

Institut universitaire de formation
des maîtres d'Auvergne



UNIVERSITE BLAISE PASCAL
IUFM AUVERGNE

DU « Education au développement durable »

Cours de Mr DIEMER

UE 2 : FONDEMENTAUX DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Module : Economie

Dossier 3 : Economie des ressources naturelles

Mots clés :

- Approche systémique
- Concurrence
- Développement durable
- Energie
- Fonction de production à facteurs substituables
- Forrester J.
- Hotelling
- Progrès technique
- Rapport Meadows
- Solow R.

PLAN

I. LA REGLE D'HOTELLING

II. HALTE A LA CROISSANCE : LE RAPPORT HALTE A LA CROISSANCE

- A. Le caractère exponentiel de la croissance**
- B. Les limites de la croissance exponentielle**
- C. Les phénomènes de croissance à l'intérieur du système global**
- D. Les conclusions du rapport**

III. LA REPOSE DES ECONOMISTES

IV. L'ENERGIE AU CŒUR DU DEVELOPPEMENT DURABLE

A. La question énergétique : état des lieux

- 1. Deux manières d'aborder la question énergétique
- 2. Outils de l'économiste

B. La hausse du prix du pétrole, une fatalité ou une chance pour le développement durable ?

- 1. Les énergies renouvelables
- 2. Les biocarburants
- 3. L'énergie nucléaire

L'économie des ressources naturelles est une autre réponse à la question environnementale. Cette dernière apparaît alors comme un stock de ressources, renouvelables ou non, qu'il faut gérer de façon optimale à travers le temps. Il s'agit là d'une problématique économique d'allocation intertemporelle des ressources dont les fondements furent posés par Hotelling. Dans les années 70, le rapport *Halte à la croissance* (rapport Meadows) a mis l'accent sur l'épuisement des gisements de ressources naturelles et proposé une refonte de notre modèle de croissance. Ce scénario catastrophe a même trouvé dans les deux chocs pétroliers (1973 – 1979), un terrain fertile à la polémique. La hausse du prix du pétrole traduisait la pénurie de l'or noir et obligeait les différents gouvernements à envisager des solutions alternatives. Les économistes ont répondu à ce scénario catastrophe en s'appuyant sur leur modèle de production à facteurs substituables. Si le prix d'une ressource naturelle augmente (en l'occurrence le pétrole), on remplace cette ressource par un facteur de production abondant et donc peu coûteux. Ce mythe de la croissance illimitée s'appuyait sur un autre mythe, le progrès technique. Les ingénieurs arriveraient toujours à trouver une solution technique de manière à ce que la société continue à croître matériellement. De nos jours, les ressources naturelles posent une réelle question en matière de développement durable, elles placent l'énergie au cœur de nos représentations du développement durable.

I. LA REGLE D'HOTELLING

Les biens qui sont stockables, mais non reproductibles, sont qualifiés de « *ressources épuisables* » (exemple du charbon, pétrole, gaz, minerais...). L'impossibilité de reproduire ces biens (à part lors d'une découverte de nouveaux gisements) amène deux remarques: d'une part les stocks (plus précisément les réserves) sont considérés comme donnés, d'autre part, il existerait un lien étroit entre le taux d'extraction et les ventes de ressources naturelles. En effet, si le taux d'extraction peut être assimilé aux ventes, comme la substitution de productions est impossible, l'entreprise chargée d'exploiter une mine de charbon ou un puits de pétrole, pourra chercher soit à accélérer l'extraction (c'est-à-dire substituer des ventes présentes à des ventes futures), soit à la ralentir (substituer des ventes futures à des ventes présentes). Une entreprise serait ainsi capable d'influencer le prix des ressources naturelles en faisant varier ses ventes via le taux d'extraction. La relation prix - taux d'extraction d'une ressource naturelle a été introduite par Hotelling dans son article « *The Economics of Exhaustible Resources* » (1931) grâce à un parallèle entre la sauvegarde de l'héritage intergénérationnel et l'influence des monopoles. Dans un premier temps, Hotelling s'attaquait à la philosophie du mouvement conservateur américain qui prônait un ralentissement, voire un arrêt de l'extraction des ressources naturelles au moyen d'une augmentation de leurs prix – y compris par le biais de taxes imposées par l'Etat. Ce mouvement remettait en cause le productivisme et le consumérisme de la société américaine, et entendait défendre d'autres valeurs. Il appelait au développement d'une éthique environnementale. Les conservateurs soulignaient la spécificité des ressources naturelles qui réside, selon eux, dans le fait qu'elles sont essentielles à la société industrielle, épuisables et très difficiles à remplacer de manière satisfaisante. Les habituels critères économiques (prix, procédure de maximisation de la valeur présente) ne seraient pas capables de répondre de manière satisfaisante aux exigences des ressources naturelles. Dans un second temps, Hotelling s'attaquait aux situations de monopoles afin de montrer la supériorité en matière de gestion des ressources naturelles de la concurrence réputée pure et parfaite.

Pour répondre à ce double objectif, Hotelling va bâtir une théorie de l'entreprise minière exploitant une ressource non renouvelable, en reprenant les outils et les éléments de la théorie microéconomique du producteur. La ressource apparaît pour le propriétaire de la mine comme un stock de biens qui diminue au fur et à mesure de son extraction. **Gérer de façon optimale**

ce stock revient à déterminer quel flux de ressource lui apportera le plus de revenu sur l'ensemble de la période d'exploitation de la mine. Le propriétaire de la mine est à la recherche du profit maximal qu'il calcule en comparant ses recettes et ses coûts. Hotelling part du principe que les propriétaires d'une ressource naturelle souhaitent toujours maximiser la valeur actuelle de leurs profits futurs.

- En concurrence parfaite, les propriétaires d'une mine sont indifférents entre recevoir maintenant un prix (po) pour une unité de son produit ou recevoir un prix (pt) après un temps t. Dès lors, on peut s'attendre à ce que le prix pt soit une fonction du temps. Hotelling assimile le prix (pt) au prix net, une fois payé le coût d'extraction et placé le bien sur le marché. Dans ces conditions, si les taux d'intérêt varient parmi les propriétaires de mines, ceci affectera également le taux d'extraction. Lorsque le prix (pt) est fixé, les différentes unités de la ressource auront la même valeur (actualisée) en tout point du temps et le propriétaire de la mine ne cherchera pas à jouer sur le taux d'extraction d'une période à l'autre. La valeur de (po) dépendra de la demande et de la quantité totale disponible de la ressource. Dès lors, le prix net évoluera en fonction des variations du taux d'intérêt, dont les déterminants sont indépendants du produit en question, de l'industrie concernée, et des variations de la production de la mine. De là, la rente de l'entreprise devrait augmenter avec le taux d'intérêt (en d'autres termes, la valeur actuelle du prix net est une fonction croissante du taux d'intérêt). **Ainsi la condition d'équilibre, baptisée, règle de Hotelling, stipule que le prix de la ressource naturelle et donc la rente qui lui est attachée, doit croître à un taux égal à celui du taux d'actualisation (taux d'intérêt).**

- Dans le cas du monopole, Hotelling avance qu'une entreprise peut influencer le prix en faisant varier son taux d'extraction (c'est-à-dire ses ventes). Cette dernière cherchera à maximiser la valeur présente de ses profits futurs. C'est ici le profit marginal de la ressource naturelle (à mettre en rapport avec la recette marginale) et non le prix qui doit croître en fonction du taux d'intérêt. Le prix diminuera plus ou moins rapidement en fonction de la relation prix-recette marginale.

Au total, la démonstration fût faite qu'à un rythme optimal d'évolution du prix d'une ressource naturelle, est associé un sentier optimal d'épuisement de cette ressource.

II. HALTE A LA CROISSANCE : LE RAPPORT MEADOWS (1972)

Le Club de Rome a demandé en août 1970 au Groupe d'étude de dynamique des systèmes du MIT d'entreprendre l'étude des tendances d'un certain nombre de facteurs qui déréglaient la société. Ce groupe a cherché à définir les limites matérielles qui s'opposaient à la multiplication des hommes et les contraintes résultant de leurs activités sur la planète.

La problématique des auteurs du rapport Meadows (1972), au titre évocateur « *Halte à la croissance* » fût ainsi définie de la manière suivante : « *Dans ce contexte, partout les hommes sont confrontés à des théories de problèmes étrangement irréductibles et tout aussi insaisissables : détérioration de l'environnement, crise des institutions, bureaucratie, extension incontrôlable des villes, insécurité de l'emploi, aliénation de la jeunesse, refus de plus en plus fréquent des systèmes de valeurs reconnus par nos sociétés, inflation et autres dérèglements monétaires et économiques... Ces problèmes en apparence différents ont en commun, trois caractéristiques. Premièrement, ils s'étendent à toute la planète et y apparaissent à partir d'un certain seuil de développement quels que soient les systèmes sociaux ou politiques dominants. Deuxièmement, ils sont complexes et varient en fonction d'éléments techniques, sociaux, économiques et politiques. Finalement, ils agissent fortement les uns sur les autres et cela d'une manière que nous ne comprenons pas encore* » (1972, p 139). Afin d'obtenir une évaluation générale de la situation du monde, le groupe du MIT a

choisi une méthode analytique spécifique, mise au point par Forrester (1971), **la dynamique des systèmes**. Cette dernière permettrait une représentation graphique ou numérique de toutes les relations planétaires, en termes facilement compréhensibles. L'objectif principal du MIT était ainsi la reconnaissance dans un contexte mondial des interdépendances et interactions de 5 facteurs critiques : explosion démographique, production alimentaire, industrialisation, épuisement des ressources naturelles et pollution

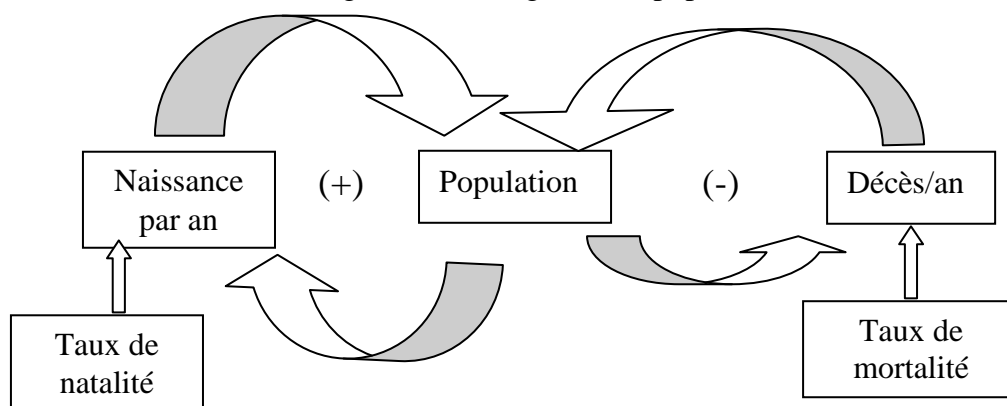
A. Le caractère exponentiel de la croissance

Pour les auteurs du MIT, dès que l'on aborde les problèmes relatifs aux activités humaines, on se trouve en présence de phénomènes de nature exponentielle. Les cinq paramètres de l'étude : population, production alimentaire, industrialisation, pollution et utilisation des ressources naturelles non renouvelables, évoluent selon une progression géométrique¹. La quasi totalité des activités humaines, qu'il s'agisse du développement des centres urbains ou de la consommation d'engrais, obéissent à cette loi. La croissance exponentielle est un phénomène dynamique : elle met en jeu des éléments qui changent en fonction du temps. Mais, quand plusieurs quantités différentes en nature croissent simultanément au sein d'un même système, quand en outre, ces quantités ont entre elles des relations complexes, l'analyse des causes de la croissance et du comportement ultérieur du système deviennent très difficiles.

La méthode de la dynamique des systèmes « met en évidence les nombreuses relations entre éléments, formant des boucles avec couplage, et pour certaines à effets décalés dans le temps » (1972, p 153). Ainsi une boucle positive (boucle d'amplification) apparaît à chaque fois que l'on rencontre une quantité variant exponentiellement. Cette boucle positive est en quelque sorte un cercle vicieux (exemple bien connu de la boucle prix-salaires). Dans une boucle positive, toute séquence de relations de cause à effet aboutit fatalement à son point de départ : tout accroissement donné à l'un des éléments quelconque de la boucle amorcera une suite logique de modifications dont le résultat final se traduira par une augmentation encore plus grande de l'élément de départ. Une boucle négative a un rôle régulateur. Elle vise à maintenir à un niveau constant une fonction qui tend à croître ou à décroître. Elle agit donc en sens inverse de la variation de la fonction

Illustration 1: La croissance de la population humaine obéit à une loi exponentielle (suite géométrique selon Malthus). La structure du système qui traduit la dynamique de la croissance de la population est schématisée ci-dessous.

Fig 2 : boucle régissant la population



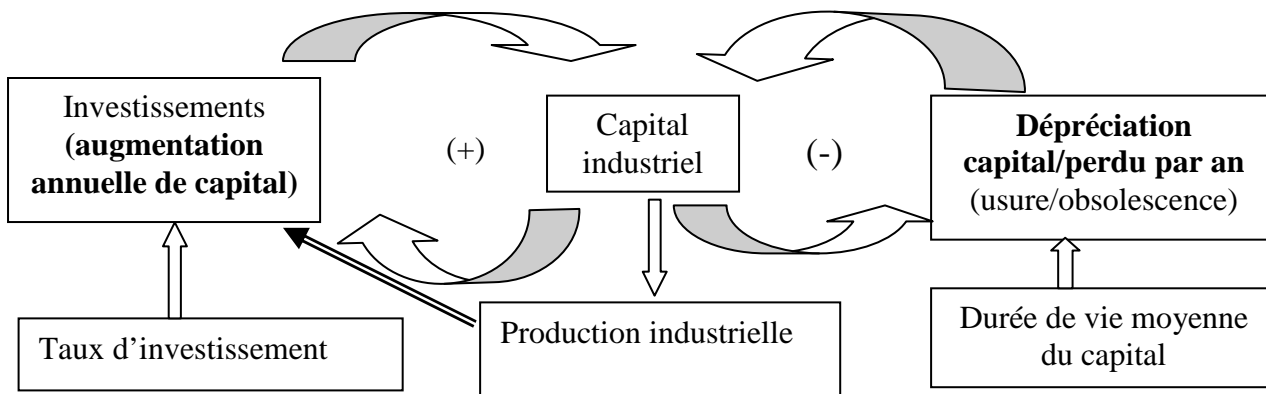
¹ Une quantité croît exponentiellement si elle augmente d'un % constant au cours d'un intervalle de temps donné.

Ce système a deux boucles. Celle de gauche est positive. Elle représente ce que l'on peut déduire de la courbe de croissance exponentielle observée : étant donnée une population à taux de natalité constant, plus cette population est élevée, plus le nombre de naissances annuelles sera élevé. Celle de droite est négative. L'évolution d'une population est fonction du taux moyen de mortalité lequel reflète l'état global de santé d'une population. La mortalité tend à réduire l'accroissement de population. A taux de mortalité constant, un accroissement de la population tend à accroître la mortalité annuelle en valeur absolue. Un nombre accru de décès diminue la population ce qui – toujours à taux de mortalité constant – provoquera l'année suivante, un nombre de décès inférieur à l'année précédente.

Selon les auteurs du rapport Meadows (1972), l'espérance moyenne de vie, à l'échelle planétaire, était de 53 ans, et devait croître. En termes de moyennes mondiales, l'allure de la boucle positive (natalité) ne paraît pas devoir subir de modifications sensibles. En revanche, les effets cumulatifs dus à la boucle négative (mortalité) vont être considérablement réduits. Il en résulte un bilan nettement positif qui explique la croissance exponentielle rapide de la population globale.

Illustration 2 : la production industrielle, second facteur essentiel de l'étude, a connu une évolution encore plus rapide que la population. En prenant pour base l'indice 100 en 1963, on serait passé de 30 au cours de la décennie 1930-1940 (avec une forte chute en 1932 et une légère pointe en 1937), à 50 en 1950, 70 en 1958 pour aboutir à 140 en 1968. Le taux de croissance moyen s'est élevé à 7% entre 1963 et 1968, et le temps de doublement n'a été que de 10 ans (1958-1968). La structure du système qui traduit l'évolution du capital industriel (biens d'équipement, usines, véhicules, machines, outils...) se décompose de la manière suivante :

Fig 3 : boucle régissant le capital



L'évolution de ce capital industriel est également régie par deux boucles. Avec un capital industriel donné, il est possible de produire chaque année une certaine quantité de produits manufacturés. Une bonne partie des biens produits chaque année sont des biens de consommation (textiles, voitures...) qui sortent du circuit (consommation finale). En revanche, une autre partie de la production équivaut à un apport complémentaire de capital puisqu'elle sert à produire à nouveau (machines à tisser, laminoirs, machines-outils). Cette dernière partie de la production constitue **les investissements**. Ces investissements caractérisent une boucle positive : « Plus le capital initial est élevé, plus il produit ; plus il produit, plus il permet d'investir et plus il permet d'investir, plus il s'accroît » (1972, p 159). Dans ce système, le temps de réponse est le délai nécessaire à la formation de nouveaux investissements, sources de nouveaux produits. Ce temps de réponse peut parfois être long : c'est une des caractéristiques des investissements à moyen et long terme.

La boucle négative souligne que le capital industriel n'est pas éternel. Il se déprécie et meurt. Dans ce cas, il est perdu en tant qu'outil de production : « *Plus le capital est important, plus la dépréciation moyenne annuelle est grande et plus grande est la dépréciation, moins il reste de biens d'équipements l'année suivante* » (1972, p 159)

Comme le taux de croissance de la production industrielle est de 7% par an, et que la population ne s'accroît que de 2%, le caractère dominant de la boucle positive paraît autoriser l'optimisme. Selon les auteurs du rapport, une simple extrapolation de ces taux de croissance tendrait à démontrer « *que le niveau de vie matériel de la population mondiale doublera d'ici 14 ans à condition toutefois que cette production soit équitablement répartie entre les citoyens du monde entier, ce qui est loin d'être le cas. La plus large part de la croissance économique ne concerne, en fait, que les pays déjà industrialisés pour lesquels le taux de croissance de la population est relativement faible* » (1972, p 160).

B. Les limites de la croissance exponentielle

La liste des moyens permettant de maintenir la croissance économique et la croissance de la population jusqu'en 2000 et au delà, peut être divisée en deux grandes catégories :

- Les moyens matériels indispensables à la satisfaction des besoins physiologiques et au soutien des activités industrielles : produits alimentaires, matières premières, combustibles naturels, ainsi que les systèmes écologiques de la planète qui absorbent les déchets et recyclent les substances chimiques importantes.
- Les nécessités sociales : même si les systèmes purement physiques de notre globe étaient capables de supporter une population beaucoup plus nombreuse et, économiquement, beaucoup plus développée, la croissance effective de la population et de l'économie dépendra de facteurs tels que la paix, la stabilité sociale, l'éducation, l'emploi et l'évolution contrôlée du progrès technique. Selon les auteurs du rapport Meadows, ces facteurs « *sont plus délicats à évaluer que les facteurs matériels. Ni le rapport, ni même le modèle global en son état actuel ne peuvent traiter explicitement de ces données sociologiques* » (1972, p 165).

1. Les produits alimentaires

Les estimations de la FAO à cette époque, faisaient ressortir une carence fondamentale en calories dans la plupart des nations en voie de développement, carence liée au manque de protéines. Les études démontraient par ailleurs que la surface totale de terres susceptibles d'être cultivées n'excédait pas 3,2 milliards d'hectares (environ la moitié des terres étaient alors cultivées). Pour défricher, irriguer et fertiliser la seconde moitié, le coût moyen avait été estimé à 1150 \$ à l'hectare.

Les auteurs notaient que même si la société acceptait de payer le prix de la mise en valeur de nouvelles terres ou d'une amélioration des rendements, un nouvel accroissement de la population amènerait une nouvelle crise. Chaque crise successive serait plus dure à surmonter. Toute duplication du rendement de la terre coûterait plus cher que la précédente (loi des coûts croissants) : « *La production de denrées alimentaire que l'on peut espérer dans l'avenir dépend des terres disponibles, des ressources en eau douce mais aussi des investissements consacrés à l'agriculture. Ces investissements, à leur tour, sont liés à une autre boucle positive dominante, celle des investissements globaux* » (1972, p 173).

2. Les ressources non renouvelables

A partir des estimations d'indices statistiques - S représentant le nombre d'années à l'issue desquelles les réserves actuellement connues seraient épuisées si la consommation annuelle des ressources se maintenait au taux actuel ; I correspondant au temps nécessaire à l'épuisement des réserves globales connues en supposant une augmentation annuelle du taux de consommation égale au % moyen -, le rapport Meadows insiste sur le fait que même si l'on tenait compte de facteurs économiques tels que la hausse des cours, corrélat de la raréfaction, on pourrait voir, que les réserves de platine, or, zinc seront insuffisantes pour faire face à la demande : *«Au taux actuel d'expansion, l'argent, l'étain et l'uranium pourront manquer avant la fin du siècle nonobstant la hausse inévitable des prix de revient. En 2050, d'autres gisements de minerais seront épuisés si la consommation annuelle se poursuit au rythme actuel »* (1972, p 173). La croissance exponentielle de la consommation de ressources non renouvelables serait liée à l'effet conjugué de deux boucles positives : croissance de la population et croissance des investissements. En outre, l'utilisation exponentielle des ressources naturelles diminuerait les réserves disponibles.

Illustration : Le rapport Meadows s'appuie sur le chrome pour préciser ses conclusions. Les réserves connues de chrome étaient évaluées à 775 millions de tonnes. Le taux d'extraction du chrome était de 1,85 millions de tonnes par an. Si ce taux était maintenu, les réserves seraient épuisées en 420 ans. La consommation de chrome augmentant de 2,6% en moyenne par an, les réserves pourraient être épuisées non pas en 420 ans mais en 95 ans. En supposant que les stocks, par suite de découvertes miraculeuses, soient 5 fois plus élevés que ne l'indiquent les estimations, ils seraient épuisés en 154 ans au lieu de 95 ans (année 2014). Enfin, si l'on supposait qu'à partir des années 70, il était possible de recycler intégralement le chrome utilisé, et de cette manière, reconstituer les réserves initiales : par suite de l'accroissement de la consommation, l'épuisement des réserves initiales se produirait au bout de 235 ans.

Interprétation : Au début la consommation annuelle croît exponentiellement et l'on entame largement les réserves. Pendant un certain temps, les prix restent stables par ce que les progrès de la technologie permettent de tirer le meilleur parti des minerais moins riches. Toutefois, la demande continuant à croître, les progrès techniques ne sont pas assez rapides pour compenser les coûts croissants qu'imposent la localisation des gisements moins accessibles, l'extraction du minerai, son traitement et son transport. Les prix montent, doucement d'abord, puis en flèche. Ces prix plus élevés incitent les consommateurs à utiliser moins de chrome et à lui substituer dans la mesure du possible d'autres matériaux. Au bout de 125 ans, les réserves résiduelles, environ 5% des réserves initiales, ne peuvent fournir le métal qu'à un prix prohibitif et l'exploitation des derniers gisements est pratiquement abandonnée. L'influence des paramètres économiques permettrait donc, dans le cas du dernier modèle plus perfectionné de reculer de 30 ans (125 ans au lieu de 95) la durée effective des stocks de chrome tels qu'ils ont été évalués en 1970.

Les auteurs font les mêmes projections pour les autres matières, ainsi les réserves d'aluminium ne dureraient pas plus de 31 ans (en d'autres termes, elles ne devraient plus exister aujourd'hui), et éventuellement 55 ans si l'on multipliait par 5 le chiffre du stock actuellement connu. Dans le cas du cuivre, on obtiendrait respectivement 36 et 48 ans. A travers ces exemples, le rapport Meadows conclut *« qu'étant donné le taux actuel de la consommation des ressources naturelles et l'augmentation probable de ce taux, la grande majorité des ressources naturelles non renouvelables les plus importantes auront atteint des prix prohibitifs avant qu'un siècle ne se soit écoulé »* (1972, p 182). Cette conclusion ne saurait être remise en cause quelles que soient les hypothèses les plus optimistes quant aux réserves encore inconnues, aux progrès techniques susceptibles d'être réalisés, à la découverte

de produits de substitution et au recyclage des matériaux tant que la demande continuera à croître exponentiellement.

3. La pollution

Les métaux et les combustibles utilisés ne sont jamais perdus. Leurs atomes sont redistribués et éventuellement dispersés sous forme diluée, et non immédiatement utilisable, dans l'air, le sol et les eaux de notre planète. Les systèmes écologiques naturels peuvent en absorber une bonne part. Cependant, si ces déchets sont produits en très grandes quantités, les mécanismes naturels d'absorption peuvent être saturés. C'est ainsi que l'on retrouve le mercure dans l'organisme des poissons de mer, les particules de plomb dans l'air des villes, les coulées de pétrole sur les plages et des immondices dans les montagnes. Une autre grandeur exponentielle du système global intervient ici : **la pollution**. Tous les polluants qui ont pu faire l'objet de mesures, ont vu leur importance croître exponentiellement avec le temps. Les polluants issus de l'utilisation croissante de l'énergie, peuvent être estimés d'après le montant de la consommation individuelle moyenne d'énergie. Cette moyenne individuelle, à l'échelon mondial, augmentait de 1,3% par an. En tenant compte de la poussée démographique, on obtient un chiffre de 3,4% par an. Les auteurs notent que 97% de l'énergie utilisée dans les années 70 provenait de combustibles fossiles : charbon, hydrocarbures, gaz naturels. Brûlés, ces combustibles laissent échapper dans l'atmosphère, de l'anhydride carbonique (CO²), environ 20 milliards de tonnes par an. La loi de concentration de CO² dans l'atmosphère est également exponentielle (le taux d'accroissement moyen étant de 0,2%).

En vertu des lois de la thermodynamique, la majeure partie de l'énergie utilisée par l'homme est restituée au milieu ambiant sous forme de chaleur. Venant d'une source d'énergie autre que le rayonnement solaire, cette chaleur réchauffe l'atmosphère soit directement, soit par l'intermédiaire des fluides de refroidissement (généralement l'eau²). L'énergie nucléaire engendrerait, quant à elle, un autre type de polluant : les déchets radioactifs. L'anhydride carbonique, l'énergie thermique et les déchets radioactifs ne constituent que trois des éléments perturbateurs que l'homme introduit dans son environnement à un rythme exponentiel.

C. Les phénomènes de croissance à l'intérieur du système global

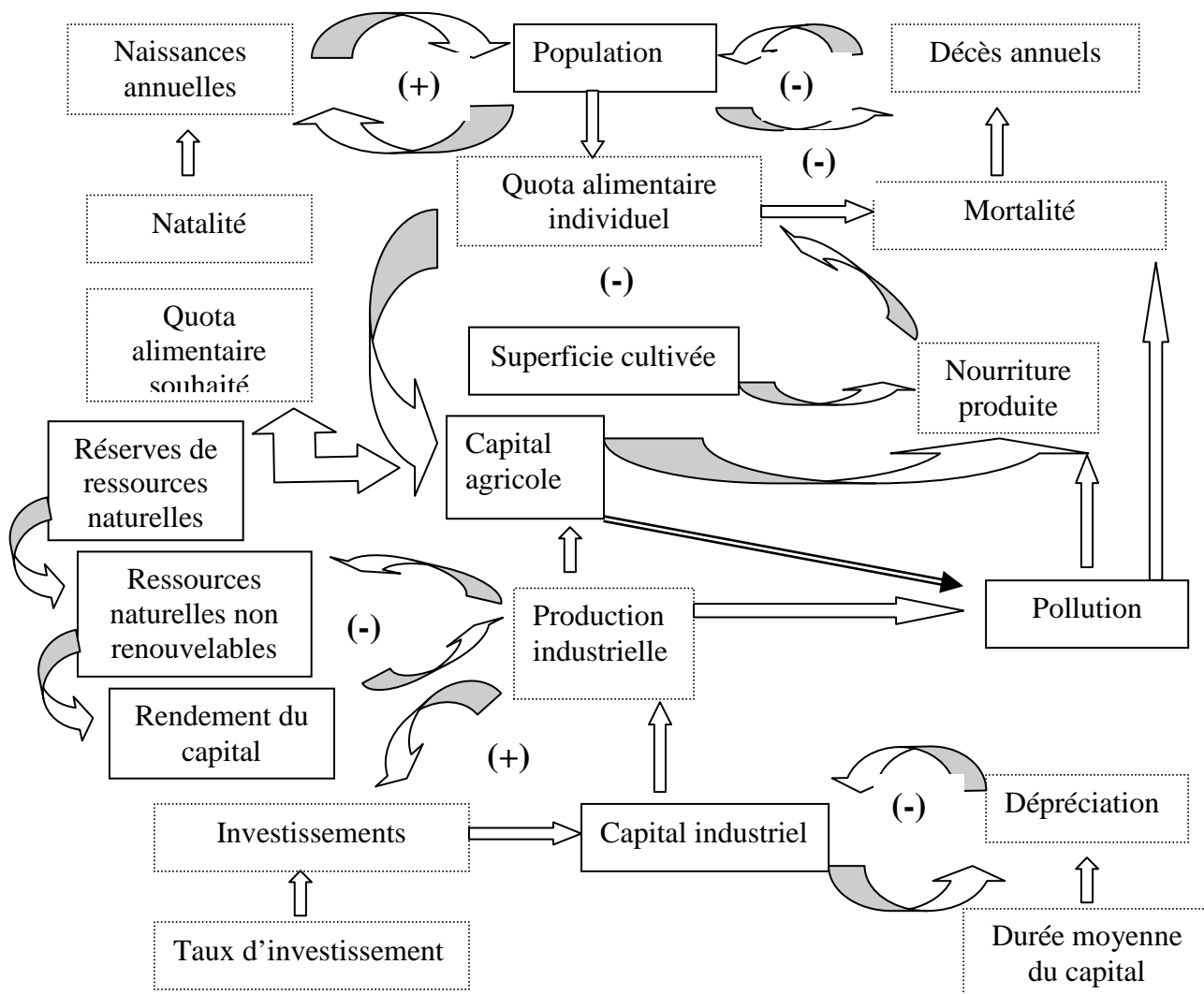
Les 5 grandeurs fondamentales (population, investissements, nourriture, ressources naturelles et non renouvelables, pollution) sont liées les unes aux autres par un réseau de relations et de boucles. Ainsi la population plafonne si la nourriture manque, augmenter la production de denrées alimentaires demande des investissements, la croissance des investissements implique l'utilisation de ressources naturelles, l'utilisation de ressources naturelles engendre des déchets polluants et la pollution interfère à la fois avec l'expansion démographique et la production alimentaire. Les auteurs du rapport se sont intéressés aux modes généraux de comportement du système population-investissements. Par modes de comportement, ils entendent « *les tendances aux variations des niveaux (population, pollution...) en fonction du temps. Une fonction peut croître, décroître, demeurer constante, osciller ou présenter successivement plusieurs de ces divers caractéristiques* » (1972, p 201). L'objectif est alors de déterminer lequel des modes de comportement est le plus caractéristique du système global lorsque l'on se rapproche des limites ultimes de la croissance.

² Cette eau de refroidissement est généralement rejetée dans les rivières, on parle alors de pollution thermique.

1. Le réseau des boucles

De nombreuses interactions se produisent entre la population et les investissements. Une partie de la production industrielle est constituée par des matériels, matériaux ou produits utilisés à des fins agricoles : tracteurs, canaux ou conduites d'irrigation... Le montant des capitaux investis dans l'agriculture et la superficie des terres cultivées ont une influence marquante sur la quantité de nourriture produite. Le quota alimentaire individuel (quotient de la masse globale de nourriture produite par le chiffre de la population) agit sur le taux de mortalité. Les activités industrielles et agricoles peuvent toutes deux être cause de pollution (dans l'agriculture, il s'agit des polluants tels que les résidus de pesticides, DDT, engrais, dépôts salins résultant d'une irrigation inadéquate). La pollution peut avoir un effet direct sur la mortalité et aussi un effet indirect en ce sens qu'elle diminue la production agricole. La figure suivante insiste sur plusieurs boucles importantes.

Fig 4 : Boucles régissant la population, le capital, la production agricole et la pollution

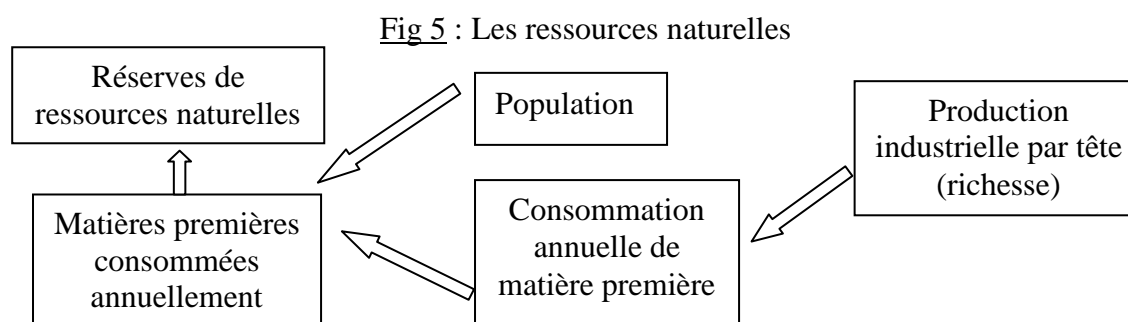


Selon l'hypothèse *Ceteris Paribus*, un accroissement de la population entraînerait une diminution de la ration alimentaire individuelle moyenne, un accroissement du taux de mortalité et, en valeur absolue, du nombre des décès à l'intérieur de cette population, et

pourrait conduire à une diminution de la population (boucle négative). Selon les auteurs du rapport, une autre boucle négative tend à contrebalancer les effets de la première : «*Si la ration individuelle tombe en deçà de la valeur souhaitée par la population, on aura tendance à accroître la fraction des investissements consacrés à l'agriculture, de sorte que la production agricole et par la suite la ration alimentaire individuelle pourront croître*». (1972, p 208).

2. Les hypothèses du modèle

Les auteurs du rapport Meadows ont cherché à évaluer les conséquences des variations de la population et des capacités de production sur différentes variables, en l'occurrence la consommation par tête de ressources naturelles. Il est possible de calculer la quantité de ressources naturelles consommées chaque année en multipliant le chiffre de la population par la consommation moyenne de chaque individu. Cette consommation moyenne n'est naturellement pas une constante. Au fur et à mesure qu'une population s'enrichit, elle a tendance à consommer davantage par personne et par an.



La relation entre la richesse (production industrielle par tête) et la demande de matières premières (consommation par individu) serait exprimée par une courbe non linéaire. L'historique de la consommation de l'acier et du cuivre aux Etats Unis semblerait confirmer le sens de cette relation. Au fur et à mesure que s'accroissait le revenu individuel moyen, la courbe de consommation s'élevait dans les deux cas, d'abord rapidement, puis lentement. Le palier final vers lequel tend la courbe signifierait que l'américain moyen aurait atteint le seuil de saturation de biens matériels. Les augmentations ultérieures de revenus seront toutefois de moins en moins consacrées aux biens de consommation de ce type, mais de plus en plus aux services lesquels consomment moins de ressources naturelles.

D. Les conclusions du rapport

Pour les auteurs du rapport, le système global tendrait inéluctablement vers une surchauffe suivie d'un effondrement. **La cause de cet effondrement est la disparition de matières premières.** A partir du moment où les investissements nécessaires pour maintenir un certain niveau de production ne peuvent plus compenser la dépréciation du capital, tout le système de la production industrielle s'effondre et entraîne l'effondrement des activités agricoles et des services dépendant de la production industrielle. Pendant un certain temps, la situation est extrêmement dramatique, car la population, compte tenu du temps de réponse relativement long, continue à croître. Un réajustement progressif, mais vraisemblablement à un niveau plus bas ne pourra se produire qu'après une période de recrudescence de la mortalité par suite de carence alimentaire et de détérioration des conditions d'hygiène et de prophylaxie : «*Cela nous permet d'affirmer avec une quasi-certitude que, au cas où aucun changement n'interviendrait dans notre système actuel, l'expansion démographique et l'expansion*

*économique s'arrêteraient au plus tard au cours du siècle prochain (avant l'an 2100, précisera le rapport) » (1972, p 232). Le système s'effondre par suite d'une pénurie de matières premières. 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.** Le taux de mortalité monte rapidement sous l'action conjointe des polluants et du manque de nourriture. A la même époque, les ressources s'épuisent dangereusement, bien que les réserves initiales aient été doublées, tout simplement parce que quelques années supplémentaires de consommation suivant une loi exponentielle ont été suffisantes pour accélérer leur disparition : « *L'avenir de notre monde sera-t-il caractérisé par une croissance exponentielle suivie d'un effondrement ? Si nous nous contentons de l'hypothèse selon laquelle rien ne sera changé à la politique actuelle, cela deviendra une certitude* » (1972, p 234).*

III. LA REPOSE DES ECONOMISTES

A la logique explosive du rapport Meadows, les économistes opposèrent la prétendue vertu stabilisatrice des lois de l'offre et la demande. L'article de **Robert Solow** (1974), *The economics of Resources of the Resources of Economics*, **réaffirme le rôle central du système des prix de marché.** Les ressources naturelles furent assimilées à du capital dans les théories de la croissance. Il a suffi de raisonner à partir d'une traditionnelle fonction de production macroéconomique censée exprimée les contraintes technologiques auxquelles est soumise l'économie : les ressources naturelles y sont considérées comme un facteur de production, une sorte de capital naturel, qui prend place à côté du capital conventionnel et du travail. **Une des dimensions essentielles de la discussion portant sur la poursuite de la croissance résidera dans le progrès technique et les possibilités de substitution entre facteurs de production macroéconomiques :** si l'élasticité de substitution par rapport au prix est forte, l'épuisement de certaines ressources naturelles sera un événement parmi d'autres et non une catastrophe.

Dès lors, dans un système de prix conventionnel, la substitution entre les facteurs de production et le progrès technique permettront de maintenir la productivité de l'appareil de production et assureront une croissance « *durable* » malgré l'épuisement inéluctable de certaines ressources naturelles. Les générations futures disposeront certes de moins de capital naturel, mais en contrepartie recevront en héritage un volume de capital créé par l'homme (capital technique, capital humain), beaucoup plus important, ce qui leur permettra de maintenir leur niveau de vie. En plus de l'efficacité, les auteurs néoclassiques, tel que Solow (1974) entendent garantir l'équité intergénérationnelle. Il suffit pour cela (d'après la règle d'Hartwick, 1977) que toutes les rentes issues de la gestion intertemporelle optimale de l'épuisement des ressources naturelles soient investies dans du capital reproductible qui doit se substituer aux ressources naturelles utilisées dans la production. Ainsi, l'idée qu'à long terme l'économie tend naturellement vers un sentier de croissance équilibrée s'est trouvée réaffirmée au milieu des années 70 face aux tenants de la croissance zéro.

IV. L'ENERGIE AU CŒUR DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Durant les années 2000, le cadre de référence d'une part, la problématique d'autre part, vont 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, dénaturaion 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 énergies). 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...) 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.

³ Divers scénarii ont été présentés pour des évolutions tendancielles 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.

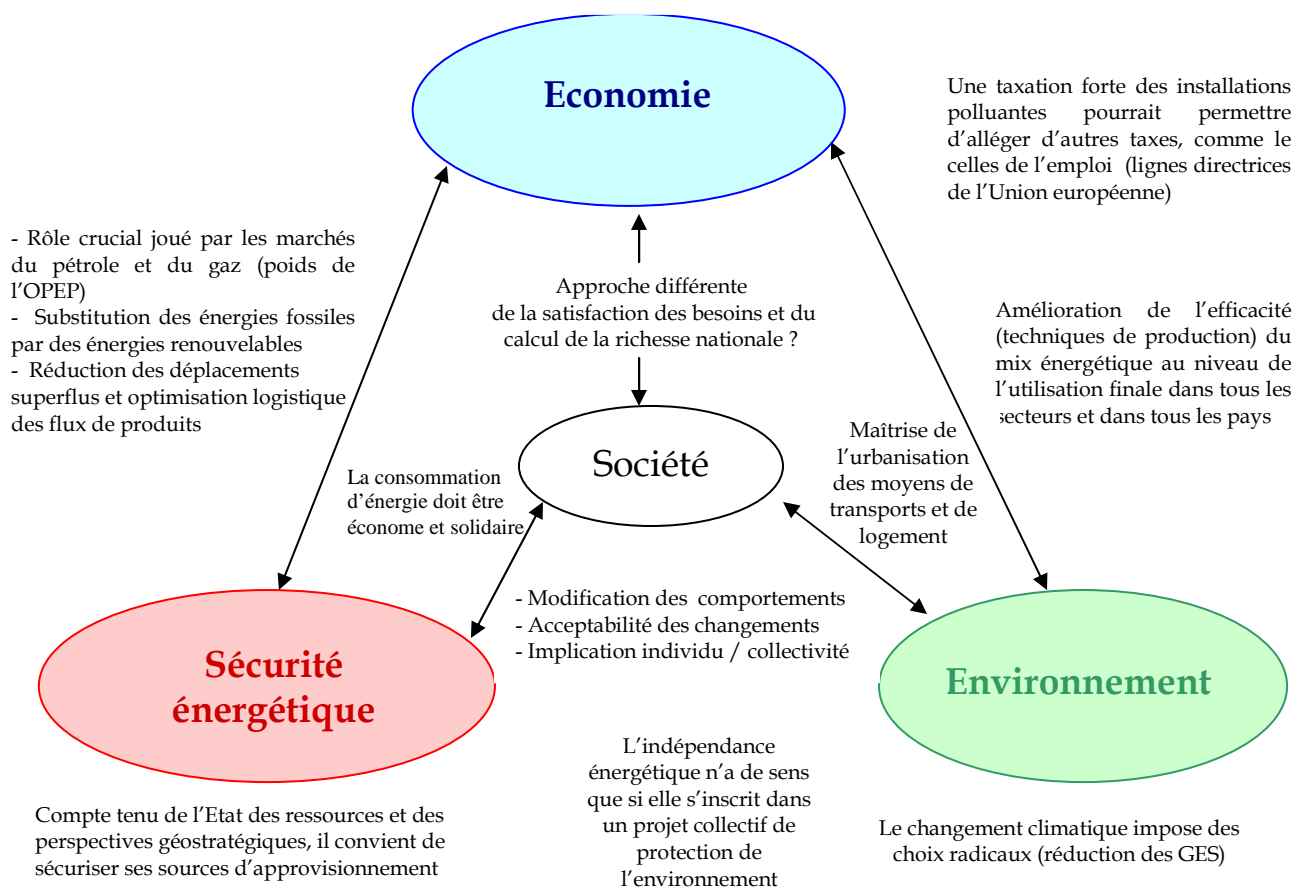
⁴ La Commission européenne a décidé de baisser les quantités de CO² que les entreprises pourront émettre à l'avenir et d'élargir les obligations à de nouveaux secteurs, comme l'aluminium et à de nouveaux gaz à effets de serre (monoxydes et dioxydes d'azote). En outre, les quotas ne seront plus attribués 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.

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 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...).

B. La question énergétique : état 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. 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.

1. 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

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)

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 : *Moutain 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 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'équilibrage 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.

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%).

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...

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



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

(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* ».

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%

(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

2. 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 :

(i) 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.

(ii) 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 terme – relatifs à un système complet de marchés, présents et futurs – constituent des outils de couverture, d'arbitrage mais également de

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.

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.

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 économiques.

(iii) 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 Etats¹⁶, 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 africains¹⁷). 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.

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

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

→ Les événements politiques : dans un contexte de tension du marché, il y a peu de marges de manœuvre. Le moindre événement 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 WTI¹⁸ 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

¹⁶ En Amérique Latine, Hugo Chavez (président du Venezuela, 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 Venezuela a ainsi développé des coopérations bilatérales qui échappent au marché pétrolier mondial. Dans le cadre de l'initiative Bolivarienne pour les Amériques, le Venezuela 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 Venezuela).

¹⁷ 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...).

¹⁸ 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.

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 événements 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 gazole¹⁹) ; *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.

- 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.

B. La hausse du prix du pétrole, une fatalité ou une chance pour le développement 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 pétrole²⁰ et de gaz²¹ non rentables le deviennent) et à remettre en activité certaines énergies fossiles (exemple du charbon en Allemagne²², en Chine, aux Etats-Unis et en France).

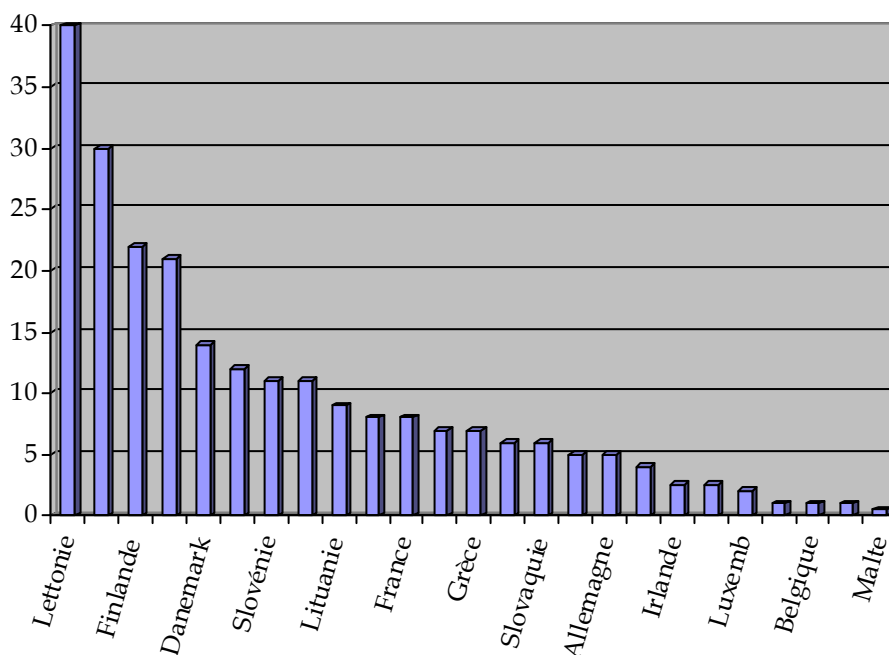
¹⁹ En France, la TIPP atteint 42,58 centimes d'euro par litre de gazole contre 30,11 centimes en Belgique et 30,20 en Espagne.

²⁰ 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

1. Les énergies renouvelables

Les marchés des énergies renouvelables affichent aujourd’hui des taux de croissance supérieurs²³ 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)

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.

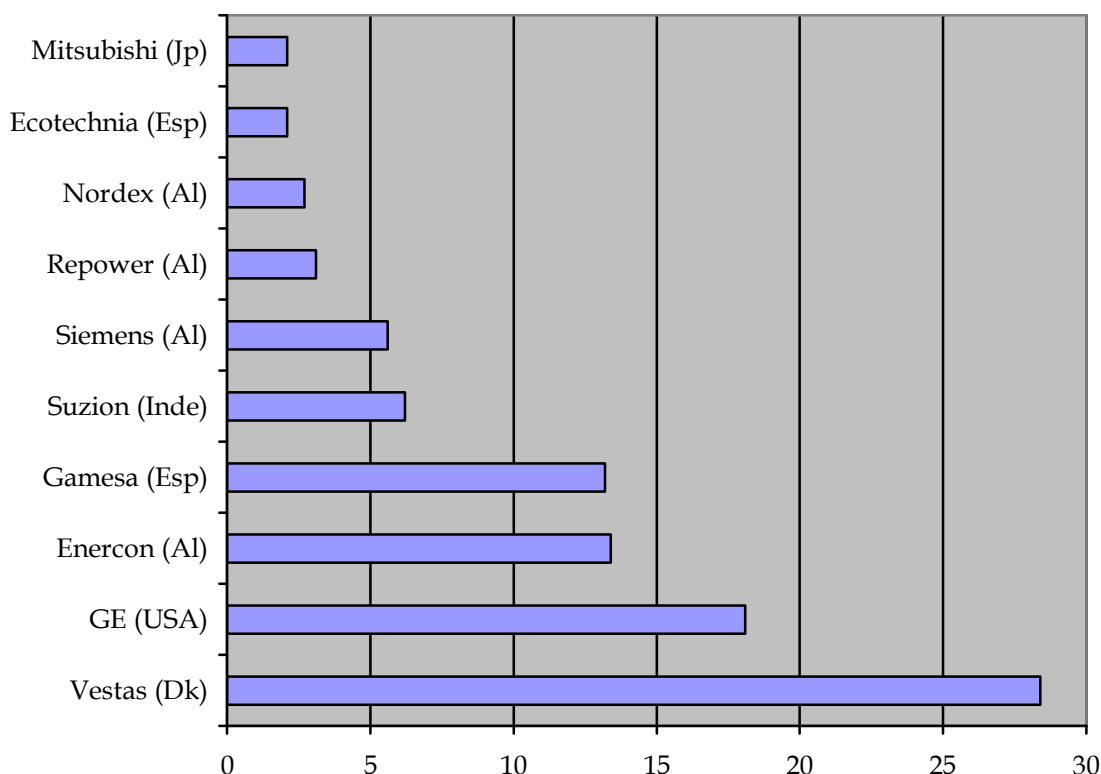
²¹ Le prix du gaz suit le prix du pétrole. Une augmentation du prix du pétrole peut donc relancer les projets d’investissement et de forage de gisements gaziers. En septembre 2007, la Norvège a mis en fonction son immense gisement gazier d’Ormen Lange, qui fera du pays le deuxième exportateur mondial 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.

²² 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 amplement pourvue). L’un des projets se situe à Endorf, d’une puissance de 1600 MW, il devrait être 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).

²³ Le marché mondial du solaire photovoltaïque serait passé de 1780 à 2500 MW (croissance de 40%).

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'Europe²⁴ et d'un 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 entreprise²⁵ 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 potentiel²⁶ 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

²⁴ 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 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.

²⁵ 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.

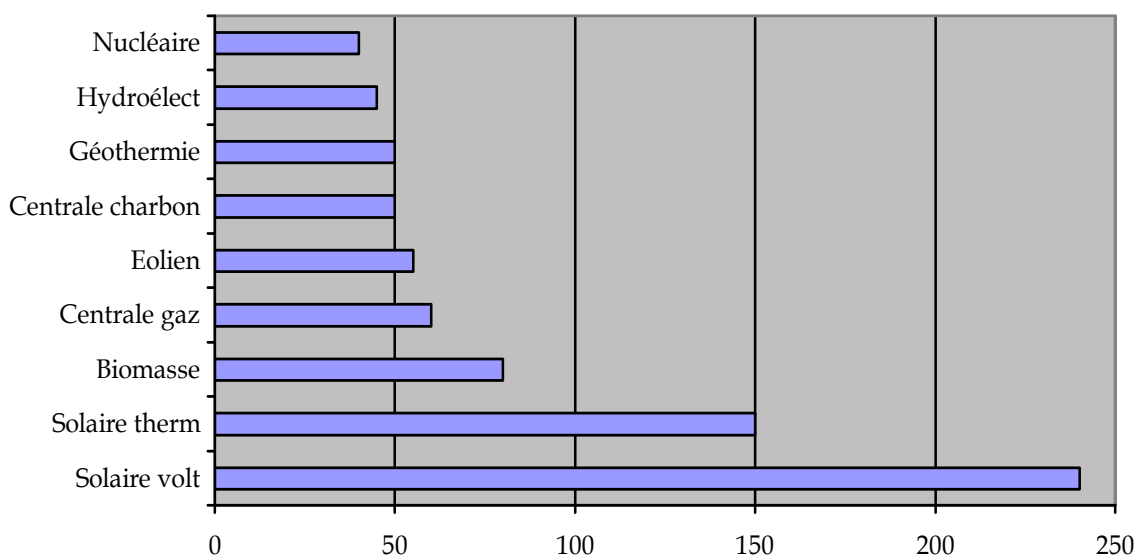
²⁶ La France, qui possède de nombreux sites ventés et ensoleillés, aurait un potentiel inexploité.

chaque état à augmenter sa part²⁷ dans l'énergie renouvelable pour atteindre l'objectif de 20% (soit une hausse de 11.5 points). Le 24 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 décreue des prix des énergies nouvelles est tout de suite enrayée. 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

²⁷ 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.

(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'emploi²⁸, 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 Etat²⁹ (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 garanti³⁰ 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 problème de la disponibilité des terres agricoles et de la concurrence entre terres agricoles dédiées aux cultures alimentaires et terres agricoles dédiées aux cultures énergétiques³¹ ; 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

²⁸ 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.

²⁹ 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).

³⁰ 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.

³¹ 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).

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 France³² (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 triturateurs. 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 triturateur 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 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'Ethanol, 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 génération³³ (Stauder, 2006).

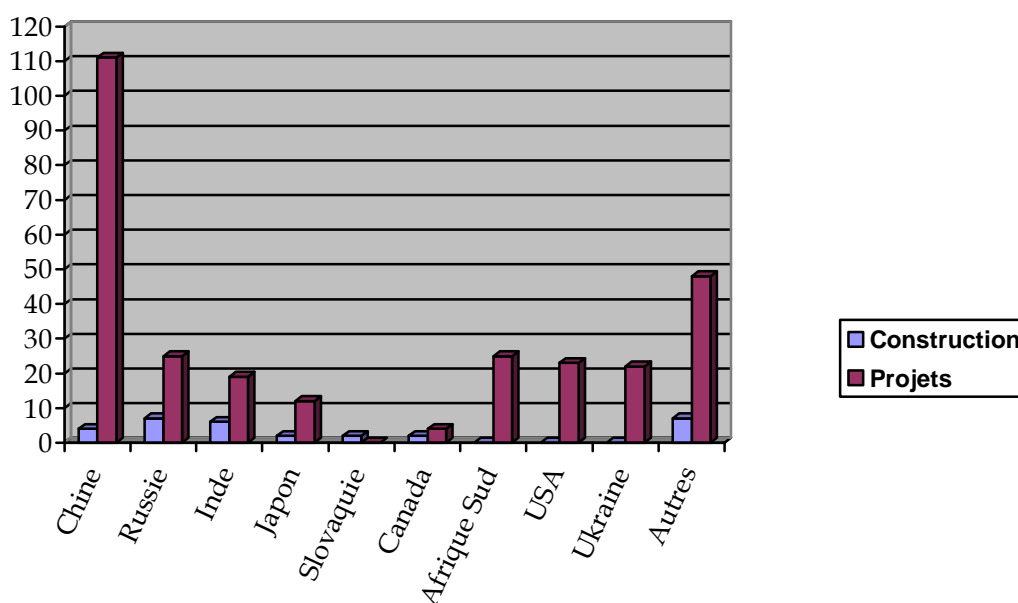
³² L'axe Rhin-Moselle facilite l'approvisionnement des usines situées à l'Est du Pays, et relativement éloignées des principales zones de production.

³³ 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.

3. L'énergie nucléaire

Le nucléaire, principale source d'énergie en France³⁴, 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 prix³⁵ (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 USA³⁶ (août 2007) et 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 vingtaine³⁷.

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

³⁴ 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).

³⁵ Précisions que cette évaluation ne tient pas compte du coût du risque !

³⁶ 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.

³⁷ 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.

et RWE) qui sont sur les rangs pour reprendre 49% de la société qui fera construire la future centrale nucléaire de Belene³⁸.

BIBLIOGRAPHIE

- CLUB DE ROME, (1972), *Le rapport Meadows : Halte à la croissance*, trad française, Fayard.
- COM (2005), « Stratégie thématique sur l'utilisation durable des ressources naturelles », *COM 2005 – 670*, non publié au JO, 21 décembre, 3 p.
- COM (2005), « Mise en œuvre de l'utilisation durable des ressources : une stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets », *COM 2005 – 666*, non publié au JO, 21 décembre, 4 p.
- DIEMER A. (2008), « La question énergétique au cœur du développement durable », *Cahier du CERAS, hors série*, janvier, p. 1 – 32.
- FAUCHEUX S., NOEL J-F, (1995), *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*, A. Colin.
- FORRESTER J.W (1971), *World Dynamics*, Cambridge, Wright Allen Press.
- LARRERE C., LARRERE R. (1997), *Du bon usage de la nature*, Aubier.
- LESCUYER G. (2002), *Vers un système mondial de principes-critères-indicateurs pour la gestion forestière*, Bois et Forêts, n° 272, 2^{ème} trimestre, CIRAD, p. 108-109.
- PELT J.M (2000), *La Terre en héritage*, éditions Fayard.
- VIVIEN F.-D (1994), *Economie et écologie*, Repères n° 158, La Découverte.

³⁸ 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.