que l'on attend d'eux ce type de raisonnement plutôt que de se comporter comme de simples consommateurs. L'effet Warm Glow évoqué dans le Chapitre 1 de cette partie n'est donc pas forcément atténué ou supprimé par le laboratoire et les incitations²⁰⁵.

Ce type de biais est loin d'être le seul obstacle à la validité externe des résultats de laboratoire. Ainsi, Camerer C. et Hogarth R. (1999), Cooper D. *et al.* (1999) ont mis en évidence, en observant une multitude de publications en économie expérimentale, que l'effort cognitif et la rapidité de réflexion de la part des sujets d'une expérience est en lien avec la valeur absolue des rémunérations en jeu : lorsque celle-ci va croissant, la variance observée dans les réponses décroît et les participants affinent leur jugement. En prenant en considération cette observation, la question se pose à chaque élaboration de protocole : à partir de quel niveau de rémunération les sujets sont-ils suffisamment incités pour réfléchir correctement ? Y'a-t-il un niveau de rémunération idéal qui représente réellement les enjeux de la « vraie vie » et garantisse des comportements réellement représentatifs du monde extérieur ?

De plus, comme le soulignent Levitt S. et List J. (2007), des résultats issus de la littérature du domaine de la psychologie montrent d'importantes différences entre les prises de décisions « à chaud », dont l'impact est à court terme (*short - run*) et « à froid » (*long - run*), dont l'impact est à plus long terme. « [lors de prises de décisions à chaud], les facteurs viscéraux et les émotions peuvent se révéler assez importants, alors que lors des prises de décision à froid, les réactions immédiates sont plus sagement refoulées [ou contrôlées] » (traduction personnelle de List et Levitt (2007)). En laboratoire, les prises de décisions de court terme, rapides, sont majoritaires. On demande parfois

²⁰⁵ Nous supposons que le *beauty contest* et la transposition dans les pensées d'autrui, méthodes que nous avons utilisées dans notre protocole, permettent cependant de contrer en partie l'effet *Warm Glow*.

aux sujets de prendre des décisions rapides autour de thématiques pour lesquelles, dans la *vraie vie*, les idées et choix sont lentement maturés dans l'esprit des individus. On risque donc d'observer davantage de réaction « à chaud » lors des sessions expérimentales, caractéristique à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats. Robin S. *et al.* (2008) utilisent le terme d'écrasement du temps pour qualifier ce biais potentiel intrinsèquement lié aux sessions expérimentales. Ils soulignent par ailleurs l'importance de sa prise en considération lorsque les produits étudiés dans le laboratoire renvoient à des préférences environnementales (entre autres). En effet, le temps peut alors rendre les préférences instables. Les valeurs elles aussi sont « écrasées » par le phénomène de laboratoire et la rapidité de prise de décision. Les sommes mises en jeu sont au-delà de ce qu'on pourrait qualifier de différentes dans certaines expérimentations de marchés. Alors que les investissements, par exemple, peuvent dans certaines filières se chiffrer en milliards d'euros, en laboratoire, les sommes en jeu ne dépassent rarement les 30, voire 50€. Est-on certain de pouvoir extrapoler les choix et les comportements réalisés avec de tels montants ?

Cette rapide revue des limites de la validité externe du laboratoire n'est pas exhaustive, mais ne condamne pas non plus la discipline : il reste de nombreux enseignements à tirer des expériences en laboratoire, et, par ailleurs, cette méthodologie semble présenter des avantages indéniables par rapport aux autres techniques couramment utilisées pour étudier le comportement des consommateurs.

5.1.2 Mais des résultats inéluctablement utiles sur le plan qualitatif.

Même si des incertitudes planent parfois sur la validité externe des résultats issus des laboratoires, il ne faut pas négliger l'éclairage qu'apporte la discipline sur le plan qualitatif (Levitt S. et List J. (2007)). Ainsi, alors que d'autres méthodes sont concentrées sur les résultats, l'économie expérimentale s'attache beaucoup au processus qui conduit aux prises de décisions économiques, quelles qu'elles soient, ainsi que leurs origines profondes. Les résultats sont propres à chaque expérience, à chaque sujets précis, mais les rouages décisionnels sont souvent retrouvés au travers de différents travaux, preuve de la robustesse de la discipline lorsqu'il s'agit d'éliciter les mécanismes des phénomènes observés.

Pour de nombreux biens, les résultats produits (comme par exemple, des consentements à payer) sont de plus observés sous le prisme de l'apport d'information ou de toute autre variable susceptible de les faire varier : on travaille alors avec des valeurs relatives et non plus absolues, avec des sens de variation, avec des tendances. L'économie ne se satisfait pas seulement de chiffres les plus précis possibles, mais a besoin de schémas clairs pour les expliquer. Or, les explications issues des recherches en laboratoires permettent de clarifier et d'anticiper les réactions des agents économiques quels qu'il soit, que l'on s'intéresse aux phénomènes des mécanismes de marché ou aux comportements des consommateurs finaux, permettent d'anticiper des phénomènes qui dérogent aux théories classiques. Si elles ne peuvent prédire les chiffres à la virgule près, ces explications sont donc néanmoins précieuses.

Le laboratoire fournit ces schémas relativement rapidement, et de manière relativement peu onéreuse. Comme le font remarquer Levitt S. et List J. (2007), « *les expérimentalistes sont comme les aérodynamiciens qui utilisent les souffleries pour tester les modèles d'avions, d'hélicoptères, de voitures et de trains. La soufflerie fournit à l'ingénieur des données sur des modèles à échelle réduite, tout comme le laboratoire fournit à l'économiste un éclairage sur les phénomènes économiques.* » (Traduction personnelle). Les modèles réduits sont là pour repérer tout imprévu, mettre en évidence les frottements inattendus face à un substitut de réalité. Nous n'en attendons pas moins des résultats de l'économie expérimentale.

Nous admettons alors que l'on obtient des réponses aux questions posées, peu importe qu'on ne puisse pas les considérer comme étant précises à la virgule près. C'est au chercheur qu'il appartient d'interpréter ses résultats en tenant compte des limites de domaine d'investigation et des caractéristiques du laboratoire. Si ce travail est réalisé correctement, alors les limites de l'économie expérimentales ne sont plus des sources d'erreurs mais des mises en garde totalement intégrées au processus d'analyse de toute expérience.

5.2 Généralisation des résultats : le cas de notre expérience.

Nous nous posons alors la question de la généralisation des résultats obtenus à l'issue de l'expérience menée en janvier 2012 : comment les interpréter pour qu'ils contribuent aux recherches menées à EDF R&D ?

5.2.1 Les biais et avantages de la mise en œuvre de notre expérimentation.

Les biais présentés dans le sous-chapitre précédent sont également valables pour notre expérimentation. Bien entendu, les sujets ayant participé aux expérimentations se savaient également observés. Il s'agit d'un public relativement citoyen, quasiment exclusivement issu de l'agglomération grenobloise. Malgré leurs différences sociodémographiques, le champ de recherche de participants a privilégié les anciens participants à des expérimentations du GAEL ou une extension (large) de notre cercle de connaissances. Le bouche à oreilles a également fonctionné mais dans tous les cas, les sujets ont été contactés et recrutés par internet et contactés par mail : on oublie trop souvent que l'utilisation de ce type d'outil n'est pas une généralité parmi la population. Les sujets étaient également tout à fait au courant de l'utilisation des résultats pour une étude « universitaire » et en aucun cas n'avaient connaissance de l'implication d'EDF, via ce travail de thèse, au déroulement de l'expérimentation : on peut alors espérer que l'anticipation d'une future offre publique, voire obligatoire, n'est venue perturber le déroulement des sessions. Certains sujets eurent, lors des discussions qui sont parfois venues poursuivre les sessions, des questions assez directes à ce sujet, nous demandant parfois si les résultats de cette étude allaient donner lieu à de futurs tarifs pour l'électricité. Une certaine méfiance est peut être en train de s'instaurer vis-à-vis

d'EDF, dans un contexte où l'augmentation des tarifs fait chaque année la une des journaux télévisés, et la suspicion envers la production nucléaire grandissante.

De plus, bien que nous comptons sur les processus de *beauty contest* et l'utilisation des individus-typés pour écarter le risque d'un effet *Warm Glow*, il est possible que les prises de décision relativement rapides aient impacté les choix effectués. En effet, nous ne disposions que de 2H de session pour permettre aux sujets à la fois d'appréhender les mécanismes du *beauty contest*, du test d'aversion au risque, de leur présenter les individus types et les différents types de contrats, le principe des effacements, et les principes tarifaires, ainsi que les familiariser avec l'interface informatique, tout en nous assurant qu'aucun sujet ne serait perdu dans les manipulations. Les décisions ont donc été des choix rapides, basés sur une compréhension globale plutôt qu'un calcul d'optimisation et une analyse détaillée des offres et des factures estimées. L'ensemble des sujets a compris les principes des tarifs proposés ainsi que la problématique sous-jacente, comme en témoigne les discussions qui ont pu suivre. L'écrasement temporel lié au laboratoire a donc pu jouer, tant dans une dimension d'intégration des questions posées que dans une dimension d'implication temporelle, les sujets n'ayant à priori aucune conséquence à subir des options choisies si ce n'est l'argent qu'elles lui auront permis de remporter.

La question est donc également de savoir comment, dans la vraie vie, les particuliers adoptent l'une ou l'autre des offres de fournitures d'électricité existantes : y passent-ils davantage de temps ? Cherchent-ils réellement à anticiper leur prochaine facture, les gains envisageables, mesurent-ils l'espérance de leurs pertes ? Mettent-ils réellement en lien leurs comportements d'usages, ou du moins les croyances et représentations qu'ils s'en font, avec le prélèvement opéré par leur fournisseur à la fin de la période de facturation ? Se projettent-ils vraiment dans un futur impliquant un renouvellement du matériel électroménager ou des rénovations incluant potentiellement une amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ? Nous ne disposons pas d'éléments de réponse face à cette interrogation. Aussi les résultats fournis par l'expérimentation sont – il, quoi qu'il en soit, une base de connaissance extrêmement intéressante sur le comportement des consommateurs d'électricité résidentiels.

Nous n'avons pas vendu en laboratoire de l'électricité comme certains protocoles du champ de l'agro-alimentaire peuvent vendre des yaourts, il n'a pas été possible de permettre en laboratoire des prises de décisions concernant réellement la prochaine période de facturation électrique des sujets et impactant donc leur futur. Les décisions ne sont donc pas suffisamment implicantes pour être considérées au premier degré, sans un minimum d'interprétation. Cependant, il faut garder à l'esprit que nous ne disposions là non plus que de peu d'éléments de comparaison concernant l'acceptabilité des offres des outils incitatifs de la *demand response*. Jamais les expérimentations de terrain ne pourront observer autant de variables différentes sur une même typologie de contrats électriques. Le laboratoire nous a permis d'isoler les composantes primordiales des contrats et d'observer les réactions induites sur les comportements d'adoption des consommateurs. De plus l'utilisation des individus-typés nous permet de contrôler une partie non négligeable des paramètres de mode de vie des clients étudiés

Les méthodes traditionnelles le peuvent également mais demeurent moins implicantes que la méthodologie utilisée : les résultats issus de l'économie expérimentale présentent donc une innovation certaine qui justifie l'emploi de cette dernière.

5.2.2 Quels grands résultats conserver en mémoire ?

Pour EDF, l'intérêt de l'étude ne se situe donc évidemment pas dans les pourcentages d'acceptabilité de l'un ou l'autre des contrats, ni dans la valeur exacte du montant des économies requises par les participants pour justifier un effort de leur part. De même, ce ne sont pas les ratios de prix pointe/hors pointe exact que nous avons proposés qui seront à garder en mémoire. D'une part, ils sont issus de notre construction personnelle. D'autre part, ce sont les préférences relatives qui sont intéressantes et que nous pouvons suggérer d'extrapoler dans un contexte plus général que celui de notre expérience.

Ainsi, nous supposons que les tarifications de type Eco Pointe sont préférées et jugées plus incitatives que les tarifications de type Bonus à l'Effacement. Quel que soit le modèle, il faut d'une part que l'incitation soit suffisamment démarquée de la tarification ordinaire pour présenter un intérêt, et d'autre part, les économies réalisables doivent être substantielles pour paraître significatives. En dessous de 10% du montant total de la facture, les sujets ne semblent pas prêts à réaliser des efforts. De même un préavis de 24H minimum est nécessaire avant toute notification d'effacement.

De même manière une différenciation existe entre les différents profils de clients, qu'il faudra prendre en compte lors de l'élaboration des offres de la *demand response* ; quoi qu'il en soit, la perception qu'ont les clients de ce type d'offre est à améliorer, celles-ci étant vécues comme un souci au quotidien. Paradoxalement, en nos temps de conjoncture défavorables, le souci d'économie d'électricité ne doit pas peser davantage dans la balance mentale des clients que celui d'économie d'argent : le coût de transaction lié à tout effort de vigilance et de sobriété électrique ne doit pas être négligé lors de la conception des outils incitatifs.

L'économie expérimentale semble donc ne pas comporter davantage de limites en termes de validité externe que toutes les enquêtes et méthodes déclaratives que nous avons décrites précédemment, en s'affranchissant parfois de certains de leurs biais et en proposant une méthode plus implicative. Quant aux expérimentations de terrain, telles que les pilotes, elles ne constituent pas toujours des expériences environnements suffisamment contrôlés pour pouvoir affirmer sans risques l'incidence des variables observées sur les résultats produits. De plus, comme nous allons le voir, les mêmes problèmes de validité externes peuvent y être rencontrés : la limite entre *field* et *lab* est peut-être plus ténue que nous le pensions...

5.3 Recommandations : L'économie expérimentale pour E.D.F, un complément plus qu'un substitut.

Au-delà des résultats obtenus lors de notre expérimentation, la problématique de cette thèse est de proposer une évaluation des méthodologies expérimentales en tant qu'aide à la conception des outils de la *demand response* pour EDF. Il s'agit donc d'une prise de hauteur par rapport aux conclusions de l'expérience « *Contrats Elec* » ; tout comme nous avons réalisé une méta-analyse des résultats issus des pilotes de terrain. Bien entendu, l'idéal aurait été de pouvoir disposer des résultats issus de plusieurs expérimentations que nous aurions menées, dans le but de mettre en lumière l'ensemble des possibilités de la discipline en la matière. Nous avons réalisé une expérimentation majeure, et une beta-expérience (en juin 2010), nous permettant toutefois déjà d'entrevoir le potentiel de l'économie expérimentale pour EDF et le domaine d'investigation qui est le leur. Nous pouvons d'ores et déjà émettre quelques suggestions quant à la réalisation d'un prochain protocole d'économie expérimentale, et suggérer une place qui pourrait échoir à la méthodologie au sein des méthodologies préexistantes, car il nous paraît clair à ce niveau qu'elle ne remplacera pas l'implémentation sur le terrain des solutions incitatives à développer.

5.3.1 Améliorations et suggestions pour un prochain protocole sur la base de notre expérience.

Tout d'abord, le protocole que nous avons élaboré et mis en place s'est avéré perfectible. Bien que conçu avec l'aide précieuse des spécialistes du laboratoire et testé lors de sessions « bêta », il comportait des insuffisances et des défauts que nous ne pouvons occulter, due à notre inexpérience en la matière. Toutefois, il peut servir de base à un prochain travail, et quoi qu'il en soit, la connaissance de ces imperfections nous a aidés à concevoir une analyse pertinente de ses résultats. Nous proposons ici une énumération, très probablement non exhaustive, de ces lacunes, que nous avons tenté au mieux de prendre en compte lors de l'analyse des résultats collectés au fil des sessions.

5.3.1.1 Construction des contrats Eco Pointe et Bonus à l'Effacement.

La première imperfection concerne la construction des deux contrats d'effacement. Si le contrat Eco-pointe est, selon nous, satisfaisant, il nous a été très difficile de bâtir une offre de type « Bonus à l'Effacement » qui lui soit symétrique ET qui montre une invariance au niveau de la facture lorsque le client ne modifie pas sa consommation par rapport à ses habitudes. Ainsi, notre contrat BET1 présente cette caractéristique : sans changement de comportement de consommation de la part du client, la facture est inchangée. Mais s'il sur consomme en période de pointe, alors BET1 et Eco Pointe ne sont plus du tout symétriques (quel que soit le choix des ratios), le premier étant bien

plus avantageux ! BET2 ne présente, en réalité, pas cette caractéristique de neutralité budgétaire sur comportement inchangé, du fait de la majoration de l'abonnement. Les deux contrats rencontrent un niveau d'égalité lorsque le client réduit sa demande en heures de pointe de 50% environ, c'est l'exemple que nous utilisons à l'oral lors de la présentation du protocole.

La difficulté de construction provient du souhait de maintenir à la fois la neutralité du contrat en cas de comportement inchangé et la symétrie des contrats BET2 et Eco Pointe, tout en conservant un schéma relativement simple à expliquer à nos sujets. La symétrie nous a semblé être primordiale, et est conservée par le mécanisme (prime fixe + majoration du prix du kWh) versus (bonus au kWh + majoration du prix à l'abonnement). De plus, nous avons souhaité que nos contrats conservent une allure « vraisemblable » et nous nous sommes conformé à l'aspect des offres existantes ou en cours de développement.

Nous avons eu très peu de questions de la part des sujets concernant cet équilibre faussé entre les deux contrats que nous opposons, moins de 5 sur l'ensemble des sessions. Peu de personnes ont donc réellement effectué le calcul, ou bien n'ont-elles pas souhaité faire part de leurs remarques à haute voix. Toujours est-il que nous aurions aimé parvenir à une construction des contrats qui soit plus juste, le risque étant surtout de nous décrédibiliser auprès des sujets dans le cas où ils s'apercevraient de cette imprécision concernant les contrats et de notre incapacité à proposer une solution irréprochable.

Lorsque deux offres de type CPP et PTR sont opposées dans un pilote (comme c'est le cas dans le SEPP de Baltimore Gas&Electricity, voir Faruqui A. et Sergici S. (2008)), la construction est légèrement différente. En effet, afin de réaliser des offres plus symétriques, les tarifs hors heures de pointe pour les deux types de contrats peuvent être légèrement différentes. Les bonus proposés par kWh économisé correspondent alors approximativement à la différence entre prix en pointe et prix de base. Sans avoir pu obtenir les explications ayant conduit à leur construction, ces schémas tarifaires semblent parfois tenir davantage de la « cuisine maison » des compagnies réalisant les pilotes, que d'un savant calcul sur le plan de la symétrie. Nous n'avons pas souhaité nous en inspirer directement. Un travail de design tarifaire reste ici à réaliser, pour lequel la contrainte de la simplicité tarifaire devra être respectée si l'objectif est d'évaluer ce design lors de sessions expérimentales comme nous l'avons fait.

5.3.1.2 Construction et détails de protocole.

Sur le plan de la construction et des détails du protocole en lui-même, nous avons relevé plusieurs imperfections dans notre protocole.

- Tout d'abord, nous supposons que l'ordre dans lequel nous avons proposé les contrats d'effacements, et plus particulièrement le fait de présenter Bonus à l'Effacement de type 2 (avec majoration) juste après Bonus à l'Effacement de type 1 (sans majoration), a pu avoir un impact négatif sur l'appréciation de BET2. En effet, après avoir découvert un contrat où le client a tout à gagner et rien à perdre, on lui propose un contrat sur lequel plane une grosse ombre au tableau, à savoir cette majoration de l'abonnement. Les

sujets ont alors peut être eu la sensation qu'on leur reprenait un bien qu'on venait de leur accorder. Par effet d'ancrage, le contrat BET2 leur apparaît alors beaucoup moins intéressant une fois comparé à BET1 que si on leur avait présenté seul. Dès lors, ce contrat a pu être rejeté en masse, peu importe qu'il puisse être aussi avantageux que Eco Pointe, juste parce qu'il intervient après une offre qui comparativement est trop alléchante. On peut imaginer voir apparaître une manifestation du biais cognitif connue sous le nom « l'effet Halo » : peu importe l'ensemble de ses caractéristiques, la majoration à l'abonnement crée ici un halo négatif qui plane sur BET2 et ce phénomène est accentué par la comparaison directe avec BET1, l'offre sans ombre au tableau. Il serait judicieux, si ce protocole venait à être révisé, de corriger cette imperfection, par exemple en changeant l'ordre de présentation des différents contrats d'effacement.

- En effet, nous n'avons jamais changé l'ordre de présentation des individus-types Paul et Betty, ni celui dans lequel nous proposons pour chacun d'entre eux les différents contrats d'effacement : d'une part, nous ne savons donc pas si cet ordre peut avoir un impact sur les réactions des sujets, par effet Halo ou biais d'ancrage mais de plus, lorsque l'ordre de présentation des items est modifié sur plusieurs sessions, on peut se permettre d'exploiter les données en éliminant ce que l'on appelle les effets d'ordre.
- Le Test d'Aversion au Risque s'avère difficile à exploiter. En effet, il serait plus pertinent de parvenir à estimer l'aversion au risque des individus Paul et Betty que celle de nos sujets. Cependant, l'efficacité du test utilisé n'est pas prouvée si on imagine l'utiliser en le combinant à la méthodologie du *beauty contest* et aux individus types. On imagine mal proposer ce degré de complexité dans le système d'incitations aux sujets²⁰⁶, et surtout, on imagine mal quelle pourrait être la validité des réponses obtenues. Il faudrait utiliser ou concevoir un autre test pour ce faire. Peut-être l'évaluation de l'aversion au risque par des méthodes classiques n'est-elle pas indispensable dans notre protocole. Cependant, avantage indéniable des loteries proposées : elles crédibilisent, et ce dès le début de notre expérience, notre système d'incitations. « *Nous sommes là pour réfléchir, et gagner de l'argent, comme en atteste le test d'aversion au risque !* »
- Certaines questions (par exemple les relevés de points forts et points faibles des contrats d'effacement) ne sont pas incitées financièrement bien que leurs résultats nous intéressent énormément. Nous comptons sur l'effet de cadrage mis en place lors de la présentation des contrats, des enjeux, des individus (dont on distribue les profils) et des factures, pour induire le niveau de réflexion attendu de la part des sujets. Cependant, ces questions auraient mérité un système d'incitation. Une variante de *beauty contest* (avec par exemple un nombre de point forts maximums à citer et une rémunération lorsqu'on cite les points forts les plus cités) aurait peut-être été intéressante à mettre en place, bien que les sujets semblent s'être tout à fait prêts au jeu de ces questions non incitées (qui, il faut le souligner, étaient encadrées par des salves de choix incités).

²⁰⁶ Il s'agirait ici pour chaque option du test d'aversion au risque utilisé, de dire si « on pense que l'ensemble du groupe ici présent pensera que l'individu Paul choisi l'option A, ou l'option B », ce qui nous semble être un choix trop peu différencié pour se mettre à la place d'un individu dont on connaît l'âge et les appareils électriques !

Il est à noter que dans un souci d'exploitabilité des données, le protocole n'a pas été modifié tout au long des 14 sessions réalisées, ni sur la forme, ni sur le fond. Tout au plus le discours l'accompagnant a pu être adapté pour faciliter la compréhension des sujets, en prenant garde à ne pas déformer les contenus ou induire des réponses différentes, dans la mesure du possible (le *wording* restant délicat sur ce genre d'expérimentation). Il n'y avait pas de script défini pour l'animation des sessions, mais du fait de la répétitivité des séances et du public relativement homogène d'une session sur l'autre, peu de changements ont dû être observables.

Mais au-delà du protocole que nous avons construit, il pourra être intéressant pour une compagnie comme EDF d'en concevoir d'autres, autour d'autres thématiques. Cette première approche des outils de la *demand response* pour les clients résidentiels par les méthodes de l'économie expérimentale ne se limite pas aux quelques résultats énoncés sur les contrats d'effacement, bien au contraire : **elle a surtout permis de mettre en lumière la complémentarité des expériences de terrain et des expériences de laboratoire, dans ce domaine précis de recherche.**

5.3.2 La complémentarité du terrain et du laboratoire est à exploiter.

Dans l'optique de la poursuite de l'utilisation de l'économie expérimentale chez EDF, nous souhaitons aller plus loin que l'amélioration du protocole que nous avons proposé. Comme nous l'avons dit, l'objectif de cette thèse n'est pas seulement de comparer les résultats obtenus par les méthodes traditionnelles et ceux obtenus par le laboratoire, mais plutôt de comparer les types de résultats que l'on peut obtenir, les questions auxquelles les deux approches peuvent répondre, et de savoir si le laboratoire peut, dans certains cas, se substituer aux pilotes de terrain. Nous avons largement abordé les avantages et les limites des deux types d'approches dans la première et la seconde partie de cette thèse, et nous arrivons dans cette section à l'idée que loin d'être substituables, les deux approches sont en fait complémentaires.

Dans la littérature, cette dernière décennie, quelques auteurs commencent à mettre en évidence cette complémentarité, bien au-delà du champ de l'électricité et de la *demand response*. La différence entre expérimentations de terrain (comme les pilotes de terrain traditionnels) et les expérimentations de laboratoire (l'économie expérimentale « classique ») est bien plus ténue que ce que nous pensions au premier abord. Harrison G. et List J. (2004) vont même jusqu'à proposer une gradation des niveaux d'expérimentation du laboratoire vers le terrain, sans établir une démarcation nette entre ces différentes approches, dont Eber N. et M. Willinger M. (2005) proposent une traduction des concepts :

- Les *conventional lab experiments* (expériences conventionnelles en laboratoire) sont les expériences se déroulant en laboratoire, avec un panel de sujets non spécifique, comme les étudiants, faciles à recruter. C'est ce type d'expérimentation que nous avons menée en juin 2010.

- Les *artefactual field experiments* (expériences de terrain artefactuelles) sont des expérimentations se déroulant en laboratoire avec des sujets aux caractéristiques propres. On cherchera à faire venir au laboratoire uniquement des sujets appartenant à un type précis (par exemple, des femmes au foyer responsables des achats alimentaires de la famille), ou encore un *pool* d'individus voulus représentatifs d'une population, et donc précisément segmentés et recrutés.
- Les *framed field experiments* (expériences de terrain contextualisées) mettent en situation les sujets dans un contexte interactif dans lequel ils peuvent évoluer, s'informer, agir, voire vivre.
- Les *natural field experiments* (expériences de terrain naturelles) laissent les individus évoluer dans leur environnement sans nécessairement être au courant qu'ils prennent part à l'expérimentation. Eber N. et Willinger M. (2005) font remarquer qu'il peut s'agir d'expérimentations de terrain dans lesquelles les groupes test et témoins sont constitués de manière aléatoire et à l'insu des participants, à la manière dont sont pratiqués par exemple certains tests pharmaceutiques souhaitant éviter des effets placebo.

Notre expérimentation réalisée en janvier 2012 se situe entre l'expérience de laboratoire conventionnelle et l'expérience de terrain artefactuelle, alors que les pilotes de terrain sont majoritairement des expériences de terrain contextualisées mettant en situation les sujets dans leur environnement personnel. Quoi qu'il en soit, nous comprenons désormais que les différences sont ténues et que chaque « grade » de cette échelle expérimentale permet d'observer différentes variables, différents mécanismes d'un phénomène. Ainsi, pour un champ d'étude donné, il n'existe pas un type d'expérimentation optimal, mais plutôt une combinaison de plusieurs niveaux d'expérimentation, qui permettent diverses analyses tant qualitatives que quantitatives.

De plus, comme le soulignent Levitt and List (2007), non seulement il ne doit pas exister de séparation marquée entre le laboratoire et le terrain, mais de plus, les problèmes d'interprétation, de transposition et de généralisation des résultats sont communs aux deux types d'approche. Concernant les pilotes de terrain par exemple, nous avons vu que l'extrapolation des résultats n'était pas une évidence. Une fois sortis du terrain de l'expérimentation, défini par ses propres caractéristiques aussi naturelles soient-elles, et la population concernée, peut-on considérer les résultats obtenus comme toujours valides ? Eber N. et Willinger M. (2005) expriment cette pensée : la validité externe des résultats n'est pas une problématique propre à l'économie expérimentale, mais à toutes les sciences expérimentales, ce qui n'a jamais constitué un véritable barrage aux progrès de la connaissance.

« *Chaque approche montre un ensemble de forces et de faiblesses qui lui est propre, et donc une combinaison des deux est plus susceptible de fournir des explications que de pratiquer chacune séparément* ». C'est ainsi que Levitt et List (2007) concluent leur article traitant de la généralisation des expériences de laboratoire vers le terrain. Ils mettent clairement en lumière une vérité que nous avons, à notre façon, découverte à travers cette thèse. En effet, les résultats obtenus par l'expérience que nous avons menée montrent que l'économie expérimentale peut apporter des éléments utiles et robustes –statistiquement validés– sur les briques fondamentales des comportements des ménages face à de nouveaux choix ou des offres innovantes. Le type et la granularité des enseignements diffèrent de ceux obtenus par les démonstrateurs. Ce dernier teste

des solutions plus abouties industriellement ; il est relativement contraint (en termes de choix et d'offres) et apporte des réponses en termes de modification de consommations *in situ*.

L'économie expérimentale pourrait jouer un rôle dans la préparation des pilotes de terrain, permettant un premier calibrage des offres à déployer au domicile d'un échantillon de clientèle : nous allons voir dans une dernière section quelle pourrait être la place de chaque champ d'investigation.

5.3.3 A chaque question son lieu d'expérimentation.

Dans le cadre de l'étude du comportement des clients face aux outils de la *demand response*, nous soutenons donc la thèse que l'économie expérimentale peut être utilisée comme approche complémentaire des pilotes de terrain, s'adressant aux questions de l'acceptabilité des offres incitatives ou aux préférences des consommateurs ; ainsi qu'aux consentements à payer et à recevoir. Les mécanismes de réduction de la demande, qu'ils soient à visée de court ou de long termes, sont plutôt du domaine hors-les-murs du laboratoire, nécessitant a minima la reproduction d'un environnement de vie quotidienne, et dans l'idéal, se déroulant directement dans un cadre « naturel ». Si la limite entre le laboratoire et le terrain n'est finalement pas réelle, les questionnements de la recherche se positionnent tout au long du chemin graduel qui va de l'un vers l'autre. Il incombe alors aux chercheurs de trouver la place de chaque question. Certains économistes l'ont déjà compris depuis longtemps. C. Montmarquette par exemple (Montmarquette *et al.* (2010) et (2012)) a exporté ses expérimentation sur le milieu de vie réel de ses sujets, car ses problématiques (l'investissement humain et l'impact de l'origine sociale sur les ambitions de réussite scolaire) nécessitaient de sortir des laboratoires pour glisser vers un environnement moins contrôlé, en toute connaissance des résultats de l'économie expérimentale sur ces thématiques.

Ainsi, un aller-retour entre les méthodologies de terrain et de laboratoire est une excellente manière de couvrir un maximum de variables dans l'étude des comportements, l'une venant nourrir l'autre. Harrison G. et List J. (2004) évoquent la possibilité d'alimenter le laboratoire des découvertes réalisées sur le terrain, car les comportements inattendus que l'on peut y remarquer sont souvent indicateurs d'une variable qui a pu être négligée et nécessite d'être isolée. Nous avons également, pour nos travaux, construit notre protocole sur la base de ce que nous avons appris de l'étude des résultats des pilotes de terrain.

Le chemin inverse est, selon nous, tout aussi indiqué, particulièrement dans le cas de l'étude des outils de la *demand response*. En effet, sachant que les pilotes de terrain sont des méthodes d'investigation lourdes, coûteuses et longues, les offres qui y sont testées ont tout intérêt à être parfaitement calibrées. C'est aussi vrai pour les outils incitatifs que sont les afficheurs et services de feedback : quel serait le consentement à payer des clients pour ces biens et quelles en seraient les caractéristiques idéales ? On peut alors tout à fait imaginer construire des protocoles permettant de calibrer ces offres, à la manière de l'expérimentation que nous avons proposée. Dans une approche différente des questionnaires déclaratifs et méthodes de Trade-off utilisées par les sociologues et

marketeurs, il sera possible de construire les outils de la *demand response* et d'obtenir une première réaction des consommateurs face à eux.

Mais ce n'est pas tout. Si nous avons échoué à la tentative de modéliser en laboratoire les comportements, cette fois-ci, de consommation d'électricité, rien n'indique que le passage par une décontextualisation des usages électriques ne permettrait pas d'obtenir des indications, cette fois-ci sur l'efficacité des offres, là où parfois les pilotes de terrain n'ont pas encore fourni de données. Par exemple, la question de l'instauration de tarifs progressifs généralisés pour les consommateurs résidentiels français pourrait être adressée au laboratoire, dans un premier temps, via l'instauration d'une tarification progressive dans un univers modélisé. La nouveauté de ce type d'offre sur notre territoire rend l'utilisation de l'économie expérimentale extrêmement indiquée, puisqu'on pourra obtenir de premiers résultats rapidement, sur le plan de l'acceptabilité d'abord, et pourquoi pas, sur le plan de l'efficacité.

De même, l'exploration du champ des croyances des clients résidentiels autour des consommations électriques de leurs usages pourra être réalisée via les laboratoires expérimentaux, tout comme leur impact sur l'acceptabilité des outils de la *demand response*, voire même leur efficacité. Ces croyances sont-elles questionnées lors des processus routiniers ou lors de la modification des comportements induites par les outils incitatifs ? Est-il opportun de chercher à les modifier pour améliorer l'efficacité des outils de la *demand response* ? Quels apports d'information au consommateur pourraient faciliter la *demand response* ?

Les questions à adresser aux laboratoires d'économie expérimentale sont donc nombreuses, qu'elles se situent à l'amont ou à l'aval des pilotes de terrain, lesquels pourraient alors gagner en précision, en pertinence et donc en efficacité. C'est dans un processus intégré à leur conception que la construction de protocoles adéquats sera, selon nous, à réaliser demain.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail de doctorat était d'effectuer une approche du comportement des consommateurs résidentiels d'électricité face aux mécanismes incitatifs à la réduction de consommation, principalement durant les périodes de pointe de demande, via une méthodologie complètement nouvelle dans le domaine : l'économie expérimentale. Au-delà de l'étude des résultats obtenus via l'organisation d'une expérience en laboratoire, il s'agissait de tenter de mesurer quel pouvait être le potentiel de cette discipline autour d'une thématique pour laquelle ce sont, aujourd'hui, de lourdes études sur le terrain qui pourvoient une aide au développement.

1.1 Rappel des enjeux de la problématique de la maîtrise de la consommation électrique, en particulier lors des périodes de pointe de demande.

Les enjeux soulevés par l'équilibre offre/demande sur les marchés de l'électricité sont multiples. A tout moment cet équilibre doit être ajusté sur le réseau électrique de notre territoire, car l'électricité ne peut être stockée. Tout manquement à ce principe fait encourir des avaries sur le système global. La demande globale en électricité est extrêmement variable, d'une saison, d'une semaine, d'un jour, d'une heure sur l'autre, fluctuant au gré de variables exogènes telles que le climat ou le rythme de vie des usagers. La synchronisation des comportements de ces derniers est à l'origine de ce que l'on appelle les pointes de consommation électrique, périodes où la demande cumulée peut atteindre des records. Ces pointes sont particulièrement fréquentes durant la période hivernale, entre 18 et 20h.

Pour subvenir à ces niveaux de demande élevés, c'est traditionnellement le volume d'électricité produit qui est adapté en temps réel. Cependant, cela n'est pas sans poser de graves problèmes. En effet, les moyens de production d'électricité de pointe (centrales thermiques utilisant des énergies primaire fossiles, fuel, charbon, gaz) sont à la fois les plus coûteux, et les plus polluants, ce qui pousse les institutions nationales et internationales à engager une véritable croisade contre les pointes de la demande électrique. Le problème est désormais également abordé d'un autre angle : est-il possible d'adapter également le niveau de demande en temps réel, en évitant ainsi les phénomènes de pointe de consommation et en tentant de reporter cette consommation vers des périodes de demande creuses, où l'électricité est produite à bas coût ? En marge de cette problématique, une maîtrise de la demande globale d'électricité pourrait permettre de juguler sa croissance quasi exponentielle et d'éviter de lourds investissements en moyens de production et d'acheminement de l'électricité.

Pour parvenir à maîtriser la demande électrique, et particulièrement la demande électrique résidentielle qui est celle à laquelle nous nous intéressons dans cette thèse, les compagnies

électriques mettent au point tout un panel d'outils incitant les consommateurs à réduire leur consommation. Ces mécanismes appellent une réaction des consommateurs, en temps réel ou sur le long terme, que nous appelons *demand response*.

Nous avons présenté les outils de la *demand response* : ce sont, pour les clients résidentiels, des tarifications incitatives, et des mécanismes informatifs apportant un feedback sur la consommation d'électricité, parfois couplés avec un dispositif d'automatisation de certains appareils, dans l'objectif de parvenir à l'effacement de consommation souhaité.

1.2 Synthèse des méthodes abordées et résultats obtenus.

Avant d'être mises en place à grande échelle par les compagnies électriques, ces solutions doivent être évaluées : incitent-elles réellement les consommateurs à réduire leur consommation ? Quels niveaux d'effacement de la demande peut-on espérer par leur biais ? Sont-ce des solutions trop contraignantes ou risquées provoquant le rejet de la clientèle ? Afin de répondre à ces questions, les acteurs des systèmes électriques mettent en place ce qu'ils appellent des pilotes de terrain. Ces expérimentations de grande envergure consistent essentiellement à implémenter les solutions incitatives chez un échantillon de population, puis d'étudier avec soin les changements de comportement potentiellement induits chez ces derniers.

1.2.1 Les expérimentations de terrain

Nous avons comparé les résultats, mais également la méthodologie de mise en place d'un large panel de pilotes de terrain, afin d'en extraire les principaux enseignements. Nous avons pu constater l'efficacité de certaines tarifications incitatives, qu'elles soient horosaisonnnières ou axées sur des journées de pointe critique, qui permettent d'obtenir chez certaines populations des taux de réduction de consommation substantiels. Nous avons également montré combien il semble difficile d'induire une modification des comportements de consommation via un apport d'information (les fameux feedbacks), bien que l'acceptabilité de ces derniers soit grande et l'accueil par la clientèle relativement favorable. Enfin, nous avons vu que le pilotage via des appareils d'automatisation de certains appareils électriques énergivores (tels que le chauffage électrique) permet d'accroître les résultats des tarifications incitatives, minimisant les risques à tout niveau de la filière électrique et chez le client final.

Nous ne nous sommes pas intéressés seulement aux résultats des différents outils incitatifs affichés à l'issue des pilotes de terrain, mais aussi et surtout à leur teneur, à leur généralisation. Qu'apprend-t-on des résultats des pilotes et peut-on anticiper les réactions d'une clientèle entière à partir des chiffres obtenus ? Nous avons exploré les limites de la méthodologie des pilotes de terrain, que nous avons vu se dessiner au fur et à mesure de l'analyse du corpus d'expérimentations que nous avons rassemblées. Lourds, coûteux, longs à mettre en place, les pilotes de terrain se heurtent à

de nombreuses barrières juridiques, techniques et d'acceptabilité. Ce constat nous a conduits à croire que l'économie expérimentale pourrait constituer une alternative intéressante à ces projets de grande envergure. Si cette discipline relativement nouvelle, que nous avons présentée dans le premier chapitre de la seconde partie de ce rapport de thèse, parvient à aller au-delà, ne serait-ce que de quelques unes de ces limites, voire se substituer aux pilotes de terrain, la recherche et l'innovation concernant les outils de la *demand response* pourraient s'en trouver grandement améliorée.

1.2.2 L'expérimentation en laboratoire

Dans ce rapport de thèse, nous avons mis en lumière l'élaboration d'une expérimentation de laboratoire destinée à évaluer le comportement de clients face à des contrats visant à réduire leur consommation électrique durant les pointes de demande. S'agissant d'une première application de cette méthodologie peu connue aux enjeux de la *demand response* résidentielle, l'évaluation de la gamme de ses possibilités constituait une partie intégrante de notre étude. L'électricité étant un produit singulier, à l'usage non direct et parfois inconscient, l'intégration de sa vente au sein d'un laboratoire est limitée, ou du moins nécessite une mise en scène élaborée. Ainsi, nous avons décidé d'évaluer le comportement des clients non pas durant les périodes de pointes mais à l'amont de la souscription à une offre dite « d'effacement ». Ce ne sont pas les potentiels de réduction de consommation des contrats que nous avons évalués, mais principalement l'acceptabilité de ces derniers.

Les sujets ont été amenés à se glisser dans la peau de 2 individus – Paul et Betty – et à évaluer à travers leurs regards, deux grandes familles de contrats d'effacement : Eco Pointe (offre de *critical peak pricing*) et Bonus à l'Effacement (offre de *peak time rebate*), inspirées des offres de *demand response* commercialisées ou testées via des pilotes de terrain en France ou à travers le monde.

L'analyse détaillée des résultats obtenus nous donne plusieurs niveaux de résultats. Tout d'abord, ce sont les contrats de type *critical peak pricing* qui semblent les plus plébiscités, de par leur potentiel incitatif principalement. Le ratio entre prix de l'électricité en période de pointe et hors pointe doit alors être relativement conséquent (entre 10 et 20 pour le contrat Eco Pointe que nous avons proposé), jugé être une balance optimale entre effet motivationnel et prise de risque pour le consommateur. Les offres de *peak time rebate* équivalentes ne convainquent que lorsqu'elles ne proposent que des avantages : un bonus à cumuler mais pas de majoration du prix de l'abonnement. Ceci peut constituer un frein à la création de ce type d'offres : il est difficile d'imaginer qu'un fournisseur pourra proposer des taux de bonus importants aux clients sans contrepartie à l'abonnement. Or, nous l'avons vu, une économie minimale de 50 à 200€ selon les niveaux de consommation est jugée nécessaire pour contrebalancer l'effort de vigilance et de sobriété électrique requis par ces contrats.

La variable principale du modèle des contrats d'effacement est la prise de risque associée. Nous avons considéré la prise de risque supportée par le client, et montré que le risque est mieux

supporté lorsque les pénalités sont fonction de la consommation, et non une somme fixe prélevée au départ et (largement) remboursable en cas d'efforts de réduction de consommation, ce qui rejoint les théories de la littérature d'économie expérimentale. Cette aversion au risque est davantage marquée chez les clients de type « Betty », avec enfants au foyer et contraintes associées. Nous retrouvons le même clivage lorsqu'on s'intéresse au délai de préavis nécessaire pour parvenir à adapter la consommation du foyer à la demande d'effacement : alors que 24H semble être le délai minimum nécessaire, un préavis de 48H ou plus avant le début des heures de pointe est souvent requis pour les familles.

D'un point de vue plus global, les contrats d'effacement attirent de par les économies d'énergie et d'argent qu'ils proposent de réaliser, et parviennent à convaincre sur ce terrain, mais les contraintes et l'effort d'engagement au quotidien qu'ils impliquent continuent de rebuter les clients, qui les jugent parfois stressants. C'est encore une fois d'autant plus vrai lorsqu'on s'intéresse aux familles dont les enfants engendrent de nouvelles nécessités et des usages électriques non substituables et plus difficilement reportables.

1.3 Généralisation des résultats, apports et limites.

Nous obtenons donc un certain nombre de résultats autour de l'acceptabilité des contrats d'effacement, répondant à des questions peu, voire pas du tout étudiées à notre connaissance, par les pilotes de terrain. Cette expérimentation constitue donc une première pour l'évaluation de l'acceptabilité des contrats, et permet d'imaginer un avenir éventuel pour la méthodologie, qui, couplée aux pilotes de terrain, pourrait constituer un outil performant d'aide à la création de futures offres commerciales, par le type d'éléments de réponses qu'elle apporte.

1.3.1 Portée de l'expérimentation réalisée pour l'entreprise fournisseur d'électricité.

Comme pour toute méthodologie expérimentale, la question de la validité externe des résultats est posée : que peut – on conclure des résultats d'une telle expérimentation ? Peut-on imaginer anticiper les comportements des clients grâce à de telles études ? Le questionnement est en fait présent également pour tout type de travaux de recherche, des pilotes de terrain jusqu'aux enquêtes déclaratives, avec différents niveaux de réponse.

Il n'est pas question évidemment de généraliser hâtivement les conclusions de notre expérimentation et d'affirmer que tel contrat, précisément, sera préféré à tel autre. Mais le laboratoire nous a permis de mettre en lumière des variables qu'il faudrait, dans l'idéal, prendre en compte dans l'élaboration des offres de demain, telle l'asymétrie de la perception des gains et pertes incertains. Ce n'est donc, pour le moment, pas sur le plan quantitatif qu'il faut considérer les

conclusions de l'expérimentation, mais sur le plan qualitatif que sont réalisées les plus grandes avancées.

1.3.2 Quel avenir pour la méthodologie ?

L'économie expérimentale ne constitue pas un substitut aux pilotes de terrain menés par les fournisseurs d'électricité pour évaluer les programmes de réduction de consommation (en termes de baisse de consommation, d'usages reportés ou annulés, en termes de persistance des résultats sur la durée d'une semaine, d'une saison, de plusieurs années...). Ces expérimentations de terrain (ou démonstrateurs), sur des périodes idéalement longues, apportent des réponses à des questionnements essentiels sur l'efficacité d'un programme de *demand response*, que l'économie expérimentale ne peut éclairer de la même façon. Le design de contrats de commercialisation de ce produit différent des autres pourra peut-être, à l'avenir, bénéficier des résultats d'expérimentations en laboratoire, au même titre que beaucoup d'autres produits, avec pour impératif une intégration à la fois de ses caractéristiques propres mais également des principes fondamentaux et des subtilités de l'économie expérimentale, afin de produire des résultats pertinents et exploitables du point de vue industriel.

Cependant, un outil de *demand response* n'a d'intérêt pour un fournisseur d'électricité que s'il est à la fois efficace, en termes d'objectifs de réduction, et acceptable pour la clientèle (à minima pour le segment de clientèle visé par le programme en question). En effet, un programme extrêmement efficace et fiable, s'il est jugé trop contraignant, trop risqué, peu attractif par rapport à l'offre électrique actuelle, s'il est rejeté par la quasi-totalité de la clientèle (visée), n'offre que peu d'intérêt. Il convient donc d'explorer non seulement l'efficacité des offres, mais aussi leur acceptabilité, de court terme et de long terme²⁰⁷. C'est à ce niveau là que l'expérimental pourra, dans un premier temps, aisément trouver sa place.

Dans un second temps, nous imaginons qu'il sera également possible d'explorer plus largement le champ des préférences des consommateurs, en matière de reports d'appareils électriques par exemple, mais également de tenter de caractériser leurs croyances. En effet, si les clients sont amenés à modifier par eux-mêmes leurs comportements de consommation sous l'influence des outils de la *demand response*, leur croyances liées à ces consommations seront probablement prises pour référence de leurs actes intentionnels. Dans le cas où leurs croyances seraient erronées, ne risque-t-on pas d'aboutir à des comportements allant à contresens de la logique de réduction de consommation ? Doit-on chercher à infléchir ces croyances ? Quelles serait la meilleure manière de les réformer ? L'exploration des croyances et l'impact des apports d'information sur les comportements qui découlent de ces dernières est un domaine abouti de l'économie expérimentale : ces questions pourraient trouver des réponses en laboratoire.

Enfin, nous pensons qu'il pourrait être possible de creuser la piste d'un protocole expérimental décontextualisant la consommation d'électricité au sein des foyers. Si on parvient à

²⁰⁷ On définit l'acceptabilité de court terme comme la propension d'un programme de *demand response* à être adopté par la clientèle (comportement ex-ante, face à la description du programme), alors que l'acceptabilité de long terme est la propension de ce même programme à conserver la clientèle adhérente après une période d'expérimentation du programme,

modéliser le produit dans la finalité de ses usages au sein des foyers afin de pouvoir reproduire les dynamiques de consommation dans l'univers confiné d'un laboratoire, il deviendra possible d'évaluer, cette fois-ci, l'efficacité des mécanismes de tarification incitative ou encore des outils de feedback. Dans le contexte actuel français qui voit poindre la possibilité d'une tarification progressive, par exemple, il pourra être possible d'évaluer, dans un premier temps, l'acceptabilité de ce type de mécanismes appliqués à l'électricité, et dans un second temps, de manière décontextualisée, d'analyser le potentiel de réduction qu'ils promettent. Si le laboratoire ne permettra probablement pas de fournir des chiffres permettant de prévoir précisément les réductions à attendre en réponse aux tarifications (ou feedbacks), il pourra mettre en lumière les tendances générales, ou encore révéler des anomalies, des phénomènes inattendus, des effets d'aubaine, avant que ces derniers ne viennent potentiellement compromettre le déroulement d'un coûteux pilote grandeur réelle. C'est donc bien en complément et en amont des démonstrateurs de terrain que se situe, aujourd'hui, le champ d'action de l'économie expérimentale.

BIBLIOGRAPHIE.

Références externes (hors EDF R&D)

- Abbink K., Brandts J. & McDaniel T. (2003) Asymmetric demand information in uniform and discriminatory call auctions: an experimental analysis motivated by electricity markets, *Journal of Regulatory Economics*, 23:2, 125–144.
- Abbink K., Brandts J. & McDaniel T. (2003) Asymmetric demand information in uniform and discriminatory call auctions: an experimental analysis motivated by electricity markets, *Journal of Regulatory Economics*. March 2003, Volume 23, Issue 2, pp 125-144
- Adair J. (1984) The Hawthorne effect: A reconsideration of the methodological artifact. *Journal of Applied Psychology*, Vol 69(2), May 1984, 334-345
- Adlair J. (1984) The Hawthorne effect: A reconsideration of the methodological artifact. *Journal of Applied Psychology*, Vol 69(2), May 1984, 334-345.
- AECOM (2011) Energy Demand Research Project: final analysis, juin 2011 *AECOM pour l’Ofgem*.
- Albadi M. & El-Saadany E. (2007) Demand Response in Electricity Markets: An Overview, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1-5.
- Albadi M. & El-Saadany E.F. (2007) Demand Response in Electricity Markets: An Overview, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1-5.
- Aviv Y. & Pazgal A. (2003) Optimal pricing of seasonal products in the presence of forward-looking consumers. *Manufacturing & Service Operations Management (MSOM)*, archive Volume 10 Issue 3, Summer 2008 Pages 339-359
- Backerman S., Rassenti S. & Smith V., (2000) Efficiency and income shares in high demand energy networks: who receives the congestion rents when a line is constrained? *Pacific Economic Review*, 5:3, 331–347.
- Baker W. & White V. (2008) Towards sustainableEnergy tariffs, Juillet 2008, *rapport pour le National Consumer Council (UK)*, par le Centre for Sustainable Energy.
- Barbose G., Goldman A. (2008) A survey of utility experience with real time pricing; implications for policymakers

- C. & Neenan B. (2005) seeking price responsive demand. *Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy*, 2005, paper 7.089
- Barbose G., Goldman C. & Neenan B. (2004) A survey of Utility Experiment with Real Time Pricing. *Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Paper : LBNL-54238*, Décembre 2004
- Bartiaux F. (2009) Changing energy-related practices and behaviours in the residential sector: Sociological approaches. *Working paper prepared for the EFONET project (Energy Foresight Network, projet du Seventh Framework Programme for Research (FP7) pour la Commission Européenne)*
- Becker G., DeGroot M. & Marschak, J. (1964) Measuring utility by a single-response sequential method. *Behavioral Science*. Volume 9, Issue 3, pages 226–232, 1964.
- Becker L., Seligman C. & Darley J. (1979) Psychological Strategies to Reduce Energy Consumption: Project Summary Report. *Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University: Report PU/CEES 90*.
- Bergstorm T. & MacKie-Mason J. (1991) Some simple analytics of peak-load pricing. *RAND Journal of Economics*. Vol. 22. Issue 2. Summer 1991. pp. 241-49.
- Bitran G. & Caldentey R. (2003) An overview of pricing models and revenue management. *Manu-facturing & Service Oper. Mgmt. (MSOM)* Summer 2003 vol. 5 no. 3 p203-229.
- Bitran G. & Mondschein S. (1997) Periodic pricing of seasonal products in retailing. *Management Science*. January 1997 vol. 43 no. 1 p64-79
- Boiteux M. (1949) La tarification des demandes en point: application de la théorie de la vente au coût marginal. *Revue General de l'Electricité*, Vol. 58 (1949), pp. 321-340 (translated as "Peak Load Pricing." *Journal of Business*. Vol. 33)
- Boiteux M. (1956) Sur la gestion des Monopoles Publics astreints a l'équilibre budgétaire. *Econometrica* Vol. 24, No. 1 (Jan., 1956), pp. 22-40

- Bonduelle A. (2010) Discussion sur les tarifications de pointe : Notes sur les tarifications progressives, Février 2010, pour le Comité de Liaison Energies Renouvelables (CLER) et Le Réseau Action Climat-France (RAC-F)
- Borenstein S. (2002). The Trouble with Electricity Markets: Understanding California's Restructuring Disaster. *Journal of Economic Perspectives*, 2002, vol. 16, issue 1, pages 191-211.
- Borenstein S. (2010) The Redistributive Impact of Non-Linear Electricity Pricing, March 2010, *NBER Working Paper No. 15822*
- Borenstein S. & Holland S. (2005) On the efficiency of competitive electricity markets with time-invariant retail prices. *The RAND Journal of Economics*, 36(3) Autumn 2005, pp. 469-493
- Brandon G. & Lewis A. (1999) Reducing Household Energy Consumption: a Qualitative and Quantitative Field Study, *Journal of Environmental Psychology*, Volume 19, Issue 1, March 1999, Pages 75-85
- Camerer C. & Lovo D. (1999) Overconfidence and Excess Entry: An Experimental Approach. *American Economic Review*, 1999, Vol. 89, No. 1: pp306-318
- Camerer C. & Hogarth R. (1999) The Effects of Financial Incentives in Experiments: A Review and Capital-Labor-Production Framework, *Journal of Risk and Uncertainty*, December 1999, Volume 19, Issue 1-3, pp 7-42
- Capgemini pour EDF (2009) Demand Response and Energy Efficiency Tariffs Benchmark. Final Results. *Utilities Strategy Lab*. Janvier 2009.
- CER (2011) Electricity Smart Metering Customer Behaviour Trials – Findings Report, CER, may 2011, Dublin
- Chardon A., Almèn O. Lewis P. E., Stromback J. & Château B. (2008) Demand Response: a decisive breakthrough for Europe, *CapGemini, en collaboration avec VaasaETT et Enerdata*, 2008.
- Cooper D., Kagel J. Lo W. & Gu Q. (1999) Gaming against managers in incentive systems: experimental results with Chinese students and Chinese managers, *The American Economic Review* Vol. 89, No. 4 (Sep., 1999), pp. 781-804

- Cooper W., Homem-de-Mello T. & Kleywegt A.J. (2006) Models of the spiral-down effect in revenue management. *Operations Research* September/October 2006 vol. 54 no. 5 p968-987
- Dahlman C. (1979) The Problem of Externality, *The Journal of Law and Economics*, vol. 22, n° 1, avril 1979, p. 148.
- Darby S. (2006) The effectiveness of feedback on energy consumption, *Environmental Change Institute, University of Oxford*. Avril 2006
- Darby S. (2010) Making it obvious: designing feedback into energy consumption, *Environmental Change Institute, University of Oxford*
- Davis F. (1986) A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: theory and results. *Thesis (Ph. D.) Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management*, 1986
- DellaVigna S. (2009) Psychology and Economics: Evidence from the field. *Journal of Economics Literature* June 2009, 47:2, p315-372.
- Delvert K., Petiot R. & Denant-Boèmont L. (1999) Éléments d'évaluation des politiques de transport. Une approche par l'économie expérimentale. *Rapport réalisé dans le cadre du programme PREDIT 1996-2000*, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques. Lettre de commande N°98 MT92.
- Denton M., Rassenti S. & Smith V., (2001) Spot market mechanism design and competitiveness issues in electric power, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2001, vol. 44, issue 4, pages 435-453.
- Denton M., Rassenti S., Smith V. & Backerman S. (2001) Market power in a deregulated electrical industry, *Decision Support Systems*, Volume 30, Issue 3, January 2001, Pages 357-381.
- Dobson J. & Griffin J. (1992) Conservation effect of immediate electricity cost feedback on residential consumption behaviour. *Proceedings, American Council for an Energy-Efficient Economy*, 1992, 10.33 – 10.35
- Doyon M., Jullien C. & Labrecque J. (2008) Mesure des propensions individuelles à payer pour les aliments fonctionnels : une approche expérimentale auprès de consommateurs français. *Série Recherche*, SR.2008.02.01

- Doyon M., Jullien C. & Labrecque J. (2011) Mesure des propensions individuelles à payer pour les aliments fonctionnels : Une approche expérimentale auprès de consommateurs français, *CIRANO Working Papers 2011s-59*, CIRANO.
- Eber N. & Willinger M. (2005) L'économie expérimentale, *Coll. Repères, éd. La Découverte*, 2005, ISBN - 2707146021
- Elmaghraby W., Gulcu A. & Keskinocak P. (2004). Optimal markdown mechanisms in the presence of rational customers with multi-unit demands. *Working paper*, ISYE, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Emeter (2009) PowerCentsDC Program Interim Report, November 2009, *eMeter Strategic Consulting pour SMPP*, Inc.
- Faivre J-P. & Schwoerer J. (1975) Une nouvelle approche des choix des consommateurs : le modèle « Trade-Off ». *Revue Française de marketing*, cahier n° 55
- Faruqui A. (2006) 2050: A Pricing Odyssey, *The Electricity Journal*, October 2006 Vol. 19, Issue 8
- Faruqui A. & George S. (2005) Quantifying customer response to dynamic pricing, *The Electricity Journal*, Volume 18, Issue 4, May 2005, Pages 53-63.
- Faruqui A. & Palmer J. (2011) Dynamic pricing and its discontents, *Regulation*, Fall (2011), pp. 16–22
- Faruqui A. & George S. (2005) Quantifying Customer Response to Dynamic Pricing, *The Electricity Journal* Volume 18, Issue 4, May 2005, Pages 53-63.
- Faruqui A., Hledik R. & Tsoukalis J. (2009) The Power of Dynamic Pricing, *The Electricity Journal*, Volume 22, Issue 3, April 2009, Pages 42-56.

- Faruqui A., Hledik R. & Sergici S. (2010) Rethinking prices, *Public Utilities Fortnightly*, Janvier 2010
- Faruqui A. & Sergici S. (2008) The power of experimentation : New evidence on residential demand response, *Working paper*, May 2008
- Faruqui A. & Sergici S. (2009) BGE's Smart Energy pricing Pilot Summer 2008 Impact Evaluation, *The Brattle Group, prepared for Baltimore Gas & Electric Company*.
- Faruqui A. & Sergici S. (2010) Household response to dynamic pricing of electricity – A survey of the experimental evidence, *Energy*, Volume 35, 2010.
- Faruqui A., Sergici S. & A. Sharif A. (2009) Impact of informational feedback on energy consumption – A survey of the experimental evidence. 2009. *Energy*, Volume 35, Issue 4, Pages 1598-1608
- Faruqui A. & Wood L. (2008) Quantifying the Benefits Of Dynamic Pricing In the Mass Market, *The Brattle Group, prepared for Edison Electric Institute*.
- Feng, Y. & B. Xiao (2000a) Optimal policies of yield management with multiple predetermined prices. *Operations Research* Vol. 48, No. 2 (Mar. - Apr., 2000), pp. 332-343.
- Feng, Y. & B. Xiao (2000b) A continuous-time yield management model with multiple prices and reversible price changes. *Management Science* May 2000 vol. 46 no. 5 p644-657.
- Feng, Y. & Gallego G. (1995) Optimal starting times for end-of-season sales and optimal stopping times for promotional fares. *Mgmt. Sci.* 41(8): 1371-1391.-41.
- Feng, Y. & Gallego G. (2000) Perishable asset revenue management with Markovian time dependent demand intensities. *Mgmt. Sci.* 46(7): 941-956.
- Ferguson R., Wilkinson W. & Hill R. (2000) Electricity use and economic development, *Energy Policy*, Volume 28, Issue 13, November 2000, Pages 923-934
- Francfort I., Brunel V. Comprendre et faire changer les comportements en matière de consommation d'énergie. Etat de l'art des approches théoriques du comportement en sciences

- & Briffault X. (2009a) humaines et sociales (volet 1). *Publication EDF R&D et CNRS-INSERM-Paris 5*, H-E71-2008-03788-FR.
- Francfort I., Brunel V. & Briffault X. (2009b) Comprendre et faire changer les comportements en matière de consommation d'énergie. Etat de l'art et enseignements des études empiriques (volet 2). *Publication EDF R&D et CNRS-INSERM-Paris 5*, H-E71-2008-03789-FR.
- Fremaux V. & Lederer P. (1986) La planification du secteur électrique - l'expérience d'Electricité De France, *EDF, Etudes Economiques Générales*.
- Gallego, G. & van Ryzin G. (1994) Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons. *Mgmt. Sci.* 40(8): 999-1020.
- Gallego G. & van Ryzin G. (1997) A multiproduct dynamic pricing problem and its applications to network yield management. *Oper. Res.* 45(1): 24
- Garay J. & Lindholm, P. (1995) Statistics on the energy bill. Better control for the customer. In Proceedings of the seventh *International Energy Program Evaluation Conference, Chicago*. Energy program evaluation: Uses, methods, and results, Aug 22–25, 1995, Chicago (pp. 499–504).
- Haakana M., Sillanpaa L. & Talsi M. (1997) The effect of feedback and focused advice on household energy consumption. Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy, 1997.
- Herbert S. (1955) A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 69, No. 1. (Feb., 1955), pp. 99-118.
- Herter K. & Wayland S. (2010) Residential response to critical-peak pricing of electricity: California evidence , *Energy*, Volume 35, Issue 4, April 2010, Pages 1561-1567
- Hledik R. (2008) Integrating Dynamic Pricing with Inclining Block Rates, *Slides Brattle Group*, septembre 2008.

- Holland S. & Mansur E. (2006) Is Real-Time Pricing Green? The Environmental Impacts of Electricity Demand Variance, *University of California Energy Institute, CSEM WP 136R (Working paper)*.
- Holt C. & Laury S. (2002) Risk Aversion and Incentive Effects. *The American Economic Review* Vol. 92, No. 5 (Dec., 2002), pp. 1644-1655.
- J. Torriti *et al.* (2009) Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation, *Energy*, Volume 35, Issue 4, April 2010, Pages 1575-1583.
- Joskow P. (2006) Competitive Electricity Markets And Investment In New Generating Capacity, (May 2006). AEI-Brookings Joint Center Working Paper No. 06-14.
- Joskow P. (2012) Creating a Smarter U.S. Electricity Grid. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 26, No. 1, pp. 29-48, 2012
- Jullien C., Pignon V., Robin S. & Staropoli C. (2009) An experimental study of investment incentives mechanisms. *Working paper présenté entre autres à la 3ème conférence annuelle de l'Association Française d'Economie Expérimentale - ASFEE, Montpellier, 31 mai - 2 juin 2012, Montpellier : France (2012)*
- Jullien C., Pignon V., Robin S. & Staropoli C. (2012) Coordinating cross-border congestion management through auctions: An experimental approach to European solutions, *Energy Economics*, Volume 34, Issue 1, January 2012, Pages 1-13.
- Jullien C., Rassenti S. & Winn A. (2008) Demande active sur les marchés électriques : une analyse expérimentale de l'efficacité du mécanisme de retrait des capacités demandées. *Economie et Prévision*, n° 182, pp. 61-76.
- Kahneman D. & Tversky A. (1971) Belief in the law of small numbers. Hebrew University of Jerusalem. *Psychological Bulletin*, 1971, Vol. 76, No. 2. 105-110.
- King C. (2007) Residential Electricity Pilot Pricing. Reducing Peak Demand with a bonus : lowering greenhouse gases. *Emeter Strategic Consulting, slides de présentation du 18 juillet 2007*.

- King C. (2010) Powercents DC Program: Final Report. September 2010. Prepared by Emeter Strategic Consulting for the *Smart meter Pilot Project, Inc.*
- Klößner C. & Blöbaum A. (2010) A comprehensive action determination model: Toward a broader understanding of ecological behaviour using the example of travel mode choice. *Journal of Environmental Psychology* 30 (2010) p574-586.
- Laure Saulais L., Doyon M., Ruffieux B. & Kaiser H. (2012) Consumer knowledge about dietary fats: another French paradox?, *British Food Journal*, Vol. 114 Iss: 1, pp.108 – 120
- Laurent Muller L. & Ruffieux B. (2012) Modification des achats en réponse à l'apposition de différents logos d'évaluation nutritionnelle sur la face avant des emballages, *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, Volume 47, Issue 4, September 2012, Pages 171-182.
- Laville S. & Lesgards V. (2009) La gestion active de la demande d'électricité – vers la 5ème énergie, *Revue de l'énergie*, N°591, 303-317
- Leighty W. & Meier A. (2011) Accelerated electricity conservation in Juneau, Alaska: A study of household activities that reduced demand 25%, *Energy Policy*, Volume 39, Issue 5, May 2011, Pages 2299-2309.
- Levitt S. & List J. (2007) Viewpoint: On the generalizability of lab behaviour to the field, *Canadian Journal of Economics*, Canadian Economics Association, vol. 40(2), pages 347-370, May.
- List J. & Levitt S. (2011) Was There Really a Hawthorne Effect at the Hawthorne Plant? An Analysis of the Original Illumination Experiments, *American Economic Journal: Applied Economics*, vol. 3, janvier 2011.
- Loewenstein G. & Lerner J. (2009) The Role of Affect in Decision Making, Carnegie Mellon University, *Handbook of Affective Science*, 2009
- Lusk J. (2003) Effects of cheap talk on consumer willingness-to-pay for golden rice. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 85, No. 4 (Nov., 2003), pp. 840-856
- Maglaras C. & Meissner J. (2006) Dynamic pricing strategies for multi-product revenue management problems. *Manufacturing and Service Operations Management (MSOM)* Vol 8, No 2 (Spring 2006), pp 136–148.

- Mallein P. (2002) Ces objets qui communiquent. Paris : Lavoisier. Numéro spécial de *Les cahiers du numérique*, vol. 3, n° 4.
- Mc Afee R. & te Velde V. (2005) Dynamic pricing in the airline industry, *California Institute of Technology Working paper*.
- McDonough C. & Kraus R. (2007) Does Dynamic Pricing Make Sense for Mass Market Customers? *The Electricity Journal*, 2007, vol 20, issue 7, p. 26-37.
- Montmarquette C et al. (2012) L'influence de l'origine sociale sur le niveau d'aspiration et la réussite scolaire, *Rapport de projet, CIRANO*, Mai 2012
- Montmarquette C. & al. (2010) Human Capital Investment by the Poor: Informing Policy with Laboratory and Field Experiments , *Série Scientifique, CIRANO*, Aout 2010
- Muller L. & Ruffieux B. (2012) Modification des achats en réponse à l'apposition de différents logos d'évaluation nutritionnelle sur la face avant des emballages, *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, Volume 47, Issue 4, September 2012, Pages 171-182
- Neenan B. (2009) Manager Residential Electricity Use Feedback: A Research Synthesis and Economic Framework Final Report, EPRI February 2009
- Nielsen L. (1993) How to get the birds in the bush into your hand: results from a Danish research project on electricity savings. 1993, *Energy Policy*, vol. 21, issue 11, pages 1133-1144
- Norwood F. & Lusk J. (2011). Compassion, by the pound: the economics of farm animal welfare. *OUP Oxford*. ISBN : 978-0-19-955116-3.
- NYISO (2008) Emergency Demand Response Program Manual, New York Independent System Operator, July 2008.
- O'Donoghue T. & Rabin M. (2006). Incentives and Self-Control, *Levine's Bibliography*. Los Angeles : UCLA Department.

- O'Donoghue T. & Rabin M. (1999). Doing It Now or Later. *The American Economic Review* Vol. 89, No. 1 (Mar., 1999), pp. 103-124
- Olson M. Rassenti S, Smith V. & Rigdon M. (2001) Market design and motivated human trading behavior in electricity markets, *Institute of Industrial Engineering Transactions. System Sciences*, 1999. HICSS-32. Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference
- Owen G. & Ward J. (2007) Smart meters in Great Britain: the next steps?, Paper 6 : Case studies. Juillet 2007, *publication SustainabilityFirst*.
- Owen G. & Ward J. (2010) Smart Tariffs and Household Demand Response for Great Britain, March 2010, *Publication SustainabilityFirst*.
- Panzar, J.C. (1976) A neoclassical approach to peak-load pricing. *Bell Journal of Economics*. Vol. 7, No. 2 (Autumn, 1976), pp. 521-530.
- Plott C.R. (1983) Externalities and Corrective Policies in Experimental Markets. *The Economic Journal*, Vol. 93, No. 369 (Mar., 1983), pp. 106-127
- Poortinga *et al.* (2003), Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology* 24 (2003) p49-64.
- Rassenti S. & Smith V. (1986) Electric utility deregulation, *Pricing Electric, Gas and Telecommunication Services*, The Institute for the Study of Regulation.
- Rassenti S., Smith V. & Wilson B. (2002) Using experiment to inform the privatization/deregulation movement in electricity, *Cato Journal*, 2001, Volume 21 Issue 3, p515-544.
- Rassenti S., Smith V. & Wilson B. (2003) From the Cover: Controlling market power and price spikes in electricity networks: Demand-side bidding. *PNAS* 2003 100 (5) pp.2998-3003; published ahead of print February 24, 2003.

- Read D. & Van Leeuwen B. (1998) Predicting Hunger: The Effects of Appetite and Delay on Choice, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Volume 76, Issue 2, November 1998, Pages 189-205,
- Reiss P. & White M. (2001) Household electricity demand, *National Bureau Of Economic Research*, revisited Working Paper 8687; Decembre 2001.
- Robin S. et al. (2008) Mesurer les préférences du consommateur pour orienter les décisions des pouvoirs publics : l'apport de la méthode expérimentale, *Economie & prévision*, 2008/1 n° 182, p. 113-127.
- Rubinstein A. (2006) Dilemmas of an economic theorist. *Econometrica*, Vol. 74, No. 4 (July, 2006), p865–883
- Ruffieux B. & Muller L. (2011) Etude sur l'influence de divers systèmes d'étiquetage nutritionnel sur la composition du panier d'achat alimentaire. *Ministère de la sante & association développement recherche*. Marche ma1000852, Rapport final, 3 janvier 2011
- Saulais L., Doyon M., Ruffieux B. & Kaiser H. (2012) Consumer knowledge about dietary fats: another French paradox?, *British Food Journal*, Vol. 114 Issue 1, pp.108 – 120
- Sidler O. (1997) Analyse et valorisation des campagnes de mesures sur les usages électriques dans le secteur résidentiel, Marché n° 95.04.166, *Rapport final, Enertech*, Mai 1997
- Sidler O. (2009) Connaissance et maîtrise des usages spécifiques de l'électricité dans le secteur résidentiel. *Note technique n°090401, ADEME*, Avril 2009.
- Simon H.A. (1955) A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 69, No. 1. (Feb., 1955), pp. 99-118.
- Smith V. (1962) An Experimental Study of Competitive Market Behavior, *Journal of Political Economy*, Vol. 70, No. 2 (Apr., 1962), pp. 111-137

- Spark Consulting (2011) La sensibilité de la demande d'électricité aux températures. Une autre exception française. *Livre Blanc Spark Consulting*, octobre 2011.
- Steiner, P. (1957) Peak loads and efficient pricing. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 71, No 4 (Nov. 1957), pp. 585-610.
- Stromback J. (2010) Best Practice For Demand Response, and Feedback- Toward Rollout, *VaasaETT*, Slides mars 2010, Workshop Demand Response Europe, Ispra.
- Talluri K.T. & van Ryzin G.J (2004) Revenue management under a general discrete choice model of consumer behavior. *Management Science*, January 2004 vol. 50 no. 1 p15-33
- Thaler R. & Shefrin H. (1981) An Economic Theory of Self-Control, *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 89(2), pages 392-406, April 1981.
- Toman T. & Jemelkova B. (2003) Energy and economic development: An assessment of the state of knowledge. *The Energy Journal* Vol. 24, No. 4, Special Issue in Honor of Hans Landsberg and Sam Schurr (2003), pp. 93-112
- Tricot A., Plégat-Soutjis F., Camps J.-F., Amiel A., Lutz G. & Morcillo A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). Paris : ATIEF / INRP.
- Triki C. & Antonio V. (2009) Dynamic pricing of electricity in retail markets, 2009, *4OR*, vol. 7, n°1, pp. 21-36
- Tversky A. & Kanheman D. (1981) The framing of decisions and the psychology of choice, *Science*. 30 January 1981: Vol. 211 no. 4481 pp. 453-458
- Tversky A. & Kanheman D. (1986) Rational choice and the framing of decisions, *The Journal of Business* Vol. 59, No. 4, Part 2: The Behavioral Foundations of Economic Theory (Oct., 1986), pp. S251-S278.

- Van Dam S., Bakker C. & Van Hal J. (2010) Home energy monitors: impact over the medium term, *Building Research & Information*, (2010) 38(5), p458–469.
- van Ryzin, G. & Q. Liu Q. (2004) On the choice-based linear programming model for network revenue management. *MSOM*, Spring 2008 vol. 10 no. 2 p288-310
- Violette, D. *et al* (2009) Power Smart Pricing 2009 Annual Report, *Summit Blue Consulting & Navigant Consulting*, for Ameren Illinois Utilities.
- Weare C. (2003) The California Electricity Crisis: Causes and Policy Options. *Public Policy Institute of California*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. ISBN: 1-58213-064-7
- Wenders, J.T. (1976) Peak load pricing in the electric utility industry. *The Bell Journal of Economics* Vol. 7, No. 1 (Spring, 1976), pp. 232-241
- Wilhite H. & Ling R. (1995) Measured energy savings from a more informative energy bill. *Energy and buildings* Volume 22, Issue 2, 1995, Pages 145–155.
- Williamson O. (1966) Peak-load pricing and optimal capacity under indivisibility constraints? *The American Economic Review* Vol. 56, No. 4, Part 1 (Sep., 1966), pp. 810-827.
- Williamson O. (1974) Peak-load pricing: some further remarks? *he Bell Journal of Economics and Management Science* Vol. 5, No. 1 (Spring, 1974), pp. 223-228
- Wolak F. (2006) Residential Customer Response to Real-Time Pricing: The Anaheim Critical-Peak Pricing Experiment. *Department of Economics Stanford University Stanford working paper*. 24 may 2006.
- Zhang D. & Cooper W.L. (2005a) . Revenue management for parallel fights with customer-choice behavior. *Operations Research* Vol. 53, No. 3, May–June 2005, pp. 415–431

- Zhang D. & Cooper W.L. (2005b) Pricing substitutable fights in airline revenue management. *Working paper*.
- Zhao, W. & Zheng Y-S. (2000) Optimal dynamic pricing for perishable assets with nonhomogeneous demand. *Management Science* March 2000 vol. 46 no. 3 p375-388.
- Zhou Y.P., M. Fan M. & M. Cho M. (2005) On the threshold purchasing behavior of customers facing dynamically priced perishable products. *Working paper*. University of Washington Business School.
- Zimmerman R., Bernard J., Thomas R. & Schulze W. (1999) Energy auctions and market power: an experimental examination, *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 1999.

Publications internes EDF R&D

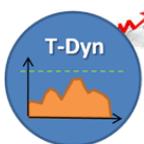
- Source EDF R&D (2009a) Comportement du consommateur en matière de consommation d'énergie et d'investissements énergétiques, Florence Brzakowski et Roxana Saplaçan-Pop, Novembre 2009.
- Source EDF R&D (2007) Impact des signaux tarifaires sur la courbe de charge, Synthèse bibliographique des études réalisées à la R&D, Sophie Berçu *et al.*, Dept ICAME, Publication interne EDF R&D, mars 2007.
- Source EDF R&D (2009b) L'expérimentation française en matière d'effacement, L-J. Urvoas, DMS EDF. Slides de juin 2009, conférence EDF R&D « La Gestion Active de la Demande » dans le cadre du Printemps de la Recherche 2009.

- Source EDF R&D (2006) Synthèse des documents Tempo, EJP, et délestage direct. Que nous apprennent ces expériences pour développer de nouvelles offres d'effacement et de pilotage de la charge ? , Isabelle Moussaoui, note interne EDF R&D, novembre 2006.
- Source EDF R&D (2011) Coûts et bénéfices des effacements de consommation d'électricité : état de l'art international, modélisation théorique et simulations numériques. Saclapan-Pop R., Patrigeon C. (2011), Publication EDF R&D et Ecole des Ponts ParisTech-Paris 5
- Source EDF R&D (2010) PRISM : Un modèle de calcul des effacements résidentiels. Rapport de stage de Frédéric Nicolas, sous la direction de Valérie Lesgards. 2010.

ANNEXES.

1.1 Contrats d'effacements non proposés aux sujets.

1.1.1 Tarification dynamique de la pointe.



Tarification dynamique de la pointe (TD Pointe)

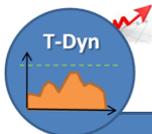
Description du contrat :

TD Pointe est un contrat tarifaire de type TOU + « Real Time Pricing » (RTP) sur la tranche horaire 18-20h et à fixation des prix sur cette tranche à J-1 (*day-ahead*). Les prix sont indexés sur les prix de l'électricité sur le marché spot *day-ahead*, bornés pour limiter les risques pour le client.

- Ce contrat vise à répondre à la problématique de l'écart entre prix de marchés (présentant une certaine volatilité) et prix de vente au détail chez les particuliers, qui, étant fixés (même par tranche), ne reflètent pas la réalité des coûts de production ou d'achat du produit, en particulier lors des périodes de pointe.
- Les prix de la tranche horaire 18-20h sont fixés la veille pour le lendemain, tout comme le sont les prix des produits Spot sur le marché de gros de l'électricité en France.
- Le risque est reporté en partie du fournisseur vers le client lors de la période de pointe.
- Les tarifs hors 18-20h sont les tarifs HC/HP tout comme pour ECO 18-20.

- Ce contrat est destiné à tous types de clients mais sera plus intéressant pour ceux dotés de chauffages électriques, qui seront en mesure de s'équiper d'un thermostat intelligent capable de régler le fonctionnement du chauffage électrique en fonction du prix annoncé.
- Ce contrat nécessite un compteur à relevé de consommation fréquent (au moins horaire).

1



TD Pointe

Caractéristiques liées à la pointe de consommation que l'on souhaite diminuer

Durée d'effacement souhaitée:
2h

Amplitude d'effacement :
/

Moment de l'effacement :
De 18 à 20h.

Fréquence et incertitude de la requête d'effacement :
Selon la volatilité les prix de l'électricité sur le marché de gros (risque ++) lors des périodes de pointe.

Caractéristiques liées aux outils à mettre en œuvre pour déclencher la réduction de consommation

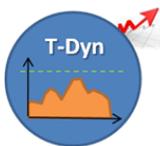
Information:
Préavis la veille (14h) via divers médias (SMS, internet, application *smartphone*)
Tarification précise de 18-19 et 19-20h pour la journée du lendemain.

Incitation financière:
Tarification par tranche horaire sur la période 18-20h définie la veille selon les prix de vente de l'électricité sur le marché de gros (prix spot *day-ahead* du marché de gros)*.

Moyens techniques:
Thermostat intelligent (régulation selon les prix).
Compteur intelligent.

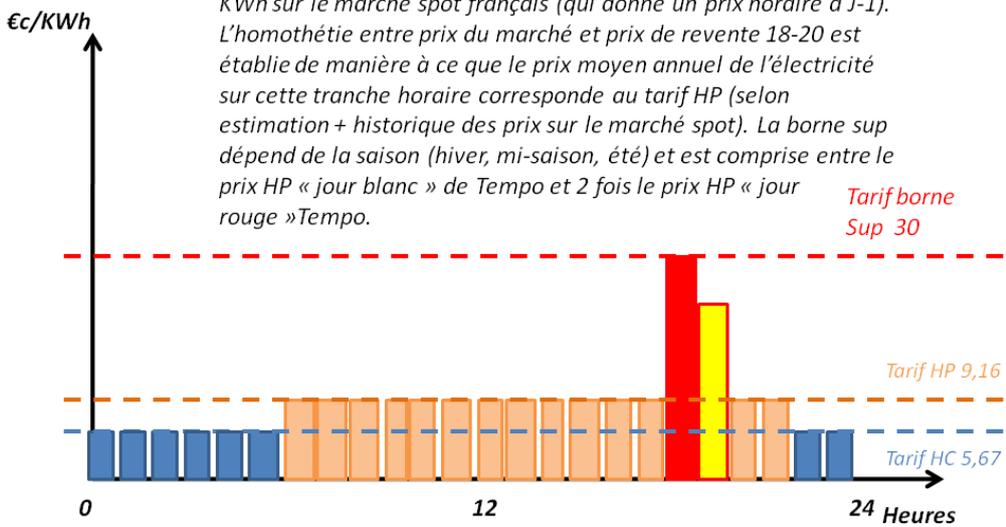
Customisation :
Média de préavis d'effacement

* <http://www.cre.fr/marches/marche-de-gros/marche-de-l-electricite>



TD Pointe

Les prix quotidiens de 18-19 et 19-20h sont indexés sur les prix du KWh sur le marché spot français (qui donne un prix horaire à J-1). L'homothétie entre prix du marché et prix de revente 18-20 est établie de manière à ce que le prix moyen annuel de l'électricité sur cette tranche horaire corresponde au tarif HP (selon estimation + historique des prix sur le marché spot). La borne sup dépend de la saison (hiver, mi-saison, été) et est comprise entre le prix HP « jour blanc » de Tempo et 2 fois le prix HP « jour rouge » Tempo.



Tarifs du 15 décembre 2010

3

1.1.2 Tarification de Puissances Variables.



Tarification de Puissances Variables (TPV)

Description du contrat :

Le contrat TPV est une offre de tarification TOU + CPP dont le mécanisme diffère des offres de CPP classiques. Pour chaque les périodes de pointe (de 18 à 20h 20 jours par an en période hivernale), on définit une puissance maximum à ne pas dépasser. Quand le client dépasse ce seuil (non physique), le prix du KWh est démultiplié. Le prix de l'abonnement annuel est calculé en fonction de la sobriété des puissances maximums définies en début de contrat.

- Ce contrat vise à répondre à la problématique de la production de pointe à l'échelle nationale en incitant les clients à réduire leur consommation instantanée d'électricité sur une plage horaire réduite et occasionnelle ainsi que de manière moins intense sur une tranche horaire quotidienne et saisonnière.
- Chaque jour est découpé en 2 périodes (HC/HP). 20 jours par an (en période hivernale de novembre à mars inclus et hors WE et jours fériés), sont définis comme jours de pointe durant lesquels est enclenché le mécanisme de limitation de puissance, de 18 à 20h.
- Le client définit la puissance maximum pour ses heures de pointe, son abonnement, et donc sa remise annuels, sont calculés en fonction de la puissance réduite* et des différents niveaux de puissance maximum (hors pointe et pointe). Le maximum de puissance en pointe est forcément strictement inférieur au maximum de puissance souscrite hors pointe.
- Un afficheur en temps réel indique au client son niveau de consommation par rapport au seuil défini à tout instant.

* Voir slides suivantes pour le calcul de puissance réduite

4



T Puissances Variables (TPV)

Caractéristiques liées à la pointe de consommation que l'on souhaite diminuer

Durée d'effacement souhaitée:
2H de pointe l'hiver + lissage grâce aux HC/HP

Amplitude d'effacement:
Déterminée par les puissances définies en début de contrat

Moment de l'effacement:
HP de 6h 22h sauf WE, 20 jours de pointe de 18h à 20h en semaine de novembre à mars inclus.

Fréquence et incertitude de la requête d'effacement:
20 jours sur la période hivernale (1 nov-31 mars) seulement en semaine et hors jours fériés.

Caractéristiques liées aux outils à mettre en œuvre pour déclencher la réduction de consommation

Information:
Feedback sur le niveau actuel de consommation relativement au seuil

Incitation financière:
Tarification HP/HC + tarif de dépassement de pointe (l'hiver).
Tarification dissuasive lors des dépassements de puissances maximum.
Abonnement en fonction des puissances maximum et primes annuelle en fonction de la différence entre puissance souscrite et puissance maximum en pointe.

Moyens techniques:
Thermostat, (facultatif) in-home display

Customisation:
Seuils de puissance de pointe et hors pointe.

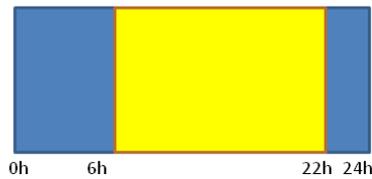
5

* <http://www.cre.fr/marches/marche-de-gros/marche-de-l-electricite>

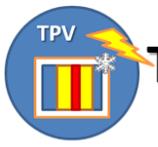
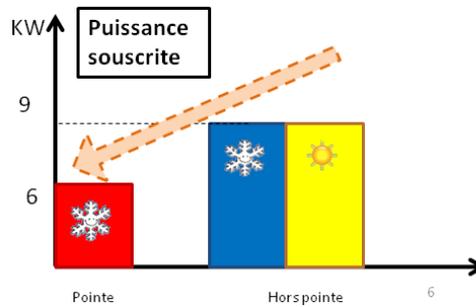
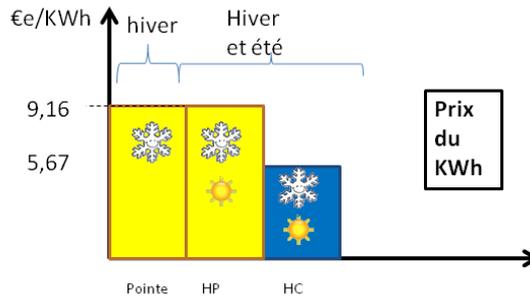
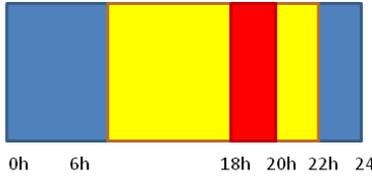


T Puissances Variables (TPV)

Jour hors pointe

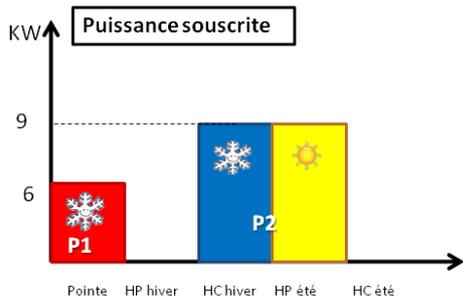


Jour hiver de pointe



T Puissances Variables (TPV)

Calcul de la puissance réduite (pour tarif abonnement) :



Puissance réduite :
 $P = P1 + (P2 - P1) * 0,95$
 L'abonnement est calculé en fonction de **P** sur la base des tarifs pratiqués pour le contrat EDF HC/HP.

Prix du KWh consommé alors que la puissance appelée dépasse la puissance souscrite pour la période en cours :

1KWh consommé au-delà de la limite = 1€

1.1.3 Double tarification.



Double tarification

Description du contrat :

Le contrat Double tarification fournit aux clients 2 entrées d'électricité. L'une est à un tarif classique HC/HP et l'autre dispose d'un tarif de CPP. Le client détermine au moyen de prises spécifiques intelligentes quels appareils il souhaite brancher sur la ligne à prix variable (chauffe-eau, chauffage, lave linge). Ces appareils sont verrouillés et ne peuvent être changés à tout moment (le couplage d'un appareil au tarif variable est facturé).

- Ce contrat vise à répondre à la problématique de la production de pointe en incitant les clients à réduire leur consommation d'électricité sur une plage horaire réduite et occasionnelle pour un certain nombre des appareils de leur domicile (appareils dont l'utilisation peut être reportée facilement : chauffage, chauffe eau, lave linge...)
- Le choix des appareils à brancher sur l'une ou l'autre des sorties du compteur est laissé au client
- Le tarif de la ligne classique est plus élevé que le tarif HC/HP de la ligne variable. Le signal de pointe peut être appelé pour une durée de 2H quotidiennes maximum, 20 fois par an, avec un préavis la veille.
- Il est possible et même conseillé d'utiliser un dispositif de thermostat intelligent compatible avec le signal de pointe.
- Le verrouillage des appareils est réalisé par intervention d'un agent EDF, facturé 40 € et remboursés si le client ne modifie pas les attributions de chaque ligne dès la 2ème année de contrat (sous forme d'un avoir sur l'abonnement).

8



Double tarification

Caractéristiques liées à la pointe de consommation que l'on souhaite diminuer

Durée d'effacement souhaitée:
2H

Amplitude d'effacement:
Indéterminée ou possibilité de coupure totale (DLC) sur la ligne variable.

Moment de l'effacement:
Entre 18h et 20h, en semaine et hors jours fériés.

Fréquence et incertitude de la requête d'effacement:
20 jours sur la période hivernale (1 nov-31 mars)

Caractéristiques liées aux outils à mettre en œuvre pour déclencher la réduction de consommation

Information:
Préavis la veille (17h) via divers médias (SMS, internet, *smartphone*). Signal lumineux sur un IHD pour signaler la pointe.

Incitation financière:
Tarification HC/HP pour la ligne classique. Tarification de pointe pour la ligne variable, le tarif HC/HP étant inférieur au tarif HC/HP de la ligne classique. Verrouillage ou modification des branchements facturés 40€.

Moyens techniques:
Compteur intelligent à double sortie. Prises intelligentes compatibles CPL Thermostat intelligent.

Customisation:
Choix des appareils de chaque ligne (flat ou variable). Média de préavis d'effacement

9

1.2 Élasticités et demande électrique.

Nous nous intéresserons dans cette note aux applications des concepts d'élasticité-prix et d'élasticité de substitution dans le cadre de l'étude de la réaction des consommateurs d'électricité face à de nouvelles incitations tarifaires. Nous nous attacherons tout d'abord à définir l'élasticité-prix puis l'élasticité de substitution (temporelle) dans un cadre plus large. Puis nous nous concentrerons dans les domaines de la réduction de consommation d'électricité et des pics de consommations, pour lesquels le calculs de ces valeurs peuvent se révéler être des indicateurs de la réactivité des consommateurs face aux incitations proposées. Nous précisons qu'il s'agit d'une conceptualisation simplifiée par rapport à la réalité de certains calculs d'élasticité réalisés dans l'analyse de programmes d'expérimentation²⁰⁸.

I. Définition des élasticités.

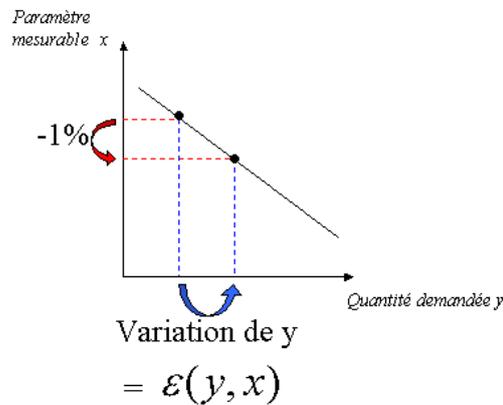
A. Un concept économique.

L'élasticité est un concept économique permettant de quantifier les variations d'une variable (la demande pour un produit spécifié) par rapport aux variations d'une autre (des prix ou encore le revenu du consommateur). On mesure donc à quel point la modification de la première est liée aux modifications de l'autre. La formule générale de calcul de l'élasticité de y par rapport à x est donc de la forme :

$$\varepsilon(y, x) = \frac{\frac{\Delta(y)}{y}}{\frac{\Delta(x)}{x}}$$

Dans l'ensemble des cas de figures qui nous intéressent, y sera assimilée à une quantité demandée. L'élasticité $\varepsilon(y, x)$ mesure donc la variation en pourcentage de la quantité demandée suite à une variation de 1% du paramètre x observé.

²⁰⁸ Un exemple d'analyse poussée d'élasticité-prix et d'élasticité de substitution dans le cadre d'un programme pilote peut être consulté dans le rapport : BGE's Smart Energy Pricing Pilot, Summer 2008 Impact Evaluation, A. Faruqi, S.Sergici, Avril 2009.



B. L'élasticité-prix propre.

L'une des élasticités les plus étudiées en économie, et celle qui nous intéressera en l'occurrence en premier lieu, est l'**élasticité-prix**. Dans ce cas de figure, y est la quantité demandée (d'électricité) et x est le prix (de l'électricité, en KWh). En d'autres termes, l'élasticité-prix mesure la variation (en pourcentage) de la demande en électricité lorsque le prix de l'électricité augmente de 1%.

Le prix de l'électricité étant une variable connue et qu'il est théoriquement possible de moduler avec précision, l'élasticité-prix permet de quantifier la réaction des consommateurs en termes de demande en électricité face à différents tarifs.

Différentes classes d'élasticité peuvent être distinguées, ainsi la demande peut être :

- ❖ **parfaitement élastique**, si $|\varepsilon| = \infty$
- ❖ **élastique**, si $|\varepsilon| > 1$ (une hausse de 1% engendre une variation de la demande de plus de 1%)
- ❖ **d'élasticité unitaire** lorsque $|\varepsilon| = 1$. En ce cas prix et demande varient proportionnellement (mais pas nécessairement dans le même sens)
- ❖ **inélastique** (ou **faiblement élastique**) lorsque $|\varepsilon| < 1$. On considère dans ce cas que la réponse de la demande aux variations de prix est de faible ampleur.
- ❖ **parfaitement inélastique** lorsque $\varepsilon = 0$.

A de rares exceptions, l'élasticité-prix est une quantité négative. En effet en toute logique, on s'attend à ce que la demande augmente lorsque le prix diminue. C'est ce qu'on espère observer dans le domaine de la tarification de l'électricité. Lorsqu'on s'intéresse à l'étude d'élasticité-prix

d'autres biens, on peut cependant observer une élasticité-prix positive. Bien que paradoxale de prime abord, cette réaction peut être justifiée dans certains cas précis :

Lorsque le bien commercialisé est un produit de première nécessité (par exemple, le pain). Une augmentation de son prix réduira le pouvoir d'achat des consommateurs qui, pour équilibrer leur budget, vont devoir se priver de biens de substitution plus luxueux (par exemple, la viande) et ainsi reporter une plus grande leur demande sur le premier produit malgré sa hausse de prix. Un tel bien est dit « de Giffen ».

Lorsque le bien est de type luxueux : son prix est alors un indicateur de son positionnement en haut de gamme. Si son prix n'est pas assez élevé, il peut être perçu par les consommateurs comme étant de qualité inférieure et n'a plus valeur de « signe de richesse ». Augmenter son prix attirera de nouveaux consommateurs désireux de n'acquérir que des biens haut de gamme. Un tel bien est dit « de Veblen ».

C. Elasticité de substitution.

L'élasticité de substitution mesure quant à elle le report de consommation d'un produit B à la place d'un autre produit A en cas de différence de prix entre les deux.

$$\text{Dans la formule : } \varepsilon_S(y, x) = \frac{\frac{\Delta(y)}{y}}{\frac{\Delta(x)}{x}},$$

Le rapport $\frac{\Delta(y)}{y}$ représente la différence des quantités de produits vendus $V_B - V_A$ divisée par la quantité de produits V_A vendue initialement. De la même manière le rapport $\frac{\Delta(x)}{x}$ est la variation relative des prix entre les produits A et B. L'élasticité de substitution est donc une grandeur qui mesure ce que l'on nomme un report de consommation du produit A vers le produit B en réponse à une modification du prix de A.

II. Deux outils pour mesurer quantifier l'avancée vers deux objectifs.

Dans cette section nous observerons de quelle manière ces deux outils peuvent nous permettre, lorsque l'on peut les calculer, d'observer les effets du prix de l'électricité sur sa consommation

A. Reports de consommation.

L'un des buts de notre projet est d'arriver à obtenir de la part du consommateur un report de sa consommation d'énergie des heures pleines vers les heures creuses de consommations. En effet, de nombreux problèmes d'approvisionnement et d'envol des prix de gros surviennent lorsqu'une grande demande est appliquée au réseau d'électricité, tout comme sur un marché plus classique lorsque la demande augmente.

Pour résumer, dans le but de limiter son coût de production d'énergie et la pollution générée ainsi que d'éviter d'éventuelles pénuries, un fournisseur en électricité a intérêt à satisfaire une demande la plus constante possible. C'est pourquoi l'un des buts des tarifications incitatives est de lisser la courbe de demande en énergie et donc d'inciter les consommateurs à reporter leur consommation des heures de pic de consommation vers les heures creuses.

Pour ce faire l'un des moyens employé depuis des décennies par les fournisseurs en électricité est d'appliquer un différentiel de prix entre l'électricité consommée en heure pleine (HP) ou en heure creuses (HC). En France, EDF propose ce type de contrats depuis ???.

Se pose alors la question de savoir comment mesure l'impact de ces mesures tarifaires sur le report de consommation? Avec quelle intensité le consommateur répond-il aux incitations ?

La mesure de l'élasticité de substitution est ici l'un des outils indiqués pour mesurer l'efficacité du différentiel tarifaire. On mesure la variation du ratio de la demande d'électricité entre les deux périodes (consommation en HC ou HP) selon la variation de prix :

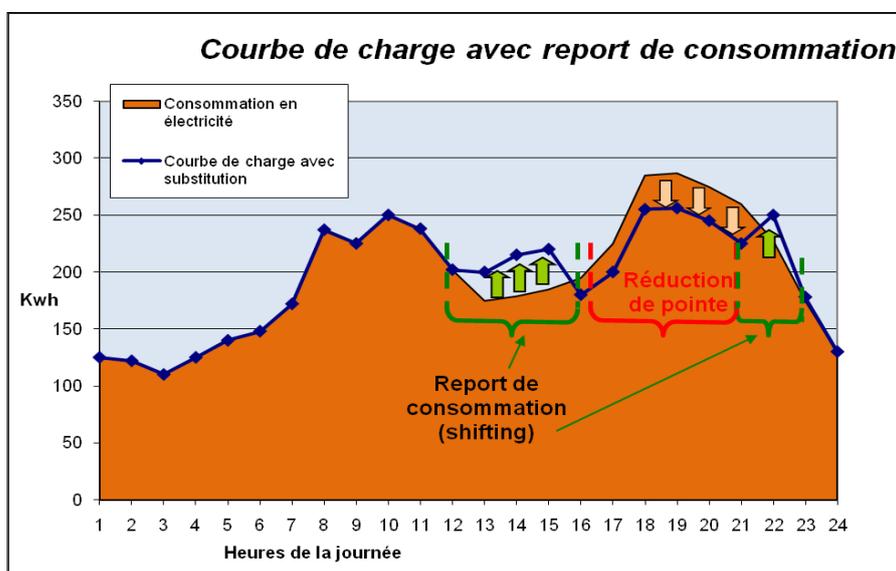
$$\varepsilon_s = \frac{\Delta \left(\frac{Q_{HP}}{Q_{HC}} \right) / \left(\frac{Q_{HP}}{Q_{HC}} \right)}{\Delta \left(\frac{P_{HC}}{P_{HP}} \right) / \left(\frac{P_{HC}}{P_{HP}} \right)},$$

où Q_{HP} (resp Q_{HC}) est la quantité d'électricité consommée en heure pleine (resp. creuse), et P_{HP} (resp P_{HC}) est le prix de l'électricité en heure pleine (resp. creuse).

Les variations de différence de consommation entre heures creuses et heures pleines sont calculées à partir de valeurs de références, c'est-à-dire dans ce cas avant modification du rapport tarifaire. L'élasticité de substitution ainsi calculée permet donc de mesurer les effets de la variation du ratio des tarifs HC et HP.

En toute logique le report va se faire dans le sens HP → HC et l'intensité de ce report varie conjointement avec la réduction du ratio des prix (lorsque le ratio $\frac{P_{HC}}{P_{HP}}$ diminue, $\frac{Q_{HP}}{Q_{HC}}$ diminue également). L'élasticité de substitution ε_s est donc sensée être une grandeur positive.

Sur la figure suivante, on observe un exemple de report de consommation (aussi appelé shifting) induit par une diminution du ratio $\frac{P_{HC}}{P_{HP}}$, c'est-à-dire par une mesure tarifaire incitant à consommer davantage de l'électricité en heures creuses, alors qu'elle est moins chère.



B. Baisse tendancielle de la consommation.

Dans le but de respecter les nouvelles législations mises en place par l'Europe et les pouvoirs politiques, mais aussi dans les cadres plus larges de protection de l'environnement et de limitation en investissements énergétiques, l'autre enjeu de la maîtrise de la demande en électricité est de parvenir à contrôler puis à réduire la demande globale en électricité qui ne cesse d'augmenter d'année en année.

Afin de parvenir à atteindre cet objectif, l'une des mesures consiste à augmenter le prix global de l'électricité, pour inciter les consommateurs à réduire leur demande pour contrôler leur budget. On imagine donc d'une part que leur demande en électricité est compressible (en améliorant l'efficacité énergétique de leurs équipements, en évitant les consommations inutiles, les

gaspillages, en modifiant leurs habitudes et modes de vies...), et d'autre part qu'ils vont réagir à la mise en place de tarifs plus élevés en adaptant leur consommation par les méthodes précitées.

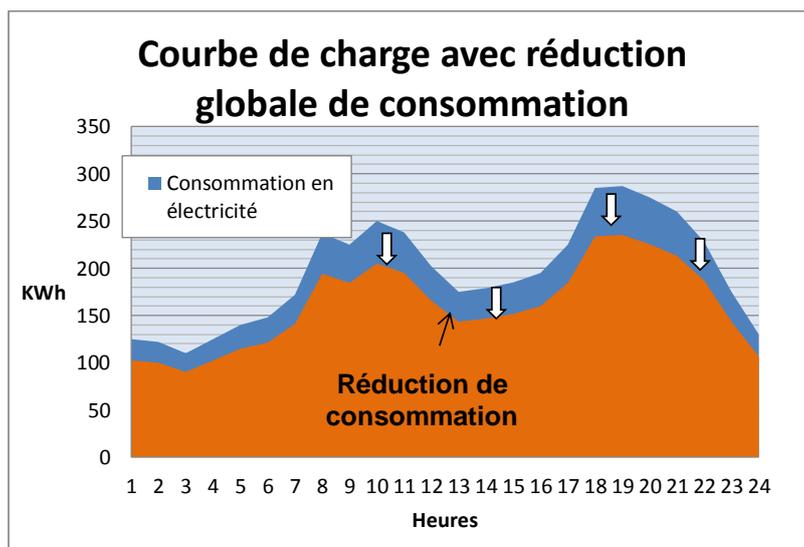
Dès lors on peut se demander à quelle mesure se fait la réponse du consommateur en terme de demande par rapport à l'augmentation du prix de l'électricité. L'une des manières de quantifier ce rapport est de calculer l'élasticité-prix propre de l'électricité à l'aide de la formule proposée en première partie de cette note. Il est important de préciser que pour être pertinente, la mesure de l'élasticité-prix est supposée faite alors que les autres facteurs pouvant influencer la quantité d'électricité demandée (la saison, les revenus des consommateurs...) sont inchangés.

La formule utilisée est donc :

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta(Q_E)}{Q_E}}{\frac{\Delta(P_E)}{P_E}} = \frac{\frac{Q_E^B - Q_E^A}{Q_E^A}}{\frac{P_E^B - P_E^A}{P_E^A}},$$

où Q_E et P_E sont respectivement les quantités demandées et les prix de l'électricité, mesurée aux deux instants B et A (B ultérieur à A).

Sur le graphique suivant on peut observer ce que peut représenter l'effet d'une élasticité-prix propre négative lors d'une augmentation globale des prix, sur la courbe de charge journalière d'un consommateur : il s'agit d'une baisse tendancielle de la consommation.



1.3 Tableau de croisement des expérimentations de terrain

Nom du pilote	Pays	Année (début)	Utility	Typologie d'incitations	Objectifs
1 Enerbest Smart	Allemagne	2008	Stadtwerke Bielfeld	TOU + feedback	Réduire la consommation de pointe, rassurer les clients face à l'augmentation des prix de l'électricité, répondre à la demande croissante des consommateurs d'un moyen de contrôler leurs dépenses.
2 MERegio	Allemagne	2009	EnBW	RTP, feedback	Réduction de la consommation globale et de pointe, développer la conscience du consommateur, intégrer les EnR aux smart grids, production/stockage local
3 Hallo Spar	Allemagne	2009	Energie Gut	Bonus	Réduction globale de la consommation (D'autres produits comme Hallo Natur visent à promouvoir l'utilisation d'énergies renouvelables sur le même principe)
4 RWE Smart Metering	Allemagne	2008	RWE	TOU	Implémenter et utilisation des smart meters pour mettre en place des tarifs TOU. Lecture à distance
5 Pay-As-You-Go Power	Canada - Ontario	2004	Woodstock Hydro	feedback	Evaluer les effets d'un feedback seul sur la consommation des clients utilisant de l'électricité prépayée
6 Energy Piano Demand response Valuation	Danemark	2003	SEAS, Energy Piano,	Bonus	Augmenter la flexibilité du consommateur final équipé d'un chauffage électrique
7 GAD	Espagne	2007	CENIT, Iberdrola	DLC + EE	Réduire de 5 à 20% la demande globale, de 10 à 25% la demande de pointe
8 Effect of Web-based feedback	Finlande	2003	VTT	Feedbacks	Etudier l'effet d'un feedback sur la consommation des habitants de blocks d'immeubles et de "maisons d'ouvriers"
9 Tempo (pilote)	France	1989	EDF	CPP + TOU	Réduire la consommation en jour de pointes / Réduction de la pointe journalière
10 Tempo (généralisation)	France	1993	EDF	CPP + TOU	Réduire la consommation en jour de pointes / Réduction de la pointe journalière
11 EJP	France	1982	EDF	CPP	Réduire la consommation en jour de pointes, en particulier chez les clients disposant d'une énergie de substitution (fuel, gaz)
12 ENBRIN	France (Bretagne)	2010	EDF Edelia	/DLC + feedback	Augmenter la flexibilité, éviter les blackouts
13 Warm Plan Smart Meters	GB	2006	Ofgem, energy Saving Trust	Feedback	Etudier les effets d'un feedback sur la consommation générée depuis les informations collectées par le smart meter. Evaluer quantitativement et qualitativement les réactions des consommateurs aux Smart Meters. Identifier les facteurs d'acceptabilité, de satisfaction et d'impact des Smart Meters sur le consommateur.
14 Energy Demand Research Project	GB	2008	Ofgem	Feedback, TOU, PTR	Etudier les effets d'un feedback amélioré et de displays sur le comportement des consommateurs, étude de TOU et bonus à la réduction globale depuis le smart meter. Evaluer les effets séparés et cumulés des leviers de DR.
15 UK Economy 7/economy 10	Grande Bretagne	2004		TOU	Lisser la courbe de charge, réduire la pointe quotidienne
16 Eco 20:20	Grande Bretagne	2009	EDF Energy	TOU + information	Réduire de 20% les émissions de carbone, shifting de consommation vers les nuits et WE
17 Smart Metering Project	Irlande	2008	CER (Commission for Energy Regulation)	TOU, feedback, bonus	Préparer le développement des smart meters, mesurer le potentiel de modification des comportements induit par les SM en terme de réduction globale et de consommation de pointe (électricité et gaz). Intégrer le pré-paiement aux SM. Intégration de la micro-génération.
18 Keypad Powershift Trial	Irlande	2003	NIE	TOU avec électricité prépayée	Mesurer les effets d'une tarification TOU sur une population équipée de compteur à Keypad en terme de réduction de consommation et de shifting.
19 EnergiaPura Bioraria / @	Italie	2007	Enel Energia	TOU	Réduire la consommation en heures de pointe

	lumière:					
20	Bioraria	Italie	2008	Enel Servizio Elettrico	TOU	Réduire la consommation en heures de pointe
21	Edison Casa Precio Fisso Bioraria	Italie	2007	Edison Power	TOU	Réduire la consommation en heures de pointe
22	QuotaFissa Bioraria	Italie	2007	ENI	TOU	Réduire la consommation en heures de pointe
23	End-user flexibility by efficient use of ICT	Norvège	2001	SINTEF Energy Research	DLC + TOU/RTP	Augmenter la flexibilité du consommateur final en utilisant des ICT communicantes et diverses incitations tarifaires. Mesurer les réponses des consommateurs en terme de réduction de pointe.
24	Implementation of Demand Side Management in Oslo (IDO)	Norvège (Oslo)	1998	E-CO Tech, Viken Nett, Sintef Energy Research	DLC, communication	Reporter les investissements d'extension du réseau de transport, améliorer la connaissance du consommateur, réduire la consommation de pointe de 10 à 15%
25		Pays-bas	2005	Oxxio	Feedback, bonus	Réduire la consommation globale des clients, Utiliser le SM mis en place pour permettre un monitoring chez les clients
26	SESAC	Suède	2005		EE + Educations + feedback	Réduire de 10% la consommation d'énergie en changeant les comportements.
27	1to1 Energy Break	Suisse	1994	BKW FMB Energie SA	DLC + TOU	Eviter l'engorgement des réseaux de transports par control direct des charges fixes interruptibles.
28	Duplex +	Suisse		Ratia Energie	DLC + TOU	Eviter l'engorgement des réseaux de transports par control direct des charges fixes interruptibles.
29	Anaheim CPP Experiment	US - Anaheim, Californie	2004	City of Anaheim Public Utilities	PTR	Tester un mécanisme de prime à la réduction de consommation lors de jours critiques.
30	Smart Energy Pricing (SEP)	US - Baltimore	2008	Baltimore Gas & Electric	CPP+TOU, PTR	Mesurer l'élasticité de la demande face à divers tarifs incitant au report de consommation de pointe. Mesurer quantitativement cette élasticité a avec divers niveaux de primes. Mesurer la persistance des effets des CPP events lorsqu'ils sont rapprochés dans le temps.
31	PowercentsDC	US - District of Columbia	2008	Smart Meter Pilot Project, Inc (SMPPPI)	RTP, CPP, PTR + feedback + IBR	Mesurer les élasticités de la demande résidentielle en électricité face à différentes solutions de tarifications visant à réduire ou reporter les consommations de pointe (mais à effet sensé être neutre sur la facture si les clients ne changent pas de comportement) et réduire la consommation globale. Tester les tarifications sur différents segments de la population, y compris les bas revenus.
32	PowerSmartPricing	US - Illinois	2003	Ameren Illinois Utilities	RTP	Mettre en place une tarification de l'électricité indexée sur les prix du marché de gros. Réduire la demande lors des pointes de consommation.
33	Olympic Peninsula project	US - Washington, Oregon	2006	Pacific Northwest National Laboratory	RTP, TOU, feedback, DLC	Evaluer la réponse des consommateurs à des signaux tarifaires diffusés au moyen outils technologiques. Comprendre et démontrer le fonctionnement des ressources réparties sur une Grid communicante. Créer un marché d'offre et de demande d'électricité sur ce réseau, réactif par pas de temps de 5 minutes.
34	California SPP	US - Californie	2003	CPUC	CPP	Evaluer les réactions des consommateurs face à un prix de pointe (report ou réduction de consommation), impact des zones climatiques et des schémas tarifaires.

1.4 Algorithme de calcul des consommations individuelles de référence du pilote de NYISO : un calcul de baseline élaboré.

Introduction : Le programme NYISO, *Peak time rebate*.

Les programmes de *Demand response* (DR) basés sur un système de bonus à l'effacement ont fait leurs preuves comme étant parmi les plus efficaces car attractifs pour le consommateur (à forte acceptabilité) et à fort potentiel incitatif pour la réduction ponctuelle de consommation d'électricité (cf résultats *surveys* L. Frachet et A. Faruqi). De nombreux programmes pilotes et commerciaux ont été lancés depuis les années 2004-2005, faisant appel à ce type de mécanisme, qui consiste à rémunérer la non-consommation d'électricité sur une courte période (quelques heures) dite « période de pointe », notifiée au préalable aux clients. Chaque KWh non consommé durant ces heures de pointes en comparaison avec un niveau de consommation de référence est alors rémunéré au client.

Le calcul de niveau de référence de consommation du client constitue à la fois un élément clef de la réussite du programme d'effacements et un enjeu majeur pour les concepteurs de ces mécanismes incitatifs. En effet, il s'agit le plus souvent de composer avec des données d'historiques de consommation, des groupes témoin servant de repère, des ajustements liés aux températures, et des clients souhaitant parfois comprendre les rouages des méthodes de calcul. L'expérience montre qu'un mauvais calcul de baseline peut vouer un programme à l'échec (Cf Anaheim 2004) en incitant les consommateurs à surconsommer en dehors des périodes d'effacement.

Les utilities qui conçoivent des programmes de bonus à l'effacement (ou *Peak time rebate*, PTR) prêtent donc particulièrement attention au calcul de ce niveau de référence, et diverses méthodes ont été éprouvées ces 5 dernières années. La majeure partie consiste en la constitution d'une fenêtre glissante sur plusieurs jours (typiquement 5 jours ouvrés) permettant d'établir une consommation moyenne autour du jour où l'effacement est notifié aux clients. Des facteurs d'ajustement sont parfois appliqués à ces moyennes afin de prendre en considération le caractère exceptionnel des jours notifiés comme étant de pointe.

L'utility NYSIO (*New York Independant System Operator*) fait figure d'exception en proposant un algorithme de calcul particulièrement élaboré, permettant l'utilisation d'une plus grande fenêtre glissante, et dote d'un facteur d'ajustement (dont l'utilisation est facultative pour les clients).

Le programme EDRP (*Emergency Demand response Program*, à ne pas confondre avec EDRP de l'OFGEM dont les initiales signifient « *Energy Demand Research Project* »), est un programme d'effacement d'urgence destiné aux gros clients ou aux agrégateurs d'effacement dans l'état de New York dès 2010. Le but de ce programme est de réduire la demande durant des périodes dites « d'urgence », (e.g. lors d'un manque d'électricité sur le réseau de l'état de New York), et de permettre ainsi de maintenir la fiabilité du système électrique. Il s'agit d'un programme pour lequel

la participation des clients est volontaire, et le système de rémunération par bonus garantit aux participants ne pouvant pas répondre aux signaux de réduction d'urgence de ne pas être pénalisés.

Lors d'un « événement d'urgence », les participants sont notifiés au préalable par Email et par téléphone, selon les cas de figure, la veille ou le jour même. S'ils le peuvent, ils doivent alors réduire leur consommation durant l'événement d'urgence (d'une durée de quelques heures). Ils sont alors rémunérés pour leurs efforts, à hauteur de 500\$ / MWh non consommé durant les événements d'urgence par rapport à leur niveau de consommation de référence. Ce programme diffère quelque peu des programmes destinés au grand public tels que nous les connaissons, car ils s'adressent davantage à de gros consommateurs capable de concéder une grande quantité d'énergie non consommée ou aux agrégateurs qu'au client résidentiel moyen. Cependant, nous n'observerons pas au travers de cette note les résultats effectifs de ce mécanisme incitatif sur les consommations d'électricité des participants, mais le design de l'offre et plus particulièrement du calcul de baseline, ce qui peut donc se révéler intéressant pour la construction de futures offres de ce type en France à l'échelle de pilote par exemple.

Algorithme de calcul du niveau de consommation de référence pour les événements d'urgence.

Abréviations utilisées :

EU = événement d'urgence. D'une durée de quelques heures, c'est la période durant laquelle les clients sont invités à réduire leur consommation. Les EU peuvent être localisés en semaine comme en week end. Leur notification est réalisée de 21h avant à 2h avant selon les cas et les clients.

CBL = Customer Base Load = consommation horaire de référence, définie pour chaque heure de l'EU étudié.

C_{mEU} = Consommation moyenne sur la période de l'EU

DCBL = jours composant la fenêtre de calcul CBL (= utilisés pour le calcul de niveau de référence)

C_{mD} = Consommation horaire moyenne du jour D (moyenne des consommations des heures sur la plage horaire de EU)

NYISO EDRP propose deux formes de calcul de conso de référence :

- **Average Day CBL** (basée sur une moyenne de consommations des jours précédents l'EU)
- **Ajusted CBL** (il s'agit de l'Average Day CBL ajustée par un facteur sensé mettre en relief le caractère « exceptionnel » du jour de déclenchement de l'EU (par exemple, conditions météorologiques)

Le choix est laissé libre aux participants entre l'une ou l'autre de ces méthodes de calcul. Il est à noter que l'une comme l'autre nécessitent des relevés de consommation horaires.

À l'issue de ces algorithmes, on obtient un vecteur de consommations de références avec autant de valeurs qu'il y a d'heure dans la plage horaire de l'EU. Pour chaque heure de l'EU on pourra calculer l'électricité économisée en comparant la consommation effective avec cette

1) Average Day CBL : algorithme de calcul.

A. Evènement d'Urgence en semaine.

Selection des jours composant la fenêtre de CBL de l'EU : DCBL.

Etape 0.

Sur les 30 jours précédant l'EU, calculer la consommation moyenne horaire du client sur la tranche horaire correspondant à l'EU (i.e. sur la même plage horaire que l'EU notifié, calculer la moyenne horaire des consommations). Sélectionner le jour avec la plus faible consommation.

C_{mEU} := Consommation horaire moyenne du jour sélectionné (initialisation de la valeur).

Etape 1.

Démarrer le processus de sélection avec le jour D de semaine situé 2 jours avant l'EU. Si l'EU est un lundi, on utilise le vendredi. Si l'EU est un mardi, on utilise aussi le vendredi.

Etape 2.

TEST : D est il :

- Un jour férié (selon définition NYISO) ? **OUI / NON**
- Un autre jour défini comme étant EU ? **OUI / NON**
- La veille d'un autre jour défini comme étant EU ? **OUI / NON**
- *Le jour ou la veille d'un jour défini comme étant un évènement d'un autre programme d'effacement conjoint de NYISO (appelé DADRP et n'étant pas détaillé dans cette note, mais dont les participants à EDRP peuvent également prendre part) **OUI/NON***

Si l'une des réponses est **OUI, ALORS** éliminer D1.

SINON (la réponse à toutes ces questions est **NON**) poursuivre :

Calculer C_{mD} := Consommation moyenne horaire de D1 sur la plage horaire de l'EU.

SI $C_{mD} < 0,25(C_{mEU})$ **ALORS** éliminer D de la fenêtre de CBL.

SI D n'a pas été éliminé **ALORS**

$DCBL := DCLB + D$ (inclure D dans DCBL)

Mettre à jour C_{mEU} :

SI D est le premier jour retenu pour composer la fenêtre de CBL **ALORS**

$C_{mEU} := C_{mD}$ **SINON** $C_{mEU} :=$ Moyenne des D_m des jours inclus dans DCBL (moyenne des consommations horaire moyenne des jours retenus dans DCBL)

TANT QUE DCBL ne contient pas 10 jours, poursuivre : D := jour de semaine précédent, et retour à l'étape 2.

A l'issue de l'étape 2 on obtient un set de 10 jours : DCBL

Calcul de l'Average Day CBL

Etape 3.

Parmi les 10 jours du DCBL, conserver les 5 jours avec le plus grand Cm_D (rappel : Cm_D = Consommation horaire moyenne du jour D). **Ces 5 jours constituent la Base CBL de l'EU.**

Etape 4.

Pour chaque heure h_i de la plage horaire de l'évènement EU:

CBL_{h_i} = Moyenne des consommations de l'heure h_i sur les 5 jours de la Base CBL.

On obtient donc **un vecteur de consommation de référence avec autant de valeurs qu'il y a dans la plage horaire de l'EU.**

B. Evènement d'Urgence en week end.

Le calcul du CBL pour les EU décrétées en week end est différent du calcul de semaine mais il s'avère plus simple :

Etape 1.

Le DCBL pour un EU de week end se compose des 3 précédents jours de week end identiques à celui durant lequel l'EU est décrété (e.g. les 3 précédents samedis si l'EU est un samedi).

Etape 2.

- Calculer la Cm_D pour chacun des 3 jours du DCBL (moyenne horaire sur l'ensemble de la plage horaire de l'EU).
- Eliminer le jour ayant la Cm_D la plus faible

Les 2 jours restants constituent la Base CBL.

Etape 3. *Calcul de l'Average Day CBL*

Pour chaque heure h_i de la plage horaire de l'évènement EU:

CBL_{h_i} = Moyenne des consommations de l'heure h_i sur les 2 jours de la Base CBL week end.

On obtient donc un vecteur de consommation de référence avec autant de valeurs qu'il y a dans la plage horaire de l'EU.

2) Ajusted CBL : une amélioration adaptative aux conditions météorologiques de l'algorithme précédent.

Ces étapes se rajoutent de manière facultative aux étapes précédentes dans le but d'améliorer la précision des niveaux de référence en permettant un ajustement aux conditions particulières du jour EU.

Vocabulaire additionnel :

Période d'ajustement = Plage horaire de 2H qui débute 4H avant l'Evènement d'Urgence.

Etape 1.

Calculer C_{m_A} , la consommation moyenne d'ajustement, en utilisant les 5 (resp. 3) jours de la Base CBL déterminés selon l'algorithme précédent s'il s'agit d'un EU en semaine (resp. un EU en week end)

SI EU en semaine **ALORS** C_{m_A} = Consommation horaire moyenne sur la plage horaire d'ajustement = moyenne des 5 fois 2h de la période d'ajustement sur les 5 jours de Base CBL.

SINON EU en week end **ALORS** C_{m_A} = Consommation horaire moyenne sur la plage horaire d'ajustement = moyenne des 2 fois 2h de la période d'ajustement sur les 2 jours de Base CBL.

(NB : cela revient à calculer la $C_{m_{EU}}$ d'un EU fictif ayant lieu 4H avant l'EU réel et d'une durée de 2H)

Etape 2.

Calculer la Base d'Ajustement Moyenne = $CM_{A\ Base}$ = moyenne horaire des consommations des 2H de la période d'ajustement du jour de l'EU.

Etape 3.

Calcul du facteur d'accroissement F :

$$F = (CM_{A\ Base} / C_{m_{EU}})$$

Ce rapport quantifie la différence de consommation entre le jour de l'EU et les autres jours liée aux conditions particulières de ce jour là. En effet c'est le rapport des consommation moyennes à H-4 avant évènement le jour J ($CM_{A\ Base}$) et des consommations à H-4 sur la meme tranche horaire les autres jours ($C_{m_{EU}}$).

Etape 4.

Déterminer le facteur d'ajustement final F_A :

SI $F > 1$ **ALORS** $F_A = \min(F ; 1,2)$

SI $F < 1$ **ALORS** $F_A = \max(0,8 ; F)$

SI $F = 1$ **ALORS** $F_A = F$

Etape 5. *Calcul de l' Ajusted CBL.*

$ACBL_{hi}$ = Moyenne **ajustée** des consommations de l'heure hi sur les 5 jours de la Base CBL

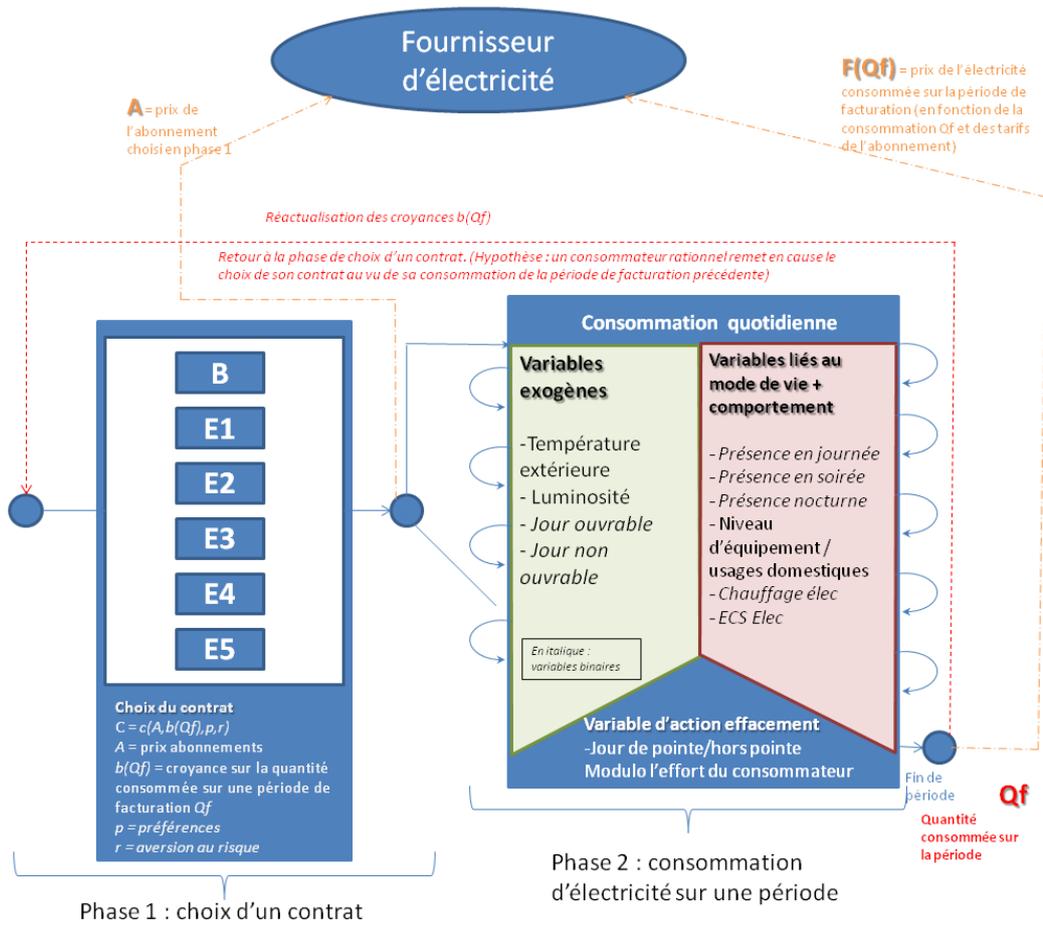
$$ACBL_{hi} = CBL_{hi} \times F_A$$

On obtient donc un vecteur de consommation de référence avec autant de valeurs qu'il y a dans la plage horaire de l'EU, et donc chaque composante a été ajustée par le facteur d'ajustement prenant en compte les caractéristiques de consommation inhérentes à ce jour précis.

Conclusion :

Cette méthode est complète et élaborée de manière à ne pas pouvoir être biaisée. Même s'il paraît complexe d'abord, cet algorithme est très facilement implémentable dans tout système informatique, et peut s'avérer prometteur. Quels sont les résultats de l'EDRP de NYISO ? Un programme à suivre...

1.5 Tentative de modélisation du comportement du consommateur d'électricité.



Modèle « interaction consommateur d'électricité – contrat – variables de consommation », dans lequel le consommateur est rationnel et remet en question le choix de son contrat d'une période de facturation sur l'autre.
 Hypothèse : le changement de contrat est gratuit (non facturé et coûts de transactions négligeables)

1.6 Individus Paul et Betty.

1.6.1 Individu « Paul ».

Caractérisation de l'individu Paul

Paul,

Célibataire (vivant seul),
35 ans
Revenus moyens (*entre 1900 et 2200€ nets*)
Paul est représentatif de sa tranche d'âge

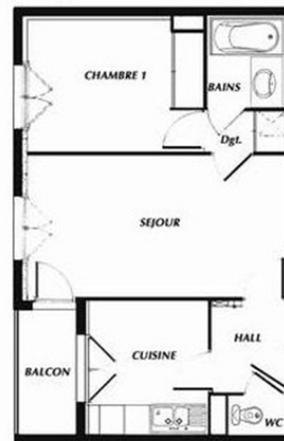
Logé dans un T2 situé dans une ville
Chambre, salon, cuisine, sdb, toilettes, hall, balcon
48m²

Equipement:

Chauffage électrique, chauffe-eau électrique
Box TV internet, PC portable, 1 télé.
Lave linge, lave vaisselle, sèche linge, mini four
électrique.

Paul consomme en moyenne 1 KWh par heure en
période de pointe, dans son appartement.

Sa facture annuelle est actuellement de 500€



Les équipements électriques de Paul

Aspirateur	Chaine HiFi
Télé écran plat 80cm	Chauffe eau
Réfrigérateur congélateur combiné	Box TV-téléphone-internet
Lave vaisselle	Radio réveil
Lave linge	Machine à café
Chauffage électrique	Grille pain
Téléphone fixe	Lampe de salon halogène
Ordinateur portable	Micro ondes
Sèche cheveux	Chargeur de téléphone portable
Fer à repasser	

1.6.2 Individu « Betty ».

Caractérisation de l'individu Betty D.

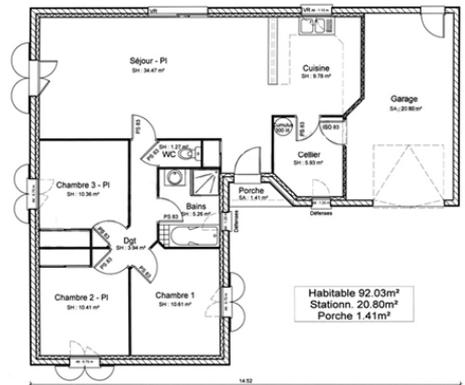
Betty D.,

Mariée et vivant en couple
43 ans,
2 enfants de 11 et 5 ans
Mr et Mme D. travaillent (Betty travaille à temps partiel : 80%), leur revenu est moyen.
Ces 4 personnes (Mr et Mme D et leurs 2 enfants de 11 et 5 ans) peuvent être considérées comme représentatives de ce type de foyer. Betty est le décideur du foyer en ce qui concerne les choix de contrats d'énergie.

Logés dans une maison situé en bordure d'une petite ville
3 Chambres, cellier, salon, cuisine, sdb, toilettes, garages,
92m²

Équipement:

Chauffage électrique, chauffe-eau électrique
Box TV internet, PC portable + PC fixe, 2 télé.
Lave linge, lave vaisselle, sèche linge, congélateur, four
En moyenne, le foyer de Betty consomme 4KWh par heure en période de pointe.
Sa facture annuelle est actuellement de 2000€.



Caractérisation de l'individu Betty D.

Les équipements électriques de Betty

Aspirateur	Ordinateur portable
Télé cathodique 66cm	Sèche cheveux
Télé écran plat 80cm	Fer à repasser
Congélateur à porte	Chaine HiFi
Réfrigérateur congélateur combiné	Chauffe eau
Lave vaisselle	Box TV-téléphone-internet
Lave linge	Radio réveil
Sèche linge	Machine à café
Chauffage électrique	Grille pain
Téléphone fixe	Lampe de salon halogène
Ordinateur fixe	Micro ondes
Console de jeu PS3	Robot mixeur
Cave à vins électrique	Sèche-serviettes

1.7 Formulaire de recrutement pour les sessions expérimentales de janvier 2012.

1.7.1 Message informatif de recrutement



LABORATOIRE D'ECONOMIE APPLIQUÉE DE GRENOBLE



Inscription à l'étude sur les contrats électriques



Aujourd'hui, maîtriser la demande électrique en période de pointe est plus important que jamais.
En réduisant notre consommation en début de soirée en hiver, on peut à la fois réduire ses coûts, ceux des fournisseurs d'électricité et contribuer à améliorer l'environnement.

Dans le but d'optimiser la consommation d'électricité, nous étudions de nouvelles formes de contrats d'électricité plus intelligents pour les particuliers.

Votre participation nous intéresse : venez contribuer à nos recherches dès le mois de janvier 2012.

Les tests se font à l'Institut National Polytechnique, au sein du laboratoire GAEL.

Une indemnisation de 20€ est prévue pour votre participation.
Les données individuelles recueillies resteront confidentielles et anonymes.
Les résultats de l'étude feront l'objet de publications scientifiques.

[Mentions légales](#) | Copyright © GAEL - 2011 - Tous droits réservés

1.7.2 Formulaire de recrutement.



Inscription à l'étude sur les contrats électriques

Vous êtes : un homme une femme

Votre année de naissance :

A propos de votre consommation électrique, cochez la mention qui vous décrit le mieux :

- je paye au moins une facture d'électricité.
- ma facture d'électricité est prise en charge par un tiers (mon logement est charges comprises, mon employeur prend en charge ma facture, ...).

A propos de votre chauffage, cochez la mention qui vous décrit le mieux :

- mon chauffage est totalement électrique.
- mon chauffage principal est électrique, mais j'ai un chauffage d'appoint utilisant une autre source d'énergie ou combustible.
- mon chauffage principal n'est pas électrique, mais j'ai un chauffage électrique d'appoint.
- je n'utilise pas d'électricité pour mon chauffage (gaz, mazout, ...).

- Votre numéro de téléphone (nn nn nn nn nn):

- Votre adresse mail (xxx@xxx.xxx):

Merci d'avoir rempli ce formulaire.
Nous vous contacterons rapidement pour prendre rendez-vous.

Mentions légales | Copyright © GAEL - 2011 - Tous droits réservés

1.8 Protocole expérimental.

Nous présentons dans l'Annexe 1.8 l'ensemble des diapositives utilisées lors des sessions expérimentales de janvier 2012, pour présenter aux sujets le protocole, étape par étape.

Ces diapositives ne contiennent donc pas les formulaires de réponses via lesquels nous récoltions les résultats, mais présentent tous les éléments ayant servi aux sujets à effectuer leurs choix durant les sessions.

Instructions

Etude :
Contrats d'électricité pour
les particuliers.



Introduction

Bonjour, et merci de votre participation à cette expérience organisée par le laboratoire GAEL de l'université de Grenoble et de l'Institut National de la Recherche Agronomique. Les résultats de cette expérience sont anonymes et confidentiels. Ils feront l'objet de publications scientifiques.

Organisation de l'expérience

Cette expérience comportera 4 phases distinctes et indépendantes.

La durée de l'expérience est d'environ 2H.

Vous trouverez sur vos tables une enveloppe contenant la somme de 20€ en liquide. Cet argent est à vous. Vous aurez durant l'expérimentation l'occasion de remporter d'autres gains.

Nous vous expliquerons comment ils sont attribués par le biais d'une période d'apprentissage, et ils vont être remis sous forme d'argent liquide également, seulement à la fin de la session.

Phase 1 : Questionnaire d'identification préalable

Merci de bien vouloir remplir le questionnaire préalable qui est affiché. Nous poursuivrons lorsque tout le monde aura terminé.

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Nous allons vous présenter 10 jeux de loterie, numérotés de 1 à 10.

Chaque loterie comporte 2 choix : vous allez devoir choisir dans chacune de ces loteries entre l'option A (colonne de gauche) et l'option B (colonne de droite). Exemple :

	A		B	
7	7 chances sur 10 	2,00 €	7 chances sur 10 	3,85 €
	3 chances sur 10 	1,60 €	3 chances sur 10 	0,10 €

Un tirage au sort est effectué pour déterminer vos gains en fonction de la l'option que vous aurez choisie.

Attention ! Les choix que vous effectuez vont déterminer combien vous allez gagner d'argent pendant cette phase de l'expérience.

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Il y a en tout 10 loteries de ce genre dans le tableau que nous allons vous présenter.

Vous devrez choisir si vous préférez jouer avec l'option A ou l'option B pour chacune d'entre elles.

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Décisions	Option A		Option B	
	Probabilités	Gains	Probabilités	Gains
1	1 chance sur 10	▲ 2,00 €	1 chance sur 10	▲ 3,85 €
	9 chances sur 10	■ 1,60 €	9 chances sur 10	■ 0,10 €
2	2 chances sur 10	▲ 2,00 €	2 chances sur 10	▲ 3,85 €
	8 chances sur 10	■ 1,60 €	8 chances sur 10	■ 0,10 €
3	3 chances sur 10	▲ 2,00 €	3 chances sur 10	▲ 3,85 €
	7 chances sur 10	■ 1,60 €	7 chances sur 10	■ 0,10 €
4	4 chances sur 10	▲ 2,00 €	4 chances sur 10	▲ 3,85 €
	6 chances sur 10	■ 1,60 €	6 chances sur 10	■ 0,10 €
5	5 chances sur 10	▲ 2,00 €	5 chances sur 10	▲ 3,85 €
	5 chances sur 10	■ 1,60 €	5 chances sur 10	■ 0,10 €
6	6 chances sur 10	▲ 2,00 €	6 chances sur 10	▲ 3,85 €
	4 chances sur 10	■ 1,60 €	4 chances sur 10	■ 0,10 €
7	7 chances sur 10	▲ 2,00 €	7 chances sur 10	▲ 3,85 €
	3 chances sur 10	■ 1,60 €	3 chances sur 10	■ 0,10 €
8	8 chances sur 10	▲ 2,00 €	8 chances sur 10	▲ 3,85 €
	2 chances sur 10	■ 1,60 €	2 chances sur 10	■ 0,10 €
9	9 chances sur 10	▲ 2,00 €	9 chances sur 10	▲ 3,85 €
	1 chance sur 10	■ 1,60 €	1 chance sur 10	■ 0,10 €
10	10 chances sur 10	▲ 2,00 €	10 chances sur 10	▲ 3,85 €
	0 chance sur 10	■ 1,60 €	0 chance sur 10	■ 0,10 €

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Comment sont déterminés vos gains?

Pour déterminer combien vous allez gagner, nous allons utiliser l'une de ces 10 loteries.

En fonction de l'option que vous aurez choisie (A ou B), nous déterminerons vos gains par un tirage au sort pour lequel vos chances de gain sont celles inscrites dans le tableau.

Exemple illustratif:

- Dans l'exemple nous utiliserons la loterie n°7 → nous allons utiliser votre décision (entre option A et option B) **de la ligne 7** pour déterminer votre gain.

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Décisions	Option A		Option B 	
	Probabilités	Gains	Probabilités	Gains
1	1 chance sur 10	 2,00 €	1 chance sur 10	 3,85 €
	9 chances sur 10	 1,60 €	9 chances sur 10	 0,10 €
2	2 chances sur 10	 2,00 €	2 chances sur 10	 3,85 €
	8 chances sur 10	 1,60 €	8 chances sur 10	 0,10 €
3	3 chances sur 10	 2,00 €	3 chances sur 10	 3,85 €
	7 chances sur 10	 1,60 €	7 chances sur 10	 0,10 €
4	4 chances sur 10	 2,00 €	4 chances sur 10	 3,85 €
	6 chances sur 10	 1,60 €	6 chances sur 10	 0,10 €
5	5 chances sur 10	 2,00 €	5 chances sur 10	 3,85 €
	5 chances sur 10	 1,60 €	5 chances sur 10	 0,10 €
6	6 chances sur 10	 2,00 €	6 chances sur 10	 3,85 €
	4 chances sur 10	 1,60 €	4 chances sur 10	 0,10 €
7	7 chances sur 10	 2,00 €	7 chances sur 10	 3,85 €
	3 chances sur 10	 1,60 €	3 chances sur 10	 0,10 €
8	8 chances sur 10	 2,00 €	8 chances sur 10	 3,85 €
	2 chances sur 10	 1,60 €	2 chances sur 10	 0,10 €
9	9 chances sur 10	 2,00 €	9 chances sur 10	 3,85 €
	1 chance sur 10	 1,60 €	1 chance sur 10	 0,10 €
10	10 chances sur 10	 2,00 €	10 chances sur 10	 3,85 €
	0 chance sur 10	 1,60 €	0 chance sur 10	 0,10 €

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Exemple illustratif :

- Dans l'exemple nous utiliserons la loterie n°7 → nous allons utiliser votre décision (entre option A et option B) **de la ligne 7** pour déterminer votre gain.

Pour la ligne 7, vous avez choisi l'option B :

3,85€ avec 7 chances sur 10

0,10€ avec 3 chances sur 10

- Nous tirons au sort votre gain avec les chances indiquées ci-dessus. Nous utilisons par exemple un dé à 10 faces : si le résultat est inférieur ou égal à 7, vous emportez 3,85€, s'il est supérieur à 7, vous emportez 0,10€.

Le résultat est **5** → 5 étant inférieur ou égal à 7 vous **remportez 3,85€**



Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Décisions	Option A		Option B	
	Probabilités	Gains	Probabilités	Gains
1	1 chance sur 10	▲ 2,00 €	1 chance sur 10	▲ 3,85 €
	9 chances sur 10	■ 1,60 €	9 chances sur 10	■ 0,10 €
2	2 chances sur 10	▲ 2,00 €	2 chances sur 10	▲ 3,85 €
	8 chances sur 10	■ 1,60 €	8 chances sur 10	■ 0,10 €
3	3 chances sur 10	▲ 2,00 €	3 chances sur 10	▲ 3,85 €
	7 chances sur 10	■ 1,60 €	7 chances sur 10	■ 0,10 €
4	4 chances sur 10	▲ 2,00 €	4 chances sur 10	▲ 3,85 €
	6 chances sur 10	■ 1,60 €	6 chances sur 10	■ 0,10 €
5	5 chances sur 10	▲ 2,00 €	5 chances sur 10	▲ 3,85 €
	5 chances sur 10	■ 1,60 €	5 chances sur 10	■ 0,10 €
6	6 chances sur 10	▲ 2,00 €	6 chances sur 10	▲ 3,85 €
	4 chances sur 10	■ 1,60 €	4 chances sur 10	■ 0,10 €
7	7 chances sur 10	▲ 2,00 €	7 chances sur 10	▲ 3,85 €
	3 chances sur 10	■ 1,60 €	3 chances sur 10	■ 0,10 €
8	8 chances sur 10	▲ 2,00 €	8 chances sur 10	▲ 3,85 €
	2 chances sur 10	■ 1,60 €	2 chances sur 10	■ 0,10 €
9	9 chances sur 10	▲ 2,00 €	9 chances sur 10	▲ 3,85 €
	1 chance sur 10	■ 1,60 €	1 chance sur 10	■ 0,10 €
10	10 chances sur 10	▲ 2,00 €	10 chances sur 10	▲ 3,85 €
	0 chance sur 10	■ 1,60 €	0 chance sur 10	■ 0,10 €

Phase 2. Le jeu des 10 décisions

Vous pouvez désormais remplir votre propre tableau : pour chacune des 10 loteries, préférez vous jouer avec l'option A ou l'option B pour le tirage du dé ?

Décisions	Option A		Option B	
	Probabilités	Gains	Probabilités	Gains
1	1 chance sur 10	▲ 2,00 €	1 chance sur 10	▲ 3,85 €
	9 chances sur 10	■ 1,60 €	9 chances sur 10	■ 0,10 €
2	2 chances sur 10	▲ 2,00 €	2 chances sur 10	▲ 3,85 €
	8 chances sur 10	■ 1,60 €	8 chances sur 10	■ 0,10 €
3	3 chances sur 10	▲ 2,00 €	3 chances sur 10	▲ 3,85 €
	7 chances sur 10	■ 1,60 €	7 chances sur 10	■ 0,10 €
4	4 chances sur 10	▲ 2,00 €	4 chances sur 10	▲ 3,85 €
	6 chances sur 10	■ 1,60 €	6 chances sur 10	■ 0,10 €
5	5 chances sur 10	▲ 2,00 €	5 chances sur 10	▲ 3,85 €
	5 chances sur 10	■ 1,60 €	5 chances sur 10	■ 0,10 €
6	6 chances sur 10	▲ 2,00 €	6 chances sur 10	▲ 3,85 €
	4 chances sur 10	■ 1,60 €	4 chances sur 10	■ 0,10 €
7	7 chances sur 10	▲ 2,00 €	7 chances sur 10	▲ 3,85 €
	3 chances sur 10	■ 1,60 €	3 chances sur 10	■ 0,10 €
8	8 chances sur 10	▲ 2,00 €	8 chances sur 10	▲ 3,85 €
	2 chances sur 10	■ 1,60 €	2 chances sur 10	■ 0,10 €
9	9 chances sur 10	▲ 2,00 €	9 chances sur 10	▲ 3,85 €
	1 chance sur 10	■ 1,60 €	1 chance sur 10	■ 0,10 €
10	10 chances sur 10	▲ 2,00 €	10 chances sur 10	▲ 3,85 €
	0 chance sur 10	■ 1,60 €	0 chance sur 10	■ 0,10 €

Intermède : Le principe de la rémunération « Concours »

Durant l'expérience d'aujourd'hui, vous allez avoir la possibilité de gagner de l'argent en répondant du mieux que vous pouvez à des questions que nous appellerons

CONCOURS

Commençons par un exemple.

Dans les questions de type concours, vous devez vous mettre à la place d'un individu quelconque. Imaginons que cet individu est une femme de 65 ans, retraitée, habitant seule.

Votre objectif est de déterminer quel sera l'opinion de cette dame aux questions qui vous seront posées. Nous allons collecter l'ensemble des réponses de votre groupe et ceux qui parmi vous auront choisi la réponse la plus fréquemment choisie par le groupe remporteront **0,50€**.

Intermède : Le principe de la rémunération « Concours »

Vous comprenez que votre objectif est d'imaginer quelle va être la réponse la plus fréquente du groupe présent dans la salle aujourd'hui : c'est cette réponse qui vous permettra de gagner de l'argent.

CONCOURS

A chaque fois que vous verrez la mention Concours, vos réponses seront récompensées de cette manière. Vous percevrez l'argent à la fin de la séance, en liquide.

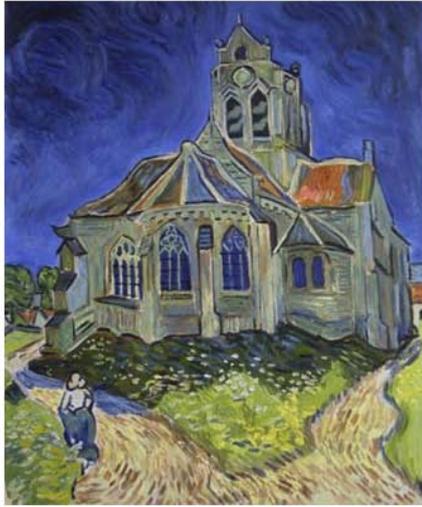
Pour bien comprendre nous allons pratiquer un exemple que nous allons récompenser immédiatement. Rappel : l'individu est une femme de 65 ans, retraitée, vivant seule.

Intermède : Le principe de la rémunération « Concours »

CONCOURS

Selon le groupe ici présent, l'individu préfère-t-il le tableau A ou le tableau B?

A



B



Phase 3

Paul et les contrats d'effacement



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Dans cette phase de l'expérimentation, nous vous demandons de vous mettre dans la peau de Paul.

Paul vous est décrit sur la fiche qui vous a été distribuée : regardons-la ensemble.

Toutes les réponses que vous ferez dans cette phase concerneront les choix de Paul.

Certaines questions seront rémunérées par le principe du **CONCOURS** : il vous faudra répondre comme la majorité du groupe pour gagner de l'argent. Chaque fois que vous répondrez comme la majorité des participants vous remporterez 0,50€ supplémentaires.

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Nous allons maintenant parler **de son contrat d'électricité**

Il dispose actuellement d'un contrat que nous appelons **Heures Creuses/Heures pleines** (HC/HP), que nous allons expliquer.

Votre tâche va consister, pour de nouveaux contrats d'électricités, à choisir à la place de Paul. Ce sera à vous d'exprimer les choix de Paul.

Plus vous serez proches de la réponse de la majorité du groupe concernant Paul, plus vous aurez de chance d'augmenter vos gains, toujours selon le principe du

CONCOURS

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Le contrat HC/HP dont dispose Paul :

Le contrat Heures creuses/Heures pleines est semblable à celui proposé actuellement par EDF. Il s'agit d'un contrat comprenant un abonnement à une puissance électrique donnée et un tarif de l'électricité pour chaque KWh consommé.

Le prix payé par Paul est donc :

Prix payé sur une année =  + prix de l'électricité consommée
(en Heures creuses (HC) et heures pleines (HP))

L'abonnement est fixe.

Le prix du KWh dépend de l'heure à laquelle l'électricité a été consommée : le tarif HC/HP découpe la journée en 2 périodes tarifaires.

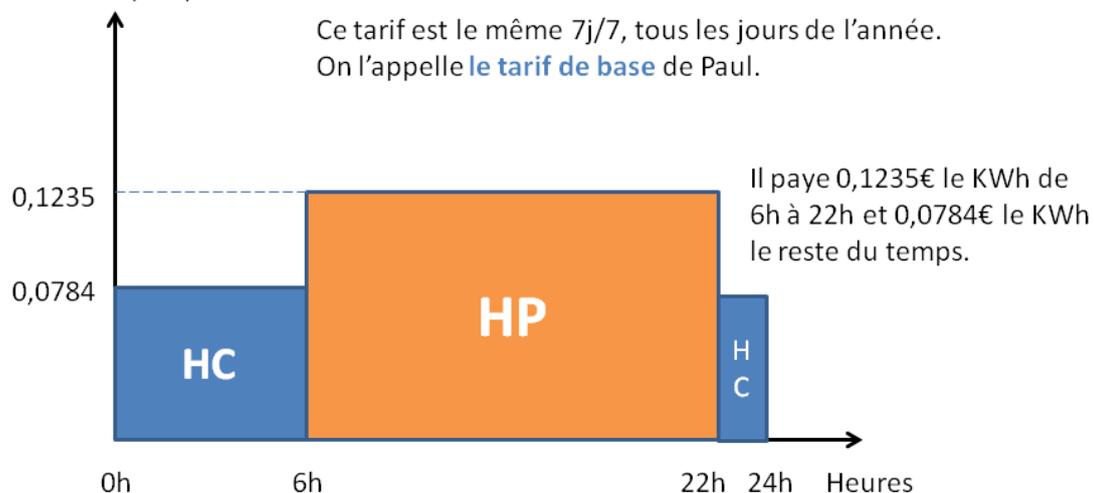
- les heures creuses où le prix est moins cher (de 22h à 6h du matin)
- les heures pleines où le prix est plus cher (de 6h à 22h).

Sur une année il paye 500€. (Pour une puissance souscrite de 6 KVA).

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Le contrat HC/HP dont dispose Paul :

Prix du KWh (en€)



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul a la possibilité de changer de contrat d'électricité.

On lui propose de passer de son contrat de référence (HC/HP) vers un « **contrat d'effacement** ».

Contrat d'effacement : Ce contrat est semblable au contrat HC/HP pour la majeure partie de l'année : il comprend un abonnement et la vente d'électricité en heures pleines et en heures creuses. Il diffère 20 jours par an (*jours de pointe*). Ces jours là, de 18H à 20H, un mécanisme est mis en place pour inciter Paul à réduire sa consommation.

Nous allons vous présenter 2 types de contrats à mécanismes incitatifs.

Ces 20 jours de pointe sont compris entre le 1^{er} novembre et le 30 mars. Ils ne peuvent pas être des jours fériés ou de weekend : ce sont donc uniquement des jours ouvrables (du lundi au vendredi). Ils peuvent être consécutifs.

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Exemple d'un mois de janvier avec jours de pointe.
On observe 5 jours de pointe pour ce mois.

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

 Jour de pointe

 Jour non ouvrable ne pouvant pas être un jour de pointe

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Exemple d'une année complète de septembre à septembre.

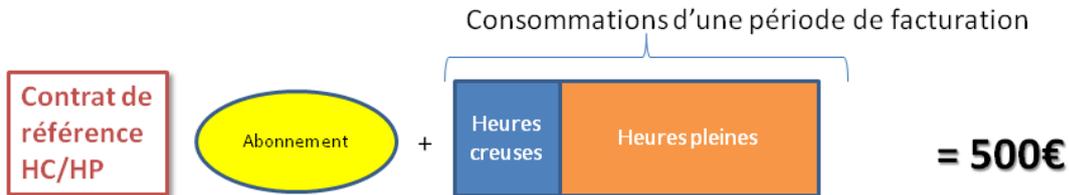
Année 2009 2010	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Septembre				S	D						S	D					S	D						S	D							
Octobre		S	D						S	D					S	D							S	D					S	D		
Novembre						S	D				S	D					S	D				S	D				S	D				
Décembre				S	D					S	D						S	D						S	D							
Janvier	S	D						S	D					S	D					S	D					S	D					
Février				S	D				S	D							S	D				S	D				S	D				
Mars				S	D				S	D					S	D				S	D				S	D						
Avril		S	D					S	D					S	D				S	D				S	D			S	D			
Mai	D					S	D				S	D				S	D				S	D				S	D					
Juin			S	D					S	D					S	D					S	D				S	D					
Juillet		S	D					S	D					S	D					S	D				S	D			S	D		
Août				S	D				S	D					S	D				S	D				S	D			S	D		



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul va avoir la possibilité de changer de contrat d'électricité.

Actuellement, il **paye 500€ par période de facturation**. Ce montant comprend abonnement + consommations d'électricité



- ➔ Avec les contrats proposés, si Paul ne change pas son comportement de consommation, sa facture restera inchangée (500€). S'il modifie sa consommation sa facture peut augmenter ou diminuer. Le changement dépendra du contrat.
- ➔ Nous allons vous présenter 2 contrats d'effacement.

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul a le choix (sans frais supplémentaires) entre:

- Conserver son contrat de référence HC/HP
- Adopter le contrat suivant :



ECO Pointe



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

ECO Pointe

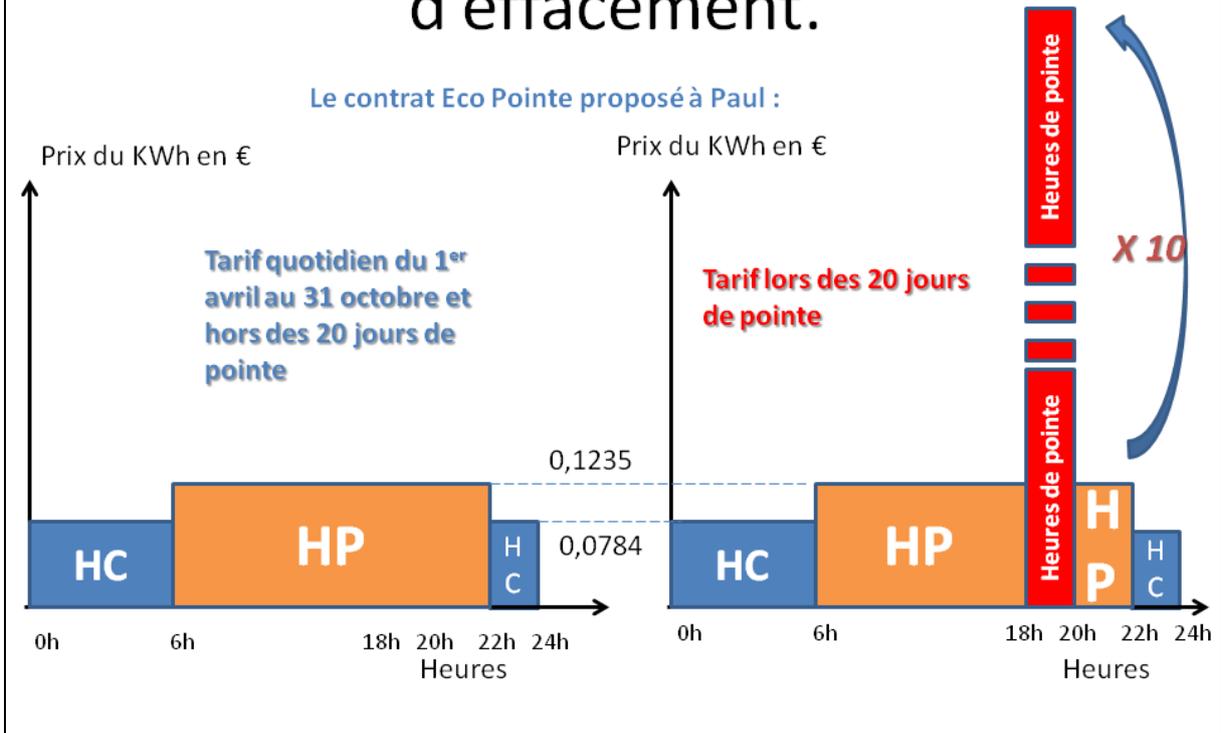
Description du contrat :

Eco Pointe est un contrat tarifaire. Il présente :

- d'une part une tarification sur 2 plages horaires (les plages horaires de HC/HP)
- d'autre part une tarification de pointe 2 heures par jour (de 18h à 20h) certains jour de l'année : 20 jours par an. **Durant cette plage horaire, l'électricité est plus chère.**
- en contrepartie, Paul touche **une prime fixe** calculée pour compenser les dépenses liées à cette électricité plus chère.

- Les 20 jours de pointe correspondent aux pointes hivernales (jours froids de semaine, hors week-ends et jours fériés, du 1 novembre au 31 mars).
- Chaque jour à 18h, un avis de « jour de pointe » ou « jour normal » du lendemain est disponible sur internet, ou par SMS.

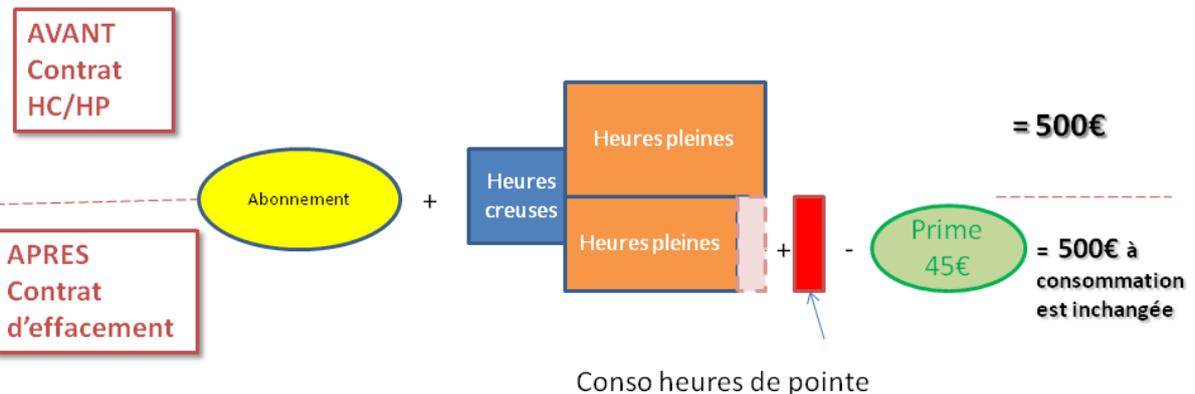
Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.



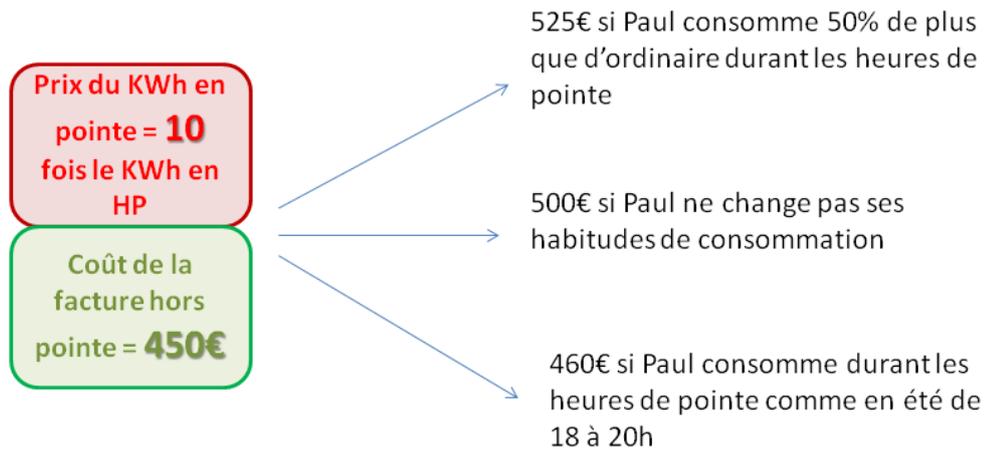
Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul va avoir la possibilité de changer de contrat d'électricité pour Eco Pointe.

Actuellement, il paye 500€ par période de facturation.
Ce montant comprend abonnement + consommations d'électricité



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat ECO POINTE pour Paul ?

Quels sont les **points faibles** du contrat ECO POINTE pour Paul?

Pensez-vous que Paul va l'accepter ?

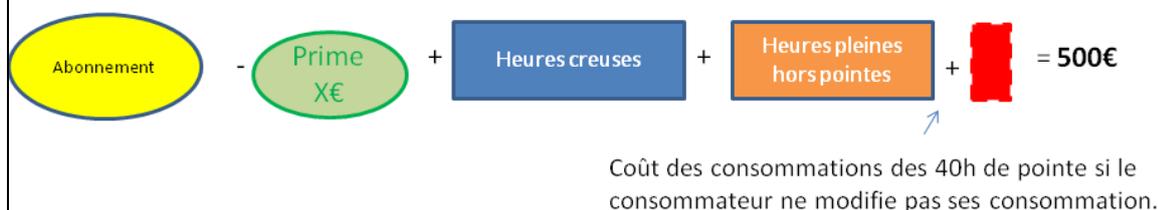
CONCOURS

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

A présent, on propose diverses variantes du contrat Eco Pointe à Paul. Le principe est conservé, mais 2 choses sont modifiées :

- Le prix de l'électricité au KWh durant les heures de pointe
- La prime de contrat de pointe.

Ces paramètres sont calculés de sorte que, si Paul ne modifie pas son comportement durant les heures de pointe sa facture demeurera inchangée.



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Plus le prix de l'électricité en période de pointe est élevé, plus la prime est importante pour compenser

- Avec un prix élevé du KWh en pointe et une prime importante :

Avec des efforts : possibilité de gains importants

Sans effort : facture en forte augmentation

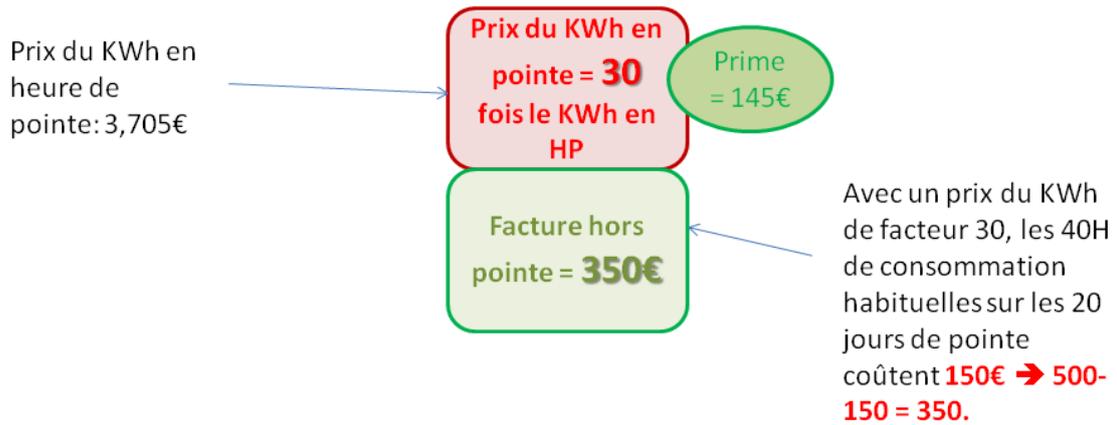
- Avec un prix moins élevé du KWh en pointe et une prime moins importante :

Avec des efforts : possibilité de gains moindre

Sans effort : factures qui augmentent moins

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Exemple :

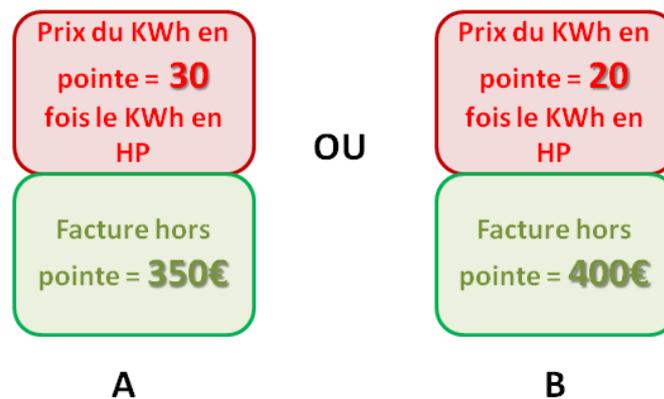


Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

I-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Paul. Lequel pensez vous qu'il va choisir ?



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

CONCOURS

II-

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Paul. Lequel pensez vous qu'il va choisir ?

Prix du KWh en
pointe = **10**
fois le KWh en
HP

OU

Prix du KWh en
pointe = **5** fois
le KWh en HP

Facture hors
pointe = **450€**

Facture hors
pointe = **475€**

A

B

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

CONCOURS

III-

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Paul. Lequel pensez vous qu'il va choisir ?

Prix du KWh en
pointe = **10**
fois le KWh en
HP

OU

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

Facture hors
pointe = **450€**

Facture hors
pointe = **400€**

A

B

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Nous proposons une dernière alternative de contrat **ECO Pointe** à Paul.

Les prix relatif HP et pointe (2H, 20 jours par an) dépend du coût de l'électricité pour Edf.

Le prix du KWh pour le client est ramené dans une fourchette comprise entre:

5 fois le prix en HP et **30 fois le prix en HP**

Avec une moyenne annuelle sur les 40H de pointe inférieure ou égale à 20 fois le prix en HP.

<

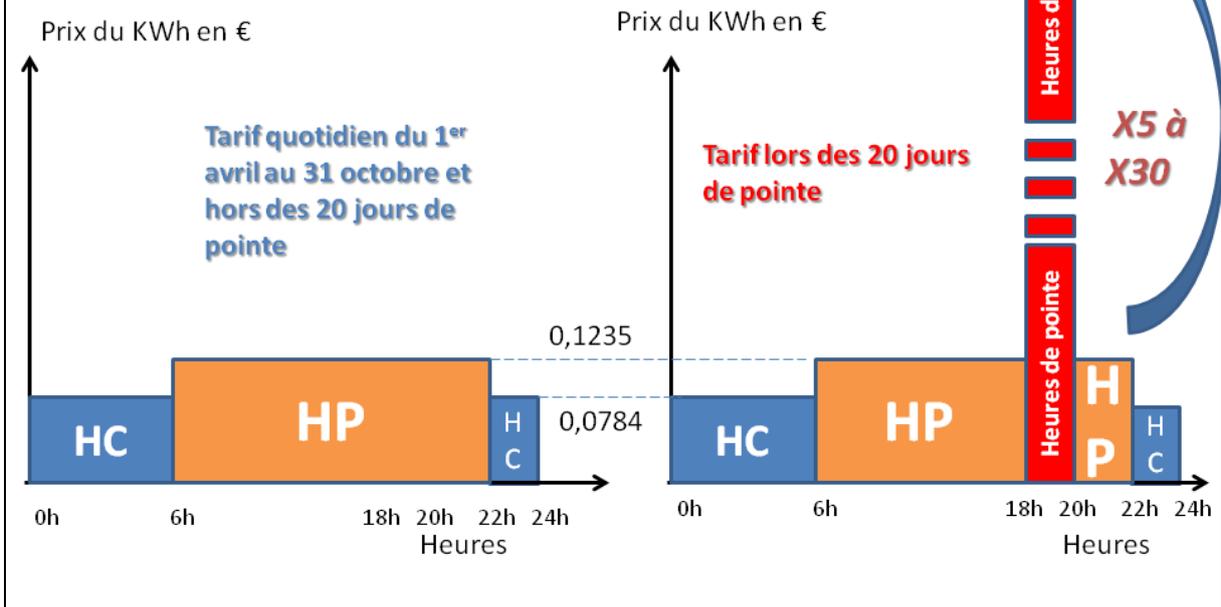
Prix du KWh en pointe = **20 fois le KWh en HP**

Facture hors pointe = **400€**

La prime annuelle du client est maintenant de **95€** (identique au contrat Eco Pointe) avec un facteur de prix de **20** (c'est-à-dire pour lequel le KWh d'électricité en pointe est 20 fois plus cher qu'en HP).

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Le contrat Eco Pointe proposé à Paul :



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

IV-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Paul. Lequel pensez vous qu'il va choisir ?

<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Prix du KWh en pointe = 20 fois le KWh en HP</div>	OU	<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Prix du KWh en pointe compris entre 5 et 30 selon les jours fois le KWh en HP</div>	Offre à facteur de pointe variable
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Facture hors pointe = 400€</div>	A	<div style="border: 1px solid green; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Facture moyenne hors pointe = 400€</div>	

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Le préavis de jour de pointe est la veille à 18H.

Il est parfois difficile de prévoir les pics de consommation, d'autant plus qu'on cherche à le faire longtemps à l'avance.

Selon vous, quel délai de préavis minimum est nécessaire à Paul pour adapter sa consommation ?

- pas de préavis nécessaire
- 2H avant (à 16H)
- 12H avant (le matin)
- 24H avant (à 18H la veille)
- 48H avant (à 18 H l'avant-veille)
- plus de 48H avant

CONCOURS

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul a le choix (sans frais supplémentaires) entre :

- Conserver son contrat de référence HC/HP
- Adopter le contrat suivant :



Bonus à l'effacement

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

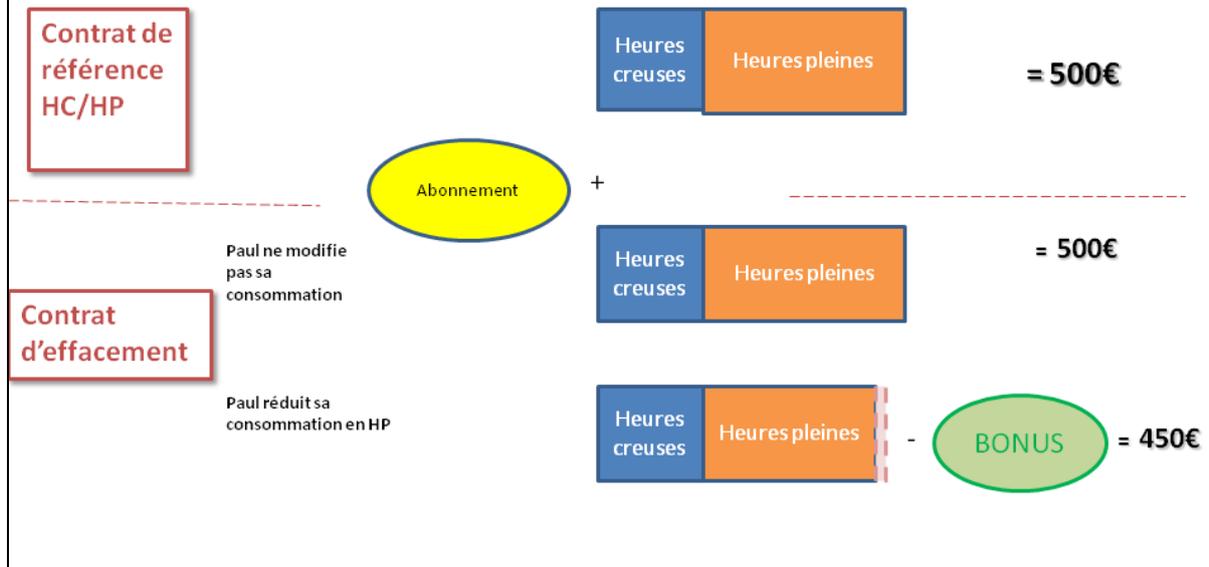


Bonus à l'effacement

Description du contrat :

Sur une base d'un contrat HC/HP, le client est invité durant les jours de pointe à réduire sa consommation pendant 2H. Il reçoit en échange une prime par KWh non consommé durant ces heures.

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Calcul du niveau de consommation de référence :

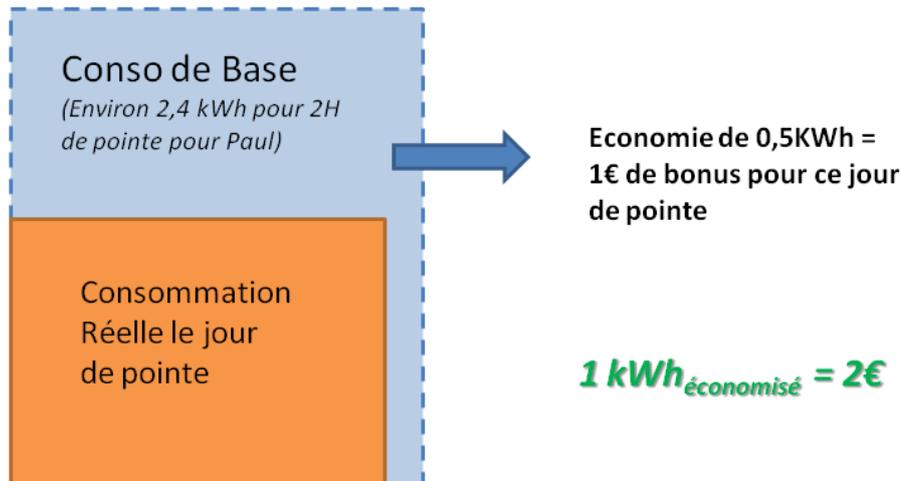
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Eligible pointe	1	Pointe	Pointe	2	Non Eligible pointe	Non Eligible pointe
3	4	5	Jour J			

Conso de référence du jour J =

$$\left[\frac{\text{Conso 1} + \text{conso 2} + \text{conso 3} + \text{conso 4} + \text{conso 5}}{5} \right] \times 1,2$$

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Offre 1 : Pour chaque kWh non consommé par rapport au niveau de Conso de Base, Paul est rémunéré **2€**.



Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat BONUS à L'EFFACEMENT pour Paul ?

Quels sont les **points faibles** du contrat BONUS A L'EFFACEMENT pour Paul?

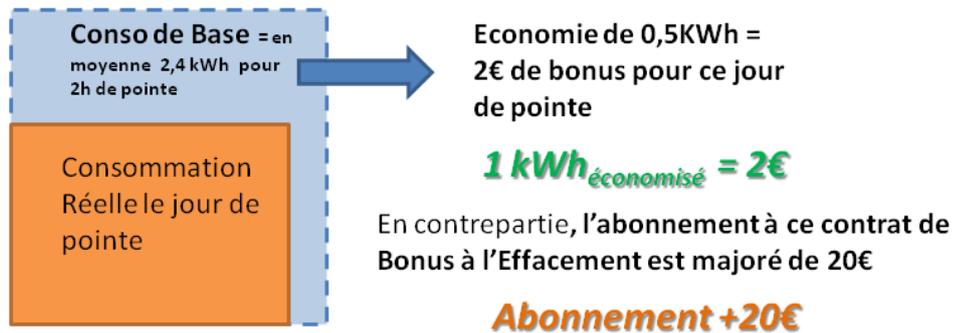
Pensez-vous que Paul va l'accepter?

CONCOURS

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Offre 2. On propose maintenant un autre contrat de type Bonus à l'effacement. Le taux de bonus est le même. Cependant, pour accéder à ce contrat, Paul doit payer un abonnement plus cher de 20€.

Pour chaque KWh non consommé par rapport au niveau de Conso de Base, Paul est rémunéré **2€**.



Paul peut **gagner de l'argent** (bonus + économies des KWh non consommés) **s'il fait des efforts** ou **bien perdre** (frais d'abonnement supplémentaires) **par rapport à sa facture habituelle** s'il ne change rien à son comportement.

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat BONUS à L'EFFACEMENT pour Paul ?

Quels sont les **points faibles** du contrat BONUS A L'EFFACEMENT pour Paul?

Pensez-vous que Paul va l'accepter?

CONCOURS

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul doit maintenant choisir entre 2 offre de type « Bonus à l'effacement » avec un tarif d'abonnement majoré. Le taux de rémunération du kWh non consommé peut changer mais pas le calcul de la Conso de Référence.

CONCOURS

1 kWh économisé = 2€

Abonnement +20€

A

1 kWh économisé = 4€

Abonnement +40€

B

1- Lequel va – t – il choisir ?

Phase 3 : Paul et les contrats d'effacement.

Paul doit maintenant choisir entre 2 offre de type « Bonus à l'effacement » avec un tarif d'abonnement majoré. Le taux de rémunération du kWh non consommé peut changer mais pas le calcul de la Conso de Référence.

CONCOURS

1 kWh économisé = 6€

Abonnement +60€

A

1 kWh économisé = 4€

Abonnement +40€

B

2- Lequel va – t – il choisir ?

Phase 3 : Les contrats d'effacement



**ECO
Pointe**

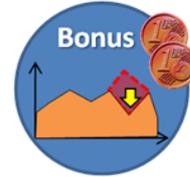
Prix du kWh en
pointe = **20**
fois le kWh en
HP

A

CONCOURS

Selon vous, quel contrat va
préférer Paul?

*(Factures approximativement
égales si Paul réduit sa
consommation de moitié
pendant les heures de pointe)*



**Bonus à
l'effacement**

1 kWh économisé = 4€
Abonnement +40€

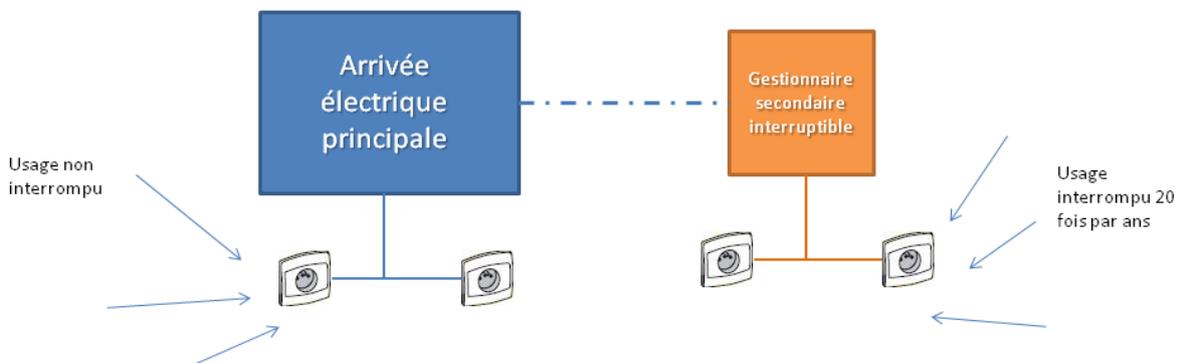
B

Phase 3 : Paul et ses consommations électriques

Paul dispose d'un contrat d'effacement.

Pour l'accompagner dans ce programme il possède un dispositif technique adapté.

Une partie de ses appareils, est coupée durant la plage horaire de pointe (18-20H) ou 30 minutes au cours de cette période les 20 jours de pointe annuels. Cette arrivée est dite **interruptible**.



Phase 3 : Paul et ses consommations électriques

L'arrivée interruptible est coupée durant **30 minutes sur la plage horaire 18-20H (de 19h à 19h30)** à chaque fois qu'il y a un jour de pointe.

Selon vous, *quels sont les appareils de la liste qui vous est fournie, que Paul va refuser de brancher sur l'arrivée d'électricité interruptible?*

Phase 3 : Paul et ses consommations électriques

L'arrivée interruptible est coupée durant **toute la plage horaire 18-20H, c'est-à-dire 2H** chaque fois qu'il y a un jour de pointe.

Selon vous, *quels sont les premiers appareils de la liste qui vous est fournie, que Paul va brancher sur l'arrivée interruptible ?*

Quels sont les premiers appareils de la liste qui vous est fournie, que Paul va refuser de brancher sur l'arrivée interruptible ?

Phase 3 : Paul et ses consommations électriques

On suppose maintenant que Paul a adopté le contrat ECO – POINTE avec un tarif de pointe de facteur 20.

Rappel : Durant ces 20 jours de pointe l'électricité est 20 fois plus chère que lors des « heures pleines » normales du contrat de référence, pendant 2H, de 18h à 20h.

- Le Paul reçoit une prime de 95 €, ainsi sa facture hors consommations des heures de pointe s'élève à 400€. Il peut conserver une partie de cette économie potentielle ou au contraire dépasser sa référence de facture (500€) selon ses consommations lors des heures de pointe.

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

Facture hors
pointe = **400€**

Phase 3 : Paul et ses consommations électriques

Paul va-t-il réduire volontairement sa consommation d'électricité durant les 40h de pointe ?

CONCOURS

A partir de quel montant économisé sur sa facture, en €, Paul trouve-t-il intéressant de faire des efforts pour réduire sa consommation d'électricité sur la tranche horaire 18-20h durant 20 jours par période hivernale ?

Nous vous rappelons qu'il paye 500€ de facture annuelle s'il consomme durant ces 20 jours comme il consomme en moyenne durant les jours d'hiver similaires.

Phase 4

Betty et les contrats d'effacement



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Dans cette phase de l'expérimentation, nous vous demandons de vous mettre dans la peau de Betty, **preneur de décisions pour le foyer B.**

Ce foyer vous est décrit sur la fiche qui vous a été distribuée. Regardons-la ensemble.

Toutes les réponses que vous ferez dans cette phase concerneront les choix de Betty.

Certaines questions seront rémunérées par le principe du **CONCOURS** : il vous faudra répondre comme la majorité du groupe pour gagner de l'argent. Chaque fois que vous répondrez comme la majorité des participants vous remporterez 0,50€ supplémentaires.

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Nous allons maintenant parler **de son contrat d'électricité**

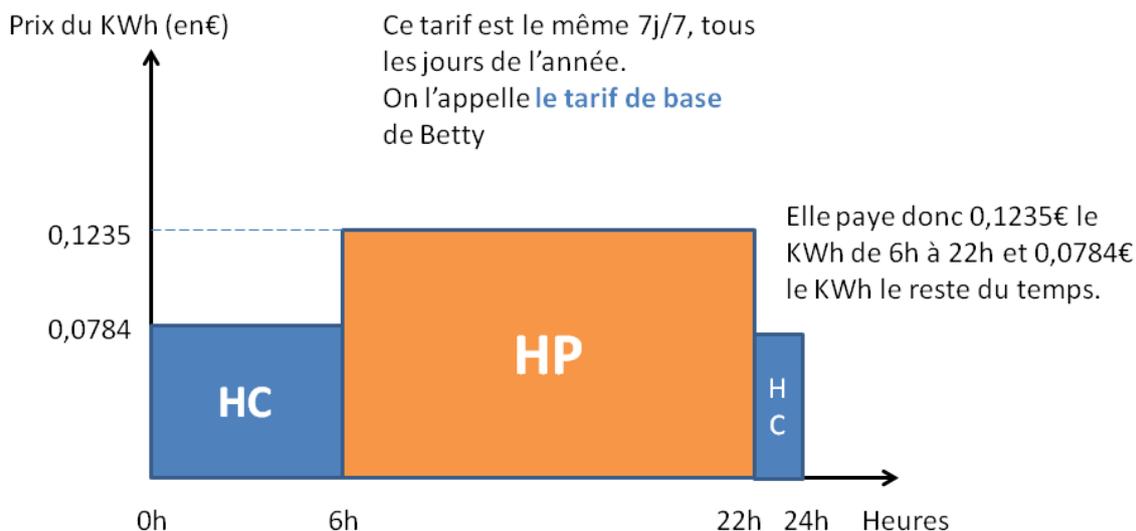
Elle dispose elle aussi actuellement d'un contrat que nous appelons **Heures Creuses/Heures pleines (HC/HP)**.

Votre tâche va à nouveau consister en diverses décisions concernant de nouveaux contrats d'électricités pour le foyer de Betty. Plus vous serez proches de la réponse de la majorité du groupe concernant Betty, plus vous aurez de chance d'augmenter vos gains, toujours selon le principe du

CONCOURS

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Le contrat HC/HP dont dispose le foyer de Betty est le même que précédemment :



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty va avoir la possibilité de changer de contrat d'électricité.

On lui propose de passer de son contrat de référence (HC/HP) vers un « **contrat d'effacement** ».

Le principe de contrat d'effacement ne change pas :

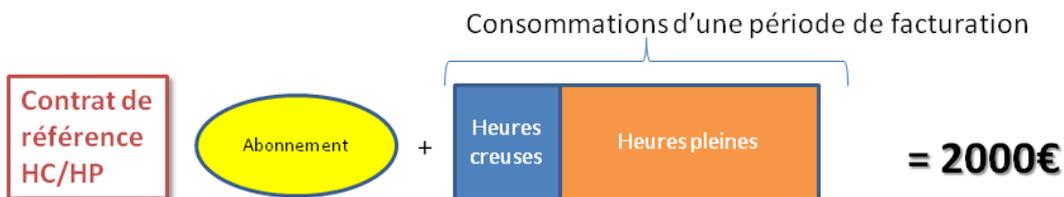
- Un tarif heures creuses / heures pleine toute l'année
- 20 jours par an dits « jours de pointe » durant la période novembre-mars, hors WE et jours fériés.
- Des systèmes pour inciter à réduire la consommation d'électricité durant la plage horaire 18-20H durant les jours de pointe.

-Une facture moyenne (2000€) qui ne change pas si le foyer de Betty ne change pas ses habitudes de consommations.

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty va avoir la possibilité de changer de contrat d'électricité.

Actuellement, **elle paye 2000€ par période de facturation**. Ce montant comprend abonnement + consommations d'électricité



→ Avec les contrats proposés, si Betty ne change pas son comportement de consommation, sa facture restera inchangée (2000€). Si elle modifie sa consommation sa facture peut augmenter ou diminuer. Le changement dépendra du contrat.

Contrat d'effacement

→ Nous allons vous présenter 2 contrats d'effacement.

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty a le choix (sans frais supplémentaires) entre:

- Conserver son contrat de référence HC/HP
- Adopter le contrat suivant :

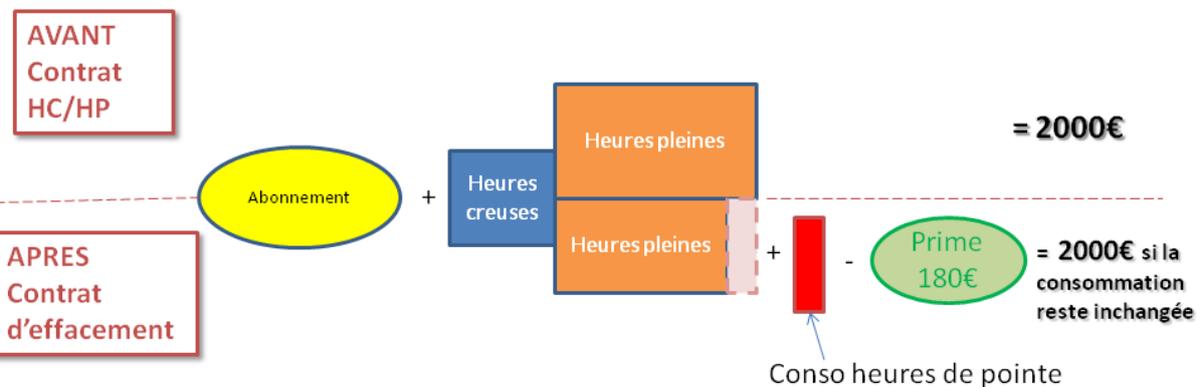


ECO Pointe

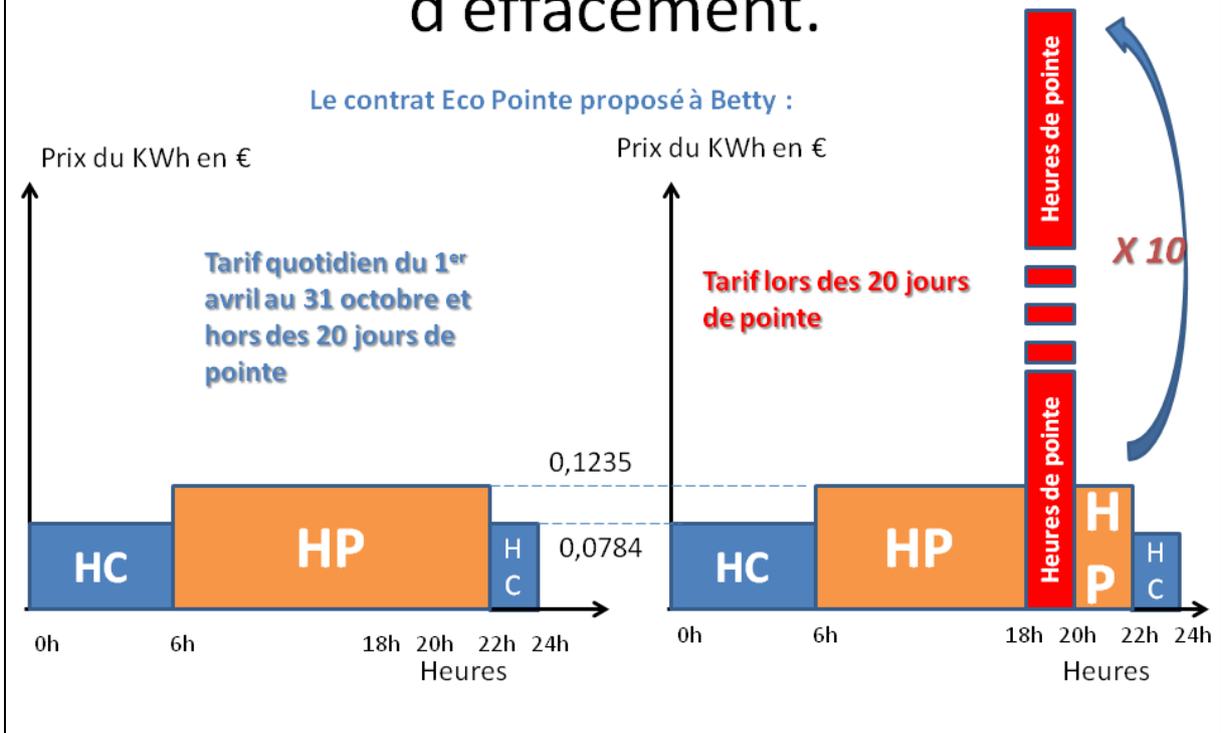
Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty va avoir la possibilité de changer de contrat d'électricité pour Eco Pointe.

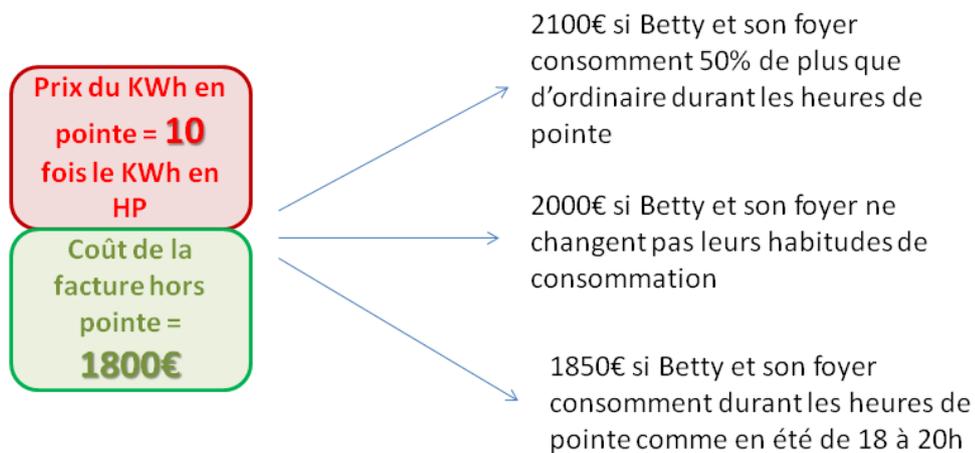
Actuellement, elle paye 2000€ par période de facturation. Ce montant comprend abonnement + consommations d'électricité



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat ECO POINTE pour Betty ?

Quels sont les **points faibles** du contrat ECO POINTE pour Betty ?

Pensez-vous que Betty va accepter ce contrat pour son foyer?

CONCOURS

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

A présent, on propose diverses variantes du contrat Eco Pointe à Betty. 2 choses sont modifiées :

- Le prix de l'électricité au KWh durant les heures de pointes
- La prime de contrat de pointe.

Si le foyer de Betty ne modifie pas son comportement de consommation durant les heures de pointe, en moyenne, sa facture demeurera inchangée.

$$\text{Abonnement} + \text{Heures creuses} + \text{Heures pleines hors pointes} - \text{Prime X€} + \text{Coût des consommations des 40h de pointe} = 2000\text{€}$$

Coût des consommations des 40h de pointe

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Plus le prix de l'électricité en période de pointe est élevé, plus la prime est importante pour compenser

- Avec un prix élevé du KWh en pointe et une prime importante :

Avec des efforts : possibilité de gains importants

Sans effort : facture en forte augmentation

- Avec un prix moins élevé du KWh en pointe et une prime moins importante :

Avec des efforts : possibilité de gains moindre

Sans effort : factures qui augmentent moins

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Exemple:

Le prix du KWh en heure de pointe est de 3,705€

Prix du KWh en pointe = **30** fois le KWh en HP

Prime = 580€

Coût de la facture hors pointe = **1400€**

Avec un prix du KWh de facteur 30, les 40H de consommation habituelles sur les 20 jours de pointe coûtent **600€** → **2000-600 = 1400**

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

I-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Betty. Lequel pensez vous qu'elle va choisir ?

Prix du KWh en
pointe = **10**
fois le KWh en
HP

OU

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

Facture hors
pointe =
1800€

Facture hors
pointe =
1600€

A

B

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

II-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Betty. Lequel pensez vous qu'elle va choisir ?

Prix du KWh en
pointe = **30**
fois le KWh en
HP

OU

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

Facture hors
pointe =
1400€

Facture hors
pointe =
1600€

A

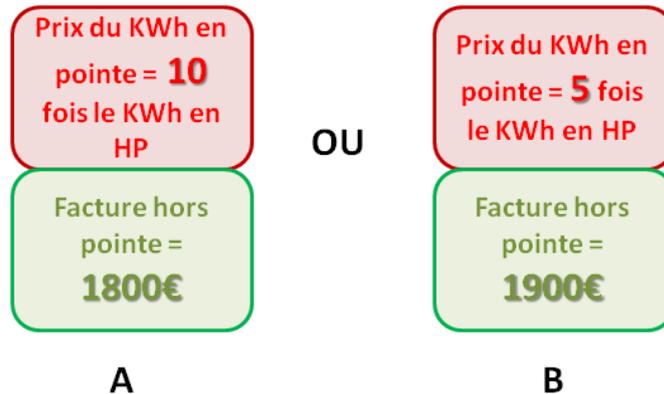
B

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

III-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Betty. Lequel pensez vous qu'elle va choisir ?



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Nous proposons une dernière alternative de contrat **ECO Pointe** à Betty.

Les prix relatif HP et pointe (2H, 20 jours par an) dépend du coût de l'électricité pour Edf. Le prix du KWh pour le client est ramené dans une fourchette comprise entre:

5 fois le prix en HP et **30 fois le prix en HP**

Avec une moyenne annuelle sur les 40H de pointe inférieure ou égale à 20 fois le prix en HP.

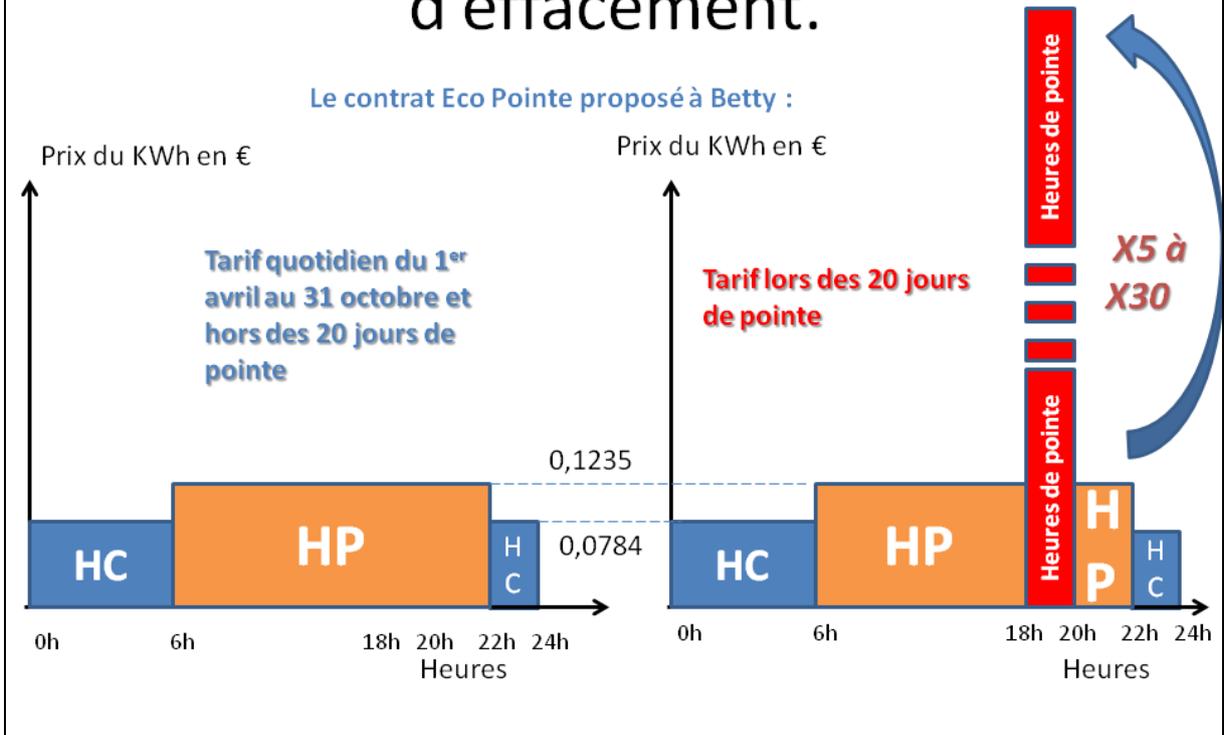
<

Prix du KWh en pointe = 20 fois le KWh en HP

Facture hors pointe = 1600€

La prime annuelle du client est maintenant de **380€** (identique au contrat Eco Pointe) avec un facteur de prix de **20** (c'est-à-dire pour lequel le KWh d'électricité en pointe est 20 fois plus cher qu'en HP).

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

IV-

CONCOURS

Ces deux contrats Eco Pointe sont proposés à Betty. Lequel pensez vous qu'elle va choisir ?

Prix du KWh en pointe = **20** fois le KWh en HP

Coût de la facture hors pointe = **1600€**

A

OU

Prix du KWh en pointe compris entre **5 et 30** selon les jours fois le KWh en HP

Facture moyenne hors pointe = **1600€**

B

Offre à facteur de pointe variable

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Le préavis de jour de pointe est la veille à 18H.

Il est parfois difficile de prévoir les pics de consommation, d'autant plus qu'on cherche à le faire longtemps à l'avance.

Selon vous, quel délai de préavis minimum est nécessaire à Betty pour anticiper l'effacement de consommation?

- pas de préavis nécessaire
- 2H avant (à 16H)
- 12H avant (le matin)
- 24H avant (à 18H la veille)
- 48H avant (à 18 H l'avant-veille)
- plus de 48H avant

CONCOURS

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty a le choix (sans frais supplémentaires) entre:

- Conserver son contrat de référence HC/HP

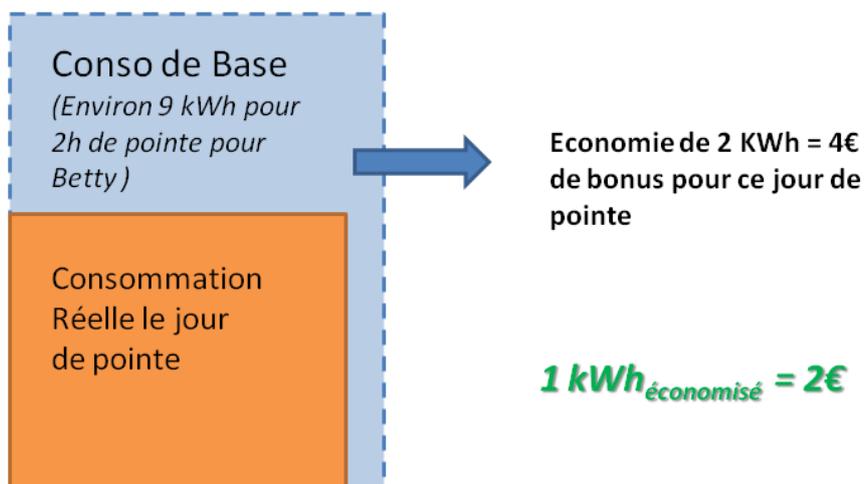
- Adopter le contrat suivant :



Bonus à l'effacement

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Offre 1 : Pour chaque kWh non consommé par rapport au niveau de Conso de Base, Betty est rémunérée **2€**.



Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat BONUS à L'EFFACEMENT pour Betty ?

Quels sont les **points faibles** du contrat BONUS A L'EFFACEMENT pour Betty?

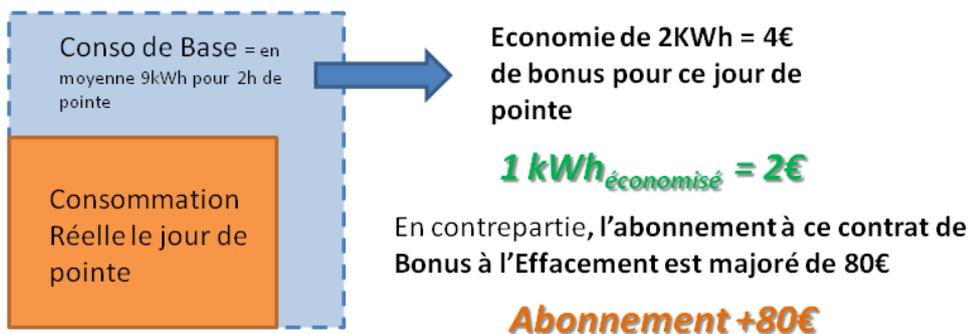
Pensez-vous que Betty va accepter ce contrat pour son foyer?

CONCOURS

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Offre 2. On propose maintenant un autre contrat de type Bonus à l'effacement. Le taux de bonus est le même. Cependant, pour accéder à ce contrat, Betty doit payer un abonnement plus cher de 80€.

Pour chaque kWh non consommé par rapport au niveau de Conso de Base, Paul est rémunéré **2€**.



Betty peut **donc gagner de l'argent** (bonus + économies des kWh non consommés) **si elle fait des efforts** ou **bien perdre** (frais d'abonnement supplémentaires) **par rapport à sa facture habituelle** si elle ne change rien au comportement de son foyer.

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Quels sont les **points forts** du contrat BONUS A L'EFFACEMENT pour Betty ?

Quels sont les **points faibles** du contrat BONUS A L'EFFACEMENT pour Betty ?

Pensez-vous que Betty va accepter ce contrat pour son foyer?

CONCOURS

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty doit maintenant choisir entre 2 offre de type « Bonus à l'effacement » avec un tarif d'abonnement majoré. Le taux de rémunération du kWh non consommé peut changer mais pas le calcul de la Conso de Référence.

CONCOURS

1 kWh économisé = 2€
Abonnement +80€

1-

A

1 kWh économisé = 4€
Abonnement +160€

B

A votre avis, lequel va – t – elle choisir ?

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.

Betty doit maintenant choisir entre 2 offre de type « Bonus à l'effacement » avec un tarif d'abonnement majoré. Le taux de rémunération du kWh non consommé peut changer mais pas le calcul de la Conso de Référence.

CONCOURS

1 kWh économisé = 6€
Abonnement +240€

A

1 kWh économisé = 4€
Abonnement +160€

B

2- A votre avis, lequel va – t – elle choisir ?

Phase 4 : Betty et les contrats d'effacement.



ECO Pointe

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

A

CONCOURS

Selon vous, quel contrat va préférer Betty pour son foyer?

(Factures approximativement égales si le foyer de Betty réduit sa consommation de moitié pendant les heures de pointe)



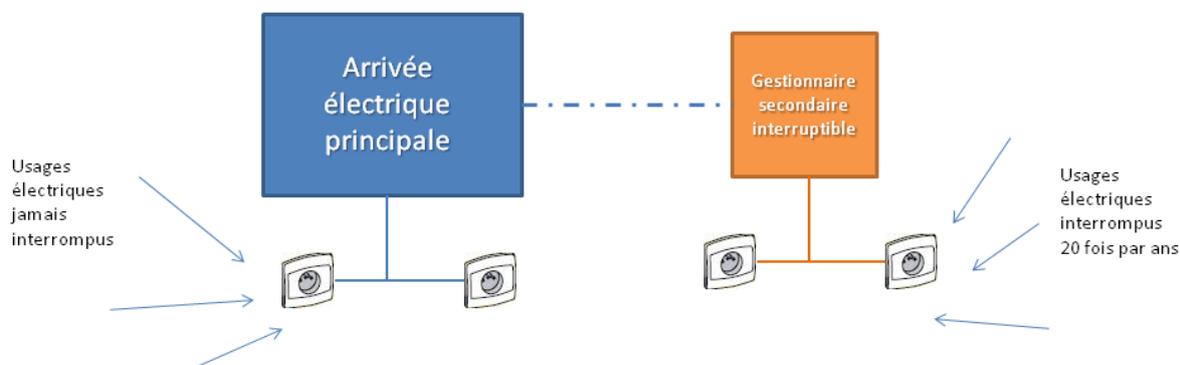
Bonus à l'effacement

1 kWh économisé = 4€
Abonnement +160€

B

Phase 4 : Betty et ses consommations électriques

Le foyer de Betty dispose d'un contrat d'effacement.
 Pour l'accompagner dans ce programme elle possède un dispositif technique adapté.
 Une partie de ses appareils, est coupée durant la plage horaire de pointe (18-20H) ou 30 minutes au cours de cette période les 20 jours de pointe annuels. Cette arrivée est dite **interruptible**.



Phase 4 : Betty et ses consommations électriques

L'arrivée interruptible est coupée durant **30 minutes sur la plage horaire 18-20H (de 19h à 19h30)** à chaque fois qu'il y a un jour de pointe.

Selon vous, *quels sont les appareils de la liste qui vous est fournie, que Betty et sa famille vont refuser de brancher sur l'arrivée interruptible ?*

Phase 4 : Betty et ses consommations électriques

L'arrivée interruptible est coupée durant **toute la plage horaire 18-20H, c'est-à-dire 2H** à chaque fois qu'il y a un jour de pointe à chaque fois qu'il y a un jour de pointe.

Selon vous, *quels sont les appareils de la liste qui vous est fournie, que Betty et sa famille vont brancher sur l'arrivée interruptible ?*

Quels sont les appareils de la liste qui vous est fournie, que Betty et sa famille vont refuser de brancher sur l'arrivée interruptible ?

Phase 4 : Betty et ses consommations électriques

On suppose maintenant que Betty a adopté le contrat ECO – POINTE avec un tarif de pointe de facteur 20.

Rappel : Durant ces 20 jours de pointe l'électricité est 20 fois plus chère que lors des « heures pleines » normales du contrat de référence, pendant 2H, de 18h à 20h.

- Le Betty reçoit une prime de 380 €, ainsi sa facture hors consommations des heures de pointe s'élève à 1600€. Il peut conserver une partie de cette économie potentielle ou au contraire dépasser sa référence de facture (2000€) selon ses consommations lors des heures de pointe.

Prix du KWh en
pointe = **20**
fois le KWh en
HP

Facture hors
pointe =
1600€

Phase 4 : Betty et ses consommations électriques

Selon vous, Betty va-t-elle réduire volontairement la consommation d'électricité de son foyer durant les 40h de pointe ?

CONCOURS

A partir de quel montant économisé sur sa facture, en €, Betty trouve-t-elle intéressant de faire des efforts pour réduire la consommation d'électricité de son foyer sur la tranche horaire 18-20h durant 20 jours par période hivernale ?

Nous vous rappelons qu'elle paye 2000€ de facture annuelle si elle consomme durant ces 20 jours comme elle consomme en moyenne durant les jours d'hiver similaires.

Tirage au sort du jeu des 10 loteries

Tirez au sort la loterie avec laquelle vous allez jouer en cliquant sur un jeton (les jetons sont numérotés de 1 à 10 et mélangés)

Puis découvrez quel est votre gain pour cette loterie en choisissant l'une des cartes

qui porte un symbole :



ou



avec les chances décrites dans cette loterie.

Conclusion et test final de connaissances.

Test de pratiques électriques et connaissances sur les pointes d'électricité.

Merci de votre participation!

