Le capitalisme dématérialisé, comme développement durable ?

Fabrice Dannequin, LABRII, Dunkerque
Arnaud Diemer, GRESE-PHARE, Paris I

« *Vous ne voulez pas de décroissance, nous non plus, mais notre croissance dépend de notre capacité à mettre du développement durable dans chaque entreprise*», Jean-Louis Borloo, Université d'été du MEDEF, *Libération*, 1er et 2 septembre 2007, p. 16.

« *La nature est menacée, nous sommes menacés, y compris les entreprises* », Laurence Parisot, Université d'été du MEDEF, *Libération,* 1er et 2 septembre 2007, p. 16.

L'avenir du capitalisme et de la croissance économique constitue une des interrogations récurrentes dans la pensée économique, même si les diverses théories ne mobilisent pas les mêmes principes ou les mêmes concepts. Malthus (1798) montre que la croissance est limitée en raison de la loi de la population[1]. Ricardo (1817) revient sur les conséquences de la loi des rendements décroissants dans l'agriculture. L'économie déboucherait ainsi sur un état stationnaire, c'est-à-dire une croissance nulle[2]. Marx (1867) attribue la limitation de la croissance à la baisse tendancielle du taux de profit et voit d'un assez bon œil l'avènement d'un successeur au mode de production capitaliste reposant sur des principes injustes. Mill (1873) s'interroge sur les fins et la destinée de l'humanité : « *J'avoue que je ne suis pas enchanté de l'idéal de vie que nous présentent ceux qui croient que l'état normal de l'homme est de lutter sans fin pour se tirer d'affaire, que cette mêlée où l'on se foule aux pieds, où l'on se coudoie, où l'on s'écrase, où l'on se marche sur les talons, et qui est le type de la société actuelle, soit la destinée la plus désirable pour l'humanité, au lieu d'être simplement une des phases désagréables du progrès industriel… le meilleur état pour la nature humaine est celui dans lequel personne n'est riche, personne n'aspire à devenir plus riche et ne craint d'être renversé en arrière par les efforts que font les autres pour se précipiter en avant* » (J. S. Mill, cité par H. Denis, p 467). Plus pessimiste, Schumpeter (1942) verra la fin du capitalisme et donc de l'accumulation dans la disparition de sa force motrice : l'entrepreneur. L'autrichien n'évoque pas les limites économiques (rendement décroissant, baisse du profit…) mais davantage les valeurs, la culture qui entraînent un déclin de « l'esprit d'entreprise », une rationalisation qui l'inhibe (Dannequin, 2007). Bien que parfois présenté comme un chercheur scrutant la réalité de sa tour d'ivoire, Schumpeter

[1] Malthus développe la thèse selon laquelle l'origine de la misère provient d'un décalage entre deux lois : une loi de progression géométrique de la population et une loi de progression arithmétique des subsistances. La résorption de ce décalage doit se faire par la mortalité, la baisse de la natalité et le célibat.

[2] Lorsque la population s'accroît, de nouvelles terres doivent être mises en culture. Or, en vertu de la loi des rendements décroissants, ces nouvelles terres sont moins productives que celles utilisées auparavant. Le coût de production de ces nouvelles terres (appelées terres marginales) augmente et se répercute sur le coût des produits. Le capitaliste est alors contraint de relever le niveau des salaires, ces derniers étant fixés au niveau de subsistance, ce qui diminue le profit. Il arrive un moment où le profit est si faible que le capitaliste n'a plus aucune incitation à investir. L'économie débouche alors sur un état stationnaire c'est-à-dire une croissance nulle. Afin de retarder l'avènement de cet état stationnaire, deux solutions sont envisagées par Ricardo : 1) réaliser des gains de productivité dans l'agriculture grâce au progrès technique ; 2) s'ouvrir au libre-échange et importer des produits. Franck-Dominique Vivien (1994, p. 27-28) évoque que cet état n'est pas forcément condamné : John Stuart Mill le trouve plutôt attractif au regard de la situation de son époque.

déplore cette fin, mais ne pense pas qu'une quelconque action de l'Etat par exemple puisse y changer grand-chose. Enfin, le rapport Meadows du Club de Rome (1972) associe la limitation de la croissance à l'explosion démographique, la pollution et l'épuisement des ressources naturelles (Diemer, 2005).

A côté de ces débats théoriques, d'autres voix se sont fait entendre, des voix qui finalement évoquent des arguments constatant la matérialité du capitalisme. En effet, ce dernier mobilise et utilise du capital naturel. Récemment, cette matérialité et ses limites trouvent leur mesure dans un indicateur tel que *l'empreinte écologique*. L'idée qui préside à la construction de cet indicateur est la suivante : « *les activités humaines de production et de consommation utilisent des ressources naturelles dont certaines sont non renouvelables (le pétrole et le gaz naturel, les stocks de minéraux fossiles), alors que d'autres sont dites « renouvelables », au sens où elles peuvent se reproduire ou se régénérer sans intervention humaine : sols, forêts, eau, atmosphère, climat, espèces vivantes en reproduction naturelle (poissons…). C'est uniquement à ces dernières que s'intéresse la notion d'empreinte écologique, parce que, selon ses promoteurs, ce sont elles qui posent les problèmes les plus graves à terme* » (Gadrey, Jany-Catrice, 2005, p. 69-70). La question de l'épuisement énergétique apparaît dès la seconde moitié du XIXème avec la figure de Stanley Jevons évoquant « *la question du charbon* ». A la fin du XXème, les travaux de Nicholas Georgescù-Roegen (1979) constituaient un des points nodaux de cette question : la finitude des énergies fondant le modèle productif actuel, pétrole, gaz, nucléaire.

Aujourd'hui, il nous semble possible d'élargir les interrogations sur la durabilité du capitalisme industriel en évoquant la question de sa dématérialisation. En effet, depuis 30 ans, se sont succédés divers travaux mettant en avant ce processus ou bien encore réclamant son développement[3]. Le capitalisme reposerait de moins en moins sur un support matériel mais davantage sur les services, la connaissance et l'information (Sommet de Lisbonne). Sans parler d'exhaustivité, citons la société postindustrielle, l'économie de l'information, le capitalisme informationnel, l'économie de la connaissance, l'économie des services, le capitalisme cognitif, le capitalisme technoscientique… Le capitalisme se pérenniserait donc par un moteur de son mouvement plus immatériel en reposant sur une économie d'énergie, de matières premières et sur la croissance des services. D'ailleurs, les deux dimensions sont mises en relation : la hausse des services et de l'immatériel reposerait sur une économie de matière, sur une consommation énergétique plus faible. On peut néanmoins s'interroger : *le capitalisme dématérialisé constitue-t-il un successeur viable au capitalisme industriel ? Les activités de services permettent-elles de stimuler une dynamique de passage vers un développement durable ?*

Nous nous proposons de répondre à ces deux questions de la manière suivante. Dans un premier temps, nous reviendrons sur ce qui constitue aujourd'hui l'émergence et le développement de l'économie servicielle. Longtemps opposé à la sphère industrielle (secteur tertiaire vs secteurs primaire et secondaire), l'économie des services et l'économie de la connaissance constitueraient aujourd'hui les bases d'un nouveau mode productif, le capitalisme dématérialisé. Nous analyserons la pertinence de ce nouveau concept à la lueur des faits et des débats contemporains. Dans un second temps, nous examinerons, à partir de deux approches du développement durable, l'écologie industrielle et l'écologie politique, les réponses que peut apporter le capitalisme dématérialisé aux défis environnementaux.

[3] Dominique Bourg (2007, p. 25) évoque ainsi le « *défi de la dématérialisation* ».

I. LA FIN DU CAPITALISME INDUSTRIEL ?

Joseph Schumpeter (1947) appréhende le capitalisme comme un système par essence en mouvement qui ne peut être stationnaire. Dès lors, le système productif connaît des changements, voire des mutations engendrés par des innovations enclenchant des ondes longues et le processus de la « destruction créatrice ». Bref, pour exister le capitalisme doit se transformer. Cette transformation sera successivement (et bien trop succinctement) évoqué ici à travers deux grands ensembles : la tertiarisation de l'économie et l'économie de la connaissance. Ce choix repose sur l'idée que la question de la dématérialisation de l'économie s'entend finalement dans un double sens : un constat et une prescription.

En effet, depuis longtemps, et pas uniquement chez les économistes[4], la tertiarisation de l'économie - avec aujourd'hui l'avènement de ce que certains auteurs nomment la « *société des services* » et « *l'économie de la connaissance* » - devient une clé de lecture de l'histoire économique, histoire par ailleurs inachevée. Mobilisant les interrogations afférentes au développement durable, ces deux éléments constituent également des pistes à suivre, des agendas pour l'action et les réformes de l'Etat. La hausse du prix des matières premières - dont celle du pétrole - constitue une menace sur la croissance économique et la pérennité de nos sociétés[5]. Une croissance davantage fondée sur les services et les connaissances serait moins énergivore. La recherche permettrait aussi d'anticiper la fin de la société fondée sur un pétrole abondant et peu coûteux en trouvant des substituts et en accroissant l'efficacité énergétique des économies. Cependant, c'est peut-être aller vite en besogne que de conclure à la fin de l'industrie d'autant plus que définir clairement la frontière entre biens et services n'est pas aisée. Au-delà de cette question, le système productif s'avère de plus en plus complexe en fournissant aux clients non plus des biens ou des services, mais des produits dont le contenu associe souvent différents éléments, dont certains s'avèrent bien peu immatériels.

A. De la tertiarisation [6] à la civilisation tertiaire (Fourastié) : la désindustrialisation comme processus de développement

L'industrialisation et la croissance rapide de pays émergents aussi importants que la Chine et l'Inde représentent une menace pour les pays développés. Comment poursuivre son enrichissement avec la concurrence des BRIC (Brésil, Russie, Inde et Chine), pays non seulement à bas salaire mais aussi dotés d'une capacité technologique[7]? Ainsi Elie Cohen (2008) évoque « *une deuxième vague de désindustrialisation en France depuis 2002* » et ajoute « *On peut légitimement s'inquiéter de l'accélération de la désindustrialisation en France, d'autant que nous constatons en Europe d'autres pays qui font bien mieux, non seulement en s'industrialisant comme l'Irlande ou l'Espagne, mais en connaissant une désindustrialisation moins marquée qu'en France comme en Allemagne ou en Italie.* » D'aucun réponde qu'historiquement la désindustrialisation entendue comme la baisse de la part relative des emplois et de la valeur ajoutée dans la richesse totale est un phénomène

[4] Philippe Zarifian (2007), Daniel Bell (1973), Alain Touraine (1969) étudient « *la société post-industrielle* ».

[5] Serge Latouche (2003, p. 18) définit la société de croissance comme « *une société dominée par une économie de croissance, précisément, et qui tend à s'y laisser absorber. La croissance pour la croissance devient ainsi un objectif primordial, sinon le seul, de la vie* »

[6] Il ne s'agit pas ici de discuter dans son intégralité de cette notion mais d'en cerner les éléments les plus pesants dans la question de la dématérialisation du capitalisme.

[7] Nous reprenons l'expression de Pierre-Noël Giraud (1996) parlant de *« Pays à Bas Salaires et à Capacité Technologique (PBSCT*) ».

normal[8], ce que Cohen fait d'ailleurs en s'inquiétant des lacunes de l'avantage compétitif de la France issue d'un manque de PME innovantes. Ainsi, le tertiaire représente en Chine 31 % de la production et connaît une expansion (Gadrey, 2007). Cette peur, fréquemment partagée, pourrait évoquer d'anciennes théories qui ne voyaient dans l'emploi tertiaire qu'un élément quasiment parasitaire ne produisant pas de richesse. Ainsi chez Smith (1776), une partie des emplois de services (les comédiens, les agents de l'Etat, les médecins…) était considérée comme improductive, c'est-à-dire non créatrice de valeurs.

Si la désindustrialisation, généralement appréhendée par la tripartition sectorielle[9], s'est développée depuis une trentaine d'années, la tertiarisation de l'économie est bien plus ancienne. Les explications ne manquent pas : gains de productivité dans les secteurs différents, processus d'externalisation, place grandissante de l'information... Bien entendu, tous les emplois classés dans les services par l'INSEE ne connaissent pas la même croissance. Les travaux de Marc Porat[10] (1977) et de Manuel Castells (1998) concluent à une prégnance des activités de traitement de l'information. La majorité appartient aux activités « relationnelles » (Gadrey, 2003, p. 11) c'est-à-dire aux domaines éducatifs, sociales et sanitaires. La croissance du rôle de l'Etat et la construction de la protection sociale sont de puissants vecteurs de la tertiairisation de l'économie. La part des services éducatifs et de santé a doublé en 40 ans passant de 12 % à 21 % (Rignols, 2002). Les années 1990 en France montre une hausse de leur consommation plus rapide que la consommation effective (Gadrey, 2003, p. 42). Les TIC constituent sans doute une explication essentielle à ce mouvement qui d'ailleurs se poursuit à un rythme soutenu.

Le PIB contient donc de plus en plus de services tant du point de vue de la consommation finale que de la production. Les services constituent une part croissante des inputs et notamment des consommations intermédiaires. Plus globalement la structure du capital se dématérialise, l'accumulation devient immatérielle, le capital intangible (éducation, formation, R&D, santé) prend de plus en plus d'importance et ce depuis les années 20 (Foray, 2000, p. 18, Vercellone, 2004, p. 18). Selon Kendrick (1994, in Foray, 2000, p. 20), le stock de capital intangible a rattrapé celui du capital tangible[11] vers 1973 ; il le dépasse désormais tout en ne signifiant pas un arrêt de l'accumulation du premier. On retrouve ici un des

---

[8] Selon Jany-Catrice, la tertiairisation de l'économie comme socle d'un modèle évolutionniste « prédictif », s'inspirant des thèses de Fourastié (1963, p. 148) s'avère sujet à caution (Gadrey, 2003, p. 23). Michel Beaud s'interroge également en reprenant des données de la Banque mondiale : « *l'importance du tertiaire ne suffit pas à caractériser les pays économiquement les plus avancées : ainsi, parmi les pays dont la contribution des services au PIB st supérieure ou égale à 60 % en 1997, avec les Etats-Unis, la plupart des pays d'Europe, le Japon, HongKong et Singapour, on trouve aussi, entre autres, l'Argentine, la Bolivie, la Colombie, le Costa Rica, la Croatie, la Jordanie, le Mexique, le Sénégal, l'Uruguay. Ainsi apparaît la nécessité de distinguer services traditionnels et nouvelles activités tertiaires et aussi de prendre en compte les nouveaux emplois tertiaires qui se développent dans l'industrie et l'agriculture.* » (2000, p 395-396).

[9] Selon l'INSEE, « *Le secteur primaire regroupe l'ensemble des activités dont la finalité consiste en une exploitation des ressources naturelles : agriculture, pêche, forêts, mines, gisements. Remarque : La classification n'est pas rigide ; selon le point de vue, les industries extractives peuvent être aussi classées dans le secteur secondaire. Le secteur secondaire regroupe l'ensemble des activités consistant en une transformation plus ou moins élaborée des matières premières (industries manufacturières, construction). Le secteur tertiaire recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le périmètre du secteur tertiaire est de fait défini par complémentarité avec les activités agricoles et industrielles (secteurs primaire et secondaire)* ».

[10] L'information représenterait aux Etats-Unis 46 % du PNB et la moitié des actifs (Barcet, Bonamy, 1988, p. 295).

[11] La valeur du capital tangible incluse les ressources naturelles. Pour 1990 les valeurs sont les suivantes : capital tangible 28.525 milliards de dollars dont 3.843 de ressources naturelles (soit 13,5 %) ; capital non tangible : 32.819 milliards de dollars, soit 53,5 % du capital total.

fondements des économies fondées sur la connaissance, « *c'est-à-dire les économies dans lesquelles la part des emplois intensifs en connaissance s'est considérablement accrue, le poids économique des secteurs d'information est devenu déterminant et la part du capital intangible a dépassé celle du capital tangible.* » (Foray, 2000, p. 3). Cette transformation « *suggère l'avènement d'une période particulière, tant sur le plan des caractéristiques de la croissance que sur celui de l'organisation des activités économiques.* » (Foray, 2000, p. 4). Le savoir et son expansion ne constituent pas des nouveautés, mais davantage la conjonction de l'accroissement du capital intangible et la diffusion des TIC (Foray, 2000, p. 18). Ces dernières fondent des remises en cause du fameux paradoxe de Solow, puisque après un temps d'apprentissage et d'adaptation, ces nouvelles technologies vont engendrer des gains de productivité, créer de nouvelles industries et de nouveaux modèles organisationnels en favorisant l'externalisation et la constitution d'organisations en réseaux[12] (Foray, 2000, p. 24 à 28). Cependant, et même si les lignes qui précèdent sont bien hâtives, elles achoppent sur le contenu précis de ce qu'on peut nommer services et donc sur la conclusion d'une société post-industrielle ou sur la désindustrialisation qui aboutirait à une dématérialisation de l'économie. Une économie pleinement virtuelle n'est sans doute pas pour demain.

B. L'ambiguïté de la tripartition des activités et de l'économie fondée sur la connaissance

Appréhender les services et donc l'industrie constitue un exercice qui n'est pas si simple. Ainsi, on pourrait reprendre les propos tenus par Fourastié constatant que la typologie de Colin Clark (1940) est « *énumérative et purement formelle* » (Fourastié, 1963, note de bas de page 1, p. 83). Reprenant un vocabulaire identique, il aboutit à une tripartition de l'économie… identique, mais en construisant une définition des secteurs à partir du progrès technique, lui-même identifié par la productivité du travail. Le primaire connaît en longue période un progrès technique moyen, tandis qu'il est important dans le secondaire et faible dans le tertiaire. « *Le contenu des trois secteurs est d'ailleurs /…/ variable dans le temps ; mais en général les mutations brusques sont rares* » (Fourastié, 1963, p 82-83). On retrouve ici, des éléments assez fréquemment évoqués, notamment la faiblesse des gains de productivité dans le tertiaire. En lui associant, l'hypothèse d'une « *saturation progressive, relative, quoique toujours partielle du consommateur* »[13] (1963, p 28), Fourastié peut nous proposer une étude de la transformation de la société et l'avènement d'une « *civilisation tertiaire* ». Il constate ainsi que «*la structure de la consommation croissante ne coïncide pas automatiquement avec la structure de la production croissante*, *tel est à notre sens le phénomène capital de l'évolution économique contemporaine. Le consommateur n'absorbe pas tout ce que le progrès technique lui apporterait naturellement* » (1963, p. 91).

[12] Cela ne signifie pas que les réseaux soient une nouveauté. Selon Nicolas Currien, les TIC créent « des mutations radicales » et fondent le socle d'une phase ascendante de l'économie (Economie des réseaux, 2000, repères, La Découverte, p. 4).

[13] Il explique ainsi l'hypothèse de la saturation des besoins : « *L'homme n'est pas indéfiniment amateur des biens qui lui sont offerts. Si l'intensité de son désir peut lui faire croire d'abord que son appétit de satisfactions est infini, il s'aperçoit très vite à l'expérience qu'il existe des points de saturation. La structure physique du corps humain, sa localisation dans l'espace, la durée bornée de sa vie et son besoin de repos limitent sa consommation maxima. Achèterez-vous ces viandes que vous ne pourrez manger ? Ces livres que vous ne pourrez lire ? Ces chevaux que vous ne pourrez monter ? Ces autos que vous ne pourrez conduire ? Dès que paraît l'abondance, paraît aussi la satiété. Tel est le phénomène générale que j'appelle d'un mot barbare mais en matière économique, l'inélasticité de la demande par rapport à l'offre. Il existe une inélasticité de la demande de biens alimentaires, car lorsque ces biens sont offerts en quantité indéfinie, leur consommation a pour limite l'appétit maximum de chacun de nous. Il y a également de même une tendance à la saturation, à la capacité d'utilisation, de tous les biens et de tous les services.* » (Fourastié, 1963, p 28).

Convoquons à nouveau Elie Cohen et avec lui le débat « décliniste » de la désindustrialisation. La fin du chat s'avère heuristiquement intéressante lorsque on interroge l'expert de la manière suivante : « *Arrive-t-on à la fin de la société industrielle en France, et allons-nous passer à une économie basée sur le secteur tertiaire, voire financier comme en Angleterre ? Faut-il dans ce cas s'inquiéter du recul de l'industrie ?* ». Et qu'il répond : « *Aujourd'hui, alors même que je viens de parler longuement de désindustrialisation, on constate que plus de 70 % des exportations sont des exportations de biens industriels, 90 % de l'effort de R&D portent sur des activités de type industriel. Et de plus, les régions économiques qui croissent le plus vite, et en termes de valeur ajoutée et en termes d'emploi, sont des régions industrielles. Par ailleurs, un certain nombre d'économistes contestent l'idée même de désindustrialisation puisqu'ils attribuent la baisse d'effectif industriel à des stratégies d'externalisation dont la contrepartie se retrouve dans la croissance des effectifs du secteur des services aux entreprises. En d'autres termes, si l'on agrège activité industrielle et service aux entreprises, on ne constate guère de déclin. Quelle conclusion en tirer ? L''industrie est une activité structurante, son développement ne se mesure pas simplement dans les statistiques d'activités manufacturières. Les services aux entreprises font partie de ce développement. L'activité industrielle reste décisive en matière de commerce extérieur et de R&D. En même temps, on peut dire que l'industrie se dématérialise chaque jour davantage. Il y a 95 % d'activité immatérielle dans un composant électronique, qui est pourtant un produit industriel. La vraie recette du succès, c'est la combinaison de recherche intensive, de développement, d'innovation, de création, de marques, autant d'éléments immatériels qui font la vraie valeur de l'activité industrielle matérielle. Il n'y a pas de développement autonome de services sur fond de désindustrialisation intégrale. L'industrie a encore un bel avenir, surtout si l'on sait y développer la part d'immatériel, aujourd'hui décisive* ». De leur côté, Flacher et Pelletan (2005) montrent de manière plus rigoureuse ô combien il est difficile de trancher hâtivement sur cette question. Saisir des transformations à l'aide d'une nomenclature n'est pas aisée et ce d'autant plus qu'elle constitue un héritage du passé mobilisé pour étudier des transformations. Leur conclusion tend à la négation de l'hypothèse de désindustrialisation : « *En effet, alors qu'en observant le périmètre « traditionnel » (périmètre de référence), nous constatons un phénomène de désindustrialisation (baisse de la part de l'emploi et de la valeur ajoutée), il n'en va pas nécessairement de même si nous retenons d'autres conventions. Ainsi, si nous considérons les services rendus à l'industrie comme partie prenante de l'industrie (approche n °1), il apparaît que les secteurs étudiés ne subissent pas la désindustrialisation, au contraire. De même, les secteurs les plus innovants (approche n° 2), ne semblent pas non plus affectés par le phénomène. Si nous considérons la structure et les caractéristiques des emplois (approche n° 4), nous constatons que les secteurs, souvent innovants, qui embauchent davantage à de plus hauts niveaux de qualification et en grandes entreprises (groupe 2), semblent nettement moins touchés par la désindustrialisation que les secteurs, généralement « traditionnels », qui recrutent davantage de personnes peu qualifiées (groupe 1). Enfin, nous constatons (approche n° 3) que la désindustrialisation ne semble pas liée aux caractéristiques économiques intrinsèques des secteurs* » (2005, p. 300).

Finalement, si les services possèdent des spécificités et s'avèrent différents des biens, il est bien compliqué de trouver des lois décrivant leur fonctionnement (Fourastié, 1949). Pascal Petit (1985) n'hésite pas à parler de véritable paradoxe. Si le développement des services est une réalité dans tous les pays industrialisés, il n'existerait pas de bonne définition des services mais plutôt un consensus de classer comme tels une nébuleuse[14] d'activités économiques :

[14] Le domaine des services est en effet très hétérogène. Il peut s'agir des services incluant le commerce et la distribution (Petit, 1985), de services à la personne (Crozier, 1985 ; Heurgon et Landrieu, 2007 ; CERC, 2008), de services aux entreprises (Barcet, Bonamy, 1985) ou de services publics (Gustavsson, 1985).

« *Un service se définit comme le contraire d'un bien. Un bien est produit, circule, se stocke, se transforme, se consomme… L'acte de la production est bien défini comme celui de la consommation et ces deux actes sont bien distincts. Par contraste, les services apparaissent immatériels, immédiats, non stockables, sans durée et indissociables de leur consommation… Seule la définition négative des services explique le consensus qui permet de classer nombre d'activités économiques… comme des transports »* (1985, p. 24). Peter Hill (1977, p. 315) a tenté d'apporter un nouvel éclairage sur la question en proposant la définition suivante : « *un service est une transformation de la condition d'un individu ou d'un bien appartenant à un agent économique quelconque, résultant de l'activité d'un autre agent économique, à la demande et avec l'agrément de premier agent* ». Hill met l'accent, non sur le caractère matériel ou immatériel de cet output, mais sur un rapport : le rapport entre le demandeur (le premier agent) et celui qui réalise l'activité de service correspondant à cette demande (le second agent). S'inspirant des travaux de Hill et du triangle des services, Jean Gadrey (1992, 2001, 2003) insistera successivement sur les notions de rapport de service et de disposition d'action. Le service est ainsi « *la transformation réalisée avec succès des conditions d'activité et/ou des dispositions d'action du destinataire, associée à l'évaluation de succès* » (Gadrey, Zarifian, 2001, p. 99). La notion de disposition d'action[15] aurait les deux qualités suivantes : elle montre que le service offre un nouveau potentiel aux individus, de nouvelles dispositions pour agir (l'évaluation du service est ici subjective); elle permet de nouer un lien avec le concept de compétence. Jean Gadrey (2003) aboutit finalement à la définition suivante : « *il y a production économique de services, dans une économie capitaliste, dans les deux cas suivants (dont le premier est de loin le plus important) :*

a) *lorsqu'une organisation A, qui possède ou contrôle une capacité technique et humaine (on parlera aussi de compétences dans ce cas), vend (ou propose à titre gratuit, s'il s'agit de services non marchands) à un agent économique B le droit d'usage de cette capacité et de ces compétences pour une certaine période, pour produire des effets utiles sur l'agent B lui-même, ou sur des biens C qu'il possède ou dont il a la responsabilité. Dans certains cas, cet usage prend la forme d'une intervention, sollicitée par B, sur un support C détenu ou contrôlé par B, et l'on retrouve le triangle du service. Dans d'autres cas, il se résume à l'utilisation temporaire par B d'une capacité technique entretenue, mise à disposition par A (exemple : la location). Dans une troisième famille de cas, c'est une « représentation » humaine (accompagnée de son support technique) que A organise et à laquelle B assiste. /…/*

b) *lorsqu'un ménage ou un consommateur final (ces notions sont identiques à ce degré d'abstraction) emploie lui-même un salarié pour s'occuper de ses biens ou de sa personne (ou éventuellement de personnes vis-à-vis desquelles il exerce une délégation de responsabilité : enfants, parents…)* » (2003, p 20).

Cependant, ces mobilisations de compétences, ces transformations, ces effets utiles produits au cours de la production de service ne prétendent pas au retour d'une quelconque immatérialité au sens strict, immatérialité qui ne peut prétendre à définir tout service[16]. L'économie n'est pas ici virtuelle ou fantomatique, elle engendre des déchets, mobilisent de l'énergie et requiert des supports matériels, bref des biens. Alain Gras (2008) constate un lien entre les activités de transport et de communication : le transport matériel accompagne les

[15] Philipe Zarifian (2007, p. 38) souligne que parler de dispositions d'action, « *c'est prendre le destinataire du service, non comme une chose, mais comme un sujet agissant, donc apte à prendre des initiatives* ». Les dispositions se construisent socialement, elles sont partagées et partageables.

[16] Jacques de Bandt (1985, p. 214) note que si l'on parle presque indistinctement de société de l'information et de société de services pour désigner la société post-industrielle, ces notions « *ne sont manifestement pas deux réalités identiques* ».

TIC. Hier, la locomotive et le télégraphe ont laissé place aujourd'hui à l'Internet, au portable et à l'avion. Les infrastructures essentielles aux communications consomment la plus grande partie de l'énergie. Dès lors, les observations ne conduisent pas à opposer les activités de services aux activités industrielles, mais plutôt à les associer, à les lier [17]. Cette complémentarité trouve un écho dans la thèse du self-service de Gershuny. Ainsi, « *la machine à laver permettrait un self-service dans un processus d'utilisation simple. Les outils informatiques, la télévision, le minitel, etc. peuvent permettre aussi un self-service qui nécessite lui-même un accès à une production immatérielle et intellectuelle* » (Barcet, Bonamy, 1988, p. 300).

Il en découle deux propositions de nature prospective et normative. Tout d'abord, les services ne vont pas nécessairement ni partout remplacer l'industrie. « *Dans l'ensemble des services, ceux qui sont au sens strict l'objet d'une consommation personnelle sont relativement peu nombreux, il s'agit des services portant sur la personne elle-même. Tous les autres services, s'ils peuvent être financés par des personnes ou des entreprises, se situent dans une relation d'accompagnement d'un bien, d'un acte, d'un processus économique qui donne la fonction finale* » (Barcet, Bonamy, 1988, p. 296). Ensuite, les services peuvent permettre la consolidation de l'industrie. On assisterait ainsi à une transformation des modes de production, initiée par l'incorporation de services : « *ce n'est plus un produit matériel que l'on peut utiliser en toute autonomie, ni un simple service, il s'agit d'une marchandise complexe : produits matériels et services (logiciels, abonnements à des réseaux, contrats annexes divers, etc.) que l'on peut se procurer séparément, mais dont aucun ne vaut sans les autres, liés par une combinaison de technologies que maîtrisent et renouvellent sans cesse un petit nombre d'entreprises, ils sont insérés dans des réseaux ou des systèmes qui leur imposent leurs logiques et leurs normes* » (Beaud, 2000, p 398-399). Ce nouveau capitalisme, que Michel Beaud nomme capitalisme technoscientifique, étendrait sa logique au-delà des frontières du capitalisme industriel : « *Le capitalisme industriel s'était élargi à des gammes très diversifiées de production matérielle. Le capitalisme technoscientifique peut trouver application dans pratiquement tous les domaines, dès lors qu'une combinaison quelconque de connaissance scientifique, de biens matériels, de services et de savoir-faire technique peut permettre de répondre à une demande solvable ; en ce sens, on assiste bien, avec son avènement, à un nouvel élargissement, à une généralisation de l'aire du capitalisme* » (Beaud, 2000, p. 402).

Finalement, on retrouve ici les deux sens au terme d'industrie évoquée dans l'Encyclopédie par de Jaucourt (1986) : « *ce mot signifie deux choses ; ou le simple travail des mains, ou les inventions de l'esprit en machines utiles, relativement aux arts et aux métiers ; l'industrie renferme tantôt l'une, tantôt l'autre de ces deux choses, et souvent les réunit toutes les deux. Elle se porte à la culture des terres, aux manufactures, et aux arts ; elle fertilise tout, et répand partout l'abondance et la vie : comme les nations destructrices font des maux qui durent plus qu'elles, les nations industrieuses font des biens qui ne finissent pas même avec elles* » (1986, p. 178-179). Au-delà des querelles statistiques, « *l'industrie est plus qu'un simple découpage statistique, c'est également un modèle de civilisation reposant largement*

[17] Pierre Calame (2006) distingue quatre types de biens : (1) des biens et des services qui se détruisent en se partageant. C'est la relation de co-usage, de mutualisation qui crée leur valeur et non leur possession ; (2) des biens qui se divisent en se partageant. La quantité de ces biens étant fixée par nature (l'eau, l'énergie fossile), leur valeur dépend de leur gestion collective et de l'équité d'accès ; (3) des biens et des services qui doivent essentiellement à la créativité humaine et sont en quantité infinie. Leur valeur dépend de l'épanouissement des talents, de la diversité des initiatives, de la multiplicité des lieux créatifs et des formes économiques adaptées ; (4) enfin des biens qui se multiplient en se partageant. Ce sont tous les biens immatériels : l'éducation, la musique en sont des exemples. Plus on les partage, plus la valeur globale est importante (p. 13)

sur l'innovation (qu'elle soit technique ou organisationnelle). Une double mentalité, à la fois quantitative et qualitative, va naître de cette culture de l'innovation. Mentalité quantitative, tout d'abord, avec une soif inextinguible d'informations précises, qui sont partagées et participent de l'oeuvre de civilisation. L'appétit pour les chiffres ne nourrira pas seulement le commerce, mais sera aussi à l'origine des avancées scientifiques les plus grandes. Mentalité qualitative également, qui tend à voir le progrès technique comme un instrument de civilisation. » (Flacher, Pelletan, 2005, p 287). Persiste donc chez de nombreux économistes, l'association entre le développement de « l'industrie » et du mieux vivre (Jorda, Vivien, 2005, p 289) et donc la peur du déclin par sa disparition. Or, dans tous les cas nous n'assistons pas à un retour en arrière, « *La désindustrialisation telle qu'on l'entend aujourd'hui n'étant pas le phénomène inverse de l'industrialisation d'hier, il est nécessaire de se fonder sur des définitions à même d'intégrer toutes les mutations et les diversités observées* » (Flacher, Pelletan, 2005, p 302).

Les expressions de désindustrialisation, de civilisation tertiaire ou bien encore d'économies fondées sur la connaissance accentuent parfois telles ou telles transformations de l'économie. C'est oublié sans doute que « *le capitalisme industriel ne disparaît pas : comme toujours dans la grande évolution par stratifications successives des sociétés humaines, les anciennes strates (des capitalismes manufacturier et industriel) vont s'amenuiser, tandis que va se renforcer la nouvelle strate (du capitalisme technologique) ; en même temps, les anciennes strates, et plus largement les anciennes formes de production, vont être remodelées : de même que l'agriculture et la vie domestique ont été profondément transformées par la puissance novatrice du capitalisme industriel, de même la vie domestique, l'agriculture, les transports, l'industrie, la santé, l'information, bref l'ensemble des activités vont profondément l'être par la puissance novatrice du capitalisme technoscientique* » (Beaud, 2000, p 402).

L'industrie au sens de l'Encyclopédie, voire de Fourastié, est un vecteur de l'innovation, du progrès technique. Elle travaille au bonheur de l'humanité. Certes, les services rendus par la nature[18] sont perturbés par l'activité de l'homme et les effets externes sont loin d'être entièrement positifs. Néanmoins, ils peuvent être combattus efficacement par de « nouveaux » modèles, vecteur de bonnes pratiques proposées par l'écologie industrielle (ou économie circulaire[19]) et/ou l'écologie politique. Nouveauté dans les termes mais point dans les faits ou dans les discours. A leur manière, Taylor et Ford défendaient déjà la lutte contre le gaspillage de temps et de matière, par une quête de l'efficacité sans pour autant laisser beaucoup de place à l'action de l'Etat (Jorda, Vivien, 2005 ; Jorda, 2007). L'initiative individuelle, le « marché » et les innovations constituent ici les garants d'une pérennité de la croissance à travers la poursuite de l'accumulation du capital et du progrès technique qui doit répondre aux défis de l'épuisement de certaines matières et à l'abondance des déchets. Ces derniers pourront d'ailleurs se voir réintégrer dans le processus économique comme inputs.

[18] Dominique Bourg (2007, p 26) évoque des services de régulation (qualité de l'air, le climat local, les déchets etc.) ; les services de fournitures (la nourriture, l'eau, les matières premières, l'énergie, les molécules pour la pharmacie etc.) ; les services culturels (services spirituels et religieux, esthétiques, récréatifs et touristiques. Il ajoute que 60 % de ces services sont dégradés ou surexploités.

[19] Selon l'expression de Dominique Bourg (2007) ; ce dernier évoque également « *l'économie de fonctionnalité* » comme vecteur de réduction des flux de matière. Elle consiste en une « *substitution de la vente de l'usage des produits à la vente des produits eux-mêmes. Avec la vente des biens, il n'est d'autre façon d'accroître la chiffre d'affaires que d'en vendre de plus en plus : lorsque seul leur usage est vendu, la croissance du chiffre d'affaires n'implique plus ipso facto l'augmentation de la production. La durée du produit support du service conditionne au contraire la durée du service lui-même et celle des flux financiers qu'il génère.* » (2007, p 27). Jérémy Rifkin (2005) évoque « *l'âge de l'accès* » avec notamment la croissance de la location automobile.

II. LE CAPITALISME DEMATERIALISE, UNE STRATEGIE VIABLE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE ?

La prise en compte des enjeux écologiques a suscité à la fin du XXème siècle deux orientations. La première orientation considérait que l'homme faisait partie de la nature, laquelle, loin d'être donnée, est un construit. Par son activité (notamment industrielle), l'homme fût cependant amener à transformer et à détruire son environnement. C'est pourquoi l'écologie industrielle prône une remise en cause du modèle de développement des économies industrielles en s'appuyant sur la notion d'écosystème. La seconde orientation condamnait les méfaits de l'action humaine sur la nature et militait, sous la bannière de l'écologie politique, pour une croissance zéro, voire une décroissance. Face à la montée des services, ces deux approches ont été amenées à se demander si le capitalisme dématérialisé était apte à stimuler une dynamique de passage vers un développement durable.

A. L'écologie industrielle

La notion « *d'écologie industrielle* » a été définie en 1989, dans un numéro spécial de la revue « Scientific American » (*Pour la Science* en français) consacrée à la « gestion de la planète Terre ». Dans un article intitulé « *Des stratégies industrielles viables* », Robert Frosch et Nicolas Gallopoulos, tous deux responsables de la Recherche chez General Motors[20], développent l'idée selon laquelle il devient nécessaire de recycler les biens usagés, d'économiser les ressources et de rechercher des matières premières de remplacement[21]. L'accumulation des déchets et la pollution générée par le progrès technique les conduisent à remettre en cause le modèle de développement des économies industrielles et à formuler la notion d'écosystème industriel : « *Ainsi 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). Frosch et Gallopoulos précisent qu'un écosystème industriel pourrait fonctionner comme un écosystème biologique. Dans son ouvrage « *Vers une écologie industrielle* », Suren Erkman (1998, p. 22) souligne que l'article de Frosch et Gallopoulos a joué « *le rôle de catalyseur* », de sorte que plusieurs interprétations ont donné lieu à un grand nombre de définitions de l'écologie industrielle. Les années 90 se sont donc cantonnées à stabiliser le vocabulaire d'un courant de pensée en pleine ébullition, qui souhaite porter un « regard nouveau » et qui se construit sur des sources multiples y compris par exemple sur les travaux de Nicholas Georgescù-Roegen (1995).

1. Les fondements de l'écologie industrielle

Si les nombreuses interprétations des travaux de Frosch et Gallopoulos n'ont pas permis de déterminer une définition standard de l'écologie industrielle, il semble que la plupart des auteurs (Schulze, Frosch, Risser 1996, Lifset 1998, Ehrenfeld 2004, Erkman 2006) qui se rattachent à ce courant de pensée soient d'accord sur les trois idées suivantes :

i) L'écologie industrielle fait appel en priorité à l'écologie scientifique, aux sciences naturelles (le monde biophysique) et aux sciences de l'ingénieur (Schulze 1996)[22]. Par

[20] De par ses relations avec le monde industriel et plus particulièrement l'industrie automobile (Tukker et Cohen 2004 ont analysé le concept d'écologie industrielle chez Ford).

[21] L'écologie industrielle ne se limite pas au secteur automobile. Elle touche toute la communauté des ingénieurs. On peut ainsi citer l'ouvrage de Graedel et Allenby (1995), *Industrial Ecology*. L'un est « membre distingué » du staff technique, l'autre est vice-président de la recherche « *Technology and Environment* » de la société AT & T Bell Laboratories.

[22] Tilley (2003) distingue deux disciplines qu'il nomme « *Industrial ecology* » et « *Ecological Engineering* ».

écologie scientifique, Suren Erkman (1998, p. 10) entend opposer la démarche du chercheur à la contestation politique[23] : « *contrairement à la plupart des discussions actuelles sur les questions d'environnement, l'écologie industrielle ne s'aventure pas sur le terrain de l'écologisme politique : elle ne fait preuve ni de catastrophisme, ni de son symétrique inverse, l'optimisme technologique à outrance* ». L'écologie serait devenue une véritable science suite à la progression de la thermodynamique[24] des phénomènes irréversibles de Prigogine (1968), à la présentation d'une typologie[25] des écosystèmes par Eugène Odum (1983) et à l'évocation de lois[26] « scientifiquement » vérifiées par Kenneth Watt (1973). L'art de l'ingénieur consiste « *to produce a solution that works in the real world, with all the contraints that task entails. Such contraints may be competitive, ergonomic, regulatory, economic and temporal* » (Allenby, Allen, Davidson 2007, p. 8). Il s'agit de résoudre des problèmes environnementaux en mettant en place des procédés industriels optimisés : la transformation des dérivés du pétrole en matériaux polymères, la transformation du minerai de fer en acier, le raffinage des métaux de la famille du platine (Frosch, Gallopoulos 1989).

ii) Si un système industriel peut fonctionner comme un écosystème biologique, il ne faut pas prendre cette analogie « *au pied de la lettre* ». Frosch et Gallopoulos (1989, p. 106) ont ainsi souligné que « *l'on ne parviendra jamais à établir un écosystème industriel parfait*[27] ». Ayres (1995) précise qu'il existe des différences importantes entre les organismes biologiques et les unités élémentaires du système industriel, en l'occurrence les entreprises. Si les organismes biologiques sont capables de se reproduire, les firmes ne produisent que des produits ou des services, elles ne peuvent pas produire d'autres entreprises. Par ailleurs, contrairement aux organismes vivants qui évoluent selon un processus temporel long et lent, les entreprises peuvent modifier rapidement leur activité ou/et leurs produits. Levine (2003, p. 33) note une différence fondamentale entre le système biologique et le système industriel : « *Products, that is, goods and services exchanged for something of value, are characteristic of industrial systems, but relatively rare in the ecological system* ». Ainsi pour reprendre les termes de Suren Erkman (1998, p. 9), on peut décrire le système industriel comme « *une certaine configuration de flux et de stocks de matière, d'énergie et d'information, tout comme les systèmes biologiques».* Braden Allenby (1994) a exploré le champ de l'écologie industrielle en s'appuyant sur les connaissances propres à l'évolution de la vie sur Terre. La terminologie suggérée par Allenby renvoie à la présence d'écosystèmes de type I, II et III. L'écosystème de type I s'appuie sur un processus linéaire dans lequel les matières premières et les déchets sont illimités. Il n'y aucune activité de recyclage. Les produits industriels sont utilisés de façon frivole, puis rejetés dans l'environnement. Dans l'écosystème de type II, les organismes vivants sont interdépendants et forment des réseaux d'interactions complexes. Cet écosystème est plus efficace que celui du type I, cependant il n'est pas viable à long terme : la

[23] Taylor en avançant les principes scientifiques d'une bonne organisation du travail, dénigrait la pertinence de toute contestation et la présence syndicale comme anormale.

[24] Les 4 principes de la thermodynamique (Vivien, 1994, p. 34) ont joué un rôle fondamental dans la construction de l'écologie.

[25] Ce qui caractérise la typologie des écosystèmes d'Eugène Odum, c'est l'alternative entre l'énergie solaire et l'énergie d'origine humaine. On distingue les écosystèmes naturels « *non subventionnés* » alimentés par l'énergie solaire ; les écosystèmes alimentés par l'énergie solaire et « subventionnés » par d'autres écosystèmes ; les écosystèmes alimentés par l'énergie solaire mais subventionnés par l'homme (exemple des agro-écosystèmes) ; les écosystèmes urbano-industriels alimentés par les combustibles.

[26] Les écosystèmes sont soumis à 40 principes. Le principe 0 correspond à une description, une analyse et une gestion possible des écosystèmes en fonction des paramètres ressources (dans une vision classique, le fonctionnement est assuré par la matière, l'énergie, l'espace, le temps, la diversité). Les principes I et II sont rattachés à deux lois de la thermodynamique…

[27] Dans un écosystème parfait, le seul input est l'énergie solaire. Toutes les autres matières sont recyclées biologiquement dans le sens où les déchets de chaque espèce sont la nourriture d'une autre espèce.

diminution des ressources (matières premières) contraste avec l'augmentation inexorable des déchets (Jelinski et alii 1992). L'écosystème de type III a évolué jusqu'à fonctionner de manière entièrement cyclique. Seule l'énergie solaire constitue un intrant. La société industrielle « *devrait s'approcher autant que possible d'un écosystème de type III* » (Erkman 1998, p. 36).

iii) L'écologie industrielle doit pouvoir mobiliser des disciplines diverses, telles que les sciences économiques, juridiques et sociales. Boons et Roome (2000) insistent sur le fait que l'écologie industrielle étant devenue un phénomène culturel, elle ne peut plus se contenter d'un discours scientifique (l'objectivité du chercheur et de l'ingénieur), elle doit prendre des positions normatives. Ils proposent ainsi « *an agenda of research on the cultural and ideological aspects of industrial ecology*" (2000, p. 49). Enfin, Wells et Orsato (2005) avancent qu'en dépit de ses fondations scientifiques, l'écologie industrielle peine encore à cerner les conditions sociales, environnementales et économiques du développement durable. Un moyen d'enrichir le concept d'écologie industrielle consisterait à se tourner vers les sciences de gestion (la logique de réseaux et la mise en place d'une supply chain posent la question des liens, des relations, des mécanismes de coordination et de la compétitivité[28]) ; les sciences économiques[29] (les économies d'échelle et la localisation redéfinissent les termes de la concurrence) et les sciences sociales (Wells et Orsato 2005, p. 16 insistent notamment sur le concept de champ organisationnel - « *Organizational field*[30] » - contexte dans lequel les organisations sont socialement imbriquées, *l'encastrement* de Granovetter 2000).

Au-delà de ces spécificités, l'écologie industrielle doit relever un quadruple défi : valoriser les déchets (passer des « bads » aux « goods ») ; boucler les cycles en minimisant les rejets ; dématérialiser les produits (accroître la productivité des ressources) et procéder à la décarbonisation de l'énergie (évolution vers un système industriel moins gourmand en énergie fossile).

2. Ecologie industrielle et métabolisme industriel

Si l'écologie industrielle cherche à s'approcher le plus possible d'un écosystème « viable » à long terme, il devient nécessaire de cerner quantitativement et qualitativement la dimension physique des activités économiques, à savoir les flux et les stocks de matières inhérents à toute activité industrielle (Daniels[31] 2001, 2002). Cette démarche renvoie à une approche apparue à la fin des années 80 : l'étude du métabolisme industriel (Ayres 1989). Le concept de « métabolisme » s'applique généralement à une plante ou un animal[32]. Ayres et Simonis (1995, p. 1) le définissent comme "*the totality of internal processes - both physical and chemical - that supply the energy and nutrients required by an organism as the conditions of life itself*". Ces processus peuvent être décrits en termes de transformations d'inputs (énergie solaire, énergie chimique, eau, air) en biomasse (la substance de l'organisme

[28] Esty et Porter considèrent que "*the systems perspective that industrial ecology promotes can help companies find ways to add value or reduce costs both within their own production processes and up and down the supply chain*" (1998, p. 35). L'écologie industrielle propose ainsi une approche collective et systémique qui va à l'encontre des schémas traditionnels (agents économiques individualistes, logique concurrentielle).

[29] Andrew (2000) cherche à construire les fondements micro de l'écologie industrielle.

[30] DiMaggio et Powell définissent le champ organisationnel « *as a recognized aera of institutional life : key suppliers, resource and product consumers, regulatory agencies, and other organisations that produce similar services and products*" (1983, p. 148).

[31] Daniels (2001, 2002) a comparé les dimensions physiques de neuf systèmes économiques afin de quantifier les flux et les stocks de matière associés à l'activité humaine.

[32] Fischer-Kowalski, Hüttler (1998, p. 107) ont proposé une classification du métabolisme en retenant trois niveaux : le modèle de référence (écosystème biologique, écosystème socio-économique), le niveau du système (global, national, régional, fonctionnel, temporel) et les types de flux (matières, énergies, substances).

vivant) et en déchets. Par analogie, le métabolisme industriel[33] est « *l'étude des ensembles des composants biophysiques du système industriel. Cette démarche, essentiellement analytique et descriptive, vise à comprendre la dynamique des flux et des stocks de matière et d'énergie liées aux activités humaines, depuis l'extraction et la production des ressources jusqu'à leur retour inévitable, tôt ou tard, dans les processus biogéochimiques* » (Erkman 1998, p. 10). En d'autres termes, c'est tout simplement l'ensemble des transformations physico-chimiques qui permettent de passer des matières premières (biomasse, minéraux, métaux, pétrole) aux biens manufacturés et aux déchets (Lynd, Wang, 2004). Les économistes parlent de processus de production. La transformation des biens en services introduit cependant un second terme économique, la consommation. De là, le métabolisme industriel comprend tous les flux de matière et d'énergie qui permettent au système économique de fonctionner, c'est-à-dire de produire et de consommer (Hertwich, 2005).

Vu sous cet angle, le système économique humain occuperait une place à part à l'intérieur du système naturel de la Terre. L'anthroposphère est seulement une partie de la biosphère, elle-même en équilibre dynamique avec le soleil, l'air (l'atmosphère), les océans (l'hydrosphère) et la croûte terrestre (lithosphère). Durant l'ère préindustrielle, l'anthroposphère était plus ou moins en équilibre avec la biosphère et les autres éléments du système terrestre (Husar, 1995 ; Vivien, 1994, p 29). Les déchets étaient recyclés par un processus naturel. Même les minerais et les métaux utilisés pour confectionner des armes, des outils ou des pièces, ont été recyclés pendant des millénaires. « Cette cohérence est le propre des sociétés encore très largement agricoles, des sociétés utilisatrices d'énergie froide (hydraulique, éolienne), dépendantes des rythmes et cycles naturels. » (Vivien, 1994, p 29). La révolution industrielle du XVIIIème siècle et l'arrivée des machines à vapeur auraient changé radicalement cette situation. L'exploitation intensive des énergies fossiles et la non prise en compte des contraintes environnementales seraient devenues les moteurs de l'évolution des sociétés humaines.

Ayres (1995) précise qu'il existe trois niveaux d'abstraction du concept de métabolisme industriel. A un premier niveau, le métabolisme industriel est un ensemble de processus physiques qui transforment les matières premières et l'énergie, plus le travail en produits finis et en déchets. L'offre n'est pas autorégulée. Le contrôle du système est réalisé par la composante humaine. Elle peut exercer un contrôle direct (à travers l'input travail, facteur de production) ou indirect (en tant que consommateur d'output). Le système économique est ainsi stabilisé, au moins dans une structure de marché concurrentielle et décentralisée, lorsque l'offre et la demande de produits (et de travail) sont égalisées selon un mécanisme de prix. De là, le système économique est, par essence, un « *metabolic regulatory mechanism"* (Ayres 1995, p. 6). A un second niveau, le concept de "métabolisme industriel" renvoie à l'unité élémentaire de l'organisation industrielle, la firme ou l'entreprise manufacturière. Cette dernière est ainsi présentée comme l'unité standard dans la théorie économique. Dès lors, un système économique est « *a collection of firms, together with regulatory institutions and worker-consumers, using a common currency and governed by a common political structure*" (ibid.). Enfin, à un troisième niveau, le métabolisme industriel focalise son attention sur le cycle de vie des matières et des produits. Or, si la nature est caractérisée par les cycles fermés du carbone, de oxygène et de l'hydrogène (Ayres et alii 1996) dans lesquels les processus biologiques jouent un rôle majeur, les firmes font partie d'un système industriel ouvert qui transforme des matières premières et de l'énergie fossile en produits finis et en déchets (Ayres 1999).

[33] Moll, Norman, Kok et alii (2005) ont analysé le concept de « *Household metabolism* » en l'introduisant dans des modèles de consommation. L'analyse des différents types de ménages (citadins européens), à partir des besoins (directs et indirects) d'énergie, permettrait de définir un modèle de consommation plus 'soutenable'.

La méthodologie du métabolisme industriel consiste donc « *à établir des bilans de masse, à estimer les flux et les stocks de matière, à retracer leurs itinéraires et leur dynamique complexes, mais également à préciser leur état physique et chimique* » (Erkman 1998, p. 56). Au sein même des entreprises, cette comptabilisation est réalisée sous la forme d'une matrice input-output (Leontief 1936) et d'une analyse de cycle de vie. Ces « bilans environnementaux » permettent de contrôler les échanges, de connaître le niveau auquel ils se produisent, de savoir comment ils se structurent et comment ils déstructurent l'environnement (Esquissaud 1990). Même si la difficulté de l'étude réside dans la diversité des modalités d'émission des rejets (illustration des pratiques agricoles, Moolenaar 1998, 1999) et la prise en compte des effets de synergie (interactions entre diverses sources de pollution).

Les bilans environnementaux peuvent s'appuyer sur trois rubriques (Vigneron 1990, p. 18) : (1) une forme descriptive de l'activité industrielle incluant les procédés de fabrication et leurs caractéristiques ; (2) une quantification à l'aide d'un inventaire des éléments non monétaires (quantités d'effluents émises, nuisances dans l'air, le sol et l'eau…) et des éléments monétaires (flux de matières premières, quantités produites, investissements, patrimoine bâti et non bâti de l'entreprise…) ; (3) à partir de ces données, une analyse des contraintes législatives, techniques, financières, économiques et commerciales qui expliquent l'attitude de l'entreprise face à la question de l'environnement. Si un nombre suffisant d'entreprises[34] s'attachent à publier un tel bilan, il sera alors possible d'établir un diagnostic précis de l'état de l'environnement et de surveiller, quantitativement et qualitativement, un élément dont la dégradation est difficilement réversible (Haberl, 2001). Le métabolisme industriel pourrait ainsi devenir un outil indispensable pour les responsables politiques, administratifs et économiques, concernés par une gestion optimale des ressources et du territoire, et la planification d'un « *développement socio-économique viable* » (Erkman 1998, p. 78). Il permettrait non seulement d'optimiser les ressources existantes mais également de détecter des ressources sous utilisées (ou non utilisées) pouvant générer de nouvelles activités.

3. De l'écologie industrielle à l'écotechnologie

Au début des années 2000, les sciences de l'ingénieur (plus précisément le champ de l'innovation industrielle) 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'écotechnologie[35] 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.

i) 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 services de transports contribuent pour plus de 25% à la consommation mondiale d'énergie, ce

[34] En France, c'est la *Loi sur les Nouvelles Régulations Economiques* (LNRE) de 2001 qui impose aux entreprises de publier un bilan environnemental annuellement.

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

qui a pour conséquence d'augmenter les émissions des gaz à effet de serre. Selon une étude de l'INFRAS (2000), les coûts sociaux et environnementaux externes du transport représenteraient environ 8 à 10% du PIB européen. Le Livre Blanc de la Commission européenne (2001) a proposé diverses initiatives allant d'un rééquilibrage des modes de transport au profit de modes plus respectueux de l'environnement (rail, canaux…), à l'internalisation des coûts environnementaux dans le prix des transports, au développement de nouveaux types de carburant et à la promotion des transports publics. Plusieurs de ces mesures sont liées au développement de techniques qui relèvent de l'éco-technologie. C'est le cas des véhicules fonctionnant avec une pile à hydrogène.

ii) 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. Les techniques intégrées sont plus avantageuses d'un point de vue économique car elles évitent le surcoût lié à l'adjonction d'un dispositif en fin de chaîne, et rendent les procédés de production plus efficaces. Les tenants de l'écologie industrielle parlent également d'*Eco-efficiency* (Ehrenfeld 2005). Il s'agit en fait d'établir une relation empirique entre le coût (la valeur) environnemental et l'impact environnemental des activités économiques. Huppes et Ishikawa (2005, p. 27-28) ont identifié quatre types d'éco-efficience : « *The first two are environnemental productivity and its inverse, environnemental intensity of production… The second pair, environnemental improvement cost and its inverse, environnemental cost-effectiveness are defined from an environnemental improvement measures point of view*". De gros progrès pourraient ainsi être réalisés dans la réduction des dommages environnementaux grâce au développement et à l'utilisation de techniques nouvelles. Certaines techniques prometteuses concernent les nouveaux matériaux cimentaires, les anodes réfractaires et la technologie de la cathode humide pour la production de l'aluminium. L'utilisation de matières premières renouvelables d'origine végétale en tant que produits de départ dans l'industrie est une pratique bien établie dans l'industrie chimique. Des techniques biotechnologiques permettent également d'économiser les matières premières et l'énergie. La biodépollution (utilisation de bactéries) permet de désagréger les nappes d'hydrocarbures et d'assainir les eaux résiduaires. La biocatalyse est un procédé industriel moins polluant utilisé dans les industries traditionnelles telles que le textile, le cuir et le papier.

iii) la gestion des ressources (notamment des énergies renouvelables telles que l'éolien, le solaire, la biomasse). Pour certains pays européens, le secteur des éco-industries est devenu compétitif et diversifié. C'est le cas notamment des techniques finlandaises de fabrication de la pâte et du papier ; des services de gestion des eaux et des déchets en France ; des systèmes suédois de traitement des eaux usées ; de la technologie danoise des turbines éoliennes…

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. Ce « *Green Business* » - qui consiste à produire des équipements de dépollution, de recyclage, des unités de traitement de l'eau…- offrirait ainsi aux différentes économies de meilleures possibilités de développement à long terme sans pour autant imposer à l'environnement plus de contraintes qu'il ne peut en supporter

4. L'écologie industrielle et la dématérialisation

Dans son ouvrage intitulé *Vers une écologie industrielle*, Suren Erkman (1998, p. 88) note que « *si l'on veut atteindre un niveau de vie élevé pour une population mondiale en augmentation, tout en minimisant les impacts sur l'environnement, il faudra obtenir plus de services et de biens à partir d'une quantité de matière identique, voire moindre. Telle est l'idée de base de la dématérialisation, qui consiste, en d'autres termes, à accroître la productivité des ressources* ». Grâce au cadre théorique proposé par l'écologie industrielle, les services, et plus précisément le capitalisme dématérialisé, sont présentés comme des solutions viables en matière de développement durable. Les concepts de substitution des facteurs de production, d'écosystème et de métabolisme industriel jouent ici un rôle majeur.

- A la suite des travaux de Solow (1973, 1974), le progrès technique associé à l'hypothèse de substitution des facteurs de production, a été présenté comme une source de croissance économique inépuisable. Malgré les critiques de certains économistes (Nicholas Georgescu-Roegen[36]), ce mythe continue à perdurer, reléguant le rapport Meadows (1972) au rang de funeste supercherie. Les tenants de l'écologie industrielle ne dérogent pas à cette règle. Suren Erkman insiste sur le fait que pour produire des biens, il est nécessaire d'utiliser proportionnellement moins de matière et d'énergie. Une diminution qui provient en premier lieu des progrès technologiques : « *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).

La société post-industrielle renvoie bien entendu aux services, mais pas à n'importe quelle catégorie de services. Les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication sont présentées comme des outils décisifs dans la lutte contre l'épuisement des matières premières et des déchets. « *La substitution informationnelle* », aux dires d'Erkman (1998, p. 89) serait même un important facteur de dématérialisation. Les NTIC permettraient d'accroître la rentabilité des entreprises en utilisant au mieux 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, ils 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, ils 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 considérablement contribuer à réduire les encombrements de la circulation et à 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

[36] On peut lire sous la plume de Nicholas Georgescù Roegen (1985, p. 100), une critique exacerbée des propos de Solow : « *Il faut avoir une vue bien erronée du processus économique dans sa totalité pour ne pas remarquer qu'il n'existe pas de facteurs matériels autres que les ressources naturelles. Soutenir, en outre, que « le monde peut, en effet, subsister sans ressources naturelles », c'est ignorer la différence qui existe entre le monde réel et le jardin d'Eden* ».

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). Le système des services (à la production et à la commercialisation) ne serait plus qu'un sous-système du système d'information (De Bandt, 1985).

- Le concept d'écosystème offre quant à lui un cadre théorique intéressant pour analyser et comprendre les nouvelles formes d'organisation et de coordination associées aux activités de services. Les années 90 ont vu l'émergence et la consolidation de stratégies proactives qui s'inscrivent dans une nouvelle économie de services, dite *économie de la fonctionnalité* (*Service Economy* ou *Function Economy* en anglais). Cette notion désigne « *la production et la vente de solutions globales dont l'aspect fonctionnel repose sur un usage intégré des biens d'équipements et de services associés, et qui autorise la prise en charge des préoccupations du développement durable* » (Du Tertre, 2007, p.241). Les entreprises visent ainsi à privilégier la vente de l'usage des fonctionnalités associées à un bien plutôt que le bien lui-même (Lauriol, 2005). Dans cette perspective, elles sont amenées à optimiser l'utilisation des biens et services producteurs de richesses, en créant une valeur d'usage la plus élevée (diminution des coûts de conception) et la plus durable possible (logique de maintenance), tout en minimisant l'utilisation des ressources et d'énergie engagée dans cette production (logique de recyclage). L'émergence de ces nouvelles stratégies a modifié la configuration des chaînes productives (nouvelle organisation de la chaîne de valeur) en obligeant les entreprises à rechercher de nouvelles compétences (nature et diversité des activités qui doivent être développées). La chaîne productive de *l'économie de la fonctionnalité* rompt définitivement avec la logique linéaire de l'économie industrielle (ressources, matières premières, produits finis, déchets) grâce à la mise en place d'une dynamique en double boucle. La première boucle cherche à réutiliser un bien au terme de son utilisation, par le reconditionnement de produits, leur réparation et toutes les formes de conception (innovations). La seconde boucle procède au recyclage des biens arrivés au terme de leur vie. Ces derniers iront rejoindre un nouveau cycle de production dans lequel leurs matières seront réutilisées (Bourg, Buclet, 2005). Il ne s'agit plus d'externaliser l'activité de recyclage mais de l'intégrer dans le coût total du produit, ce qui incite l'entreprise, à concevoir des produits facilement réutilisables au cours de la première boucle. Le recyclage, ainsi conçu, caractériserait le passage d'une société de production à une société de services (Erkman, 1998)

C'est dans contexte que la notion d'écosystème peut aider à clarifier les modes d'organisation et de coordination qui prennent forme. Le *système produit-service éco-fonctionnel* peut être défini comme « *un ensemble de produits et de services intégré et soutenu par un réseau et une infrastructure* » (Mont, 2002, p. 237). L'infrastructure représente l'ensemble des opérateurs qui participent à la production de l'offre. Elle est organisée autour d'une entreprise pivot qui conçoit cette offre, la vend et coordonne l'ensemble des opérateurs partenaires qui interviennent comme fournisseurs (exemple de la récupération et du recyclage des pneus chez Michelin). Cette infrastructure s'inscrit dans une forme organisationnelle assimilée à une organisation en réseau (Lauriol, 2007). Les agents économiques y partagent une caractéristique commune (une technologie) et un intérêt à agir conjointement avec d'autres agents pour bénéficier des effets d'externalités positives liés à l'appartenance au

réseau. Les sciences de l'ingénieur mais également les sciences des organisations s'intéressent de près au réseau. Pour les uns, il s'agit d'un objet technique qui permet d'interconnecter les industries de réseau (énergie, transport…). Pour les autres, il s'agit de décrire un mode privilégié de relations partenariales (alliances, coopération, coalitions, techniques d'impartition…) entre des entités indépendantes.

L'analogie avec l'écologie permet de définir un *écosystème d'affaires* comme « *l'ensemble des relations (verticales, horizontales et transversales)… ; directes ou non, entre acteurs hétérogènes guidés par la promotion d'une ressource commune (standard, savoir faire)* » (Guegen et ali, 2004, p. 18). Ce nouveau modèle, qualifié également *d'écosystème serviciel* (Lauriol, 2007, p. 266), s'appuie sur une logique de double boucle et une offre servicielle qui propose des capacités d'usage plutôt que des biens.

- En permettant de comprendre la dynamique des flux et des stocks de matière et d'énergie liés aux activités humaines, le métabolisme industriel donne une cartographie de l'ensemble des composants biophysiques du système industriel. En pratique, cette démarche consiste à établir des bilans de masse – sorte de comptabilité physique - décrivant le substrat matériel et immatériel de toute activité socio-économique et ses interactions avec l'environnement. L'analyse du cycle de vie (*Life Cycle Analysis, LCA*) des produits et des services devient à la fois un outil de diagnostic (compréhension du système) ; d'aide à la décision (stratégies de prévention des entreprises et une méthode d'évaluation et de suivi permettant de mesurer les progrès réalisés. Elle est généralement couplée avec une autre étude, the Life Cycle Costing (LCC), qui consiste à mesurer les coûts à chaque étape du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Le métabolisme industriel constitue un outil efficace lorsqu'il s'agit d'analyser les effets du passage d'une société de production à une société de services. Il permet de poser les limites de la dématérialisation et de démystifier certaines vérités établies. Erkman (1998) rappelle que les flux de matière et d'énergie associés à la production de papier et au développement de l'informatique ont littéralement explosé. Ainsi contrairement aux prédictions des prophètes de la société post-industrielle, « *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). Cet accroissement des flux de matière et d'énergie se serait même généralisé à tous les pans de l'économie. La dématérialisation n'échappe pas à ce phénomène, elle y contribuerait même. Le tourisme, les loisirs, la santé, l'enseignement, les télécommunications, les NTIC (à l'image des *Box*, sans cesse branchées sur le secteur électrique), les ventes par Internet (par les multiples déplacements occasionnés)… génèrent une surconsommation d'énergie. La dématérialisation impliquerait donc une réflexion sur les moyens de rendre les services plus frugaux en matière et en énergie.

Pour conclure la question de la dématérialisation, Erkman (1998, p. 93) nous livrera trois pistes de réflexion. Il convient tout d'abord d'être extrêmement vigilant lorsque l'on aborde cette notion. La dématérialisation d'un produit peut en effet s'accompagner d'une matérialisation de sa consommation (c'est le cas lorsque l'on achète de plus en plus de biens fragiles et difficilement réparables dans l'espoir de faire des économies de matière et d'énergie). Malgré cet inconvénient, la dématérialisation des produits et des procédés de production devrait s'accélérer sous l'effet de la technologie (nouveaux matériaux) et du recyclage. Les nanotechnologies offriraient un potentiel de dématérialisation encore inconnu. Enfin, la dématérialisation ne doit pas renvoyer au paradigme productiviste (production et consommation de masse) mais plutôt obéir aux préceptes systémiques. Ainsi, avant de produire, « *il faut commencer par déterminer la fonction dont on a besoin… et concevoir le produit… en s'efforçant de minimiser la consommation de matériaux et d'énergie…* ».

B. L'écologie politique

Cette approche renvoie aux travaux de quelques économistes (Nicholas Georgescu-Roegen, René Passet, Serge Latouche). Elle 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 beaucoup plus sceptiques quant à la capacité du capitalisme dématérialisé à répondre aux défis environnementaux.

1. La vision thermodynamique et biologique du monde

La thermodynamique nous enseigne que, dans le processus de production, la quantité d'énergie est conservée (premier principe de la thermodynamique), mais sa forme, - et donc sa disponibilité - a changé, de l'énergie libre (ou énergie utilisable) s'est transformée en énergie liée (ou énergie inutilisable), ce que nous appelons le deuxième principe de la thermodynamique, principe dit de Carnot-Clausius, encore appelé loi d'entropie. Pour le dire autrement, le processus économique transforme nécessairement de l'énergie (basse entropie) en déchets et rejets (haute entropie). Georgescù-Roegen (1971) a beaucoup fait pour la reconnaissance de la loi d'entropie. Alors que celle-ci concerne habituellement l'énergie, Georgescù-Roegen (1978, p. 361) a étendu cette loi à la matière, en édictant une quatrième loi qui stipule que «*dans un système clos, l'entropie de la matière tend continuellement vers un maximum* ». L'entropie serait donc une loi à laquelle on ne peut échapper, d'où l'insistance de Georgescù-Roegen (1995, p. 86) sur le caractère irrévocable de cette évolution : « *Dans le contexte de l'entropie, chaque action, de l'homme ou d'un organisme, voire de tout processus dans la nature, ne peut aboutir qu'à un déficit pour le système total* ».

La biologie souligne que l'homme - comme toutes les espèces naturelles - a toujours utilisé ses organes biologiques afin de puiser la basse entropie de l'environnement. De tels organes propres à chaque espèce vivante sont, selon la terminologie d'Alfred Lotka (1945, 1956), *les organes endosomatiques*. Mais progressivement, les êtres humains se sont distingués de la plupart des animaux en faisant appel à d'autres instruments qualifiés *d'exosomatiques*. Avec ces organes détachables, principalement des outils et des équipements techniques énergétivores, l'espèce humaine serait parvenue à accomplir de nombreuses réalisations. L'homme *« peut maintenant voler dans le ciel ou nager sous l'eau bien que son corps n'ait ni ailes ni nageoires ni branchies* » (NGR,1995, p. 116). L'évolution exosomatique aurait toutefois imprimé à l'espèce humaine deux transformations fondamentales et irrévocables. La première se manifeste par le conflit social. La seconde réside dans l'état de dépendance de l'homme vis-à-vis de ses instruments exosomatiques (Dannequin, Diemer, 1999a).

C'est en raison de cette dépendance que Nicholas Georgescù-Roegen (1971, 1986, 1995) considère que la seule voie pour l'humanité consiste à réorienter son développement exosomatique en intégrant les générations futures (Dannequin, Diemer, 1999b). La prise en compte des générations présentes et futures doit se traduire par la mise en place d'un *programme bioéconomique minimal* (NGR, 1975, 1978), symbolisant la montée des valeurs sociétales et de l'éthique (Dannequin, Diemer, 2004).

2. Bioéconomie, décroissance et mythe de la dématérialisation

Le programme bioéconomique suggéré par Nicholas Georgescu-Roegen repose sur huit points : (1) l'interdiction de la guerre et de la production de tous les instruments de guerre ; (2) l'aide aux nations sous-développées pour qu'elles puissent parvenir aussi vite que possible à une existence digne d'être vécue mais dénuée de luxe ; (3) la diminution de la population jusqu'à un niveau où une agriculture organique suffirait à la nourrir convenablement ; (4) une

réglementation destinée à éviter tout gaspillage d'énergie (excès de chauffage, de climatisation, de vitesse, d'éclairage…) ; (5) une désintoxication de « *notre soif morbide de gadgets extravagants, si bien illustrés par cet article contradictoire qu'est la voiture de golf, et de splendides mammouths telles les grosses voitures* » (NGR, 1995, p. 133) ; (6) l'abandon des effets de la mode (« *C'est… un crime bioéconomique que d'acheter une nouvelle voiture chaque année et de réaménager sa maison tous les deux ans* », 1995, p. 134) ; (7) la nécessité que les marchandises restent durables et réparables ; (8) la guérison du *cyclondrome du rasoir électrique* qui « *consiste à se raser plus vite afin d'avoir plus de temps pour travailler à un appareil qui rase plus vite encore, et ainsi de suite à l'infini »* (ibid). Nicholas Georgescù-Roegen reste cependant pessimiste sur les chances de réussite d'un tel programme, il a en effet conscience que son modèle de « décroissance » sera difficile à mettre en œuvre (« *L'humanité voudra t'elle prêter attention à un quelconque programme impliquant des entraves à son attachement au confort exosomatique ? Peut être le destin de l'homme est-il d'avoir une vie brève mais fiévreuse, excitante et extravagante, plutôt qu'une existence longue, végétative et monotone* », 1995, p. 135). Tous ses espoirs sont ainsi contenus dans la fusion de l'économie et de l'écologie (c'est toutefois l'économie qui devra être absorbée par l'écologie) « *L'un des principaux problèmes écologiques posé à l'humanité est celui des rapports entre la qualité de la vie d'une génération à l'autre et plus particulièrement celui de la répartition de la dot de l'humanité entre toutes les générations. La science économique ne peut même pas songer à traiter ce problème. Son objet, comme cela a souvent été expliqué, est l'administration des ressources rares; mais pour être plus exact, nous devrions ajouter que cette administration ne concerne qu'une seule génération* » (NGR [1979], p. 95). Ce vœu pieu ne tombera pas dans l'oubli.

Frosch et Gallopoulos (1989) rappelleront par deux fois qu'un écosystème industriel efficace ne s'établira que « *si les réformes de la production s'accompagnent de modifications des habitudes de consommation et des traitements des produits consommés (exemple du tri des ordures bien présent dans des pays comme le Japon, la Suède et la Suisse)* » ([1989], p. 114). Les industriels et les consommateurs devront changer leurs habitudes s'ils veulent conserver ou améliorer leur niveau de vie, sans souffrir de la dégradation de l'environnement.

De son côté, André Gorz (1991) fera un appel d'urgence en faveur d'une restructuration écologique de la société. Cette dernière exige que la rationalité économique soit subordonnée à une rationalité éco-sociale. La restructuration écologique serait en effet incompatible avec le paradigme capitaliste de la maximisation du profit et de l'économie de marché. La concurrence obligerait même les entreprises à renouveler et à différencier continuellement leur offre, à créer de nouveaux désirs et à repousser sans cesse la satiété des consommateurs. Le sens de la rationalisation écologique peut ainsi se résumer en la devise « *moins mais mieux* ». Son but est « *une société dans laquelle on vivra mieux en travaillant et en consommant moins. La modernisation écologique exige que l'investissement ne serve plus à la croissance mais à la décroissance de l'économie, c'est-à-dire au rétrécissement de la sphère régie par la rationalité économique au sens moderne. Il ne peut y avoir de modernisation écologique sans restriction de la dynamique de l'accumulation capitaliste et sans réduction par autolimitation de la consommation* » (1991, p. 93). D'un point de vue pratique, cette refonte écologique du système industriel concernera les industries lourdes (recul des ventes de produits chimiques) ; l'agriculture (passage à une agriculture plus respectueuse des équilibres naturels, moins énergivore en engrais et produits phytosanitaires) ; les transports (priorité au rail, limitation des vitesses, réduction de la production d'automobiles…).

Enfin, Serge Latouche (2006) proposera de réagir à la surcroissance [37] économique, incompatible avec une planète finie, par l'intermédiaire d'un programme, plus systématique, plus radical et plus ambitieux. Les 8 R (réévaluer, reconceptualiser, restructurer, redistribuer, relocaliser, réduire, réutiliser, recycler) constituent huit objectifs interdépendants « *susceptibles d'enclencher un cercle vertueux de la décroissance sereine, conviviale et soutenable* » (2006, p. 153). Ce véritable « *programme électoral* » (Latouche, 2007, p. 109) passe par une série de mesures telles que la redécouverte de notre empreinte écologique, l'intégration de certaines nuisances dans les coûts de transports, la relocalisation des activités, la restauration de l'agriculture paysanne, la transformation des gains de productivité en réduction du temps de travail et en création d'emplois, l'impulsion d'une production de biens relationnels, la réduction du gaspillage d'énergie, la pénalisation des dépenses de publicité, la mise en place d'un moratoire sur l'innovation technoscientifique …

La décroissance n'est donc pas une fabulation de l'esprit, elle fait du développement durable, un projet politique pour un renouveau des sociétés, « *avec la responsabilité pour principe essentiel* » (Heurgon, 2007). Pour mieux vivre, il s'agit désormais de produire et de consommer autrement. Cette nouvelle manière de penser les liens entre économie et écologie se heurte toutefois à trois mythes, véhiculés par la pensée orthodoxe : l'éternelle substituabilité des facteurs de production ; la dématérialisation et l'arme absolue de l'ecoefficience.

- Concernant la substituabilité des facteurs de production, que nous avons déjà évoquée dans la partie précédente, 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. Enfin, 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). Pire, la technologie, par l'obsolescence programmée des produits, deviendrait un puissant allié du consumérisme et un facteur d'aggravation de la pollution : « *C'est ainsi que des montagnes d'ordinateurs se retrouvent en compagnie de téléviseurs, de réfrigérateurs, de lave vaisselle, de lecteurs de DVD et de téléphones portables à encombrer poubelles et décharges avec des risques de pollution divers : 150 millions d'ordinateurs sont transportés chaque année dans des déchetteries du Tiers Monde (500 bateaux par mois vers le Nigéria !) alors qu'ils contiennent des métaux lourds et toxiques (mercure, nickel, cadmium, arsenic, plomb)* » (Latouche, 2007, p. 37).

[37] La société de croissance ne serait pas souhaitable pour trois raisons. Elle engendrerait une montée des inégalités et des injustices. Elle serait à l'origine d'un bien être largement illusoire. Elle ne susciterait pas pour les « nantis » eux-mêmes une société conviviale mais une « antisociété » malade de la richesse (Latouche, 2006).

- 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. Cet espoir semble aujourd'hui s'être quelque peu assombri. En effet, plusieurs critiques tendent à souligner les externalités négatives associées aux activités servicielles.

La première critique concerne tout d'abord la réalité de la dématérialisation. Comme le souligne Serge Latouche (2006), cette nouvelle économie remplace moins l'ancienne qu'elle ne la complète. Si l'activité industrielle a régressé en termes relatifs, elle continue à progresser en termes absolus : « *Dans les vingt dernières années, elle a crû encore de 17% en Europe et de 35% aux Etats-Unis* » (Latouche, 2006, p. 47). En fait, les pertes d'emplois industriels seraient dues en bonne partie aux stratégies d'externalisation des entreprises. En se recentrant sur le cœur de leur métier, ces dernières ont été amenées à externaliser des services (entretien, maintenance, sécurité, restauration, informatique…) qui étaient autrefois intégrées et comptabilisées en emplois.

La deuxième critique renvoie au mode de développement du capitalisme dématérialisé. Il semblerait que l'économie des services ait adopté les mêmes logiques productivistes (taylorisme sur les plateformes téléphoniques), les mêmes objectifs de performance et les mêmes priorités de rentabilité des capitaux que l'économie industrielle. L'économie des services chercherait ainsi à couvrir certains besoins (solvables) sans toutefois répondre à toutes les attentes qui s'expriment dans la société (services à la personne). Ce qui fait dire à Josée Landrieu (2007, p. 9) que « *l'économie des services a plutôt tendance à ignorer les attentes humaines, à s'émanciper du soubassement sociétal…pour s'aligner sur les logiques de marchés et de l'économie mondialisée* ».

La troisième critique concerne les effets des technologies de l'information sur l'environnement. Contrairement à une idée répandue, 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 claire[38]. 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'énergie[39] génère également des problèmes de toxicité (plomb dans les tubes cathodiques des

[38] 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.

[39] 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, tangstène…).

écrans, cadmium pour les revêtements de protection, chrome hexavalent pour lutter contre la corrosion des composants, polybromodiphényles et polybromodiphényléters utilisés dans les circuits imprimés pour les rendre inimflammables, 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[40], 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 !).

La quatrième critique tend à souligner les méfaits de la nouvelle économie sur la situation environnementale des 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 européennes[41]. Il semblerait que la question environnementale ait un prix que seuls les pays du Nord peuvent payer.

La dernière critique nous invite à nous pencher sur le sens de la vie. Le bonheur, rappelle Robert Reich (ancien ministre du Travail du Président Bill Clinton et économiste à Harvard), n'est pas une fonction croissante du revenu monétaire et des biens relationnels. Le mythe de la nouvelle économie ne doit pas nous faire oublier que ce que nous gagnons, nous le gagnons au prix d'un immense sacrifice : celui des relations sociales. « *Nous tirons tous de grands avantages de la nouvelle économie… Nous jouissons des extraordinaires opportunités qu'elle nous offre en tant que consommateurs et, toujours plus, comme investisseurs/spéculateurs. Nous poussons la nouvelle économie en avant. Et pourtant, il y a un « mais ». Quelque merveille que soit la nouvelle économie, nous sacrifions sur son autel : des pans entiers de famille, de nos amitiés, de la vie collective, de nous-mêmes. Ces pertes vont de pair avec les bénéfices que nous en retirons. En un certain sens, ce sont le deux faces de la même médaille* » (Reich, 2000).

- La dernière voie, l'écoefficience, 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-*

[40] L'EPA, l'agence américaine de protection de l'environnement, estime qu'entre 1999 et 2007, un demi milliard d'ordinateurs obsolètes sont venus rejoindre les déchets américains (soit près d'un demi million de plomb). Dans leur rapport, Williams et Kuehr (2003) ont ainsi préconisé d'aller au-delà du simple recyclage et de s'intéresser au marché de l'occasion, à la réparation…

[41] 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. Selon le principe du pollueur-payeur, chaque fabricant doit financer la récupération de ses propres déchets, soit à titre individuel, soit à titre collectif. La directive européenne (2005) dite RoHS (pour *Restriction of Hazardous Substances*) limite quant à elle l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

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'écoefficience 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

La place des services, ou plus précisément la question de la tertiairisation de l'économie, est un débat récurrent dans les ouvrages d'économie industrielle. En 1985, Jacques De Bandt évoquait déjà l'importance des activités de services tout en regrettant qu'elles soient mal connues et guère intégrées dans les théories existantes. Il semblerait que cette « *history of neglect* » (Shelp, 1981) ne soit plus qu'un mauvais souvenir. Les services connaissent actuellement une cure de jouvence qu'il est possible d'associer aux concepts de dématérialisation du capitalisme et de développement durable. Selon Lester Brown (1992, p.XIX), il faut entendre par là un développement « *qui reposerait sur une utilisation modérée des ressources non renouvelables, un usage des ressources renouvelables respectant leur capacité de reproduction et une stricte limitation des rejets et déchets à ce qui peut être recyclé par les processus naturels* ». Deux courants de pensée ont apporté leurs lumières sur la problématique du développement durable (Dannequin, Diemer, Petit, Vivien, 2000). Les uns (Frosch, Gallopoulos, Erkman…) se rangent sous la bannière de l'écologie industrielle, les autres (Ivan Illich, André Gorz, Nicholas Georgescu-Roegen ou Serge Latouche…) peuvent être associés au courant de l'écologie politique. C'est dans ce cadre théorique que nous avons décidé d'appréhender l'articulation entre développement durable et services. Le développement durable appelle de profonds changements dans nos sociétés, en particulier en ce qui concerne leurs modes de production et de consommation. La tertiarisation de l'économie (tout du moins le passage d'une société industrielle à une société de services) peut être ainsi présentée comme une alternative 'viable' au problème énergétique mondial, on parlera ainsi de capitalisme immatériel Toutefois, elle ne renvoie au même substrat dans les deux courants de pensée évoqués ci-dessus. Dans le cas de l'écologie industrielle, la notion de métabolisme industriel se propose de comptabiliser les services (principalement les services de transport, la logistique) en termes de flux d'énergie et de matière (matrice input-output). Le concept d'éco-technologie insiste de son côté sur le rôle important des innovations, les services sont ainsi reliés aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (une nouvelle substitution entre facteurs de production permettrait ainsi une croissance illimitée), moins énergivores que les technologies industrielles. Dans le cas de l'écologie politique, le passage de l'industrialisation à la tertiarisation de l'économie est un fait, mais il ne peut constituer une véritable alternative pour nos sociétés. Les services ne pourront jamais se substituer entièrement aux marchandises et l'idée d'un capitalisme immatériel est présenté comme une utopie, voire une manière de se voiler la face et de rester dans l'inactivité. Seul un changement radical de notre modèle de production et de consommation de masse serait susceptible d'apporter une réponse au défi posé par le développement durable. Ce sursaut économique passe irrémédiablement par un programme de décroissance (Latouche, 2007).

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud E., Berger A., De Pertuis (2005), *Le développement Durable*, Nathan.
Attali J. (2007), « Premières propositions sur le pouvoir d'achat *», Commission pour la libération de la croissance française*, Rapport intermédiaire, octobre, 34 p.
Aubertin C., Vivien F-D (1998), *Les enjeux de la biodiversité*, Economica, Poche Environnement.
Ayres R.U, Ayres L.W (1996) «*Industrial Ecology : Towards Closing the Materials Cycle* » Edward Elgar.
Ayres R.U, Simonis U.E (1995), *Industrial Metabolism : Restructuring for Sustainable Development*, United Nations Publication, New York.
Bandt Jacques de (1985), Les services dans les sociétés postindustrielles, Economica.
Barcet André, Bonamy Joël, Les activités de services et la tertiarisation de l'économie, in R. Arena, L. Benzoni, J. de Bandt, P-M. Romani (sous la direction de) *Traité d'économie industrielle*, Economica, 1988, p 291-307
Basel Action Network (2007), *Mobile Toxic Waste*, BAN.
Beaud Michel (1981), *Histoire du capitalisme de 1500 à 2000*, Seuil, 2000.
Biofrac (2006), "*Biofuels in the European Union. A Vision for 2030 and Beyond*", Report.
Bonenfant R., Kueny L. (2007), « Pétrole : du marché au marchandage », *Problèmes économiques*, n° 2932, 10 octobre, p. 45 – 48.
Bourg D. (2002), *Le développement durable a-t-il un avenir ?,* Le Pommier.
Bourg D. (2003), *Le nouvel âge de l'écologie*, Descartes et Cie.
Bourg D., Erkman S. (2003), *Perspectives on industrial Ecology*, Sheffield, Greenleaf Publishing.
Bourg D., Rayssac G.L (2006), *Le développement durable*, Gallimard.
Brown L. (1991) «*Le défi planétaire* » Sang de la Terre.
Brunel S. (2004), *Le développement durable*, PUF.
Chalmin P. (2007), *Le poivre et l'or noir*, Editions
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.
Cochet Y. (2005), *Pétrole Apocalypse*, Fayard, Paris.
Commission des communautés européennes (2002), *L'éco-technologie au service du développement durable*, COM 2002 – 122 final, 26 p.
Cohen Elie (2008) Chat avec, www.lemonde.fr/archives/article/2008/02/21/elie-cohen-economiste-apres-la-periode-1978-1985-nous-assistons-a-une-deuxieme-vague-de-desindustrialisation-en-france-depuis-2002_1014288_0.html
Dannequin F. (2007), « Le capitalisme schumpétérien », *IDEES*, n°149, septembre, p. 38-45.
Dannequin F., Diemer A. (2008), « Le capitalisme dématérialisé comme développement durable ? », Colloque international « *Services, innovation et développement durable* », 26-28 mars, Poitiers, 15 p.
Dannequin F., Diemer A. (2004), *« Nicholas Georgescù-Roegen : vers la décroissance ?* » texte disponible sur le site http://www.oeconomia.net, rubrique *Histoire de la pensée économique*, 4p.
Dannequin F., Diemer A., Petit R., Vivien F-D (2000), « la nature comme modèle ? Ecologie industrielle et développement durable *», Cahiers du CERAS*, n° 38, mai, p. 62-75.
Dannequin F., Diemer A. (1999a), « La place de la biologie et de la thermodynamique dans la théorie contemporaine : l'oeuvre scientifique de Nicholas Georgescù-Roegen », Colloque de l'ACGEPE, 26—27 septembre, Paris, 8 p.
Dannequin .F, Diemer .A (1999b), « De l'entropie à la constitution d'un programme bioéconomique : Le grand projet de Nicholas Georgescù-Roegen *», Cahiers du CERAS*, Décembre, n° 42, pp. 1- 9.
Dannequin .F, Diemer .A, Vivien F.D (1999a) « *Ecologie industrielle et développement durable* » Colloque de Reims, Hermès, 8 p.
Dannequin .F, Diemer .A, Vivien F.D (1999b) «*Industrielle ou politique ? Quelle écologie pour le développement durable ?*» International Conference on Industrial Ecology and Sustainability, Université technologique de Troyes les 22-25 septembre, 8 p.
Dannequin F., Diemer A., Vivien F.D (1998) «*Thermodynamique, biologie et économie chez Georgescù-Roegen* » Colloque de Reims, journées Hermès, 7 décembre, 8 p.
De Jaucourt, Industrie, in *Encyclopédie ou Dictionnaire des sciences, des arts et des métiers (articles choisis)*, Tome 2, GF Flammarion, 1986, pp 178-181.
Diemer A. (2008), La question énergétique au cœur du développement durable ? *Cahier du CERAS*, Université de Reims, Janvier, p. 1-33.
Diemer A. (2007), « *Energie et développement durable, quelques pistes de réflexion »*, Journées Energie et développement durable, 13 et 14 novembre, IUFM Auvergne, 21 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.
Diemer A. (2005), « Le Développement Durable vu par les économistes », Journées « *Culture, Economie et Développement durable* », IUFM Auvergne, 13 p.
Diemer A. (1999), « Rigidité des prix et politique de stockage », *document de travail n°05-1999*, Lame, Université de Reims Champagne Ardenne, 33 p.
Erkman S. (1994) «*Ecologie industrielle, métabolisme industriel et société d"utilisation* » Genève, ICAST.
Erkman S. (1997) «Industrial Ecology : An Historical View » *Journal of Cleaner Production*, vol 5, n°1-2, p. 1 – 10.
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.
Erkman S. (2001) « L'écologie industrielle, une stratégie de développement » *Le débat*, n°113, p.106-121.
Erkman S. (2004), « *L'écologie industrielle, une stratégie de développement* », Exposé, Bruxelles, 9 p.
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.
Flacher D., Pelletan J., Mesure et périmètre de l'industrie : impacts des conventions retenues sur l'appréhension du phénomène de désindustrialisation, in Fontagné L., Lorenzi J-H., *Désindustrialisation, délocalisations*, rapport du CAE, La Documentation Française, Paris 2005, Complément F, pp 285-308.
Foray Dominique (2000), *L'économie de la connaissance*, repères, La Découverte, Paris.
Fourastié Jean (1949), *Le grand espoir du XXè siècle*, Idées, Gallimard, 1963.
France Culture (9 février 2008), *Terre à terre*, Le choix du feu, avec Alain Gras, émission de Ruth Stégassy, www.radiofrance.fr/chaines/franceculture2/emissions/terre_a_terre/fiche.php?diffusion_id=59657
Frosch R. (1995) « L'écologie industrielle du XXe siècle », *Pour la science*, 217, p. 148-151.
Frosh R.A (1992) «*Industrial Ecology : A philosophical Introduction* » Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, vol 89, p. 800 – 803.
Frosch R.A, Gallopoulos N.E (1992) « *Towards an Industrial Ecology* », p. 269 – 292, in Bradshow A.D, «The Treatment and Handling of Wastes » Chapman and Hall, London.
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.
Gadrey Jean (2003), *Socio-économie des services*, repères, La Découverte, Paris.
Gadrey Jean, Florence Jany-Catrice (2005), Les nouveaux indicateurs de richesse, repères, n°404, La Découverte.
Gadrey Jean (2007) Les objectifs « insoutenables » de la commission Attali, *Le Monde*, 18 septembre, p VI.
Georgescu-Roegen N. (1995*) «Demain, la décroissance: entropologie-écologie-économie*», Sang de la Terre.
Georgescù-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. (1986) "Man and production", in Baranzani M. et Scazzieri R. (eds) "*Foundations of economics*", Basil Blackwell.
Georgescu-Roegen N. (1979) "Methods in economic science", *Journal of economic issues*, vol XIII, n°2.
Georgescù-Roegen Nicholas (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.
Georgescù-Roegen N. (1977) *«* What thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Atlantic Journal Economic*, vol 5, p. 13 – 21.
Georgescù-Roegen (1977 a) «What Thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Bio-Science* vol XXVII, avril, p. 266 - 270.
Georgescu-Roegen .N (1977 b*) «*Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomics Viewpoint » *Review of Social Economy*, vol XXXV, p. 361 - 375.
Georgescù-Roegen N. (1976), *Energy and Economic Myths,* New York, Pergamon Press.
Georgescù-Roegen N. (1975) « *Bio-Economic Aspects of Entropy* » dans «Entropy and Information in Science and Philosophy » J. Zeman, Amsterdam Elsevier.
Georgescu-Roegen N. (1971) «*The Entropy Law and the Economic Process* » Cambridge , Harvard University Press.(4ème édition 1981).
Giraud P.N (1996), *L'inégalité du monde. Economie du monde contemporain*, Folio, Gallimard.
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.
Grégoriades C. (2007), "Ordinateurs, pollueurs", *Le monde*, 14 juin.

Hotelling H. (1931) «The Economics of Exhaustible Resources », The *Journal of Political Economy*, Vol 30, n°2, April, p. 137-138.
Heurgon E., Landrieu J ; (2007), *L'économie des services pour un développement durable*, L'harmattan.
Illich I. (1975), *Energie et Equité*, Seuil.
Illich I. (1973), *La convivialité*, Seuil.
Jorda H. (2007) Du paternalisme au managerialisme : les entreprises en quête de responsabilité sociale, *Cahiers du Lab.RII*, n°143, février, 2007. http://riifr.univ-littoral.fr/wp-content/uploads/2007/02/doc143.pdf.
Jorda H., Vivien F.D (2005), L'écologie industrielle : une stratégie pour le développement durable ? in Maréchal J-P., Quenault B. (direction) *Le développement durable. Une perspective pour le XXIè siècle*, PUR, p. 287-302.
Latouche S. (2007), *Petit Traité de la décroissance sereine*, Mille et une nuits.
Latouche S. (2006), *Le pari de la décroissance*, Fayard.
Latouche S. (2003) Pour une société de décroissance, *Le Monde diplomatique*, novembre, 2003, pp 18-19.
Les Echos (2007), "*Energies renouvelables*", Mercredi 24 octobre, p. 31-33.
Lotka A. (1956), *Elements of Mathematical Biology,* New York Dover.
Lotka A. (1945), «The Law of Evolution as a Maximal Principle » *Human Biology,* vol 17, p. 67 - 194.
Lauriol J. (2007), « Stratégies d'entreprises, développement durable et économie de la fonctionnalité : vers des ecosystems serviciels », in Heurgon E., Landrieu J (eds), *L'économie des services pour un développement durable*, L'harmattan.
Kuehr R., Williams E. (2003), *Computers and the Environnement*, Kluwer Academic Publishers, United Nations University.
Meadows D.H, Meadows D., Randers J., Behrens W.W (1972), *Halte à la croissance*, Fayard.
Odum E.P. (1971) *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia, W.B. Saunders Company, 3rd ed.
Odum E.P (1983), *Basic Ecology*, Saunders College Publishing, Philadelphia.
Passet R. (1979), *L'économique et le vivant*, Payot.
Reich R. (2000), *The Future of Success*, Alfred A Knopf, New York.
Rees W., Wackernagel M. (2005), *Notre empreinte écologique*, Ecosociété.
Rifkin J. (2005), *L'âge de l'accès : la nouvelle culture du capitalisme,* Poche.
Rignols E. (2002), « La consommation des ménages depuis 40 ans », *INSEE Première*, n°832, février.
Sloterdjik P. (2000), *La domestication de l'être*, Mille et une nuits.
Solow R. (1974), « The economics of resources or the resources of economics », *American Economic Review,* May, vol 64, n° 2, p. 1 – 14.
Solow R. (1973), « Is the end of the world at hand ? », *Challenge*, March-April, vol 16, n°1, p. 39-50.
Stauder F. (2006), « Les biocarburants de 2nd génération », CRCI/ARIST Champagne Ardenne, 2p.
Tertre du C. (2007), « Economie de la fonctionnalité, développement durable et innovations institutionnelles », in Heurgon E., Landrieu J (eds), *L'économie des services pour un développement durable*, L'harmattan.
Vercellone Carlo (2004), Le sens et les enjeux de la transition vers le capitalisme cognitif : une mise en perspective historique, *Communication aux 3ème journée du LAME*, *Les transformations du capitalisme contemporain : faits et théories, état des lieux et perspectives,* Université de Reims Champagne Ardennes.
Vittori J.M (2007), « Pourquoi il faut réinventer la croissance ? », *Les échos*, 28 mars 2007, p. 2.
Vivien F. D. (1994) "*Economie et écologie"*, La découverte
Vivien F-D (2000) « Industrielle ou politique ? Quelle écologie pour le développement durable ? » in Bourg D., Erkman S. (eds) *Industrial Ecology and Sustainability : Proceedings*, Troyes/ICAST.
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.
Vivien F.D (2006), "L'écologie industrielle : une critique du point de vue de l'économie politique", *Scientific Workshop 'Frontiers of Research in Industrial Ecology'*, University of Lausanne, November 27 – December 1th, 22 p.