

LA QUESTION ENERGETIQUE AU CŒUR DU DEVELOPPEMENT DURABLE¹ ?

Arnaud Diemer

Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II

GRESE Paris I, OMI Reims

A la suite des deux chocs pétroliers (1973, 1979), la question énergétique s'est immiscée dans tous les débats économiques et politiques. Après des années de croissance ininterrompue - « *les fameuses trente glorieuses* » -, les économies occidentales faisaient face au renchérissement du pétrole, principale source d'énergie fossile. La croissance économique venait ainsi buter sur la pénurie de matières premières, évoquée par le Rapport Meadows dès 1972. Bon nombre d'économistes s'insurgeront contre cette vision fataliste. Face au spectre de la croissance limitée, Robert Solow (1973, 1974) brandira l'arme absolue du progrès technique et de la substitution des facteurs de production. Si le pétrole est cher, l'industriel sera amené à lui substituer un facteur de production moins coûteux. Et grâce à l'innovation, la combinaison technique des facteurs de production n'aura pas à souffrir de la rareté des matières premières.

Malgré quelques voix dissidentes (Georgescu-Roegen, 1971, 1976 ; René Passet, 1979), cette foi dans l'émancipation de l'homme face aux forces et aux contraintes de la nature a perduré pendant de nombreuses années². L'économie des ressources naturelles et l'économie de l'environnement constituent encore aujourd'hui les deux symboles de cette dictature de l'économie. L'économie des ressources naturelles traite de la question des énergies fossiles. A la suite des travaux d'Hotelling (1931), le débat s'est focalisé sur la relation entre le coût d'extraction et l'épuisement du gisement. La structure de marché (concurrence, monopole, oligopole) a ainsi des conséquences sur les prix des ressources naturelles et la durée de vie du gisement (Diemer, 1999). L'économie de l'environnement cherche quant à elle à internaliser les effets externes (pollution, déchets...) de l'activité industrielle des firmes via une taxe pigouvienne ou des marchés de droits à polluer.

¹ Ce texte est une version modifiée d'un document présenté au colloque « *Energie et développement durable* », qui s'est tenu les 13 et 14 novembre 2007 à Clermont-Ferrand. Je tiens à remercier Didier Mulnet pour ses remarques fort judicieuses.

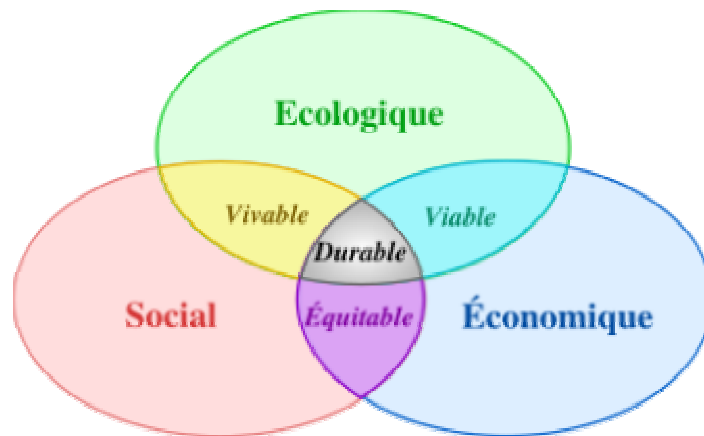
² Sloterdijk (2000) précise que le rapport de l'homme au monde a été dominé depuis le néolithique par les « allotechniques », c'est-à-dire par le viol de la nature des choses considérées comme des matériaux, des matières premières à dominer, à réduire en esclavage, à utiliser à des fins qui sont fondamentalement étrangères aux dites choses.

Il faudra attendre la fin des années 80 et le début des années 90 pour qu'un vaste programme d'encastrement de l'économie dans l'écologie soit esquissé (Vivien, 1994). Le concept de développement durable est ainsi entré dans notre vocabulaire (Bourg, 2004 ; Brunel, 2004 ; Vivien, 2005). Défini par le rapport Brundtland (1987) comme la « *capacité à répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre celle des générations futures à satisfaire les leurs* », le développement durable comporte deux ingrédients importants (Arnaud, Berger, De Perthuis, 2005), une vision intergénérationnelle du développement et un élargissement de la notion de capital (économique, écologique, social). Le concept d'empreinte écologique, popularisé par William Rees et Matthis Wackernagel dans les années 80, a également vu le jour. L'empreinte écologique mesure « *la quantité de ressources renouvelables prélevées sur l'écosystème par un groupe d'humain pour sa consommation directe ou le recyclage de ses déchets et nuisances* » (Rees, Wackernagel, 2005). Cette prise de conscience de la pression exercée par l'homme sur l'écosystème (Aubertin, Vivien, 1998) a suscité de nombreuses initiatives sur la scène internationale (Protocole de Kyoto, entré en vigueur en 2005), européenne (directive cadre présentée en 2007) et nationale (« *Grenelle de l'environnement* » lancé en France au dernier trimestre 2007). Toutefois, les récents soubresauts du marché de l'or noir (baril de pétrole avoisinant les 100\$ sur le marché américain en décembre 2007) sont venus nous rappeler que la question énergétique - pierre angulaire du capitalisme thermo-industriel - restait toujours une préoccupation de tous les instants (Chalmin, 2007), à même de reléguer au second plan tout le corpus du développement durable. Afin d'étayer cette thèse, nous procéderons en trois temps. Dans un premier temps, nous montrerons que la question énergétique a modifié le triptyque du développement durable. Les trois dimensions (économique, écologique, sociale) du rapport Brundtland sont aujourd'hui supplantées par les trois champs suivants (économie, sécurité énergétique, environnement). Dans un second temps, nous aborderons la question énergétique sous les angles économique et environnemental tout en établissant un état des lieux des différents outils mobilisés par les économistes. Enfin, dans un troisième temps, nous évoquerons quelques pistes de réflexion susceptibles de répondre au défi énergétique.

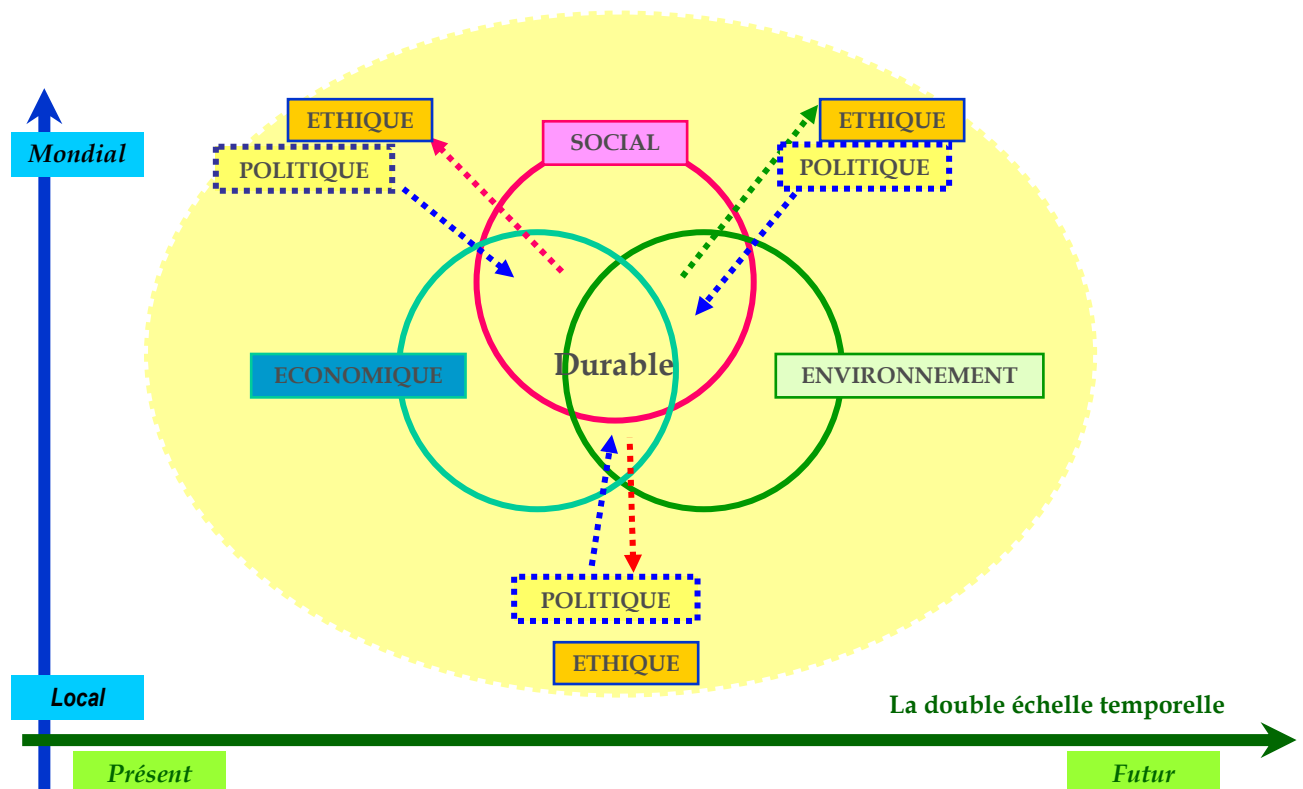
I. ENERGIE ET DEVELOPPEMENT DURABLE : QUELLE REPRESENTATION ?

Dans les années 80, les questions d'économie et d'environnement ont été inextricablement liées dans la définition et la mise en œuvre de ce que l'on désigne aujourd'hui sous le terme *développement durable*. La Commission mondiale sur l'environnement et le développement, constituée en 1983 au sein des Nations Unies, devait s'interroger sur la possibilité de trouver des voies de développement assurant à la fois le rattrapage des pays du Sud et la protection de l'environnement. Le rapport « *Notre futur commun* », plus communément dénommé rapport Brundtland (1987),

associait ainsi deux concepts à la notion de développement durable : *le concept de besoins* (et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité) *et le concept de limitations* (l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose certaines limites sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir). Si le rapport Brundtland n'a pas eu de grand impact médiatique au moment de sa parution, il permit de labelliser le concept de développement durable et de fournir une méthode d'approche intégrant les dimensions économique, écologique et sociale (Bourg, Rayssac, 2006). Un nouveau modèle de gouvernance environnementale venait ainsi de voir le jour.



Par la suite, ce triptyque s'est quelque peu modifié afin de tenir compte de la dimension spatiale (échelon local ou mondial), temporelle (approche intergénérationnelle, passage du présent au futur) et de la sphère de l'action (domaine de l'éthique et du politique).



Dans les années 90, faisant écho aux principes opérationnels proposés par Herman Daly (1990), Lester Brown (1992, p. XIX) précisera que le développement durable est 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* ». Compte tenu de ces contraintes, le développement durable appelait de profonds changements dans nos sociétés, en particulier en ce qui concerne leurs modes de production et de consommation. Deux courants se sont alors emparés du concept du développement durable. Le premier courant s'est rangé sous la bannière de l'écologie industrielle (Frosch, Gallopoulos 1989 ; Erkman 1998). Le second courant de pensée, s'est regroupé autour d'un certain nombre d'auteurs - tels que Ivan Illich (1973, 1975), André Gorz (1975, 1977, 1991) ou Nicholas Georgescu-Roegen (1978, 1993) - que l'on range dans les rangs de l'écologie politique (Dannequin, Diemer, Petit, Vivien, 1999, 2000) ou dans ceux la bioéconomie (Dannequin, Diemer, 1999b).

Durant les années 2000, le cadre de référence d'une part, la problématique d'autre part, vont cependant modifier les perspectives du développement durable. Ce sont tout d'abord les conclusions du 4^{ème} rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) qui lèvent les derniers doutes sur les causes et les perspectives du changement climatique, en dépit de grosses incertitudes quantitatives. L'augmentation de la teneur en CO² dans l'atmosphère et le réchauffement du système climatique, variable selon les zones géographiques, sont désormais sans équivoque³. Le réchauffement climatique aurait de multiples conséquences physiques et biologiques (fonte des glaciers, dénaturation des zones côtières et immersion des basses plaines, migration des oiseaux, phénomènes parasitaires...) lesquelles font déjà craindre des prolongements de nature sociale (santé publique, famines, migrations, creusement des déséquilibres Nord - Sud). C'est ensuite l'AIE (Agence internationale de l'énergie), qui estime que la stabilisation des émissions peut être atteinte en 2050 en utilisant toutes les possibilités des technologies. Dans son dernier rapport intitulé « *World Energy Outlook* » (2007), l'AIE a présenté deux scénarii à l'horizon 2030 : un scénario de référence (tendanciel) et un scénario alternatif (mise en œuvre de politiques d'utilisation rationnelle de l'énergie dont la rentabilité économique est assurée par l'évolution des prix des énergie). L'objectif serait donc de disposer, à terme, d'un portefeuille de technologies variées (charbon, pétrole, gaz, éolien, solaire photovoltaïque, solaire thermique, nucléaire, biomasse, géothermie, hydrogène...)

³ Divers scénarii ont été présentés pour des évolutions tendanciennes non interventionnistes, conduisant à des taux d'émission de gaz carbonique allant de 550 à 1000 parties par millions (ppm), contre 380 ppm aujourd'hui. Les projections d'évolution de température à la surface du globe se situeraient entre + 0.6°C et + 4 °C d'ici la fin du XXI siècle par rapport à la fin du siècle dernier ; celles d'élévation du niveau de la mer entre 20 et 60 cm sur la période de référence.

permettant de traiter au mieux les problèmes spécifiques des différents secteurs économiques. Si ces rapports insistent sur les conséquences alarmistes du réchauffement climatique, les différents pays peinent encore à constituer un cadre de cohérence pour la politique de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial. S'agissant du protocole de Kyoto, l'Union européenne, rejointe par la Russie, a dû accepter, pour obtenir un accord, que ne soit demandé aucun engagement de réduction des émissions de gaz à effet de serre aux pays émergents (Chine, Inde). Si cet accord, non signé par les Etats-Unis et l'Australie, a pu être ratifié, l'après Kyoto (2012) laisse planer un climat d'incertitude qui rend impossible d'anticiper les décisions d'investissement nécessaires. L'Union européenne a cherché à sortir de cette impasse en présentant le 10 janvier 2007 son « *paquet énergie* ». Lors du Conseil européen de mars 2007, les chefs d'Etat ont réaffirmé cet engagement en précisant qu'ils souhaitaient transformer l'Europe en une économie à haut rendement énergétique et à faible taux d'émission de CO². Quatre thèmes (émissions de gaz à effet de serre ; énergies renouvelables ; économies d'énergies ; transports) ont été retenus et se sont vus associer à des objectifs quantitatifs. Dans le cas des énergies renouvelables, un objectif global de porter à 20% la part des sources d'énergie renouvelables dans la consommation intérieure brute d'ici 2020 a été décidé. La directive 2001/77/CE avait déjà préconisé de faire passer la part de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables à 21% en 2010. Dans le cas des transports, un objectif minimal d'incorporation des biocarburants à hauteur de 10% de la consommation totale d'essence et de gazole a été programmé pour 2020. La directive 2003/30/CE avait déjà formulé des objectifs indicatifs : 2% en 2005 et 5.75% en 2010. Enfin, le 24 janvier 2008, la Commission a présenté un vaste train de mesures sur l'énergie et le climat. Cinq textes, déjà contestés, visent à la fois le système d'échanges des quotas d'émission⁴ ; la répartition des efforts pour les autres secteurs comme les transports, les bâtiments et les services ; les énergies renouvelables ; le captage et le stockage du carbone⁵ ; les aides d'Etat sur l'environnement⁶.

Au delà des constats alarmistes des différents rapports, il convient de souligner que la question énergétique a profondément modifié *le cadre conceptuel du développement durable*. En effet, la politique énergétique s'est trouvée au cœur des trois

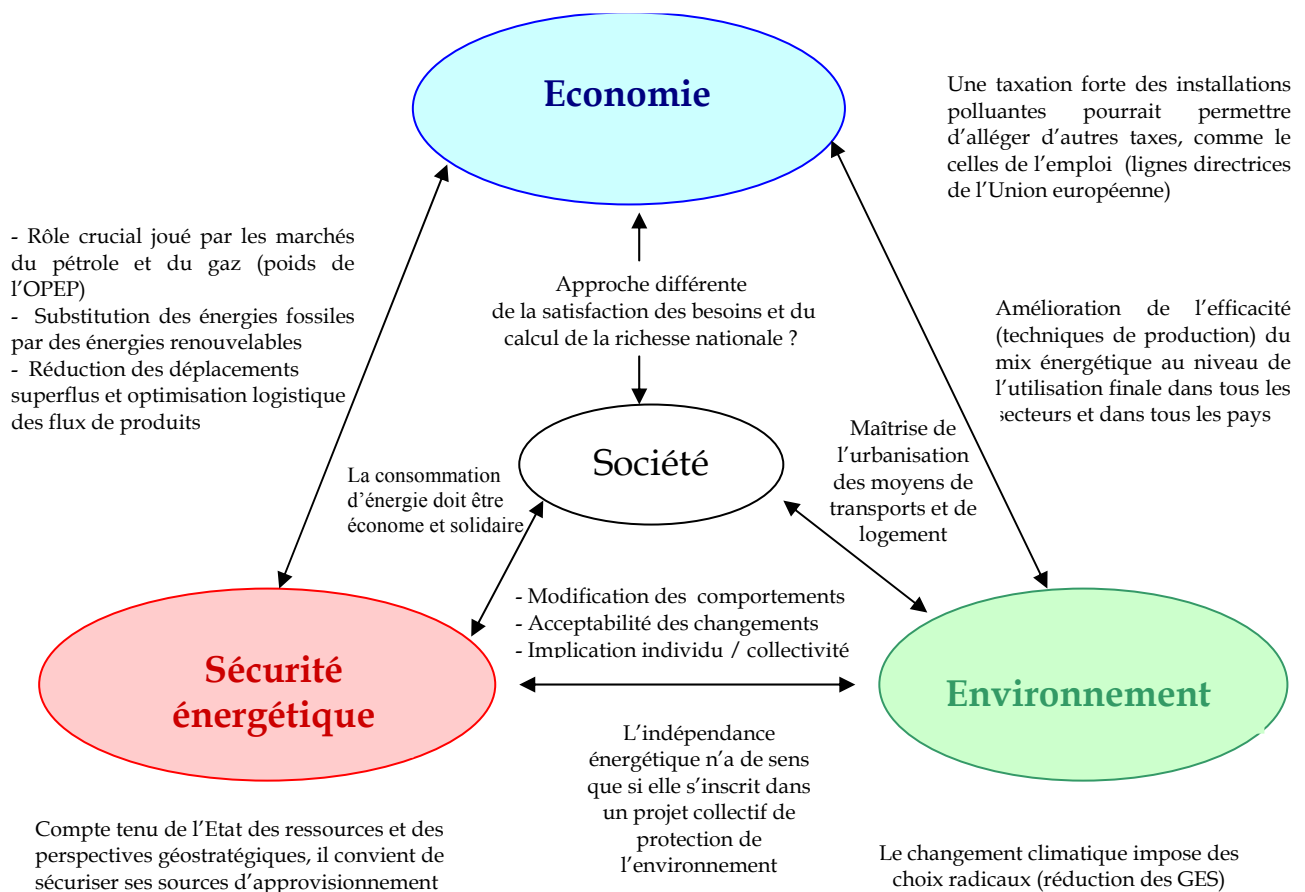
⁴ La Commission européenne a décidé de baisser les quantités de CO² que les entreprises pourront émettre à l'avenir et d'élargir les obligations à de nouveaux secteurs, comme l'aluminium et à de nouveaux gaz à effets de serre (monoxydes et dioxydes d'azote). En outre, les quotas ne seront plus attribués par les Etats mais par Bruxelles, chaque année, dès 2013. Au-delà des quotas, il faut surtout souligner que les industriels seront désormais contraints d'acheter aux enchères des allocations qu'ils recevaient jusqu'à présent gratuitement.

⁵ La Commission européenne mise sur le charbon pour sauver le climat.

⁶ L'intensité des aides gouvernementales devrait passer de 30 - 40% à 50-60% pour les grandes entreprises et de 50-60% à 70-80% pour les petites entreprises.

problématiques suivantes : (i) assurer la sécurité énergétique en tenant compte de l'état des ressources et des perspectives géostratégiques de dépendance⁷ ; (ii) maintenir une compétitivité économique induisant une croissance et de l'emploi malgré une énergie plus rare, donc plus chère ; (iii) tenir compte de la contrainte environnementale (menace du changement climatique) qui impose des choix drastiques immédiats pour réduire les risques encourus. Le développement durable repose ainsi sur un nouveau triptyque, dont le cœur est constitué par la société civile. L'homme et la société sont en effet au centre de cette problématique de développement durable car « ils sont à la fois les acteurs et la finalité » (Syrota, 2007, p. 17). La satisfaction des besoins implique une consommation d'énergie, économe et solidaire. L'acceptabilité des solutions préconisées est primordiale pour répondre, dans la durée, aux nouveaux défis énergétiques et environnementaux. La recherche de l'implication de tous dans la mise en œuvre des politiques énergétiques est un facteur clé de réussite. Les nouveaux piliers du développement durable prendraient désormais la forme suivante.

La compétitivité économique doit être assurée durablement malgré une énergie plus rare et plus chère



⁷ Visant à réduire la dépendance de l'Europe à l'égard du gaz russe, le projet Nabucco doit relier à l'horizon 2012 la mer Caspienne à l'Union européenne en passant par la Turquie, la Bulgarie, la Roumanie, la Hongrie et l'Autriche. De son côté, la Russie a lancé ses deux projets Nord Stream (Mer baltique) et South Stream (Mer Noire) afin de diversifier et de sécuriser ses débouchés

Ce nouveau cadre de référence nous permet de mieux appréhender la politique énergétique française. A la suite des deux chocs pétroliers (1973, 1979), cette dernière s'est focalisée sur les deux préoccupations suivantes : réduire sa dépendance énergétique afin de lui permettre de mieux résister à des événements géopolitiques de nature imprévisible ; réadapter le système énergétique français à un contexte mondial où la ressource pétrolière tend à devenir rare et chère. La réponse apportée a été fondée sur trois piliers : économiser l'énergie ; développer la production d'énergies nationales et diversifier les approvisionnements extérieurs. La part du pétrole dans la consommation d'énergie primaire est ainsi passée de 68% en 1973 à près de 30% aujourd'hui. L'indépendance énergétique était en 2005 de 50% contre 22.5% en 1973. La restructuration du bilan énergétique français, réalisée grâce à la mise en place de technologies bien maîtrisées et continûment perfectionnées (programme électronucléaire), a ainsi permis un allègement substantiel de la facture énergétique extérieure et du poids de l'énergie dans le budget des ménages, réduisant de ce fait la vulnérabilité de l'économie française aux aléas du contexte mondial. Si la France fait figure de bon élève dans la réduction des gaz à effet de serre⁸, son programme en matière d'énergies renouvelables laisse quelque peu à désirer. Les lourds investissements effectués dans la filière électronucléaire contrastent avec les développements timides du solaire, de la biomasse et de l'éolien. La France possède certains avantages comparatifs (superficie forestière, terres agricoles, ensoleillement au Sud, côtes ventées de l'atlantique et de la mer du Nord...) qu'il convient mettre en pratique. Par ailleurs, une approche sectorielle montre clairement que les problèmes majeurs se situent du côté des transports et de l'habitat (résidentiel). Selon les sources du CITEPA (2005), ces deux secteurs représenteraient près de 57% des émissions de CO². L'alternative des énergies renouvelables ne peut donc se passer d'une réflexion sur la consommation d'énergie (mode de locomotion, mode de construction...).

II. LA QUESTION ENERGETIQUE : ETATS DES LIEUX

Toutes les enquêtes d'opinion (SOFRES, Unilog Management...) tendent aujourd'hui à le montrer. Au même titre que les prix, la problématique environnementale occupe une place importante dans les critères de choix des consommateurs. En France, un sondage réalisé en mai 2007 par Unilog Management et l'institut TNS la SOFRES soulignait que pour 45% des personnes interrogées, l'engagement d'un fournisseur d'énergie pour la protection de l'environnement était une condition essentielle.

⁸ Selon les sources statistiques de l'Union Européenne (2007), la part de la France dans les émissions de CO² de l'Union européenne (UE des 15) en provenance de la production d'électricité et de chaleur serait de 4.6% contre 32.4% pour l'Allemagne ; 17.2% pour le Royaume Uni ; mais 0.8% pour la Suède. En 2005, les émissions de CO² rapportées au PNB (Produit National Brut) français était de 0.15 tonne pour 1000\$ (à comparer avec l'Allemagne : 0.23)

Dans les faits, la question énergétique s'est traduite par deux types de débats, l'un, plus environnemental, tente d'établir des plans de vie en société à plus ou moins long terme, l'autre plus économique, renvoie au fonctionnement du marché du pétrole et aux conséquences d'une hausse des prix pour la croissance mondiale. Les économistes, plus attachés à cette seconde grille de lecture, disposent d'une boîte à outils relativement sophistiquée. Cependant, de nombreuses clés du problème leur échappent encore.

A. Deux manières d'aborder la question énergétique

Du point de vue environnemental (et politique), il s'agit de penser aux alternatives au pétrole (bio carburants, énergie solaire, énergie éolienne, énergie hydraulique...) mais également de poser les bases de ce que l'on appelle aujourd'hui le « *développement durable* ». Dans son pré-rapport (octobre 2007), la *Commission pour la Libération de la croissance économique*, présidée par Jacques Attali, suggérait la création avant 2012 de dix *Ecopolis*, villes d'au moins 50 000 habitants intégrant haute qualité environnementale et nouvelles technologies de communication. Aux dires de ce rapport, l'aspect environnemental⁹ de ce vaste chantier serait fondamental : « *Ces espaces urbains durables devront intégrer emploi, logement, cadre de vie et mixité sociale et mettre en œuvre des ressources énergétiques renouvelables... Ils joueront aussi le rôle de laboratoire de la réduction de la consommation d'eau, du tri des déchets, du développement de la biodiversité, de la réduction de la consommation d'air conditionné, de l'aménagement de plans d'eau...* » (2007, p. 24). De nombreux pays en ont déjà fait l'expérience : *Mountain View* en Californie, *Hammerdy Sjöstat* en Suède, *New Songdo City* en Corée. En Angleterre, le chancelier Gordon Brown a lancé son projet de construction de 10 *Ecotowns* (villes de 10 000 à 20 000 habitants).

D'un point de vue économique et financier, l'énergie (et son prix) dépend du prix du pétrole brut. Le pétrole étant la source d'énergie dominante et son prix reflétant l'équilibre entre l'offre et la demande au niveau mondial, il s'agit de suivre l'évolution des marchés de matières premières. Il convient ici de repérer les grandes tendances du marché du pétrole et d'apporter une explication aux mouvements erratiques du prix de pétrole. En d'autres termes, pourquoi le prix du pétrole est à 93\$ ou 98\$? Et quelles seront les conséquences d'une telle hausse en matière de croissance économique ? Dans ces conditions, l'économiste se « contentera » :

(1) de constater l'inadéquation entre l'offre et la demande. A la question, « *Pourquoi le prix du baril de pétrole a plus que doublé depuis 2004 ?* », l'économiste François Lescaroux de l'IFP (Institut Français du Pétrole) répondait en octobre 2007, « *La hausse du prix du*

⁹ Les habitations contribuent par leur construction puis par leur utilisation à plus de 20% de la production de gaz à effet de serre. Le bâtiment constitué de logements, des immeubles de bureaux, des commerces et équipements publics ou privés absorbent environ 46% de la consommation d'énergie totale de la France avant le transport (30%) et l'industrie (25%).

brut résulte simplement de la confrontation entre offre et demande. Alors que les besoins en pétrole continuent à s'accroître à un rythme élevé à travers le monde (tirés par la forte croissance économique des pays émergents, Chine et Inde en premier lieu), l'approvisionnement a du mal à tenir la cadence. Par conséquent, l'équilibre entre consommation et production s'opère par un renchérissement des produits pétroliers » (Les Echos du 14/09/07).

(2) de regretter que les pays de l'OPEP n'aient pas augmenté leurs quotas de production de manière significative (depuis le 1^{er} novembre 2007, les pays de l'OPEP ont augmenté leur production de 500 000 barils par jour¹⁰) et d'observer les conséquences de la parité \$/€ sur le prix du baril de pétrole (en effet, tout dérapage du billet vert, incitera les pays producteurs de pétrole à relever leurs prix en réduisant les volumes de production)¹¹.

Cours du pétrole (WTI Spot intraday Indication) en \$



Source : *Marchés financiers, XTWI, 12 novembre 2007*

¹⁰ Pour l'Agence internationale de l'énergie, cette décision n'aurait qu'une portée symbolique. Pour répondre à la demande mondiale, il faudrait que les pays de l'OPEP fassent passer le niveau de leur production de 30.4 millions de barils par jour à près de 32.4 millions.

¹¹ Depuis 2005, la corrélation entre le cours du dollar et le baril de WTI n'a cessé d'évoluer pour passer de 26% à 60% pour finalement atteindre 78% en 2007. Ceci est dû principalement aux politiques des banques centrales des principaux pays exportateurs de pétrole qui ont adopté une gestion différente de leurs réserves de change. Elles ont diversifié leurs réserves et ne souhaitent plus détenir uniquement des dollars. Les contrats pétroliers étant libellés en dollars, elles en ont revendu une partie pour acheter des yens ou des euros, ce qui a généré une pression à la baisse de la devise américaine. Ainsi, plus le baril monte, plus le dollar est déprimé...

(3) d'évaluer les prévisions de production à moyen et long terme. Sur ce point, les spécialistes semblent diviser. Si l'agence internationale de l'énergie (AIE) considère que l'offre pourra suivre la demande jusqu'en 2030, voire au-delà ; les géologues membres de l'Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) situent le pic pétrolier en 2010. Les réserves prouvées, c'est-à-dire la quantité de pétrole que l'on peut – en l'état de la technologie et de la connaissance des gisements – extraire du sous-sol dans des conditions techniques et économiques raisonnables, s'élèvent aujourd'hui à 40 années de notre consommation actuelle. Même en tenant compte de la hausse de la consommation, on peut ainsi estimer qu'il n'y aura pas de problèmes de pénurie avant 2030. L'approvisionnement en matière de pétrole devrait se concentrer dans les pays de l'OPEP. L'Arabie saoudite détient à elle seule 25% de ces réserves et l'ensemble des pays de l'OPEP 70%. Vers 2010-2015, les pays non producteurs de l'OPEP devraient enregistrer une baisse de leur production. Ainsi la croissance de la demande ne sera assurée que par les pays membres de l'OPEP ou par l'exploitation plus complexe et coûteuse de pétroles lourds. Ce déplacement vers les pays producteurs de l'OPEP pourrait bien remettre en cause le fonctionnement du marché international du pétrole (régulation de l'offre et de la demande). Jusqu'ici, le marché permettait de concilier le développement des pays consommateurs en leur garantissant un prix de l'énergie raisonnable et la rente des pays producteurs en limitant le recours à des technologies alternatives. Bonenfant et Kueny (2007, p. 46) précisent que ce problème prend une dimension particulière dans la mesure où « *l'amont pétrolier est très majoritairement contrôlé par les compagnies nationales des pays producteurs, pour la plupart fermés aux investissements étrangers (Arabie Saoudite, Koweït, Mexique...)* ¹² » et où « *les pays producteurs peuvent différer leurs investissements pour lisser leurs rentrées financières dans le temps ou même entretenir une pénurie contrôlée et maintenir ainsi un cours à un niveau élevé* ».

(4) de repérer les points de tension sur le marché du pétrole. Il s'agit par exemple de cerner les principales routes stratégiques du pétrole (62% de la production mondiale transite par des tankers, près de 170 bateaux empruntent chaque jour le détroit de Malacca) ; la mise en place des pipelines¹³ ou les spécificités des produits (il est peu économique de transporter des produits finis, par conséquent l'outil de raffinage doit être adapté à chaque marché¹⁴).

Le pétrole est donc bien au cœur du débat sur l'énergie

¹² La part des majors (Shell, BP, Exxon, ENI, Total...) dans la production mondiale atteint aujourd'hui à peine 15% alors que celle des compagnies locales se situe autour de 70%

¹³ En voie de construction dans sa partie terrestre, le gazoduc nord européen (Energy Nord Stream) censé acheminer le gaz russe vers l'Allemagne, sème la discorde parmi les pays européens. C'est notamment le tronçon de 1189km sous la Baltique qui soulève des polémiques à la fois géostratégiques (statut de pays de transit, Allemagne, Pologne, Lituanie, Lettonie) et environnementales (Suède, Finlande).

¹⁴ Les capacités de raffinage fonctionnent à pleine capacité et sont inadaptées aux marchés locaux.

B. Outils de l'économiste

Les économistes disposent aujourd'hui d'une batterie d'outils pour expliquer les phénomènes économiques, monétaires et sociaux. Concernant la question énergétique, cette boîte à outils prend les traits suivants :

- Analyse en termes de calcul économique. Il s'agit ici de partir des comportements des agents économiques. Ainsi, le consommateur chercherait à minimiser sa facture d'énergie, en essayant de substituer des énergies à bas prix aux énergies à prix élevées. Rappelons que la hausse du prix du pétrole se traduit d'une part, par une hausse du prix du carburant, d'autre part, par une hausse du prix d'autres produits tels que le gaz, l'électricité... Or 25% et 15%, soit 40% du budget des ménages français concerne le logement (loyers, chauffage...) et les transports. Les élasticités de la demande au prix et les effets de substitution dépendent de l'existence de produits de substitution, donc de la capacité des entreprises à mettre à la disposition des consommateurs de nouvelles sources d'énergies. De 1995 à 2007, la hausse du prix de l'essence (60%) s'est traduite pas une augmentation de la consommation (6%). L'entreprise, quant à elle, doit produire et/ou diffuser de l'énergie. Elle applique une méthode coûts - avantages, c'est-à-dire un calcul économique intégrant la notion de risque et de rentabilité. Dans le cas du pétrole, il s'agit de définir le coût de l'investissement (forer un puit de pétrole) et de définir un taux d'extraction (nombre de barils de pétrole). Dans le cas d'une entreprise d'électricité, il convient de définir la capacité des centrales électriques (cette dernière ne pouvant pas être stockée) et de prévoir les possibilités de saturation du réseau.

- Analyse à partir de la logique de marchés (comportements des offres et des demandes, donc des prix). Le marché se réduit à une condition d'existence (jeu de l'offre et de la demande) et une condition d'efficience (si la concurrence est largement préconisée, elle ne se généralise pas à toutes les structures du marché : l'offre de pétrole est aux mains d'un cartel, celui de l'OPEP, qui applique depuis de nombreuses années une politique de quotas de production). D'un point de vue économique, le prix du pétrole se trouve ainsi soumis aux quotas de production décidés par l'OPEP (volonté de maîtriser les prix afin d'éviter un contre choc); aux niveaux de production de certains pays producteurs hors OPEP (Venezuela) ; à la demande mondiale (très forte du côté de pays tels que la Chine et les USA) ; aux stocks mondiaux (baisse des stocks américains¹⁵) ; à la valeur du dollar (la dépréciation du dollar a renforcé la politique de prix élevés des pays producteurs) et aux comportements spéculatifs sur les marchés à terme. Les marchés à

¹⁵ Selon les statistiques publiées par le département américain de l'énergie, les stocks ont baissé de près de 7.1 millions de barils lors de la première du mois de septembre 2007. Depuis juin, leur niveau a diminué de près de 9%. Signe inquiétant lorsque l'on sait que les raffineurs vont devoir constituer des réserves de fioul de chauffage pour passer sans encombre la période des grands froids.

terme – relatifs à un système complet de marchés, présents et futurs – constituent des outils de couverture, d'arbitrage mais également de spéculation sur les marchés de matières premières. Ceci consiste à prendre sur le marché à terme, une position inverse et identique, à celle que l'on a pris sur le marché au comptant. Ainsi, si je suis acheteur de 20 contrats sur le marché au comptant, je me porterais vendeur de 20 contrats sur le marché à terme. L'interdépendance des marchés (financiers, monétaires, immobiliers, pétroliers) qui renvoie à l'idée d'un équilibre général, permet de comprendre les différents arbitrages et reports des différents agents économiques¹⁶.

- Analyse dite contractuelle. Si les marchés peuvent être analysés comme de vastes nœuds de contrats, les entreprises et les Etats sont également amenés à sceller des relations bilatérales échappant au jeu de l'offre et de la demande, donc au marché. On assiste aujourd'hui à une profusion de ces contrats bilatéraux. Pour les Etats¹⁷, c'est un moyen de sécuriser leurs approvisionnements en énergie (ceci a débouché de la part de certains Etats – dont la France – sur la volonté de ne pas ouvrir leur marché de l'énergie à la concurrence européenne et de favoriser l'idée d'un champion national) ou de prendre une position stratégique dans des pays producteurs de pétrole ou d'énergie (la Chine, gros consommateur de pétrole, a cherché à sécuriser ses approvisionnements en signant des contrats bilatéraux avec certains pays africains¹⁸). Pour les entreprises, c'est un moyen de créer un vaste réseau énergétique (exemple du réseau européen, susceptible d'orienter les excédents de certains états vers les déficits d'autres états) et d'atteindre une taille critique sur le marché convoité (politique des grands leaders nationaux en Europe). Ces pratiques pourraient bien annoncer le développement de marchés régionalisés structurés par des contrats bilatéraux et l'isolement du marché international.

- Analyse systémique (Forrester, 1965) qui consiste à analyser des phénomènes économiques au niveau global en s'appuyant sur une logique de boucles (incidences) positives et/ou négatives. Ce que l'on appelle aujourd'hui l'effet papillon est une

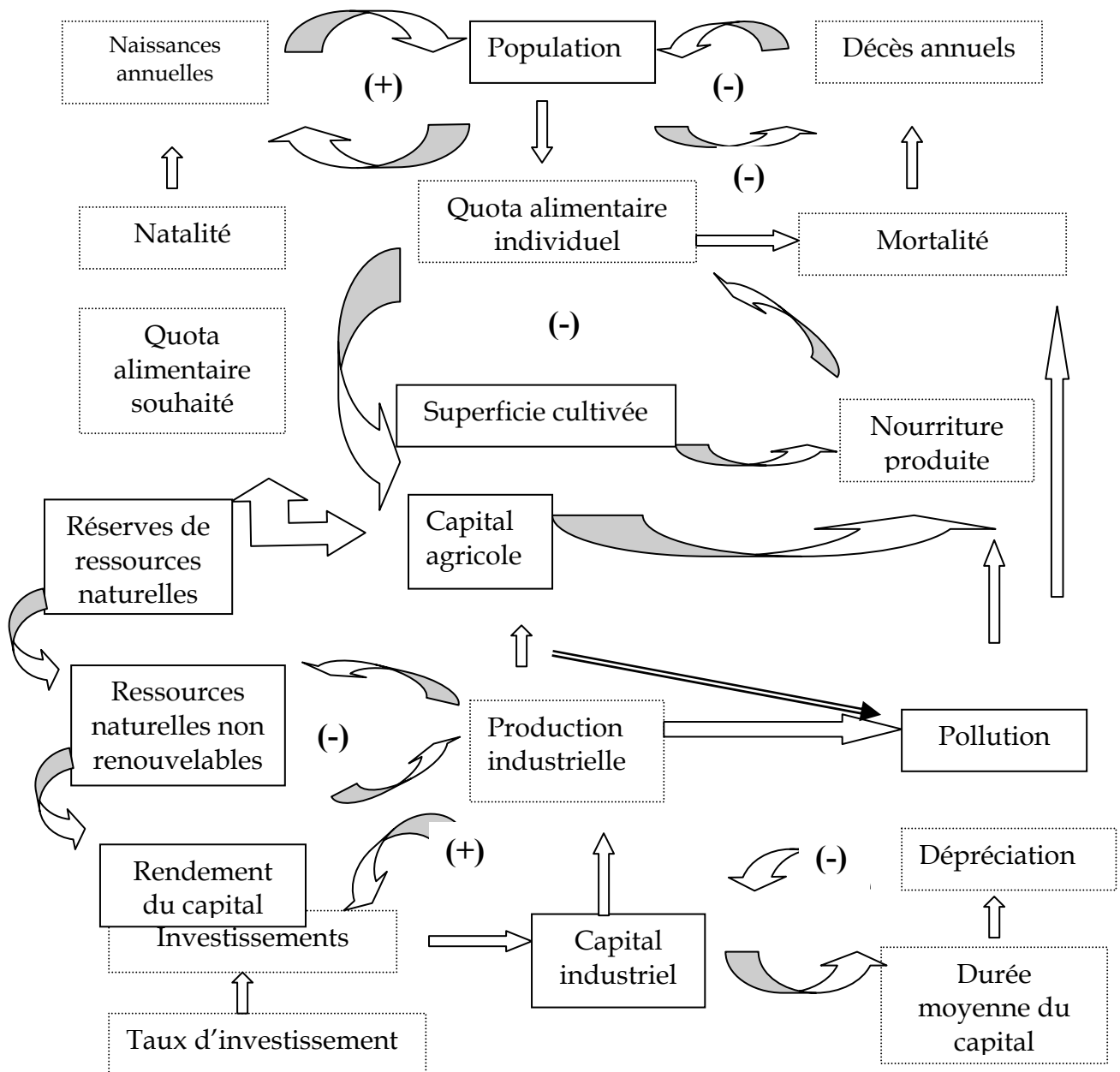
¹⁶ Certains économistes n'hésitent pas à faire un lien entre la crise immobilière américaine (sub-prime) et la montée des cours du pétrole. La hausse du prix de l'énergie pourrait bien peser sur le pouvoir d'achat des ménages américains, et donc sur la consommation américaine. Les banques fragilisées par la crise immobilière rendent en effet l'accès au crédit à la consommation de plus en plus difficile. Les ménages américains dont le taux d'épargne est proche de 0, ne peuvent même plus compter sur l'effet richesse lié à la hausse des marchés immobiliers et boursiers pour doper leurs dépenses.

¹⁷ En Amérique Latine, Hugo Chavez (président du Vénézuéla, 1998) a nationalisé la compagnie PDVSA (Petroleos de Venezuela) et réduit les multinationales à se contenter de parts minoritaires dans des entreprises d'économie mixte. Le Vénézuéla a ainsi développé des coopérations bilatérales qui échappent au marché pétrolier mondial. Dans le cadre de l'initiative Bolivarienne pour les Amériques, le Vénézuéla livre à Cuba 900 000 barils de pétrole par jour (soit un tiers de ses besoins énergétiques) à un taux préférentiel en contrepartie d'une aide médicale de La Havane (20 000 médecins cubains tiennent des dispensaires dans les bidonvilles et les villages reculés du Vénézuéla).

¹⁸ La Chine a mis en place une stratégie de prises de participations dans des régions où les conditions d'installation et d'exploitation sont particulièrement difficiles (Delta du Niger, Soudan, Lybie...).

illustration de l'analyse systémique. Ceci renvoie également au rapport *Halte à la croissance* (1972) et à ses conclusions concernant l'épuisement des ressources naturelles, la pollution et l'explosion démographique.

Boucles positives et négatives du rapport MEADOWS



En conclusion, le rapport insistait sur les deux effets suivants. (1) Le système global tendrait inéluctablement vers une surchauffe suivie d'un effondrement. La cause de cet effondrement est la disparition de matières premières. (2) Qu'advierait-il si le stock des matières premières avait été sous-évalué ? Les auteurs du rapport sont formels : c'est le niveau de la pollution qui serait la cause essentielle de l'arrêt de la croissance.

Cette boîte à outils doit cependant tenir compte de plusieurs variables exogènes :

- Les évènements politiques : dans un contexte de tension du marché, il y a peu de marges de manœuvre. Le moindre évènement géopolitique (Iran, Iraq, Nigeria...) suffit pour accentuer la pression à la hausse du prix du pétrole. Le feu vert, vendredi 19 octobre 2007, du parlement turc aux forces armées pour une opération contre les rebelles kurdes dans le Nord de l'Iraq, a suffi pour créer un climat de tension sur le marché du pétrole. A New York, le baril de WTI¹⁹ a atteint les 90,07\$ en séance (la première fois de son histoire). Depuis deux ans, les tensions politiques entre la Russie et l'Ukraine sont à l'origine des ruptures de livraison de gaz à l'Union européenne et des hausses de cours sur les marchés. Le 8 février 2008, Gazprom, monopole semi-public russe, a menacé de couper ses livraisons de gaz à l'Ukraine si cette dernière ne lui réglait pas une dette de 500 millions de dollars. Les prix du gaz sur le marché spot des Pays Bas et de Grande-Bretagne ont augmenté de 5% lors de la séance d'après midi.

- Les évènements climatiques (ouragans, tornades, typhons) ont également des impacts non négligeables sur les capacités d'approvisionnement et de raffinage des pays industrialisés, et par conséquent sur les prix de la matière première. Le 13 septembre 2007, l'ouragan Humberto a touché les côtes du Texas et de la Louisiane avec des vents de 135 kilomètres/heure, contraignant les compagnies pétrolières à arrêter trois raffineries de la région. Ces nouvelles ont immédiatement fait grimper le cours du brut américain à 80.20 \$ par baril.

- Les politiques nationales : si l'offre de solutions alternatives au pétrole est étroitement liée aux stratégies industrielles, elle est également largement associée à la volonté politique. Dans le cas du pétrole, l'Etat français intervient de manière très ambiguë : *par sa politique fiscale*, il agit directement sur le prix du carburant (les taxes représentent aujourd'hui 80% du prix du pétrole) et donc sur ses recettes fiscales (en modifiant la TIPP, il peut amortir le choc d'une hausse des carburants et du gazole²⁰) ; *par ses incitations financières*, il peut stimuler la mise en place de filières alternatives (bio-carburants, énergie éolienne, énergie solaire...) ; *par sa volonté de sécuriser sa politique énergétique*, il peut chercher à créer des champions nationaux et à fermer leur capital aux groupes étrangers ; *par ses subventions aux professions* (exemple des pêcheurs en France), il risque de créer un effet de contagion et de limiter les modifications de comportements vis-à-vis d'un pétrole cher.

¹⁹ En termes physiques, le WTI n'est qu'un pétrole brut américain négligeable, il ne représente que 200 000 barils sur une production mondiale de 86 millions de barils. Mais en termes boursiers, il constitue l'un des deux contrats pétroliers de référence avec le Brent et s'échange deux fois plus que ce dernier. Le WTI sert donc de référence pour indexer le prix d'autres bruts à travers le monde.

²⁰ En France, la TIPP atteint 42,58 centimes d'euro par litre de gazole contre 30,11 centimes en Belgique et 30,20 en Espagne.

- Les lobbys internationaux : le secteur pétrolier draine des milliards de \$, les entreprises pétrolières (Total, Shell...) figurent au top 10 des plus gros chiffres d'affaires mondiaux.

III. LA HAUSSE DU PRIX DU PETROLE, UNE FATALITE OU UNE CHANCE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE ?

Il est difficile de répondre de manière tranchée à cette question. La hausse du prix du pétrole semble bien être une fatalité. Même si les fluctuations varient à la fois à la hausse et à la baisse (Aux Etats-Unis, la douceur de l'hiver 2006–2007 a réduit les besoins en chauffage et le baril est passé en dessous des 60 \$), il semble que les périodes où le pétrole était bon marché, ne soient plus d'actualité. La forte croissance de la demande (notamment tirée par l'économie chinoise) et la capacité limitée des raffineurs tendent à tirer les prix vers le haut. Il convient d'ajouter que ce n'est pas la hausse du prix du pétrole qui pose problème, mais bien les fluctuations erratiques du prix (tant à la hausse qu'à la baisse) qui amènent les compagnies nationales à développer avec prudence leurs capacités de production. Dans le même temps, on ne peut affirmer (comme le font certains politiciens et écologistes) que la hausse du prix du pétrole entraînera une vague verte et un développement des énergies alternatives. En effet, l'expérience a montré qu'une hausse des prix du pétrole avait également tendance à repousser les seuils psychologiques de baisse de la consommation (en ce qui concerne le carburant, le seuil a été en France de 6 F, puis de 8 F, puis de 10 F, 1€, 1.20€, 1.30€... faudra-t-il attendre que le prix de 1.60€ soit atteint pour déclencher de réels changements ?) ; à générer des conséquences en matière de choix d'investissement (au prix de 98\$, des gisements de pétrole²¹ et de gaz²² non rentables le deviennent) et à remettre en activité certaines énergies fossiles (exemple du charbon en Allemagne²³, en Chine, aux Etats-Unis et en France).

²¹ A l'instar des projets lancés en eaux profondes (Angola, Brésil), dans le Grand Nord canadien (Alberta), ou dans les zones polaires (Snoehvit en Norvège, Chtokman en Russie), les pétroliers et les gaziers se sont engagés dans une course folle pour renouveler leurs réserves. Le dernier projet en date concerne l'Alaska. Malgré l'opposition de la population locale et des associations internationales, l'administration fédérale américaine a organisé en février 2008 une vaste opération de vente aux enchères. Plus de 5000 blocs d'exploration situés le long de la mer de Tchoukches ont été vendus pour un montant de 2.6 milliards de \$ (Royal Dutch Shell, 2^{ème} pétrolier mondial, s'est offert 275 lots pour la somme de 2.1 milliards de \$). Selon les estimations officielles, près de 15 milliards de barils de réserves récupérables et plus de 2000 milliards de mètres cubes de gaz se trouveraient dans cette zone.

²² Le prix du gaz suit le prix du pétrole. Une augmentation du prix du pétrole peut donc relancer les projets d'investissement et de forage de gisements gaziers. En septembre 2007, la Norvège a mis en fonction son immense gisement gazier d'Ormen Lange, qui fera du pays le deuxième exportateur mondial de gaz naturel. Via le Langeled, le plus long gazoduc sous-marin du monde (1200 km), le gisement d'Ormen Lange approvisionnera le marché britannique, dont il couvrira 20% des besoins. En 2010, ce gisement pourrait fournir 70 millions de mètres cubes de gaz et 50000 barils de condensats.

²³ RWE, le deuxième électricien allemand a lancé six nouveaux projets de centrales électriques dont trois brûlants au charbon classique et à la lignite (charbon de mauvaise qualité dont l'Allemagne est abondamment pourvue). L'un des projets se situe à Endorf, d'une puissance de 1600 MW, il devrait être

Fort de ce constat, il est possible de passer en revue un certain nombre de pistes de réflexion, concernant la question énergétique. Pour l'économiste, ces pistes peuvent traduire une foi réitérée dans les vertus du marché (le capitalisme et l'économie marchande ayant besoin de nouvelles opportunités de croissance) et des effets de substitution ; l'apologie d'un nouveau modèle de développement durable, symbolisé par l'écologie industrielle ; ou encore l'évocation d'une prise de conscience que l'on pourrait assimiler à la « décroissance » (que nous associerons à l'écologie politique).

A. La foi dans le marché et les effets de substitution

Comme les agents économiques (consommateurs) ne sont pas des êtres très raisonnables (ces derniers ont vite oublié les conclusions du rapport « halte à la croissance » de 1972), on pourrait considérer la hausse du prix pétrole comme un élément favorable à la baisse de la consommation d'énergie fossile et au développement des énergies alternatives. En d'autres termes, la configuration actuelle du marché du pétrole nous obligerait à faire preuve de pragmatisme et à changer nos habitudes.

On trouve un autre exemple de cet optimisme dans la capacité du marché à apporter une réponse aux problèmes environnementaux²⁴. Les années 80 ont vu l'apparition de marchés de droits à polluer (système de permis d'émission négociables). Les permis négociables offrent aux pollueurs une souplesse accrue pour répartir leurs efforts de lutte contre la pollution entre différentes sources, tout en permettant aux pouvoirs publics de maintenir un plafond fixe d'émissions polluantes. L'augmentation des émissions d'une source doit être compensée par la réduction d'une quantité au moins équivalente d'émissions provenant d'autres sources. Si par exemple, un plafond réglementaire de pollution est fixé pour une zone donnée, une entreprise polluante ne peut s'y installer ou y étendre son activité qu'à condition de ne pas accroître la charge de pollution totale. Il faut donc que l'entreprise achète des droits à polluer ou permis à polluer à d'autres entreprises situées dans la même zone réglementée, celles-ci étant alors tenues de réduire leurs émissions dans des proportions équivalentes (c'est ce que l'on appelle aussi les échanges de droits d'émissions). Cette stratégie a un double objectif : d'une part, mettre en œuvre des solutions peu coûteuses (en encourageant les entreprises, pour lesquelles la réduction des émissions serait très coûteuse, à acheter des

opérationnel en 2012. Un autre, situé à Hamm, fait l'objet d'une étude d'impact. Enfin, le dernier, près de Eemshaven (Pays-bas), d'une puissance de 1600 MW, devrait voir sa construction début fin 2007. En décembre 2006, les capacités de production par source d'énergie primaire (en MW) du groupe RWE se présentaient de la manière suivante : houille (14), lignite (10.7), nucléaire (6.3), gaz (6.9) et autres (5.5).

²⁴ Dans une note du 13 mars 2002 (COM, 2002 - 122 Final), la Commission des Communautés Européennes soulignait que « l'élimination des obstacles commerciaux » et « le redressement des prix en internalisant les coûts environnementaux dans les prix du marché » ou en mettant en place « un système d'échange des droits d'émission de gaz à effet de serre » constituaient des incitations permanentes à trouver de nouveaux moyens de réduire les émissions des installations concernées.

droits de polluer à d'autres entreprises pour lesquelles la réduction le serait moins) ; d'autre part, concilier développement économique et protection de l'environnement en permettant à de nouvelles activités de s'implanter dans une zone réglementée sans accroître la quantité totale d'émissions dans cette zone. Dans le cadre des nouvelles réglementations européennes qui s'appliqueront à compter de 2008, RWE, le deuxième électricien allemand a estimé qu'il pourrait devoir acheter près de 70 millions de tonnes de quotas d'émissions par an sur les cinq prochaines années. Ces droits à polluer pouvant lui coûter des milliards d'€ par an, le groupe s'est engagé dans un projet de réduction de ses émissions. En Grande-Bretagne, RWE a construit deux centrales à gaz et cinq fermes éoliennes, ce qui devrait lui permettre de réduire ces émissions de CO² par kWh d'un tiers d'ici 2015.

Cette foi dans les mécanismes du marché (au marché, on ne peut rien imposer²⁵) renvoie enfin à un précepte bien connu dans la théorie économique « orthodoxe ». Lorsque le prix d'un facteur de production augmente, l'entreprise a tendance à lui substituer un autre facteur de production moins onéreux. Le progrès technique orchestre ce changement de facteur de production et génère de ce fait, une source de croissance économique inépuisable ²⁶ (Solow, 1973, 1974). L'hydrogène (malgré quelques incertitudes en matière de stabilité) est ainsi présenté comme une alternative au pétrole. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication sont également présentées par certains (CE, 2002) comme des outils décisifs dans la lutte contre l'épuisement des matières premières et des déchets (Dannequin, Diemer, 2008). D'un côté, les NTIC transforment 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). De l'autre, la re-ingénierie des procédés en fonction du commerce en ligne permettrait 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). Plus généralement, les effets de substitution et le progrès technique renvoient à la question des énergies alternatives au pétrole. L'économiste doit ainsi répondre à plusieurs questions : quel est le degré d'efficacité (rendement) des énergies alternatives ? Quel est leur degré d'efficacité (rendement rapporté au coût) ? Quels seraient les effets externes générés par le développement des marchés d'énergies alternatives ?

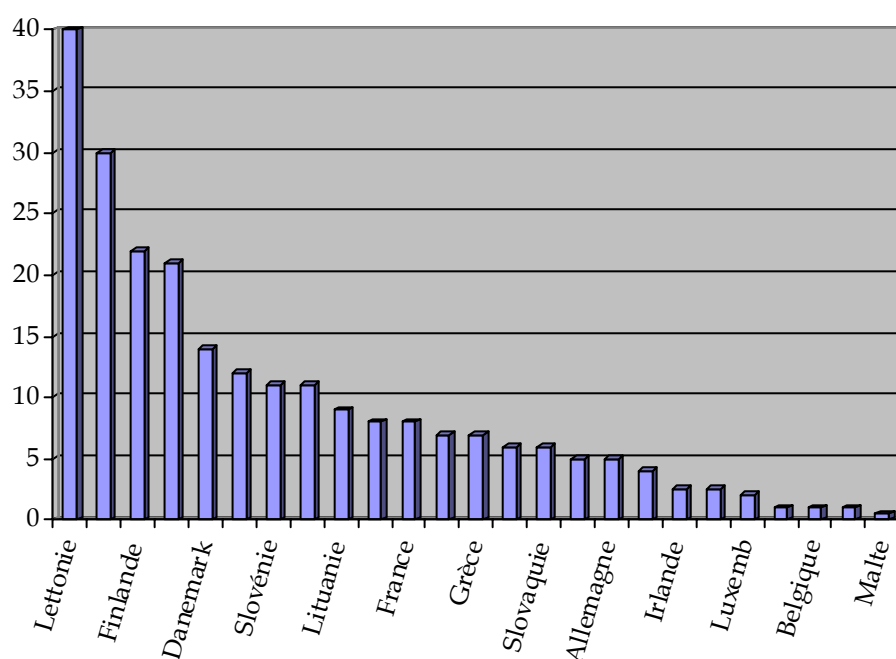
²⁵ En janvier 2007, le prix du brut léger américain était de 50\$, il est aujourd'hui de 96\$.

²⁶ On peut lire sous la plume de Nicholas Georgescu 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 ».

1. Les énergies renouvelables

Les marchés des énergies renouvelables affichent aujourd'hui des taux de croissance supérieurs²⁷ à 30% par an. Difficile de recenser tous les projets (éolien, solaire, biomasse...), cependant une étude des Nations Unies (2006) a évalué les investissements à près de 71 milliards de dollars. Les sommes investies dans l'éolien avoisinaient les 15 milliards de dollars (dont près de 1.2 milliard en France). En octobre 2007, les autorités bruxelloises ont présenté leur projet de directive cadre sur les énergies renouvelables. L'objectif, affirmé par les chefs d'Etat en mars, est d'avoir 20% d'énergies renouvelables en 2020.

Part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire (en%)



Source : Commission européenne (2005)

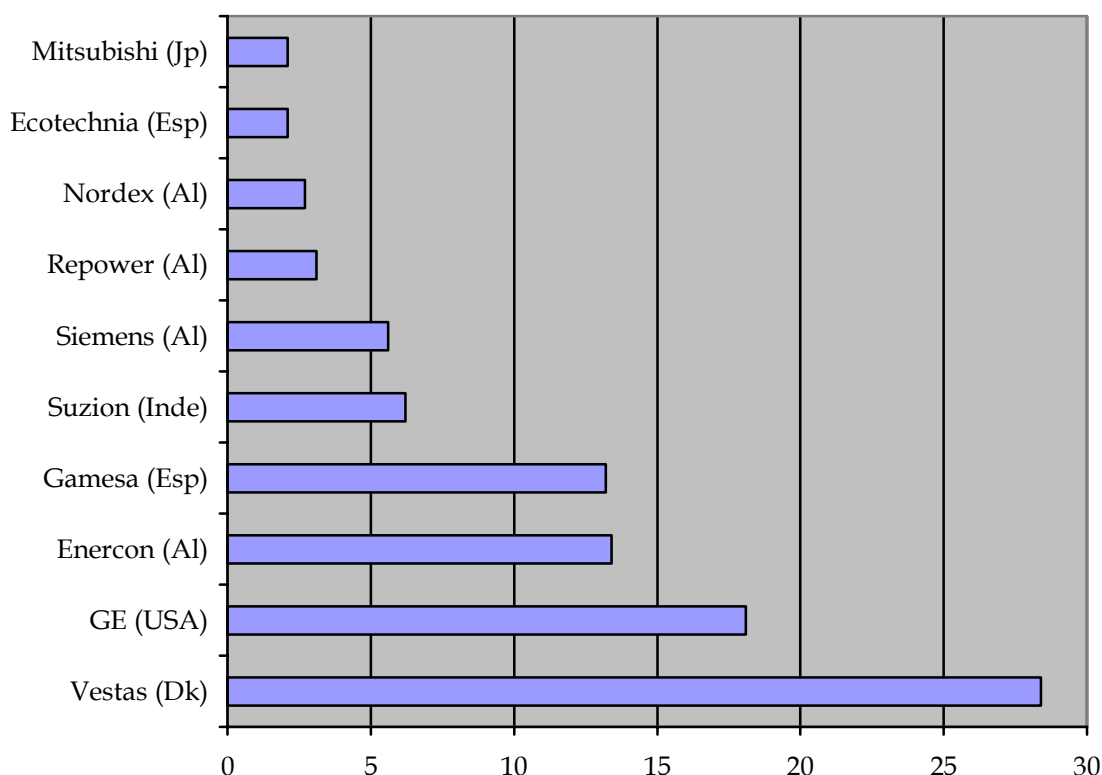
La commission européenne bute cependant sur un certain nombre de difficultés. La plus importante consiste à répartir les efforts. La situation européenne est en effet très contrastée. Si l'Allemagne fait figure de leader mondial dans l'éolien (4 entreprises - Enercon, Siemens, Repower et Nordex - parmi les 10 premières mondiales) et reste bien placée dans le photovoltaïque (90% du parc européen) et les centrales électriques à biomasse, d'autres pays ont pris un certain retard. Alors que la France dispose d'une forêt de 15 millions d'hectares, du deuxième gisement éolien d'Europe²⁸ et d'un

²⁷ Le marché mondial du solaire photovoltaïque serait passé de 1780 à 2500 MW (croissance de 40%).

²⁸ Le développement de l'industrie éolienne française bute sur une contrainte importante. Plus de la moitié des projets (soit 4600 MW) sont bloqués d'une part, par Météo France et les autorités militaires qui craignent des perturbations sur les réseaux radars, d'autre part par les associations d'usagers qui refusent l'implantation des éoliennes sur leurs communes. Aux dires des Echos (24/10/2007), un seul

ensoleillement intéressant, elle ne soutient sérieusement les énergies renouvelables que depuis 2005, à la suite de la loi sur l'énergie et l'adoption des tarifs de rachat de l'électricité verte. Malgré des efforts réalisés dans l'éolien (2300 MW installés en 2007 et 6000 MW prévus pour 2010), la France ne compte aucune entreprise²⁹ dans les 10 premiers constructeurs mondiaux d'éoliennes et de panneaux solaires.

Les dix constructeurs mondiaux d'éoliennes (part de marché en %)



Source : Le journal des énergies renouvelables

Deux options étaient possibles : 1° déterminer un potentiel³⁰ de développement de chaque pays, corrigé d'un critère tel que le PIB ; 2° partir d'un chiffre (8.5% de la consommation énergétique finale de l'Union européenne est issue des énergies renouvelables), puis amener chaque état à augmenter sa part³¹ dans l'énergie renouvelable pour atteindre l'objectif de 20% (soit une hausse de 11.5 points). Le 24

projet éolien mené par la société Enertrag serait en bonne voie. Il s'agirait d'un projet off shore ne nécessitant pas de permis de construire en mer. La profession a réclamé la création d'un comité national de pilotage afin de faire avancer les différents projets.

²⁹ Areva a acquis récemment l'allemand Multibrud (prototypes d'éoliennes off shores) alors qu'Asthom a dépensé près de 350 millions d'€ pour s'offrir l'espagnol Ecotécnia.

³⁰ La France, qui possède de nombreux sites ventés et ensoleillés, aurait un potentiel inexploité.

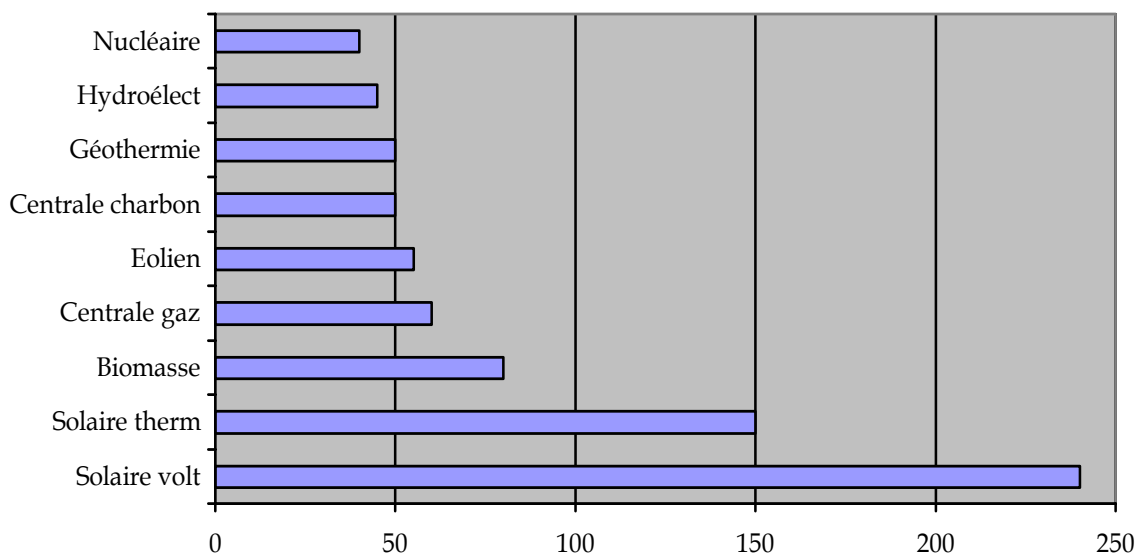
³¹ Dans le cas de la France, ceci supposerait de passer de 2000 MW d'éolien à 25000 MW (soit l'installation de près de 6000 éoliennes), de construire une filière voltaïque importante et d'intensifier les efforts dans les chaufferies au bois.

janvier 2008, la Commission européenne a tranché. Les nouvelles directives ont proposé une répartition des efforts entre les 27 en utilisant comme critère le produit intérieur brut par habitant. La France devrait ainsi porter de 10.3 à 23% la part des énergies renouvelables dans sa consommation totale d'énergie (la Suède devra la faire passer de 40 à 49%).

Une fois les objectifs fixés, la Commission devra avoir un droit de regard sur les plans qui lui sont présentés. Dans le cas de l'électricité, la directive de septembre 2001, qui fixait un objectif global d'électricité d'origine renouvelable de 21% pour 2010, a été renouvelé (les Etats ayant pris un certain retard). Dans le cas de la production de chaleur et de froid (chauffage eau solaire, chaudières au bois, utilisation de gaz de déchets...), l'Union Européenne table sur un doublement de l'utilisation des énergies renouvelables. En France, le syndicat des énergies renouvelables (SER) estime que la biomasse pourrait être l'un des principaux pourvoyeurs d'énergie verte (potentiel de 6.3 millions de tonne équivalent pétrole). D'ici 2020, ce sont près de 2000 MW de cogénérations à partir de biomasse (bois, paille, déchets végétaux...) qui devraient voir le jour.

Autre difficulté, les coûts de production et les prix des énergies renouvelables restent encore très élevés malgré les progrès technologiques réalisés ces dix dernières années.

Coûts de production des énergies renouvelables (€/MW)



Source : Les Echos (24/10/2007)

Les capacités de production ont beau augmenté de 50% par an, la demande est telle que la dégrue des prix des énergies nouvelles est tout de suite enrayerée. En trois ans, le prix des éoliennes a augmenté de 20%. En France, les délais d'approvisionnement vont de 24 à 30 mois. La filière des énergies renouvelables subit également de plein fouet la

montée des prix des matières premières. L'industrie photovoltaïque consomme davantage de silicium que l'industrie électronique. Le prix du kilogramme de silicium a été multiplié par 10 durant ces 18 derniers mois. Tant et si bien que le prix du watt installé ne baisse plus depuis trois ans (autour de 8 € par kilowatt installé et raccordé au réseau). Pour de nombreux économistes et industriels, cette surchauffe serait conjoncturelle et devrait s'effacer dès 2010.

Afin de promouvoir les énergies renouvelables et de profiter de certains effets stimulant sur la croissance et l'emploi³², les différents états européens ont été amenés à mettre en place différents dispositifs. Le *système du trading* permet à un Etat de remplir son quota national en finançant des projets d'énergie renouvelable dans un autre Etat³³ (c'est le cas de la Belgique qui a financé des projets de panneaux solaires au Portugal). Le *mécanisme des tarifs d'achat* est un autre moyen permettant de stimuler la production d'énergies renouvelables. Il s'agit de garantir des prix d'achat de l'énergie renouvelable, généralement deux à trois fois plus élevés que le prix courant. Depuis 2004, l'Allemagne a mis en place un prix d'achat garanti³⁴ afin de soutenir l'éolien. Pendant 25 ans, l'électricité produite par une installation photovoltaïque sera achetée trois fois le prix courant. En 2006, l'Italie a mis en place un système de tarification dégressif (5% chaque année). Les *subventions à la recherche*, destinées à diminuer le coût des technologies, constituent un autre dispositif (utilisé par les Pays-bas).

2. Les biocarburants

La hausse du prix du pétrole se traduit généralement par la mise en place de produits substituables. Les biocarburants sont une solution, mais une solution partielle. Le développement massif des biocarburants pose deux problèmes principaux : (i) le

³² Souvent présentés comme un moyen de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, les investissements dans les modes de production d'énergie renouvelable ont récemment acquis une autre légitimité : celle de stimuler la croissance économique et de créer des emplois qualifiés et non délocalisables. Selon l'association des professionnels de l'énergie solaire, l'installation de 1 mégawatt de solaire voltaïque (dont la durée de vie est supérieure à 25 ans) permettrait de créer 32 emplois. L'Allemagne, qui a déjà créé 119 000 emplois dans l'industrie éolienne, solaire et de la biomasse en attend près de 500 000 en 2020. De son côté, l'Espagne table sur la création de 200 000 emplois en 2010.

³³ Ce système a cependant l'inconvénient d'attirer les investisseurs vers les marchés les plus rentables et de monter des projets dans les pays émergents (les problèmes de fonciers et de voisinage y sont moins insolubles). Ainsi, les parcs éoliens construits dans des régions en développement, se substituent généralement à des centrales au fioul, très polluantes. Ils génèrent ainsi plus de crédits carbone qu'un projet européen. En investissant dans des pays lointains, les grands opérateurs énergétiques engrangent des certificats de réduction d'émission qu'ils peuvent ensuite convertir en permis d'émission sur leurs marchés domestiques. Le fonds Carbone créé par EDF et ses filiales (britannique, allemande et italienne) a été doté d'une capacité d'achat de quotas d'émission de 300 millions d'€ pour la période 2008-2012 (près de 40% de cette somme ont déjà été engagés dans des projets éoliens, hydraulique et de biomasse en Chine).

³⁴ En 2000, l'Allemagne a également confié à une institution financière (Kfw) la mission de stimuler les investissements dans les énergies renouvelables. Kfw distribue ainsi des crédits sur dix ans à taux préférentiel, avec des abattements supplémentaires si les objectifs sont atteints.

problème de la disponibilité des terres agricoles et de la concurrence entre terres agricoles dédiées aux cultures alimentaires et terres agricoles dédiées aux cultures énergétiques³⁵ ; le problème de leur développement et des conséquences des effets externes à moyen – long terme (notamment, s’il s’agit de produits génétiquement modifiés). Plusieurs exemples peuvent nous servir d’illustrations :

- Le marché du colza est un marché exclusivement européen. Avec une production de 14 Mt de graines pour une trituration européenne qui en transforme 11 Mt, l’Europe des 25 n’a pas besoin d’importer de graines. Même si la parité €/ \$ et les cours du soja donnent la tendance, le marché européen fonctionne avec ses propres prix, et reste soumis à la gestion spatiale des unités de transformation. Les récentes mesures visant à augmenter la production de biocarburants n’a fait que renforcer cette tendance. En renouvelant son intérêt pour les biocarburants, l’Europe a permis au marché européen du colza d’être autosuffisant. L’Allemagne fait figure de pionnière en la matière. Le biodiesel bénéficie d’une détaxation totale. Et les récentes hausses du pétrole n’ont fait qu’encourager le développement des biocarburants. Selon l’UFOP (Organisation de promotion du biodiesel en Allemagne), la production a dépassée en 2006 les 1.4 Mt. L’Allemagne a du ainsi importer des graines de colza de l’huile - destinées soit au biocarburant, soit au marché de l’alimentaire - pour couvrir ses besoins. Les graines provenaient principalement de la France³⁶ (1 Mt), de la Pologne (1.49 Mt) et de la République Tchèque (0.9 Mt). L’huile vient quant à elle du marché de Rotterdam, véritable plaque tournante en Europe. Ce marché intéresse de plus en plus les industriels français : l’exemption de taxe sur le biodiesel allemand autorise les industriels à acheter les graines avec une prime par rapport au marché français. Les besoins allemands influencent les principaux cours du colza, le « Fob Moselle », principale référence du marché à terme du colza. Le marché du colza tourne autour des tritrateurs. En France, ils sont deux à se partager le marché : Cargill et Bunge/saipol. Sept usines de trituration sont répertoriées : Compiègne, Dieppe, Rouen, Brest, Bordeaux, Lezoux et Sète. A chaque usine correspond une zone d’approvisionnement où les prix évoluent en fonction des besoins de l’usine en graines, des marges de trituration et des cours des produits finis (le tourteau, l’huile). Une tonne de graines produit environ 40 % d’huile et 58% de tourteaux. C’est sur l’huile que le tritrateur se fait sa principale marge (rapport de 2.5 à 1). L’huile de Colza s’est profondément installée en Europe suite aux besoins spécifiques pour l’alimentation humaine (regain d’intérêt pour les huiles riches en oméga 3) et pour la carburation. De ce fait, l’exportation d’huile se réduit de plus en plus (avec le diester, le marché français a

³⁵ Pour pallier en partie ce problème, de nouveaux axes sont privilégiés, comme la production de biocarburant à partir de la biomasse ligno cellulosique (à partir de bois ou de paille de céréales).

³⁶ L’axe Rhin-Moselle facilite l’approvisionnement des usines situées à l’Est du Pays, et relativement éloignées des principales zones de production.

besoin de 387 000 t d'huile, soit une consommation de 1 Mt de graines). Quant au tourteau de colza, il reprend peu à peu ses parts de marché face au soja (les industriels apprécient de plus en plus la garantie sans OGM, les hausses de volumes triturés se traduisent par une baisse des coûts de production).

- Dans la zone pacifique, l'huile de palme est un bon substitut au pétrole. Cependant sa production se situant principalement sur l'île de Bornéo, la production d'huile de Palme a engendré la destruction de forêts primaires.

- L'Éthanol, obtenu à partir de la betterave, a été présenté en France comme une alternative au pétrole. S'il ne constitue pas une solution intéressante dans la métropole (problème de rendements), il est par contre plus pertinent dans des zones géographiques comme l'île de la Réunion. La production d'éthanol, à partir de la canne à sucre, a fait du Brésil, le premier producteur mondial d'éthanol.

Le débat sur les biocarburants est aujourd'hui au cœur d'une polémique. Les rapports des ONG environnementales, de la Chambre des Communes britanniques et des experts scientifiques de la Commission européenne ont pointé du doigt les menaces pour l'environnement, le déplacement des populations ou le soutien prématuré à ces innovations agricoles. Se reportant aux conclusions du rapport du Biofuels Research Advisory Council (Biofrac), la Commission européenne a souhaité que les efforts en matière de biocarburants de 1^{er} génération (huiles dérivées du tournesol, du colza, du soja et du sucre) soient poursuivis afin d'engager une autre innovation, celle des biocarburants de seconde génération³⁷ (Stauder, 2006).

3. L'énergie nucléaire

Le nucléaire, principale source d'énergie en France³⁸, occupe une position stratégique sur la scène internationale suite à l'ouverture du marché de l'énergie des pays en développement, à la volonté de trouver une source d'énergie à bas prix³⁹ (50 €/MWh) et au souhait de certains pays de sécuriser leurs besoins futurs. L'Inde comme la Chine et la Russie, a défini sa politique énergétique en la recentrant sur des projets de réacteurs nucléaires. La signature d'accords bilatéraux avec la Russie, les USA⁴⁰ (août 2007) et

³⁷ Il s'agit de carburants obtenus à partir des plantes entières. Cette filière aurait un double avantage. Elle n'entre pas en concurrence avec les filières agroalimentaires. L'utilisation de la plante entière permet de produire à la fois du bio éthanol et du bio diesel.

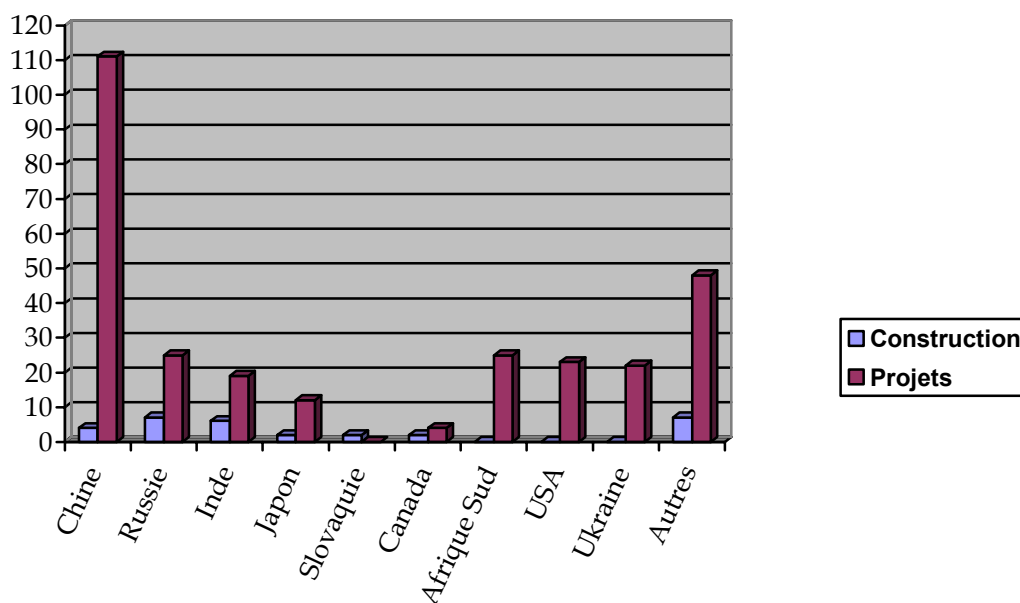
³⁸ L'équilibre offre - demande d'électricité est de moins en moins garanti depuis quelques années. En effet, suite à des problèmes rencontrés sur un certain nombre de centrales nucléaires, EDF a été contraint d'engager des opérations de maintenance sur plusieurs sites. Ceci a eu des répercussions sur la réserve de capacité disponible en janvier 2008 (inférieure de 2000 MW à celle de janvier 2007).

³⁹ Précisions que cette évaluation ne tient pas compte du coût du risque !

⁴⁰ Depuis l'explosion de sa bombe atomique en 1974, l'Inde non signataire du traité de non prolifération des armes nucléaires, ne pouvait acquérir ni technologie à l'étranger, ni uranium. Depuis l'accord « 123 » signé avec les USA dans le nucléaire civil (durée de 40 ans), l'Inde peut faire appel à des technologies américaines sans pour autant renoncer à l'arme atomique, ni adhérer au traité de non prolifération.

prochainement la France, font de l'Inde, l'un des plus grands marchés au monde. Suite à sa croissance à deux chiffres, l'Inde a décidé d'investir massivement dans le nucléaire (2.5% de son électricité) afin de pallier aux pannes de courant répétitives. Le plan officiel « Vision 2020 » vise de porter la capacité du pays de 3800 MW à 20 000 MW. Aux six réacteurs en chantier, l'Inde prévoit d'en ajouter une vingtaine⁴¹.

Fig 5 : Les réacteurs nucléaires en projet dans le monde



Source : World Nuclear Association, 2007

Les marchés des pays de l'Est constituent également une autre source de développement de l'énergie atomique. Longtemps considérée comme une chasse gardée de la Russie, l'intégration de ces pays dans la Communauté européenne a intensifié la concurrence sur les différents marchés nationaux. Ainsi, en Bulgarie, ce sont près de six candidats (le français EDF, l'italien ENEL, le tchèque CEZ, la filiale belge de Suez, Electrabel, les allemands EON et RWE) qui sont sur les rangs pour reprendre 49% de la société qui fera construire la future centrale nucléaire de Belene⁴².

B. Un nouveau modèle de développement durable, l'écologie industrielle

L'écologie industrielle est une nouvelle approche des relations entre l'industrie et la nature. Elle s'appuie sur l'étude du métabolisme industriel et à donner lieu à de nombreuses expériences telles que la symbiose de Kalundborg et l'émergence des parcs éco-industriels.

⁴¹ Quatre réacteurs nucléaires sont en compétition sur la scène internationale : l'AP1000 de Westinghouse (filiale de Toshiba) ; l'ABWR de GE; le VVR 1000 russe et l'EPR du français AREVA.

⁴² L'appel d'offres concerne la gestion de deux réacteurs à eau pressurisée de 1000 MW chacun. Le gouvernement bulgare souhaite vendre à un partenaire étranger 49% d'une société spécialement créée pour l'occasion et baptisée « Belene Power Company », le reste des parts (51%) étant confié à NEK.

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, développent l'idée selon laquelle il devient nécessaire de recycler les biens usagés, d'économiser les ressources et de rechercher des matières premières de remplacement⁴³. 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 (Diemer, Labrune, 2007). Frosch et Gallopoulos précisent qu'un écosystème industriel pourrait fonctionner comme un écosystème biologique. Les végétaux autotrophes assimilent, par photosynthèse ou chimiosynthèse, des éléments du monde minéral qui se trouvent ainsi intégrés sous une forme réduite dans des molécules organiques ; de l'énergie est investie dans ces composés. Les animaux et les végétaux hétérotrophes sont tributaires des précédents et constituent des chaînes trophiques où, de mangeur en mangé, on assiste à un transfert de matière et d'énergie dans le monde vivant.

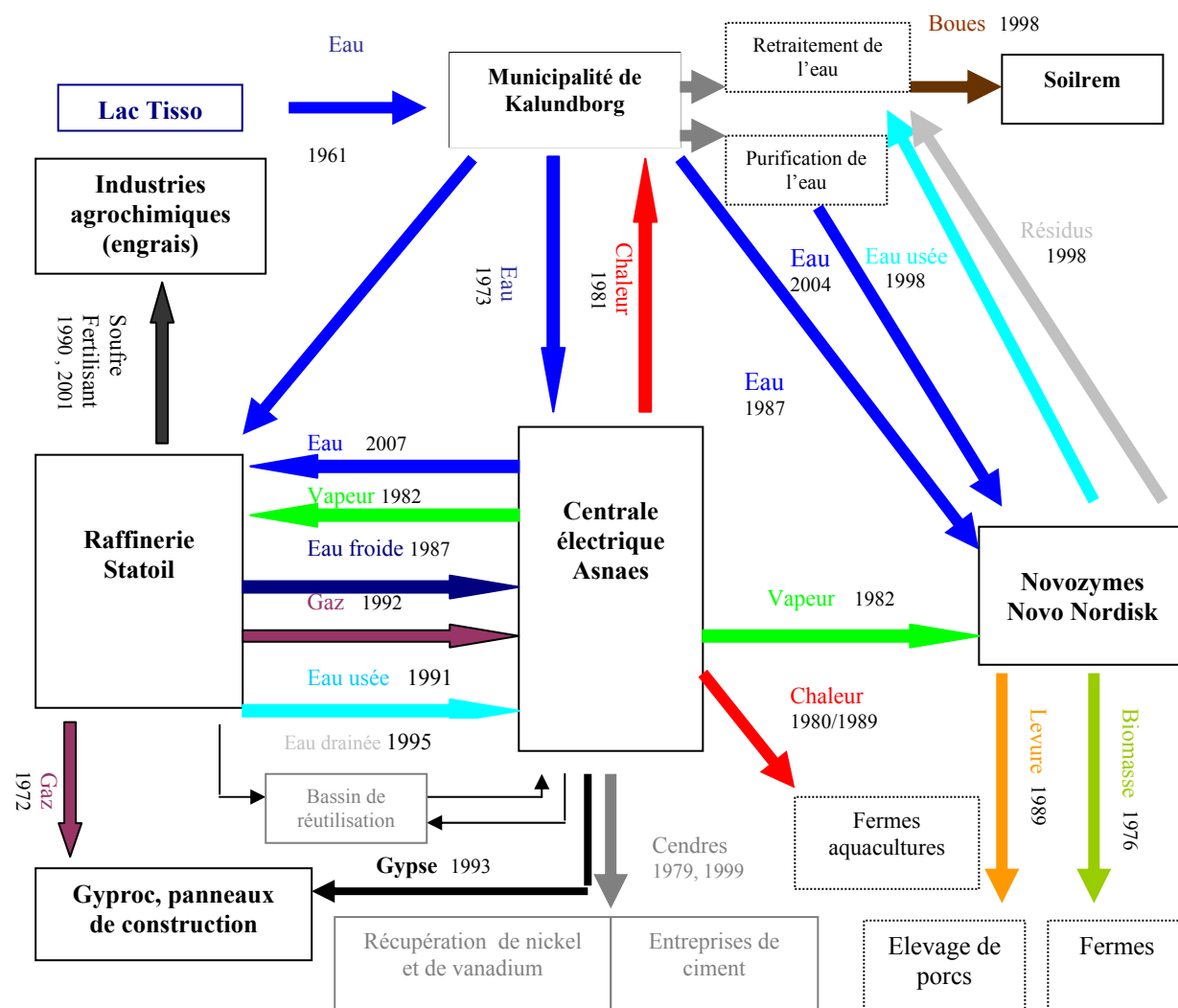
- Si l'écologie industrielle cherche à s'approcher le plus possible d'un écosystème « viable » à long terme, il devient nécessaire de cerner quantitativement et qualitativement la dimension physique des activités économiques, à savoir les flux et les stocks de matières inhérents à toute activité industrielle. Cette démarche renvoie à une approche apparue à la fin des années 80 : l'étude du **métabolisme industriel** (Ayres [1989]). L'étude du métabolisme industriel correspond à « *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. 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. 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*

⁴³ 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.

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 des 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]).

- La « symbiose de Kalundborg » illustre la nécessaire interdépendance entre plusieurs processus de production de différentes firmes et le bouclage des flux de matière et d'énergie à mettre en œuvre à l'intérieur d'une zone d'activité industrielle (Vivien [2002]). Elle comprend six partenaires industriels et un acteur public, distants les uns des autres de quelques centaines de mètres seulement, et reliés entre eux par un réseau de pipelines ad hoc (Christensen [2006]).

Fig 6 : La symbiose industrielle de Kalundborg



Source : Christensen (2006)

La Centrale électrique Asnaes est la plus puissante du Danemark. D'une capacité de 1500 MW, elle est alimentée au mazout puis au charbon (après le 1^{er} choc pétrolier). Elle emploie près de 250 personnes. Statoil est la plus grande raffinerie de pétrole du Danemark. Elle a une capacité supérieure à trois millions de tonnes de pétrole par an et emploie 350 salariés. Novo Nordisk est la plus grande société danoise de biotechnologies, l'un des principaux producteurs d'enzymes industriels et d'insuline. Elle emploie près de 3500 personnes. Gyproc est une société suédoise dont l'usine de Kalundborg produit des panneaux de construction en gypse (14 millions de m² par an). Elle emploie 165 personnes. Soilrem est une usine de retraitement des sols pollués par les métaux lourds et les hydrocarbures. Elle emploie 65 personnes. Noveren est la propriété de 9 municipalités. Elle traite près de 126 000 tonnes/an de déchets. Enfin, la Municipalité de Kalundborg est un acteur public qui participe activement au projet industriel. Le fonctionnement de l'écosystème Kalundborg peut être présentée de la manière suivante. L'eau, sous forme liquide ou de vapeur, constitue le déchet valorisé de la manière la plus systématique. Elle provient soit directement du lac Tisso, distant d'une quinzaine de kilomètres, soit du réseau de la municipalité de Kalundborg. La raffinerie de Statoil fournit de l'eau usée pour refroidir la centrale électrique Anaesvaerket. Cette dernière vend de la vapeur à la raffinerie Statoil, à Novo Nordisk (pour ses tours de fermentation), à Gyproc ainsi qu'à la municipalité de Kalundborg pour son réseau de chauffage urbain à distance. La centrale électrique vend même de l'eau chaude à une ferme d'aquaculture qui élève des turbots.

La symbiose de Kalundborg a permis de tirer trois enseignements. Il s'agit avant tout d'un processus spontané, qui s'est progressivement (de 1961 à 2007) mis en place sur des bases commerciales qui satisfont toutes les entreprises (*scénario win-win*). Suren Erkman note que « *les échanges obéissent aux lois du marché* » [1998], p. 26). Chaque livraison de « déchets » entre les partenaires fait l'objet d'une négociation séparée et confidentielle. La symbiose industrielle de Kalundborg apparaît sous la forme d'un « *réseau environnemental* » de plus de 20 accords commerciaux bilatéraux entre 6 firmes et une municipalité. Trois types de projets ont vu le jour : le recyclage de l'eau (12 projets), l'échange d'énergie (6 projets) et le retraitement des déchets (7 projets). Depuis 1996, le « *Symbiosis Institute* » constitue la mémoire vivante de cette réussite industrielle. Ensuite, le succès du système repose sur une bonne communication⁴⁴ entre les partenaires. Christensen ([2006], p. 47-48) met en avant trois facteurs clés : la confiance mutuelle « *Participants must fit, but be different* », la proximité géographique « *There has to be a short physical distance between the participants* », le style de management (partage de certaines valeurs), « *There has to be a short mental distance between the participants* ». Enfin, pour devenir opérationnel, ce système doit être intégré dans l'organisation structurelle

⁴⁴ « *Communication is more important than technology* » (Christensen [2006], p. 48).

des entreprises. Dans le domaine du management, l'écologie industrielle entraîne des conséquences majeures. D'une part, elle remet en cause la focalisation de l'entreprise sur le produit. En effet, il s'agit de donner autant d'importance à la valorisation des déchets. D'autre part, les entreprises doivent établir une sorte de chaîne collaborative pour assurer une gestion optimale des ressources (Esty, Porter, [1998]). Le fait d'optimiser tous les flux de matière et d'énergie mobilisés par les entreprises (de la matière première jusqu'au produit fini) se traduit « *tôt ou tard par une performance et une compétitivité accrue* » (Erkman ([1998], p. 33).

C. Une approche plus radicale, la décroissance

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

- 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). Georgescu-Roegen (1971) a beaucoup fait pour la reconnaissance de la loi d'entropie. Alors que celle-ci concerne habituellement l'énergie, Georgescu-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 Georgescu-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 », Georgescu-Roegen, 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 Georgescu-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]). Huit points sont susceptibles d'atteindre cet objectif : (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 mammoths 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 *cyclodrome 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 Georgescu-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, Serge Latouche (2006) proposera de synthétiser ce changement de cap, par 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 ...

Conclusion

Si le rapport Brundtland a permis dans les années 80 de labelliser le concept de développement durable et de fournir une méthode d'approche intégrant les dimensions économique, écologique et sociale ; on assiste depuis quelques années à une modification de ce modèle. La question énergétique est à l'origine de ce changement. Le développement durable reposerait désormais sur une nouvelle variante (sécurité énergétique, économie et environnement) d'un triptyque dont le cœur est constitué par la société civile. Cette résurgence de la question énergétique est étroitement liée à l'instabilité des cours du pétrole. Ce que l'on a coutume d'appeler le « Peak Oil », tend à focaliser l'attention des conjoncturistes, des analystes financiers et des autorités gouvernementales. Les économistes ont cherché à appréhender ce phénomène en mobilisant une boîte à outils (loi de l'offre et la demande, concurrence, théorie des contrats, approche systémique...) qui s'est révélée jusqu'ici inefficace (dans le sens où elle n'a pas su mobiliser les esprits). Cette foi dans les mécanismes du marché se trouve aujourd'hui contrebalancée par une tentative d'encastrement de l'économie dans l'écologie. L'écologie industrielle et l'écologie politique ont développé des modèles alternatifs, associant les sciences de l'ingénieur à une nouvelle approche de la croissance (on parle également de décroissance). Si l'humanité n'a pas à retourner dans « les

cavernes » comme le soulignait Nicholas Georgescu-Roegen (1995, p. 132), il n'en reste pas moins que certaines mesures devront être prises afin de nous abstenir de causer des dommages inutiles et irréversibles.

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.
- 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.
- Commission des communautés européennes (2002), *L'éco-technologie au service du développement durable*, COM 2002 - 122 final, 26 p.
- 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 Georgescu-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 Georgescu-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 Georgescu-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 Georgescu-Roegen* » Colloque de Reims, journées Hermès, 7 décembre, 8 p.
- 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.
- Frosch R. (1995) « L'écologie industrielle du XXe siècle », *Pour la science*, 217, p. 148-151.
- Frosch 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 Bradshaw 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.
- Georgescu-Roegen N. (1995) « *Demain, la décroissance: entropologie-écologie-économie* », Sang de la Terre.
- Georgescu-Roegen N. (1987) « *Entropy* » in J. Eatwell, M. Milgate, P.K Newman, The New Palgrave, A Dictionary of Economics, vol I, London, Mc Millan Press, (p 153 - 156)
- Georgescu-Roegen N. (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.
- Georgescu-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.
- Georgescu-Roegen N. (1977) « What thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Atlantic Journal Economic*, vol 5, p. 13 - 21.
- Georgescu-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.
- Georgescu-Roegen N. (1976), *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press.
- Georgescu-Roegen N. (1975) « *Bio-Economic Aspects of Entropy* » dans «Entropy and Information in Science and Philosophy » J. Zeman, Amsterdam Elsevier.
- Georgescu-Roegen N. (1971) «*The Entropy Law and the Economic Process* » Cambridge , Harvard University Press.(4ème édition 1981).
- 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.
- Hotelling H. (1931) «The Economics of Exhaustible Resources », *The Journal of Political Economy*, Vol 30, n°2, April, p. 137-138.
- Illich I. (1975), *Energie et Equité*, Seuil.
- Illich I. (1973), *La convivialité*, Seuil.
- Latouche S. (2007), *Petit Traité de la décroissance sereine*, Mille et une nuits.
- Latouche S. (2006), *Le pari de la décroissance*, Fayard.
- 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.
- 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'économie et le vivant*, Payot.

- Rees W., Wackernagel M. (2005), *Notre empreinte écologique*, Ecosociété.
- Sloterdijk 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.
- 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.