

Technologie, idéologie et développement durable : quelques enseignements

Diemer Arnaud¹

Observatoire des représentations du développement durable (OR2D)

« Dans son rêve prométhéen, l'homme moderne croyait pouvoir domestiquer la nature, il n'a fait que se créer un environnement artificiel plus contraignant encore. Il pensait se servir de la technique alors que c'est lui qui la sert. Les moyens sont érigés en fins et la nécessité en vertu. Nous sommes conditionnés de telle façon que nous adoptons immédiatement toutes les techniques nouvelles sans nous interroger sur leur éventuelle nocivité. L'inquiétant n'est pas la technique, en soi, mais notre attitude à son égard » (Entretiens avec Jacques Ellul, 1994, p. 182).

Le progrès technique, la technique et l'innovation² ont toujours fasciné les économistes. Certains d'entre eux n'ont pas hésité à proposer de véritables représentations du monde bâties sur l'usage des machines ou à analyser l'influence du progrès technique sur la croissance économique. Au XIXe siècle, Jean Baptiste Say n'hésitera pas à se livrer à un véritable plaidoyer en faveur de l'usage des machines et de l'innovation. Ses arguments sont avant tout économiques. Tout procédé de fabrication susceptible de réduire les frais de production, met le produit à la disposition d'un plus grand nombre de consommateurs. L'expérience tendrait même à montrer que le nombre de consommateurs augmente bien plus vite que la baisse des prix : *« La baisse d'un quart dans le prix, double quelque fois la consommation. Cet effet est encore plus marqué lorsque le procédé expéditif améliore le produit en même temps qu'il le rend moins cher. C'est de quoi la presse d'imprimerie nous a offert un*

¹ Arnaud.diemer@or2d.org

² La relation entre technologie (discours sur les techniques) et innovation doit être précisée ici. D'un point de vue étymologique, le mot technologie vient du grec *technología* (*τεχνολογία*). Il renvoie à l'état de l'art (sciences appliquées), aux savoir-faire (artisanat, procédés) et aux outils utilisés (machines). Il inclut ainsi la connaissance, les compétences, les métiers... Par extension, la technologie constitue un discours sur les techniques (ensemble de procédés employés pour produire une œuvre) et peut également se référer aux systèmes ou aux méthodes d'organisation susceptibles de mettre en place les savoir-faire. L'innovation est quant à elle le résultat de l'action d'innover. Le terme, emprunté au latin « *innovatio* », traduit les idées de changement, de création, de nouveauté. Dans ce qui, nous considérerons que la technologie constitue un moyen d'innover, une fuite en avant vers la création. Cette articulation entre innovation et technologie est d'ailleurs contenue dans l'expression « *innovation technologique* », retenu par l'OCDE (manuel d'OSLO, 1992) pour expliquer les changements qui se produisent au sein de la firme considérée individuellement : « *On entend par innovation technologique de produit la mise au point/commercialisation d'un produit plus performant dans le but de fournir au consommateur des services objectivement nouveaux ou améliorés. Par innovation technologique de procédé, on entend la mise au point/adoption de méthodes de production ou de distribution nouvelles ou notablement améliorées. Elle peut faire intervenir des changements affectant – séparément ou simultanément – les matériels, les ressources humaines ou les méthodes de travail* » (1997, p. 9).

mémorable exemple » (1840, p. 197). Plus d'un siècle plus tard, l'innovation et le progrès technique continuent d'alimenter les discussions des économistes.

Dans *l'Abrégé de la croissance française* paru en 1973, Carré, Dubois et Malinvaud se sont attachés à « *comprendre les causes premières de la croissance française de l'Après guerre* » (1973, p. 12). Ils ont ainsi montré qu'une partie significative de la croissance économique française s'expliquait non par l'augmentation des quantités de facteurs de production utilisés, mais par l'introduction du progrès technique. Alors que le taux de croissance de l'économie française avait été de 5,2% par an de 1951 - 1973, les contributions des facteurs travail et capital étaient respectivement de 0.55% et 1.55%. Le progrès technique expliquerait à lui seul plus de 3% de cette croissance.

Dans le même ordre d'idées, les tenants de la théorie de la croissance endogène (Romer, Lucas...) assimilent la croissance à un phénomène autoentretenu par accumulation de quatre facteurs principaux : la technologie, le capital physique, le capital humain et le capital public. Le rythme d'accumulation de ces variables dépend de choix économiques, c'est pourquoi on parle de théories de la croissance endogène. Dans le cas de l'innovation, cette théorie repose sur l'analyse des conditions économiques qui favorisent le changement technique. Chaque changement technique provient d'une idée mise en forme et testée. Cependant, entre l'émergence d'une idée nouvelle et sa mise en œuvre concrète, il peut y avoir un très long chemin (test, essais-erreurs...) qui nécessite le concours de plusieurs personnes. Bref des coûts de mise au point qui peuvent être très élevés. En revanche, une fois ces étapes franchies, si l'idée est acceptée, le produit qui en résulte peut être multiplié avec un coût bien moindre (ainsi le premier disque compact, le premier ordinateur ont nécessité des efforts colossaux de la part de ceux qui les ont mis au point, cependant leur reproduction à l'identique a été beaucoup plus facile). Le propre des idées qui provoquent des changements techniques, est qu'une fois les plâtres essuyés, elles donnent naissance à des rendements croissants (les exemplaires suivants coûtent beaucoup moins chers), voire fortement croissants (duplication d'un logiciel). Si bien que pour celui qui s'est efforcé de transformer l'idée en produit, le risque existe que des concurrents en profitent et que lui ne récupère jamais son investissement initial, alors que ces concurrents s'enrichissent. Des droits de propriété intellectuelle limiteront ce risque : brevets ou copyright protègent l'inventeur qui dispose d'un monopole d'exploitation (limité dans le temps) sur l'œuvre ou le produit tiré de son travail. D'un point de vue économique, cette théorie porte atteinte au cadre concurrentiel et permet l'incorporation d'éléments de concurrence imparfaite qui rendent possibles l'apparition de produits nouveaux et de nouvelles idées. A défaut les idées nouvelles ne tomberont pas forcément dans les mains de l'inventeur mais ceux de l'humanité (exemple de l'écriture, de la mécanique, de la relativité...). *C'est justement lorsque l'on souhaite que les idées nouvelles bénéficient à tous, qu'il devient nécessaire d'en faire supporter le coût par la collectivité.* Ainsi le financement de la recherche fondamentale est public, afin que chacun puisse librement accéder à ses résultats, c'est un bien collectif.

Pour Romer, le changement technique sera d'autant plus intense que les innovateurs espèrent en tirer un profit important. *Le progrès technique n'est pas exogène, il est produit.* Son niveau de production dépendra de la rémunération attendue, c'est-à-dire des droits de propriété et des rentes monopolistiques (on se situe bien dans le cadre de la concurrence imparfaite !). Si au travail et au capital

utilisé, on ajoute des idées nouvelles génératrices de changement technique, tout sera modifié. Car contrairement au capital dont les rendements sont décroissants et au travail dont les rendements sont constants (si on effectue sans cesse un investissement humain supplémentaire), les idées ont un rendement croissant : plus on s'appuie sur un stock d'idées importantes, plus on aura de nouvelles idées. Chaque idée ouvre le champ à d'autres idées potentielles.

Si la théorie de croissance endogène nous donne une représentation pertinente du processus d'innovation, elle a également l'avantage de proposer un discours pragmatique sur le rôle de l'Etat. En effet, contrairement aux approches néoclassiques, Romer reconnaît que le marché ne suffit pas à assurer une croissance maximale à long terme. L'Etat a un rôle important à jouer, non par le biais de la dépense publique (Romer ne pense pas que cela puisse accélérer durablement le progrès technique), mais en venant au secours des innovateurs par le biais d'une fiscalité compensatrice (moindre taxation des bénéficiaires issus des produits nouveaux), de mesures juridiques incitant la recherche-développement et les externalités de connaissances, de mesures anti-concurrentielles non dissuasives (ne pas décourager les innovateurs, voire l'abandon des poursuites judiciaires envers Microsoft).

On le voit les économistes ont nettement avancé sur la question technologique, au point d'endogénéiser l'innovation dans leurs modèles, cette avancée théorique (mais également pratique) a cependant un prix. D'une part, les effets externes des technologies et des techniques sont rarement pris en compte. La réversibilité du processus technologique (le fait que l'on puisse changer de technologie à chaque fois qu'une technologie fait défaut) ne prend pas en compte (ou très mal, via les méthodes probabilistes) les conséquences d'une technologie sur l'environnement (exemple des centrales nucléaires). D'autre part, les technologies nous imposent un raisonnement circulaire dans lequel les problèmes de technologie trouvent leur solution dans une autre technologie, provoquant ainsi une sorte d'aliénation (celle du consommateur) et d'asservissement (celui du travailleur) à la technologie. Ainsi, au moment même où le concept de développement durable émergeait de la sphère onusienne (rapport Brundtland, 1987) et que l'environnement prenait une dimension importante dans nos sociétés, un débat commençait à faire rage dans la communauté des ingénieurs, des économistes et des philosophes entre les tenants et les opposants à la solution technologique. Dans ce qui suit, nous avons focalisé notre communication sur deux courants de pensée, qui se sont exprimés à la fois sur le développement durable et la question de l'innovation.

I. L'écologie industrielle, une pensée d'ingénieurs au service de l'innovation

Le premier courant de pensée s'inscrit dans le corpus théorique de l'écologie industrielle. Initiée à la fin des années 80 par deux responsables de la Recherche chez General Motors, Robert Frosch et Nicolas Gallopoulos, l'écologie industrielle cherche à remettre en cause le modèle de développement des économies industrielles en s'appuyant sur le concept d'écosystème industriel : *« dans un système industriel traditionnel, chaque opération de transformation, indépendamment des autres, consomme des matières premières, fournit des produits que l'on vend et des déchets que l'on stocke. On doit remplacer cette méthode simpliste par un modèle plus intégré : un écosystème industriel »*

(1989, p. 106). Cet écosystème industriel doit fonctionner comme un écosystème biologique, c'est-à-dire en circuit fermé.

L'écologie industrielle fût ainsi très vite présentée comme une réponse pragmatique des industriels aux défis environnementaux. Il s'agissait à la fois (1) de valoriser les déchets (passer des bads aux goods); (2) de boucler les cycles en minimisant les rejets; (3) de dématérialiser les produits (accroître la productivité des ressources) et (4) de procéder à la décarbonisation de l'énergie (système industriel moins gourmand en énergie fossile).

1/ La valorisation des déchets

Dans le cas de la valorisation des déchets, les tenants de l'écologie industrielle ont mis en avant le concept de symbiose industrielle. Cette innovation organisationnelle repose aujourd'hui sur l'idéal type de la symbiose industrielle de Kalundborg. Cette dernière illustre la nécessaire interdépendance entre plusieurs processus de production de différentes firmes et le bouclage des flux de matière et d'énergie à mettre en œuvre à l'intérieur d'une zone d'activité industrielle (Vivien, 2002). La symbiose industrielle de Kalundborg comprend six partenaires industriels (une centrale électrique, Asnaes; une raffinerie de pétrole, Statoil; une firme de biotechnologies, Novo Nordisk; une société de fabrication de panneaux en gypse, Gyproc; une usine de retraitement des sols pollués, Soilrem; et une firme de retraitement les eaux usées, Noveren) et un acteur public, la ville de Kalundborg, distants les uns des autres de quelques centaines de mètres seulement, et reliés entre eux par un réseau de pipelines ad hoc (Christensen, 2006).

La symbiose de Kalundborg a permis de tirer les trois enseignements suivants. Il s'agit avant tout d'un processus spontané, qui s'est progressivement (de 1961 à 2007) mis en place sur des bases commerciales qui satisfont toutes les entreprises. Suren Erkman note que « *les échanges obéissent aux lois du marché* », 1998, p. 26). Chaque livraison de « déchets » entre les partenaires fait l'objet d'une négociation séparée et confidentielle. La symbiose industrielle de Kalundborg apparaît sous la forme d'un « *réseau environnemental* » de plus de 20 accords commerciaux. Ensuite, le succès du système repose sur une bonne communication entre les partenaires : « *Communication is more important than technology* » (Christensen, 2006, p. 48). Trois facteurs sont ici essentiels : la confiance mutuelle, la proximité géographique et le style de management (partage de certaines valeurs). Enfin, pour devenir opérationnel, ce système doit être intégré dans l'organisation structurelle des entreprises.

Pour améliorer l'efficacité d'un tel système, il est cependant nécessaire de favoriser certains panachages industriels (ceci renvoie aux *biocénoses industrielles*) propices aux échanges de déchets et de ressources (Brings Jacobsen, Anderberg, 2004) et de mobiliser des savoirs (scientifiques, techniques, juridiques, commerciaux) destinés à repenser l'activité en fonction des possibilités de valorisation interne ou externe des résidus. Cet apprentissage organisationnel doit être compris en tant que processus d'acquisition, de production et de diffusion des connaissances (d'où l'importance des apports transversaux et interdisciplinaires) permettant à une organisation de s'adapter collectivement aux changements de son environnement et de mettre en place de nouvelles pratiques.

2/ Le bouclage des cycles et la minimisation des rejets

Concernant la gestion et le traitement des déchets, les industriels ont cherché à économiser de la matière première (développement de l'éco-conception et de l'éco-production) et à réduire le volume de nos rejets (principe de la responsabilité élargie des producteurs, amélioration du tri-sélectif, filières de recyclage). Suren Erkman (1998) insiste sur le fait que l'innovation et le progrès technique nous permettrait d'utiliser proportionnellement moins de flux de matière et d'énergie. « *C'est ainsi que le poids moyen de la carcasse métallique des voitures a fortement diminué, grâce à différents polymères plastiques qui remplacent l'acier. L'industrie des télécommunications offre un autre exemple spectaculaire de substitution technologique : 25 kg de fibre de verre suffisent pour fournir des services équivalents à une tonne de cuivre* » (1998, p. 88).

Au début des années 2000, les sciences de l'ingénieur ont connu un certain succès auprès des instances de l'Union européenne et l'écologie industrielle s'est mise à 'surfer' sur la vague de l'écotechnologie³ et de l'éco-efficience. L'écotechnologie recouvre à la fois « *les techniques intégrées qui évitent la formation de polluants durant les procédés de production, et les techniques en bout de chaîne qui réduisent les rejets dans l'environnement de toute substance polluante générée. Elle peut également englober les nouveaux matériaux, les procédés de fabrication économes en énergie et en ressources, ainsi que le savoir faire écologique et les nouvelles méthodes de travail* » (COM, 2002, p. 5). Il semble extrêmement difficile d'évaluer la contribution de l'éco-technologie au développement durable. Néanmoins, il est possible de rendre compte de cette corrélation à partir des éco-industries. Selon l'OCDE et Eurostat (1999), les éco-industries concernent « *toutes les activités qui produisent des biens et services visant à mesurer, prévenir, limiter ou corriger les atteintes à l'environnement touchant l'eau, l'air ou le sol, et les problèmes en rapport avec les déchets, le bruit et les écosystèmes* ». Cette définition englobe trois catégories d'activités : la gestion de la pollution de nature préventive (réduction des émissions de gaz à effet de serre) ou curative (réparations des atteintes à l'environnement) ; les techniques intégrées et les produits peu polluants (c'est-à-dire les activités qui améliorent, réduisent ou éliminent de façon continue les incidences des techniques générales de l'environnement) ; la gestion des ressources (notamment des énergies renouvelables telles que l'éolien, le solaire, la biomasse). Dans la mesure où ces nouvelles techniques relevant de l'écotechnologie réduisent les coûts de la protection de l'environnement, elles permettent également de renforcer la protection de l'environnement pour un prix moins élevé ou de satisfaire aux normes actuelles à moindre coût. Cela permet de libérer des ressources qui peuvent être utilisées ailleurs et de dissocier la pollution de l'environnement et l'utilisation des ressources de la croissance économique.

3/ La dématérialisation du capital

S'agissant de la dématérialisation des produits, les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) sont présentées comme des outils décisifs dans la lutte contre l'épuisement des matières premières et des déchets. Suren Erkman parle de « *substitution informationnelle* » (1998, p. 89). Les NTIC permettraient d'accroître la rentabilité des entreprises en utilisant au mieux

³ Aux Etats-Unis, l'écologie industrielle et l'écotechnologie font désormais partie du prestigieux MIT.

leurs ressources. Les technologies de ce type seraient ainsi capables de supprimer la corrélation entre la pollution de l'environnement et la croissance économique. Les NTIC apporteraient plusieurs contributions à la sauvegarde de l'environnement. Dans un premier temps, elles peuvent directement transformer des produits en services (ainsi un journal deviendrait un service d'information en ligne et un manuel d'instruction, un service interactif d'assistance technique). Dans un deuxième temps, elles peuvent répondre au problème des gaspillages d'énergie et des nuisances environnementales. Dans le cas du secteur des transports, les systèmes de transport intelligent (STI), GPS ou Galiléo (à venir), peuvent réduire les encombrements de la circulation et atténuer leurs incidences sur l'environnement. Dans un troisième temps, le contenu informationnel des produits (notamment logiciels), du point de vue de leur valeur marchande, a augmenté plus rapidement que leur contenu matériel (au début des années 80, le matériel informatique représentait environ 31% de la valeur des ordinateurs et le logiciel seulement 20%, aujourd'hui le rapport est complètement inversé). Dès lors, la valeur ajoutée par une conception améliorée, des caractéristiques et des usages supplémentaires, et le recours à des matériaux plus appropriés pourraient permettre de dissocier la croissance de l'utilisation des ressources. Enfin, le commerce en ligne peut engendrer une re-ingénierie des procédés, susceptible de réduire l'utilisation des matériaux (baisse des stocks et de l'entreposage) ; le transport (amélioration de la logistique, diminution du nombre de déplacements et de camions circulant à vide, télétravail) et l'espace industriel (nouvel agencement des bureaux, locaux plus économes en énergie). Globalement, il semblerait que la mise en place des NTIC et des infrastructures de l'information soient en train de changer les règles de base de la société industrialisée. L'information, sous toutes ses formes (scientifiques, industrielles, techniques, commerciales, brutes, traitées) deviendrait un intrant majeur, voire la substance de base du système productif (les informations brutes ou traitées transitent par des échanges marchands).

4) La décarbonisation de l'énergie

Dans le cas de la décarbonisation de l'énergie, de nombreux acteurs institutionnels, en l'occurrence, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), a relayé les thèses de l'écologie industrielle en préconisant une révolution technologique à faible teneur en carbone. Dans son rapport *Energy Technology Perspectives* (2010), l'AIE précise que « *this book demonstrates that a portfolio of existing and new technologies will be needed to address these challenges [achieving the needed 50% reduction by 2050], and lays out both the priority areas for action and the mechanisms that can help deliver change* » (2010, p. 2). Il serait ainsi possible de ramener les 28 gigatonnes (Gt) de CO² émises dans le monde aujourd'hui à près de 14 Gt en 2050 (scénario *Blue Map*) contre 57 Gt (scénario de base), si on ne faisait rien. Et ce, sans renoncer à notre confort matériel et en continuant à répondre aux besoins des pays du Sud. Pour parvenir à ce résultat, des investissements considérables seront nécessaires. Dans le scénario *Blue Map*, ils sont évalués à près de 750 milliards de \$ par an jusqu'à 2030, et 1600 milliards de \$ par an de 2030 à 2050, soit plus de 46 000 milliards de \$ (1.5% du PIB mondial par an de 2010 à 2050).

II. L'écologie politique, le rejet du développement durable et des mythes véhiculés par la technologie

Le second courant de pensée est plus difficile à identifier. Il prend les traits d'une défiance vis à vis de la technique, de l'innovation et de la croissance illimitée, puis d'un rejet du concept de développement durable (*concept alibi* pour certains, *douce berceuse* pour d'autres). Ce que l'on a coutume d'appeler l'écologie politique, renvoie aux travaux de quelques économistes et penseurs de la société, tels que Jacques Ellul, Bertrand de Jouvenel, Ivan Illich, Nicholas Georgescu-Roegen, René Passet, Serge Latouche...

Son cadre théorique se situe au carrefour de la vision thermodynamique et biologique du monde. La thermodynamique parce qu'elle nous démontre que les ressources naturelles s'épuisent irrévocablement, la biologie parce qu'elle nous révèle la vraie nature du processus économique. Contrairement à l'écologie industrielle, les tenants de l'écologie politique se montrent très critique vis à vis (1) de la technique et de l'innovation ; (2) de la dématérialisation du capital et (3) de l'éco-efficience.

1/ La critique de la technique et le mythe de l'innovation

La critique de la technique et le mythe de l'innovation ont été évoquées par un grand nombre auteurs. Jacques Ellul est peut être le plus emblématique d'entre eux. Profondément influencé par l'analyse du capitalisme de Karl Marx, Jacques Ellul considérait que le pouvoir et la capacité de reproduction de la valeur n'étaient plus liés au capital mais à la technique (Troude Chastenot, 1994).

Dans son ouvrage *La technique ou l'enjeu du siècle* (1954), Ellul précise dès les premières lignes de son ouvrage que la technique ne doit pas être confondue avec la machine : « *Qui voit technique pense spontanément machine. Et l'on considère toujours notre monde comme celui de la machine... Cela vient de ce que la machine est la forme primitive, ancienne, historique de cette force* » (1954, p. 1). Si la technique a effectivement pris son point de départ dans l'origine de la machine, elle a fini par dépasser largement le cadre strict du machinisme pour pénétrer les consciences. De ce fait, elle a changé de statut et cessé d'être associée à une fonction de production. Elle s'est émancipée et a échappé même au contrôle de l'homme : « *lorsque la technique entre dans tous les domaines et dans l'homme lui-même qui devient pour elle-même un objet, la technique cesse d'être elle-même l'objet pour l'homme, elle devient sa propre substance, : elle n'est plus posée en face de l'homme, mais s'intègre en lui et progressivement l'absorbe* » (1954, p. 4).

La technique forme ainsi un monde dévorant qui obéit à ses propres lois. Il ne s'agit pas de trouver la meilleure formule parmi tant d'autres, mais bien le moyen supérieur dans l'absolu. Ainsi le progrès technique commande la totalité de l'évolution économique, non seulement les opérations de production, mais également les opérations de répartition, le mécanisme des prix, le commerce extérieur... Les conséquences en matière de croissance économique sont réelles, nous serions passés d'une croissance réflexive, inconsciente ou instinctive à une croissance

rationnelle, intelligente ou consciente⁴ (Guitton, 1951). L'économie politique, en tant que discipline n'échappe pas à cette emprise tentaculaire : « *malgré les efforts récents des économistes pour distinguer science et technique économique, pour définir et placer des barrières, nous montrons que c'est la technique économique qui forme aujourd'hui la matière même de la pensée économique* » (1954, p. 7). L'économie politique a quitté le domaine de la science morale pour embrasser celui de la technique, illustrée par les recherches (modèles, équations comptables et mathématiques, statistiques) et les applications en microéconomie et en macroéconomie ; les interventions de l'Etat (planification)... Selon Ellul, plus la technique économique se développe, plus elle fait rentrer dans la réalité la notion abstraite de l'homme économique : « *La transformation de la loi naturelle en loi technique s'accompagne du modelage de l'homme, de son adaptation, de sa cohérence à l'évolution. Au libéralisme économique répond l'individualisme social. Au planisme répond l'homme économique* » (1954, p. 198). Ainsi l'homme se modifie lentement sous la pression plus pesante du milieu économique « *jusqu'à cet homme d'une minceur extrême que l'économiste libéral fait entrer dans ses constructions* » (1954, p. 199). Sa vie entière est devenue fonction de la technique économique.

Ellul en déduit que la technique crée un monde unitaire nouveau. Ce monde qui s'est construit entre la nature et l'homme, s'est tellement développé et autonomisé que l'homme a définitivement perdu contact avec le cadre naturel et qu'il n'a plus de relations qu'avec ce système organisé : « *enfermé dans son œuvre artificielle, l'homme n'a aucune porte de sortie, il ne peut la percer pour retrouver son ancien milieu, auquel il est adapté depuis tant de milliers de siècles* » (1954, p. 389). Nous cessons ainsi d'être indépendants, nous sommes étroitement impliqués par cet univers technique, conditionnés par lui : « *Nous ne pouvons plus poser d'un côté l'homme, de l'autre l'outillage. Nous sommes obligés de considérer comme un tout « l'homme dans l'univers technique »* » (1965, p. 381). Dans un article intitulé *Plaidoyer contre la défense de l'environnement* (1972), Jacques Ellul en conclut que le problème environnemental devient d'une extrême complexité. Le milieu naturel est remis en question par un développement non pas anormal, mais normal de la technique, non pas un abus et un mauvais usage des moyens, mais par leur simple naissance. D'une certaine manière, l'homme ne vénère plus la nature, mais ce qui la profane, la pollue ou la souille, la technique : « *Toute se passe comme s'il y avait deux ordres de phénomènes parallèles et sans communication, se développant sans référence l'un à l'autre : d'un côté la croissance technique avec ses exigences ; de l'autre la protection de l'environnement* » (1972, p. 7). Les conséquences de cette sacralisation ne sont pas uniquement environnementales, elles sont également psychologiques puisqu'elles se traduisent par un sentiment d'addiction envers la technique. Dans le *Système technicien* (1977) et le *bluff technologique* (1988), Ellul n'hésitera pas à présenter la technique comme le facteur déterminant de la société, un facteur plus important que le politique et l'économie. D'un côté, elle existe en tant que système, c'est à dire comme un tout organisé : « *Il est aisé de constater que tout ce qui constituait la vie sociale, travail, loisir, religion, culture, institutions, tout cela qui formait un ensemble lâche et complexe, où la vie*

⁴ Jacques Ellul distingue *l'opération technique* (tout travail réalisé avec une certaine méthode pour atteindre un résultat) du *phénomène technique* (c'est le produit d'une double intervention, celle de la conscience et celle de la raison). Selon lui, c'est ce dernier qui constitue l'essence même de la technique, qui « *fait passer dans le domaine des idées claires, volontaires et raisonnées ce qui était du domaine de l'expérimental, inconscient et spontané* » (1954, p. 18).

réelle s'insérait, où l'homme trouvait à la fois une raison de vivre et une angoisse, toutes ces activités déchirées et plus ou moins irréductibles les unes aux autres, tout cela est maintenant technicisé, homogénéisé, intégré dans un nouvel ensemble qui n'est pas la société » (1977, p. 27). De l'autre, elle s'est constituée autour d'un discours qui tend à mystifier les changements qui s'opèrent dans la société : « Quand je dis bluff, c'est que l'on charge maintenant les techniques de centaines de réussites et d'exploits... et que la technique nous est dorénavant présentée expressément à la fois comme la seule solution à tous nos problèmes collectifs (le chômage, la misère du tiers-monde, la crise, la pollution, la menace de guerre) ou individuels (la santé, la vie familiale et même le sens de la vie), et à la fois comme la seule possibilité de progrès et de développement pour toutes les sociétés » (1988, p. 26). La croissance fait partie de ces mystiques, une sorte « de délire quantitatif de la société » (Latouche, 2013, p. 13) qui nous fait basculer dans le déraisonnable : « Nous connaissons tous et dans tous les domaines cette obsession de la croissance. La croissance est bonne en soi. On ne se demande ni : croissance de quoi ? Ni : cette croissance est-elle utile ? Ni : à qui servira cette croissance ? Ni même : que fera-t-on de tous ces excédents » (Ellul, 1988, p. 68). Si Jacques Ellul consacra la majeure partie de ses travaux à la technique, d'autres auteurs reviendront plus spécifiquement sur la question de l'innovation et de la substitution des facteurs de production.

Concernant la substituabilité des facteurs de production, Serge Latouche précise qu'il faut avoir « *la foi des économistes orthodoxes pour penser que la substituabilité illimitée de la nature par l'artifice est concevable* » (2006, p. 46). Nicholas Georgescu-Roegen (1995) avait déjà qualifié cette thèse, de « *sophisme de la substitution éternelle* ». Le mythe de la technique sans limites est à la fois condamné par les faits et la problématique même de la technologie. Il n'existe pas de facteurs matériels autres que les ressources naturelles : « *la substitution à l'intérieur d'un stock fini de basse entropie accessible dont la dégradation irrévocable s'accélère avec son utilisation ne peut durer indéfiniment* » (NGR, 1995, p. 100).

Par ailleurs, l'histoire économique (voire les différentes révolutions industrielles) confirme que tous les grands bonds du progrès technologique ont été déclenchés par la découverte et la maîtrise d'une nouvelle source d'énergie et que les innovations ont été suivies d'un accroissement substantiel de l'extraction minière. Le phénomène plus connu sous le nom « d'effet rebond » ou de « paradoxe de Jevons », précise que toutes les innovations technologiques incitent à une augmentation de la consommation globale. Ainsi, les gains potentiels dus aux perfectionnements techniques seraient plus que compensés par l'accroissement des quantités consommées : « *Les ampoules fluocompactes dépensent moins d'électricité, on les laisse allumées. L'Internet dématérialise l'accès à l'information, on imprime plus de papier. Il y a plus d'autoroutes, le trafic augmente...* » (Latouche, 2006, p. 50).

Les effets rebond sont généralement classés en trois catégories ; effet direct, indirect ou macroéconomique. *Les rebonds à effet direct* peuvent être décomposés en deux sous-effets : (i) *effets revenus* ou *produits* (les consommateurs peuvent répondre à la diminution des prix ou/et l'augmentation de leurs revenus en augmentant leur demande pour le service énergétique, les entreprises peuvent réagir en augmentant l'utilisation de cette énergie dans leur production) et (ii) *effets de substitution* (les consommateurs peuvent répondre à la baisse du prix d'un service énergétique en substituant ce service à d'autres de manière à consommer encore plus de biens, les entreprises peuvent utiliser le service énergétique le plus économique pour d'autres

inputs). Greening et al. (2000), Sorrell (2007) ont estimé que les rebonds à effet direct dans le cas de services aux consommateurs (utilisation de la voiture et du chauffage) pouvaient réduire de 10 à 30% les gains potentiels d'une innovation dans les pays développés. Dans le secteur informatique, Suren Erkman note que « *les ordinateurs étaient censés reléguer le papier au rang de curiosité historique...or c'est exactement l'inverse qui s'est produit : aux Etats-Unis, la consommation annuelle de papier à écrire et à imprimer est passée de 7 à 22 millions de tonnes entre 1956 et 1986* » (1998, p. 90). A côté des rebonds à effet direct, il existe également des rebonds à effet indirect. Sorrell (2007) a montré que les investissements et les technologies d'économie d'énergie nécessitaient de l'énergie pour être mises en place, dès lors, cette dépense d'énergie destinée aux améliorations elles-mêmes pouvait réduire les économies d'énergies réalisées. Ainsi, l'isolation thermique permet de réduire la consommation d'énergie et fournit un certain confort dans une résidence, cependant les matériels d'isolation ont besoin d'énergie pour être fabriqués, transportés et installés. Dominique Bourg rappelle que « *les ordinateurs consomment moins qu'il y a 10 ou 15 ans, mais le nombre d'utilisateurs a considérablement augmenté, et les appareils sont plus puissants ; leur usage s'est transformé et démultiplié. On s'attend ainsi à ce que la consommation d'électricité relative à l'informatique triple d'ici à 30 ans à l'échelle de la planète* » (2010, p. 1). Enfin, les améliorations de l'efficacité énergétique à l'échelle microéconomique peuvent se combiner et générer plusieurs mécanismes macroéconomiques: *des effets sur les prix du marché* (la baisse des prix du marché de l'énergie favorise une plus grande utilisation générale des services liés à l'énergie et une reprise de la demande d'énergie), *des effets composite* (l'efficacité énergétique dans les processus de production favorise les secteurs les plus énergivores, des secteurs pour lesquels les consommations d'énergie représentent une part importante des coûts de production, un tel résultat peut entraîner une augmentation de la demande pour les biens et les services à forte intensité énergétique, puis au final un changement global de la spécialisation du pays) ou *des effets sur la croissance économique* (une augmentation globale de la productivité énergétique de l'économie stimule davantage la production et la croissance, ce qui peut entraîner une augmentation de la demande d'énergie). Lorsque les mécanismes de rebond (directs, indirects et macro-économiques) se combinent, les économies d'énergie réalisées risquent de ne pas être à la hauteur des attentes. Dans le dernier rapport de l'*Institut Breakthrough* (2011), Jenkins, Nordhaus et Shellenberger ont conclu que « *improvements in energy efficiency will have correspondingly greater impacts on economic growth, driving a much larger rebound in the consumption energy (and other economic inputs) than otherwise predicted* » (2011, p. 26). La dématérialisation impliquerait donc une réflexion sur les moyens de rendre les services plus frugaux en matière et en énergie.

2/ La dématérialisation du capital

L'économie des services et la nouvelle économie (associée au virtuel et à l'information) sont présentées par certains comme une réponse adéquate aux problèmes environnementaux. La dématérialisation du capitalisme - en d'autres termes le passage d'une société de produits à une société de services - conduirait à une consommation moins énergivore en matières premières et en énergie. Les tenants de l'écologie politique ont adressé une série de critiques exacerbées sur ce dernier point.

- D'une part, les NTIC et le capitalisme cognitif seraient beaucoup plus gourmands en inputs et en intrants matériels qu'il n'y paraît. Si les logiciels incorporent de la matière grise, une étude intitulée « *Computers and the Environnement* » et réalisée par Ruediger Kuehr et Eric Williams (2003) pour le compte de l'ONU, a révélé que les composants électroniques assemblés dans les ordinateurs étaient un danger avéré pour l'environnement. Ces chercheurs ont établi que pour produire un ordinateur de bureau avec un écran de 17 pouces, soit 24 kg de matière utilisée, il fallait l'équivalent de près de deux tonnes de ressources naturelles : soit 240 kg de combustible, 22 kg de produits chimiques et près de 1,5 tonne d'eau claire⁵. La fabrication d'une puce mémoire de 32MB DRAM en silicium de 2 grammes, pièce qui permet de transformer l'information au sein de chaque ordinateur, nécessite 1,2 kg de matières fossiles, 72 grammes de produits chimiques et 32 litres d'eau pure. La quantité de matière et d'énergie nécessaire pour produire une puce est ainsi disproportionnée par rapport à la taille du produit (équivalent de 600 fois son poids). Par comparaison, les combustibles fossiles nécessaires à la production d'une automobile ne représentent qu'une à deux fois son poids (Grégoriades, 2007). Cette soif de matière et d'énergie⁶ génère également des problèmes de toxicité (plomb dans les tubes cathodiques des écrans, cadmium pour les revêtements de protection, chrome hexavalent pour lutter contre la corrosion des composants, polybromodiphényles et polybromodiphényléthers utilisés dans les circuits imprimés pour les rendre ininflammables, mercure et lithium dans les batteries, aluminium dans les disques durs...) et de recyclage des produits (plus de 150 millions d'ordinateurs sont aujourd'hui vendus dans le monde). Le rythme auquel les nouvelles technologies se développent, implique que la durée de vie utile des ordinateurs est courte, ce qui engendre une accumulation de produits obsolètes (la loi de Moore - la puissance des puces électroniques doit doubler tous les 18 mois - pousse au renouvellement permanent !).

- D'autre part, les NTIC ont des conséquences sur la situation environnementale de nombreux pays du Sud. Serge Latouche (2006, p. 48) note que « *la prétendue économie de la connaissance postindustrielle de l'OCDE repose sur un transfert massif de sa base industrielle et énergétique vers les économies émergentes* ». Yves Cochet (2005, p. 117) précise de son côté qu'un « *transfert d'activités énergivores des pays du Nord vers les pays émergents s'additionne à une augmentation du trafic mondial de marchandises pour accroître finalement la consommation d'énergie* ». Les pays asiatiques (Chine, Pakistan, Inde) font notamment face au recyclage des ordinateurs en fin de vie venus des pays développés. Les inquiétudes vis-à-vis des risques posés par les décharges de matériel informatique sur l'environnement contrastent avec les récentes décisions européennes⁷. Il semblerait que la question environnementale ait un prix que seuls les pays du Nord peuvent payer.

⁵ Précisons que ces calculs ne prennent pas en compte le bilan carbone lié aux différents transports de ces équipements (logique de délocalisation et d'externalisation) jusqu'au client final et la consommation électrique nécessaire pour les faire fonctionner.

⁶ D'après le rapport « *Mobile Toxic Waste* » du Basel Action Network (BAN, 2007), les téléphones portables sont composés (en poids) en moyenne de 45% de plastiques (PVC, ABS enduit de bromure retardateur de flamme), 40% de circuits imprimés, 4% pour l'affichage à cristaux liquides, 3% de magnésium, 8% de métaux dispersés (cadmium, mercure, tungstène...).

⁷ Signalons la directive européenne de 2002 qui stipule que les producteurs doivent prendre en charge l'organisation du système de collecte, de recyclage et l'élimination des déchets électroniques.

3/ L'éco-efficience, une solution sans lendemain

L'éco-efficience constitue pour les tenants de l'écologie politique, autant de danger que la surexploitation des ressources naturelles et la destruction des bases de la vie. Selon André Gorz (1991), les éco-industries et les éco-business obéiraient aux mêmes impératifs de rentabilité maximale que les autres industries de consommation. Il ne s'agirait pas de satisfaire les besoins fondamentaux de la manière la plus rationnelle possible mais au moyen d'un flux maximal de marchandises aussi profitables que possible à produire. Dès lors, « *la reproduction des bases de la vie peut être organisée dans le cadre d'un éco-techno-fascisme qui remplace artificiellement les cycles naturels par des niches synthétiques, économicise en quelque sorte le milieu de la vie, industrialise la production de la vie elle-même, y compris la vie humaine, commercialise des fœtus et des organes, maximise les performances des organismes vivants, y compris les performances humaines, par des moyens d'ingénierie génétique* » (1991, p. 109).

L'éco-efficience ne serait que la modernisation écologique du capitalisme et la dernière « *potion magique* » des industriels. Economiser 30 à 40% des intrants, est tout à fait possible en accroissant l'efficience et en luttant contre le gaspillage. Les nouvelles technologies permettraient même d'aller jusqu'à 90% d'économies. Toutefois, comme le souligne Serge Latouche (2006, p. 49), « *que l'efficience écologique puisse s'accroître est une excellente chose. Elle pourrait faciliter le passage à une société de décroissance... mais dans le même temps la perpétuation de la croissance forcenée entraîne une dégradation globale* ».

Conclusion

A la fin des années 80, la communauté des ingénieurs a cherché à répondre à la question environnementale et au rapport Brundtland (conceptualisation du développement durable) en proposant un corpus théorique (écologie industrielle) reposant sur la mise en valeur de la technologie. L'innovation technologique doublée d'une innovation organisationnelle (la symbiose industrielle de Kalundborg) furent ainsi présentées comme des solutions viables pour valoriser les déchets, boucler des cycles et minimiser les rejets, dématérialiser les produits et décarboniser l'énergie. Face à cette vision optimiste, les tenants de l'écologie politique ont adopté une position très critique vis à vis du consensus onusien autour du concept de développement durable et dénoncé les ravages de la technologie aliénante et de la croissance exponentielle. Les excès du système capitalisme ne peuvent pas passer par une solution technique, mais par un changement radical des modes de consommation et de production. Il s'agit ni plus ni moins de ré-encaster l'économique dans le social et l'environnement.

Bibliographie

AIE (2010), *Energy Technology Perspectives, Scenarios and strategies to 2050*, 16 p.
Azam G., Pouchol M. (2009), « La logique économique, la durabilité et l'immatériel » in Crétieneau A.M, Laperche B., *Développement durable, pour une nouvelle économie*, Peter Lang.

- Becattini G. (2004), *Industrial Districts : A New Approach to Industrial Change*, Edward Elgar Publishing Williston, Vermont.
- Beers V.D, Corder G., Bossilkov A., Berkel V.R (2007), "Industrial Symbiosis in the Australian Minerals Industry", *Journal of Industrial Ecology*, vol 11, n°1, p. 55-72.
- Boiral O., Kabongo J. (2004), "Le management des savoirs au service de l'écologie industrielle", *Revue française de gestion*, n°149, p. 171 - 191.
- Bourg D. (2010), *vers une société sobre et durable*, PUF,
- Bourg D. (2010), "Changer nos modes de vie, tout un programme", *Monde et mondialisation*, Ceras - revue Projet, 18 avril, 3 p.
- Bourg D., Buclet D. (2005), « L'économie de la fonctionnalité », *Futuribles*, n°313, p. 27-37.
- Brings Jacobsen N. (2006), "Industrial Symbiosis in Kalundborg", *Journal of Industrial Ecology*, vol 10, n°1-2, p. 239-255.
- Brullot S. (2006), « L'écologie industrielle : mise en œuvre à l'échelle d'un territoire », *Scientific Workshop 'Frontiers of Research in Industrial Ecology'*, University of Lausanne, Nov 27 - Dec 1th, 16 p.
- Centre d'analyse stratégique (2011), *Pour une politique de consommation durable pour la France*, Note de synthèse, n°212, janvier, 11 p.
- Caenen J-F (2011), "Le cloud computing dynamise la croissance", *Le Figaro*, 2 février.
- Chertow M.R (2007), "Uncovering Industrial Symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, vol 11, n°1, p. 11-30.
- Chertow M.R (2004), "Industrial Symbiosis" in *Encyclopedia of Energy*, Cleveland C.J (ed), Oxford.
- Chertow M.R (1999), « The Eco-industrial Park Model Reconsidered », *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, n°3, p. 8-10.
- Cohen D (2009), « Sortie de crise, vers l'émergence de nouveaux modèles de croissance », Centre d'Analyse Stratégique, n° 22, La Documentation Française.
- Christensen J. (2006), "The History of the Industrial Symbiosis at Kalundborg, Danemark", *Scientific Workshop 'Frontiers of Research in Industrial Ecology'*, University of Lausanne, November 27 - December 1th, 49 p.
- Commission Européenne (2010), *Economic and Social Impact of Software & Software-Based Services*, Rapport du PAC (Pierre Ardoin Consultants), n° 2009/004, 328 p.
- Daly H.E. (1990), "Sustainable development: from concept and theory toward operational principles" In Daly (1992), *Steady-state economics*, 2nd edition, London, Earthscan.
- Dannequin F., Diemer A. (2009), "Le capitalisme dématérialisé comme développement durable ?", in Laperche B., Crétieneau A-M, Uzinidis D. (dir), *Développement durable : vers une nouvelle économie*, Peter Lang, p. 91 - 120.
- Diemer A., Figuière C., Pradel M. (2013), *Ecologie politique vs écologie industrielle : quelles stratégies pour le développement durable ?*, Editions Oeconomia.
- Diemer A. (2013), « Le développement durable, une affaire de représentation », *Revue Francophone du Développement durable*, n°1, mars p. 30-58.
- Diemer A. (2012), « La technologie au cœur du développement durable: mythe ou réalité ? », *Cahiers d'économie et innovation*, vol 37, p. 73 - 94.
- Diemer A. (2012), « De la représentation du développement durable à la construction de savoirs transversaux », *Les cahiers du CERIU*, vol 1, Montréal, juin, p. 1- 28.
- Diemer A. (2011), « Retour sur quelques travaux pionniers de l'écologie politique », Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, *Document de travail* n°12, décembre, 53 p.
- Diemer A. (2010), « Economie des services et nouvelles technologies à l'heure du développement durable », *Colloque Réalités et perspectives du développement durable*, ESC Clermont-Ferrand, les 28 et 29 octobre, 13 p.
- Diemer A. (2010), « Comment construire des savoirs transversaux face à l'excès d'économisme », *Colloque international, Education au développement durable et à la biodiversité*, Digne, 20-22 octobre, 26 p.
- Diemer A. (2010), « L'écologie industrielle : retour sur le mythe de l'innovation », *Colloque international Environment, Innovation and Sustainable Development*, Marseille, 7 - 8 octobre, 24 p.
- Diemer A. (2009), « Du développement soutenable aux programmes de décroissance : La naissance d'un véritable programme scientifique pour l'écologie politique », *Colloque « Les suds confrontés au développement soutenable »*, Université de Montesquieu - Bordeaux IV, 10-12 juin, 16 p.
- Diemer A. (2009), « Du développement soutenable à la préservation de la biodiversité : comment valoriser les services écologiques ? », Journée d'études « Biodiversité et gestion de l'espace », Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, 13 mai, 23 p.

- Diemer A., Labrune S. (2007), « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Revue Développement Durable et Territoires Fragiles*, octobre, p. 1-23.
- Dilworth C. (1994), "Two Perspectives on Sustainable Development", *Population and Environment*, vol. 15, n° 6, July, p. 441-467.
- Emmanuel A. (1969), *L'échange inégal*, Maspéro.
- Ellul J. (1988), *Le bluff technologique*, Hachette. Réédition en 2012, Pluriel.
- Ellul J. (1982), *Changer de révolution. L'inéluctable prolétariat*, Seuil, Paris.
- Ellul J. (1977), *Le système technicien*, Calmann-Lévy. Réédition Cherche Midi, 2012.
- Ellul J. (1975), *Ethique et liberté*, 2 tomes, Genève.
- Ellul J. (1972), « Plaidoyer contre la défense de l'environnement », *France Catholique*, n°1309, 1310.
- Ellul J. (1965), « Réflexions sur l'ambivalence du progrès technique », *LA revue administrative*, 18^e année, n°106, Juillet - Août, p. 380 - 391.
- Ellul J. (1954), *La technique ou l'enjeu du siècle*, Librairie Armand Colin.
- Erkman S. (1994) «*Ecologie industrielle, métabolisme industriel et société d'utilisation* » Genève, ICAST.
- Erkman S. (1998) «*Vers une écologie industrielle : comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle* » Editions Charles Leopold Mayer, réédition, 2006.
- Esty D.C, Porter M.E (1998), « Industrial Ecology and Competitiveness: Strategic Implications for the Firm », *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, n°1, p. 35-43.
- Fedrigo D., Hontelez J. (2010), "Sustainable Consumption and Production: An Agenda Beyond Sustainable Consumer Procurement", *Journal of Industrial Ecology*, vol 14, n°1, p. 10 - 12.
- Frosch R. (1995) « L'écologie industrielle du XXe siècle », *Pour la science*, 217, p. 148-151.
- Frosch R.A, Gallopoulos N.E (1989) «Strategies for Manufacturing », *Scientific American*, vol 261, Special Issue «Managing Planet Earth », September, p. 144 - 152). Traduction française «Des stratégies industrielles viables », *Pour la Science*, n°145, novembre 1989, p. 106 - 115.
- Georgescu-Roegen N. (1992) «*Georgescu-Roegen Nicholas about himself*» dans l'ouvrage de Szenberg M., « *Eminent Economists : Their Life Philosophies* », Cambridge.
- Georgescu-Roegen N. (1987) «*Entropy* » in J. Eatwell, M. Milgate, P.K Newman, *The New Palgrave, A Dictionary of Economics*, vol I, London, Mc Millan Press, p. 153 - 156.
- Georgescu-Roegen N. (1988) «Closing Remarks : About Economic A Variation on a Theme by David Hilbert» *Economic Development and Cultural Change*, n° 36, Avril, p. 291-307.
- Georgescu-Roegen N. (1986) "Man and production", in Baranzani M. et Scazzieri R. (eds) "*Foundations of economics*", Basil Blackwell.
- Georgescu-Roegen N. (1981) «*Neo-Populism and Marxism : A Comment on Utsa Patnaik* » *Journal of Peasant Studies* vol 8 n°2 (p 242-243).
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1979a) «*Demain, la décroissance: entropie-écologie-économie*» Pierre Marcel Favre. Réédition aux éditions Sang de la Terre (1995).
- Georgescu-Roegen N. (1979b) « *Energy Analysis and Economic Valuation* » *Southern Journal of Economic* vol 45, p. 1023-1058.
- Georgescu-Roegen N. (1979c) "Methods in economic science", *Journal of economic issues*, vol XIII, n°2.
- Georgescu-Roegen N. (1978) «De la Science Economique à la Bioéconomie », *Revue d'Economie Politique*, t LXXXVIII, n° 3, Mai-Juin, p. 337 - 382.
- Georgescu-Roegen N. (1978) "Mechanistic dogma and economics", *British review of economic issues*, 2.
- Georgescu-Roegen N. (1977a) « What thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Atlantic Journal Economic*, vol 5, p. 13 - 21.
- Georgescu-Roegen N. (1977b) «What Thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Bio-Science* vol XXVII, avril, p. 266 - 270.
- Georgescu-Roegen N. (1977c) «Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomics Viewpoint » *Review of Social Economy*, vol XXXV, p. 361 - 375.
- Georgescu-Roegen N. (1976), *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press.
- Georgescu-Roegen N. (1975) « *Bio-Economic Aspects of Entropy* » dans «Entropy and Information in Science and Philosophy » J. Zeman, Amsterdam Elsevier.
- Georgescu-Roegen N. (1974) «*Dynamic model and Economic Growth*» *Economie Appliquée* tXXVII n°4, p. 529 - 562.
- Georgescu-Roegen N. (1972) «*Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production* » *American Journal of Agricultural Economics* vol 54, mai 1972, p. 279 - 294.
- Georgescu-Roegen N. (1971) «*The Entropy Law and the Economic Process* » Cambridge , Harvard University Press.

- Georgescu-Roegen N. (1970) «*The Economics of Production* » American Economic Review vol 60, p. 1 - 9.
- Georgescu-Roegen N. (1969a) «*Process in Farming versus Process in Manufacturing : A Problem of Balanced Development* », p. 497 – 528, publié dans l'ouvrage de Nunn .C et Papi .U «*Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies* » London Mc Millan.
- Georgescu-Roegen N. (1969b) «*The Institutional Aspects of Peasant Communities : An analytical View*» dans Clifton.R, Wharton.J «*Subsistence Culture and Economic Development* », Chicago Aldine, p. 61 - 99. Réédition dans «*Energy and Economic Myths* » (1976) Pergamon Press, p. 199-235.
- Georgescu-Roegen N. (1966) «*Analytical Economic-Issues and Problems*» Havard University Press, Cambridge, «*La Science Economique: ses problèmes et ses difficultés*» Dunod 1969.
- Georgescu-Roegen N. (1965) «*The Institutionnal Aspects of Peasant Economics : A Historical and Analytical Review* » Proceedings of the Agricultural Developpement Council Seminar on Subsistence and Peasant Economies. C.R Wharton, Honolulu, Mars.
- Georgescu-Roegen N. (1960) "*Economic Theory and Agrarian Economics*" Oxford Economic Papers vol XII, p. 1 - 40.
- Georgescu-Roegen N. (1951b) «*Some Properties of a Generalized Leontief Model* » In Activity Analysis of Production and Allocation, T.C Koopmans, Yale University Press (p 165-176).
- Georgescu-Roegen N. (1951a) «*Relaxation Phenomena in Linear Dynamics Models*» in Activity Analysis of Production and Allocation, T.C Koopmans, Yale University Press.
- Gladwin T.N (2000), "Plaidoyer en faveur d'un développement durable", *Les Echos, L'art de la stratégie*, n°12, jeudi 8 mai.
- Gorz A. (1975), *Ecologie et Politique*, Galilée
- Gorz A. (1977), *Ecologie et Liberté*, Galilée
- Gorz A. (2003), *L'immatériel*, Galilée.
- Gorz A. (1991), *Capitalisme, Socialisme, Ecologie*, Galilée.
- Greening L., Greene L.D, Difiglio C. (2000), "Energy efficiency and consumption – the rebound effect: a survey", *Energy Economics*, vol 28, n° 6-7, p. 389 – 401.
- Grégoriades C. (2007), "Ordinateurs, pollueurs", *Le Monde*, 14 juin.
- Huesemann M.H (2003), "The Limits of Technological Solutions to sustainable Development", *Clean Technologies and Environnemental Policy*, vol 5, 1, p. 21 – 34.
- Heurgon E., Landrieu J. (2007), *L'économie des services pour un développement durable. Nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, L'Harmattan, 390 p.
- Jackson T. (2009), *Prosperity Without Growth : The Transition to a Sustainable Economy*, London, Earthscan.
- Jansson A.M. (1988), "The ecological economics of sustainable development?environmental conservation reconsidered" In U. Svedin et al. (Eds.), *Perspectives of Sustainable Development*, p. 31-36. Stockholm Studies in Natural Resources Management, No. 1.
- Jenkins J., Nordhaus T., Shellenberger M. (2011), "Energy Emergence: Rebound & Backfire as Emergent Phenomena", *Breakthrough Institute*, February, Oakland, 59 p.
- Kaenzig J., Wüstenhagen R. (2009), "The Effect of Life Cycle Cost Information on Consumer Investment Decisions Regarding Eco-innovation", *Journal of Industrial Ecology*, vol 14, n°1, p. 121-136.
- Kartchevsky A., Maillefert M. (2009), "Les approches du développement durable : des théories aux politiques", in Laperche B., Crétieneau A-M, Uzinidis D. (dir), *Développement durable : vers une nouvelle économie*, Peter Lang.
- Keckler S.E, Allen D.T (2006), «*Material Reuse Modeling : A Case Study of Water Reuse, in an Industrial Park* », *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, n°4, p. 79-92.
- Krantz R. (2010), "A New Vision of Sustainable Consumption", *Journal of Industrial Ecology*, vol 14, n°1, p. 7 – 9.
- Kormondy E. J. (1969), *Concepts of Ecology*. Englewood Cliffs, N.J, Prentice-Hall, Inc.
- Kuehr R., Williams E. (2003), *Computers and the Environnement*, Kluwer Academic Publishers, United Nations University.
- Laville E. (2011), *Pour une consommation durable*, Centre d'analyse stratégique, janvier, 188 p.
- Lifset R. (2006), "What Next for Industrial Ecology ?", *Scientific Workshop 'Frontiers of Research in Industrial Ecology'*, University of Lausanne, November 27 – December 1th, 17 p.
- Munasinghe M. (2010), "Can Sustainable Consumers and Producers Save the Planet?", *Journal of Industrial Myrdal G. (1963), Planifier pour développer*, Economie et Humanisme, Les Editions Ouvrières.
- Nahapétian N. (2002) «*L'écologie industrielle, exercice pratique* », *Alternatives économiques*, n°206, p. 60-63.

- Ecology*, vol 14, n°1, p. 4 – 6.
- Neurynck J. (2006), *La grande illusion de la technique : Manifeste pour un développement durable*, Jouvence.
- OCDE (1992), *Principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données de l'innovation technologique*, Manuel d'Oslo, Organisation de Coopération et de Développement Economique, 103 p.
- Peck S. (2001), "When is an Eco-Industrial Park not an Eco-Industrial Park ?", *Journal of Industrial Ecology*, vol 5, n°3, p. 3-5.
- Petit M. (2009), *Développement Eco-responsable et TIC (DETIC)*, Conseil Général de l'Industrie de l'Énergie et des Technologies, N° 2009/05/CGIET/SG, 188 p.
- Ranke D. (2011), *Technologies clés 2015*, Comité stratégique, Ministère de l'industrie, 301 p.
- Rifkin (2000), *L'âge de l'accès*, La Découverte.
- Sauvy A. (1952), "Trois mondes, une planète", *L'observateur*, 14 août, n°118, p. 14.
- Schandl H., Turner G. (2009), "The dematerialization Potential of the Australian Economy", *Journal of Industrial Ecology*, vol 13, n°6, p. 863 – 879.
- Schipper L. (2000), "On the Rebound: the Interaction of Energy Efficiency, Energy Use and Economic Activity", *Energy Policy*, vol 28, 6/7, p. 351 – 353.
- Sylos-Labini P. (2007), « Développements scientifiques, innovations technologiques, croissance et productivité », *Revue d'économie industrielle*, n° 118, 2^{ème} trimestre, p. 79 – 90.
- Soulage D. (2010), *Le traitement des déchets*, Rapport du Sénat, n°571, 183 p.
- Sorrel S. (2007), The rebound effect : An assessment of the evidence for economy wide savings from improved energy efficiency, *UK Energy Research Center*, October.
- Tukker A., Cohen M.J, Zoysa U. et alii (2006), « The Oslo Declaration on Sustainable Consumption », *Journal of Industrial Ecology*, vol 10, n°2, p. 9-14.
- Tukker A., Cohen M.J, Hubacek K., Mont O. (2010), "Sustainable Consumption and Production", *Journal of Industrial Ecology*, vol 14, n°1, p. 1 – 3.
- Vivien F.D (2002), « Rencontre du troisième type... d'écosystème ou quand l'écologie devient industrielle », *Colloque de Dunkerque*, 8 p.
- Vivien F.D (2005), *Le développement soutenable*, La Découverte.
- World Commission on Environment and Development (1987), *Our common future*, Oxford University Press.
- Zhu Q., Lowe E.A, Wei Y.A, Barnes D. (2007), "Industrial Symbiosis in China", *Journal of Industrial Ecology*, vol 11, n°1, p. 31-42.