

Académie des technologies

Avis remis

à

Mme Claudie Haigneré,

ministre déléguée à la Recherche

et aux Nouvelles technologies

« Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie. »

le 18 décembre 2003

Avis remis
à
Mme Claudie Haigneré,
ministre déléguée à la Recherche
et aux Nouvelles technologies

« Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie. »

Rapporteur : Paul Caseau

le 18 décembre 2003

Résumé

Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie

Le texte de la saisine demandait que l'Académie des technologies propose, à partir de sa réflexion sur les différents textes qui traitent de "la production, du transport et de l'utilisation de l'énergie", "un ensemble de questions au filtre desquelles on pourrait passer toutes les analyses et, le cas échéant, toutes les décisions importantes sur le sujet". Madame la ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies a repris cette demande dans sa lettre du 4 juin 2003 :

"Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille commune à toutes les questions concernant l'énergie".

La Grille proposée est composée de sept points, qui devraient être l'objet d'une attention particulière de la part, tant de ceux à qui sont destinés les rapports, études ou projets, que de ceux qui établissent ces derniers. Ces sept points ne sont donc pas des critères (comme l'indépendance énergétique ou l'impact sur l'environnement) permettant de guider un choix (par exemple, pour accepter ou refuser un programme de recherche). Ils ne se situent pas à ce niveau, et portent seulement sur la cohérence que le décideur, quels que soient par ailleurs ses critères de choix, souhaite trouver dans le dossier qu'on lui présente.

Les sept points proposés sont les suivants :

I - Le choix du cadre spatial, et sa justification au vu des objectifs de l'étude.

II - Le choix du cadre temporel, et sa justification. En matière énergétique, le 21ème siècle devrait être marqué par un certain nombre de "transitions", capables de faire basculer le domaine de l'énergie dans son ensemble, et vis-à-vis desquelles il faut se positionner clairement.

III - Le choix entre une approche guidée par la compétition entre technologies (baptisée "Merit Order"), et l'approche plus classique confrontant besoins et ressources. Les limites, que rencontre cette dernière approche, doivent être soulignées.

Ces trois points sont très généraux : il convient d'en ajouter trois autres, liés spécifiquement aux trois transitions considérées comme les plus importantes. Ce sont les points IV à VI.

IV - Le plafonnement de l'extraction du pétrole (ce qu'on désigne par "Peak Oil") marque l'entrée dans une période de prix élevés, pour le pétrole, mais aussi pour l'énergie en général. Des dates situées entre 2015 et 2030 sont en général citées par les experts du domaine. On a appelé T1 cette transition.

V - La lutte contre l'effet de serre peut conduire à une organisation mondiale (dans la ligne de Kyoto) ou rester pendant longtemps limitée à des politiques nationales ou plurinationales, appuyées sur la montée des prix. Il est difficile de donner, aujourd'hui, des arguments décisifs en faveur d'une évolution ou de l'autre, mais il est impossible de présenter une étude qui ne précise pas les hypothèses choisies. On a appelé T2 la transition qui correspond à la première voie, et qui fait entrer dans un monde où la contrainte carbone joue un rôle structurant.

VI - On a appelé T4 la transition qui conduirait à une séparation entre les usages fixes de l'énergie et les usages mobiles (transports). La problématique des premiers fait une large place aux économies d'énergie (le "Negawatt") et peut s'analyser à partir de ce critère. Celle concernant les transports (ressources, "Merit Order" des énergies, économies possibles, impact sur la société) devient complètement indépendante de celle des premiers, et introduit beaucoup plus d'incertitudes.

La Grille d'analyse demande que les études ou projets se positionnent par rapport à T1, T2, et T4.

VII - Enfin, on a souligné que, lorsqu'on traite de la trajectoire complète d'une technologie (développement, pénétration, maturité, déclin), on ne peut se contenter d'une démarche "techno-centrée". S'en tenir là reviendrait à négliger l'importance des effets latéraux qui accompagnent tout développement, et la capacité de la Société à formuler (et à imposer) des jugements négatifs sur certaines technologies. Les études devront donc se prononcer sur les différents mécanismes sociopolitiques qui peuvent soutenir, ou au contraire faire échouer, les solutions étudiées.

Aucun de ces sept points n'est très nouveau: on les retrouve (au moins partiellement) dans les études dont l'Académie a connaissance, et certainement dans beaucoup d'autres. En les présentant tous ensemble, néanmoins, la grille veut insister sur trois choses:

- d'une part, sur le fait que ce ne sont pas seulement les études de prospective énergétique qui doivent prendre en compte les sept points, mais également (on a envie de dire "mais surtout") les études et projets portant sur les technologies énergétiques.
- d'autre part, qu'il est demandé de prendre en compte, non pas une partie du questionnaire en sept point, mais sa totalité. Car les différents points se renvoient l'un à l'autre.
- enfin, que questions et réponses doivent être explicites. La logique interne de beaucoup de dossiers montre souvent quelles hypothèses ont été faites, implicitement. La méthodologie proposée demande de passer à l'explicite.

Il faut souligner qu'en proposant cette grille, l'Académie s'efforce de rester sur le terrain de la méthodologie, et se contente de poser des questions, sans prendre de position sur le fond, ni préjuger du contenu des réponses. Pour ne pas rester trop abstrait, le texte est néanmoins amené à traiter quelques exemples. Mais la question sous-jacente est toujours "Cette question est elle bien une des clés de l'analyse?", et non pas "Cette réponse, ou ce choix, sont-ils acceptables?"

On observera enfin que, bien que le texte y insiste peu, la possibilité de "bifurcations" (plutôt socioéconomiques), ou de "surprises" (plutôt technologiques) n'est nullement exclue. En fait, il est assez facile de concevoir qu'un événement de ce type soit le fondement d'un programme de recherche: rien n'empêche alors qu'il soit analysé dans le cadre de la grille. Il est, par contre, plus difficile d'imaginer ce qui se passerait si la "bifurcation" en question remettait en cause, non pas les réponses que nous avons tendance à donner en l'an 2003, mais les questions elles mêmes.

Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie

Responsable académique : Paul Caseau

Avant-propos

Dans le texte qui suit, l'Académie entend proposer, selon les termes de la saisine, un *"ensemble de questions au filtre desquelles on pourrait passer toutes les analyses et, le cas échéant, toutes les décisions importantes sur le sujet de l'énergie"*.

Il est clair que les "différents aspects de la production, du stockage, du transport et de l'utilisation de l'énergie" forment un ensemble très vaste. Cet ensemble prend place au sein de ce qu'on appelle, faute peut-être d'un meilleur terme, des "problèmes complexes". Ce sont, en tout cas, des problèmes pour lesquels le besoin d'une méthodologie est ressenti par tous.

Cette grille sera particulièrement utile à trois moments clés :

- au moment d'engager un programme ou une étude, pour préciser ce qui est attendu, et pour choisir les experts,
- lors du suivi (que tout le monde s'accorde à considérer comme nécessaire) et au moment des éventuelles réorientations,
- au moment d'examiner le rapport de conclusion, pour bien comprendre ce qu'il dit, mais surtout ce qu'il ne dit pas.

Faute d'une telle grille, la "pente naturelle" poussera les auteurs, scientifiques et ingénieurs, dans un certain nombre de pièges. Les membres de l'Académie n'ont eu qu'à se remémorer les rapports qu'ils avaient eux-mêmes écrits pour reconnaître que, en particulier dans le domaine de l'énergie, les textes présentent (presque) toujours l'un ou l'autre des défauts suivants:

- ils oublient de préciser le cadre et les échelles adoptés, dans le temps et dans l'espace,
- Ils se préoccupent du composant, auquel ils consacrent beaucoup de soin, plutôt que du système, pour lesquels les oublis et les manques sont fréquents,
- Ils traitent plus volontiers de l'Amont (la production d'énergie) que de l'Aval (les modes d'utilisation),
- Ils sont victimes de l'illusion habituelle des "techniciens", qui oublient que la compétition entre solutions est la règle, et sont persuadés "qu'on aura besoin de tout le monde".

La Grille d'Analyse que propose l'Académie est conçue pour remédier à ces défauts, ou du moins pour les limiter. Elle s'efforce de rester sur le terrain de la méthodologie, et de poser des questions, sans prendre de position sur le fond, sur le contenu des réponses. Pour ne pas rester trop abstrait, le texte est néanmoins amené à traiter quelques exemples. Mais la question sous-jacente est toujours *"Cette question est-elle bien une des clés de l'analyse?"*, et non pas *"Cette réponse, ou ce choix, sont-ils acceptables?"*

Mais le but de cet avant-propos est aussi de marquer des limites, de souligner ce que la Grille ne traite pas. Elle concerne essentiellement, comme on vient de le voir, les études et rapports qui proposent des stratégies de recherche et d'innovation. Ce n'est pas une grille de lecture pour des rapports de prospective au sens strict (ou alors, elle est très incomplète).

On observera, en effet, que le texte insiste très peu sur les "bifurcations", les "surprises" auxquelles la prospective à long terme et l'analyse géostratégique doivent, nécessairement, faire une place.

La raison de ce silence est liée aux termes mêmes de la saisine. Un programme de recherche proposant, par exemple, une nouvelle technologie énergétique capable de déboucher aux environs de 2050, doit se préoccuper, et c'est ce que dit la grille, de ce que sera le monde de 2050, et ne pas trop extrapoler à partir de ce qu'il constate aujourd'hui. Un texte de prospective, centré sur ce monde futur, doit évaluer la possibilité de bifurcations et de surprises.

Compte tenu de la limitation des forces humaines (et des budgets correspondants), on ne peut pas proposer le même cahier des charges aux deux familles d'effort. Sauf dans un cas bien précis : le cas où l'effort de R&D aurait, volontairement, pour objectif de rendre la trajectoire de notre pays plus résistante aux bifurcations imprévisibles et aux "surprises".

Les problèmes de l'Energie :

Réflexions méthodologiques et Grille d'Analyse

Comme on vient de le voir dans l'avant-propos, l'Energie, avec ses ramifications qui intéressent l'économie, les équilibres naturels, et l'attitude de la Société dans son ensemble, fait partie d'une classe très large de questions que l'on ne peut aborder sans avoir fixé au préalable la méthodologie que l'on veut suivre

Les lignes qui suivent proposent donc une réflexion sur cette méthodologie qui, par bien des côtés, s'apparente à celle de l'Assurance Qualité. Elles se préoccupent d'abord de fixer trois cadres, de sorte que "ce qui n'est pas dans le cadre" soit considéré comme ne faisant pas partie de l'étude, mais seulement du commentaire.

Les trois façons de "fixer un cadre" sont alors :

- le choix de l'échelle temporelle du problème à traiter,
- le choix de l'échelle spatiale,
- le choix, à l'intérieur d'une analyse systémique globale, de ce qu'on est capable de traiter, et de ce qu'on laisse de côté.

Ces trois points sont évidemment très généraux. Le texte proposé va les traiter, *en se centrant sur les problèmes énergétiques*, ce qui lui permettra d'être plus précis. En effet, qu'il s'agisse de politique de recherche ou de politique tout court, l'énergie a quelques caractéristiques propres, qui donnent une physionomie particulière à toutes les études qui lui sont consacrées.

De cette constatation vont découler trois premières conséquences, qu'une étude consacrée à l'énergie devra nécessairement prendre en compte:

- les échelles de temps et d'espace qui peuvent être choisies ne sont pas du tout quelconques.
- l'approche technico-économique quantitative, qui a largement été utilisée jusqu'à aujourd'hui sous le nom d'approche "Besoins-Ressources", ne peut plus être un guide sûr.
- a contrario, l'évolution du système des prix, et en particulier du "Merit Order" des différentes solutions, est une des clés du problème.

C'est par l'examen de ces trois points (qui relèvent encore de la méthodologie générale) que nous commencerons. Après quoi, nous entrerons plus avant dans les aspects spécifiques, en évoquant quatre questions qui apparaissent dans la plupart des études publiées aujourd'hui, mais rares sont celles qui les traitent simultanément toutes les quatre. On évoquera donc successivement :

- le rôle que jouera le plafonnement de la production de pétrole, le retournement correspondant du marché, et les caractéristiques que prendra ce retournement.
- la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, et l'organisation (mondiale ou non) qui sera adoptée.
- la politique de réduction des consommations d'énergies fossiles, ses objectifs espérés, et ses limites. Et la possibilité de voir les usages de l'énergie se scinder en deux ensembles presque disjoints : les usages fixes et les transports.
- le rôle joué par le traitement des "externalités", et plus généralement par le cadre institutionnel.

L'objectif poursuivi en abordant ces quatre points n'est, en aucun cas, de prendre position sur les questions qu'ils soulèvent. C'est, comme on l'a souligné dans l'avant-propos, de montrer que *ces questions ne peuvent être ignorées*. Et que, selon les réponses données, les conclusions de toute étude consacrée à l'énergie peuvent être complètement modifiées.

I. **L'Energie et les échelles de temps et d'espace**

Le découpage spatial

La domination que les produits pétroliers ou gaziers ont exercée sur le marché de l'énergie dans la deuxième moitié du 20ème siècle a eu comme conséquence qu'aujourd'hui tout le monde est habitué à considérer que les problèmes sont mondiaux ou, au minimum, continentaux. L'interaction de la sphère "Economie - Technologie" avec la sphère "Nature" renforce d'ailleurs ce constat. Les impacts considérés (émissions, pollutions, déchets) sont également continentaux ou mondiaux.

Cela étant, toute étude, même mondiale, sera amenée à distinguer des zones, et à les définir de façon précise. On insistera ici sur la nécessité de ne pas s'en tenir à des découpages systématiquement ambigus, comme le découpage "Nord-Sud", mais de chercher à *justifier les découpages choisis*.

On pourra se servir pour cela (quitte à la modifier légèrement) de la classification proposée par Nordhaus (modèles Rice et Dice -1998) qui construit un modèle du monde découpé en neuf régions:

USA	Other High Income	OECD Europe	Russia and East Europe		
260	190	380	340		
Middle Income	LowerMiddle Inc.	China	India/Indonesia	Low Income	
320	570	1200	1200	1200	

(les chiffres de population qui figurent en dessous de chaque région ont vieilli)

Ce découpage du monde n'est pas donné en exemple pour signifier qu'un découpage en neuf constitue en quelque sorte un minimum on pourra se reporter aux références (2), et (3) pour constater que des découpages différents peuvent être souhaitables. Ce que l'on voulait montrer, c'est seulement que *le choix du découpage est moins simple qu'on ne le croit généralement*.

Le découpage temporel

La plupart des études consacrées à l'énergie précisent la période prise en compte (par exemple 2000 - 2030). Mais un grand nombre d'études ou de projets de recherche sur des technologies énergétiques oublient de le faire.

Mais il y a plus important que le choix a priori d'une période ou d'une date. C'est la recherche des "transitions" qui, à une période donnée, modifient profondément les équilibres, et font passer d'un "régime" à un autre.

Fixer la date de ces transitions est un exercice essentiel. Nous en indiquons cinq, sans préciser les dates (en utilisant le fait que le symbole "T" peut signifier à la fois "date" et "transition" :

- T1 : date, ou période, du retournement du marché du pétrole
- T2 : date de la généralisation du Protocole de Kyoto
- T3 : date, ou période, du retournement du marché du gaz
- T4 : date, ou période, de la séparation entre les usages fixes, pour lesquels les "gisements accessibles d'économie d'énergie" se satureront progressivement, et les usages liés aux transports
- T5 : date, ou période, de la fin de croissance de la population mondiale.

Tous les experts ne seront pas d'accord, ni sur les dates, ni sur l'existence même de tous les événements auxquels elles sont censées correspondre. Peu importe, car le fait d'affirmer, par exemple, que T2 n'aura jamais lieu (ou d'écrire $T2 = \infty$) est un élément tout aussi déterminant que de proposer, pour T2, une valeur appartenant au 21ème siècle. De sorte qu'on peut constater que pratiquement toutes les études se situent dans un cadre temporel (que malheureusement elles oublient très souvent de justifier) composé de deux ou trois périodes.

1^{ère} période (dates conventionnelles: 2003 - 2020)

Cette période est caractérisée par le fait que l'analyse "toutes choses égales par ailleurs" semble pouvoir s'appliquer sans difficultés. Les investissements énergétiques ont une durée de vie assez longue pour qu'on les considère comme connus. Il en est de même pour la demande globale et pour le système des prix.

C'est donc le type d'études où excellent des organismes comme l'AIE ou le Conseil Mondial de l'Energie. Il y a peu de choses à en dire, sinon que la question-clé est trop souvent laissée de côté. Cette question est, bien entendu, "A quelle date sort-on de la période, pour entrer dans la suivante, celle, par exemple, où les contraintes auxquelles les transitions T1 et T2 font référence jouent un rôle essentiel?"

2^{ème} période (dates conventionnelles: 2025 - 2050)

C'est la période qui aujourd'hui fait l'objet de l'essentiel des débats, sinon des décisions. Les enjeux sont énormes car, pratiquement, tout ce qui était considéré comme fixé dans la période précédente peut évoluer. On considère généralement que les contraintes de durabilité (réserves, émissions de CO₂) qui caractériseront cette période pourront être surmontées en faisant appel, entre autres, à trois mécanismes :

- les gisements d'économie d'énergie: le "Négawatt",
- la substitution entre énergies, suivant deux schémas possibles : (Pétrole, Charbon \Rightarrow Gaz) et appel au nucléaire,
- la séquestration du CO₂.

Cette période prend fin avec les dates T3 et T4, lorsque le gaz suit le pétrole avec 30 - 40 ans de décalage, et lorsque les "réserves de Négawatt" des usages fixes sont sur le point de s'épuiser, tandis que les usages liés aux transports constituent l'essentiel des problèmes (économiques et technologiques).

3^{ème} période: (dates conventionnelle: 2060 et au delà)

Il est très difficile de dresser un tableau, même incomplet, de ce que sera cette période (12) (13), mais il est souvent nécessaire d'étudier les conséquences, au-delà de 2060, de certaines décisions prises au cours des deux premières périodes. Il en est ainsi lorsqu'on traite de l'épuisement des ressources, ou du changement climatique. Les difficultés sont alors très importantes (on s'en apercevra dans la suite de cette note), même si elles sont cachées. On a toujours tendance à considérer que les déterminants fondamentaux de la vie humaine en 2100 ressembleront à ce qu'ils sont aujourd'hui.

Ainsi, pour les études traitant de l'énergie et des technologies qui s'y rapportent, comme d'ailleurs pour toutes celles qui concernent le triplet "Economie - Société - Nature", la fixation (et la justification) du cadre spatial et du cadre temporel constitue une étape essentielle. Ce qui conduira en particulier, pour le choix de la période (ou des périodes) à traiter, à une discussion sur les quatre transitions qui ont été définies dans cette note (de T1 à T4), selon des critères qui seront explicités plus loin.

II. Les faiblesses de l'approche "Besoins - Ressources"

Au cours de la période d'expansion continue que l'on désigne sous le nom de "Trente glorieuses", l'habitude s'est prise de traiter les problèmes d'énergie en termes quantitatifs (et largement non économiques), et cette habitude n'a pas complètement disparu. Celui qui adopte ce type d'approche commence par estimer la valeur des besoins, puis dispose les différentes sources pour arriver au total qui doit être couvert.

L'estimation des besoins se fait en suivant la filiation :

Population \Rightarrow PIB \Rightarrow Energie nécessaire

Cette filiation a conduit à quelques erreurs célèbres, mais elle a, globalement, rendu de grands services *tant que durait la période d'expansion des trois termes de la chaîne*. Les choses sont très différentes lorsqu'on étudie le 21^{ème} siècle, et plus particulièrement ce que nous avons appelé la seconde et la troisième période. Nous allons le montrer sur un exemple, en étudiant le bilan besoins ressources vers 2100.

Nous supposons, pour fixer les idées, qu'au début du prochain siècle le fonctionnement et le développement de la Société se feront en respectant les disciplines du Développement durable. A partir de là, on pourrait penser que le prospectiviste est capable de tracer un tableau des sociétés et de leurs rapport à l'énergie. Mais, comme on va le voir, les incertitudes qui pèsent sur la population mondiale, le produit brut et sa répartition, et finalement l'énergie nécessaire, sont telles qu'il est pratiquement impossible de raisonner ainsi, et d'aboutir à des chiffres utilisables. Qu'on en juge :

La quantité d'énergie consommée au début du prochain siècle peut varier de 1 à 4, disons de 9 Gtep (moins qu'aujourd'hui) à 36 Gtep. Si le premier chiffre est le bon, l'énergie sera devenue un problème secondaire. Si c'est le second, elle déterminera la façon dont les sociétés humaines seront organisées.

- La population de l'an 2100 sera située entre 7 milliards et 15 milliards de personnes. L'écart entre les deux chiffres correspond, entre autres, à la différence entre un nombre moyen d'enfants par femme de 1.8 ou de 2.2, pour ne rien dire des évolutions de la durée de vie. On notera, au passage, à quel point le retournement des prévisions a été important depuis les 30 dernières années.
- L'économie et la production - consommation varient avec la population, mais aussi avec sa répartition et avec le niveau des inégalités. Un regroupement de plus de 50% de la population du monde, et de 80% de la richesse, sur une bande côtière de 100 km de largeur (regroupement qu'annoncent beaucoup d'observateurs) donne des résultats très différents de ceux d'une répartition analogue à l'actuelle ou plus uniforme.
- La traduction de la consommation en énergie (indépendamment des sources disponibles) dépend de trois choses : le degré d'inégalité dans le développement (qui vient d'être évoqué), le niveau des prix de l'énergie, l'adaptation des technologies à ce niveau. On peut considérer que, par rapport à la situation actuelle, le ratio énergie / PIB peut diminuer légèrement, ou être divisé par plus de 2 (cas d'une énergie chère, et d'un développement très inégal).

Mis bout à bout, ces trois facteurs conduisent à un "Facteur 4", qui n'est pas un facteur "d'économie d'énergie" (comme dans le livre célèbre de Von Weizsacker, Lovins & Lovions), mais un facteur d'incertitude. Les conséquences sont celles énoncées précédemment : *les futurs possibles divergent de façon inexorable.*

Si on revient aux 50 prochaines années par contre, les incertitudes concernant l'équilibre "Population - PIB - Energie" (besoins - ressources) sont beaucoup moins fortes que ce qui vient d'être décrit. Mais elles sont, en quelque sorte, remplacées par des incertitudes sur les dates clés dont nous avons parlé. Et surtout, *une incertitude d'un facteur voisin de 2 suffit pour qu'il soit impossible de raisonner plus avant, du moins tant que l'on peut considérer que les énergies sont assez aisément substituables l'une à l'autre.* Comme beaucoup d'analystes l'ont remarqué, l'incertitude en 2050 est du même ordre de grandeur que la contribution (actuelle) au bilan global de n'importe quelle source d'énergie.

Ce raisonnement ne doit pas être poussé trop loin, néanmoins, car il repose sur le principe de la substituabilité entre énergies. Or, la substitution n'est pas toujours possible, suivant les régions et les époques. En particulier la séparation, qui sera évoquée plus loin, entre usages fixes et usages mobiles (transports) peut rendre nécessaire un bilan besoins - ressources pour les énergies des transports.

De l'analyse qui vient d'être présentée, on doit retenir deux recommandations méthodologiques :

Les études devront indiquer de façon précise comment elles se situent par rapport aux problèmes qui viennent d'être soulevés. On peut renoncer à peu près complètement à l'approche besoins ressources. On peut également l'utiliser, en particulier si les échelles "espace-temps" choisies, soit imposent d'y avoir recours (problèmes d'indépendance énergétique), soit diminuent fortement l'incertitude. On peut enfin traiter cette incertitude au moyen de scénarios.

Contrairement à ce qui était possible au cours des "Trente glorieuses", il n'est plus possible aujourd'hui de s'enfermer dans une approche réductrice de type technico-économique, en considérant que les préliminaires démographiques et sociaux sont bien connus. On doit considérer, au contraire, qu'ils méritent d'être examinés avec beaucoup de soin, en partant de l'idée que ce qui a été écrit pendant les 50 dernières années est souvent très superficiel, et qu'il ne suffit pas de recopier les chiffres des Nations Unies. Une véritable expertise est nécessaire. La plupart des scénarios de croissance mondiale qu'utilisent implicitement les technologues surestiment la croissance des trois termes de la chaîne "besoins ressources" d'une façon qui serait immédiatement contestée par les spécialistes de ces questions, s'ils étaient consultés.

III. *L'Approche par les prix : le Merit Order*

Dans la mesure où l'équilibre global besoins ressources apporte peu d'information sur les systèmes énergétiques des années 2020 - 2050, il faut réfléchir à partir d'une approche (plus liée aux réactions de la société) qui fera intervenir les choix économiques. Le rôle des différentes filières énergétiques sera, en effet, très largement déterminé par leur rapport coût efficacité : elles se classeront selon la valeur de ce rapport (4). Ce classement, lorsqu'il s'opère sur les marchés de l'électricité en réseau, porte le nom de "Merit Order".

Connaître l'ordre des préférences est une chose, savoir où la "barre" sera placée en est une autre. Nous venons justement de voir que la barre était difficile à placer. Mais l'ordre lui-même a quelques chances d'être prévisible.

Pour que le tableau soit complet, il faut d'ailleurs que la filière "économies d'énergie" fasse partie du classement : en effet, le même service peut souvent être obtenu malgré une baisse de la consommation d'énergie, à un coût qui est celui de la "filière Negawatt".

Cette façon de raisonner en Merit Order se prête bien aux scénarios. C'est elle qui a toujours guidé les marchés, mais aussi les investisseurs, et même les planificateurs. Elle mérite de figurer au début de toutes les études. Par exemple : si nous supposons que, sur la deuxième période, le prix moyen des énergies fossiles sera le double du prix actuel, comment se classeront les autres solutions? La période sera-t-elle favorable aux énergies renouvelables, au Negawatt ou à d'autres? Dans la suite de cette note, nous utiliserons souvent ce type d'approche, qui permet d'éviter la myopie et la fixation sur une seule famille de technologies.

Cela étant, les considérations sur le Merit Order ne peuvent pas échapper à certaines critiques, tout à fait légitimes. Le fait d'effectuer toutes les comparaisons en terme de marché conduit à soulever la question de la valeur attribuée aux divers "impacts latéraux", aux "externalités" (question sur laquelle nous reviendrons). Si (comme c'est en général le cas), la Société a beaucoup de mal à aboutir à un accord sur le chiffrage de ces externalités, les comparaisons, et donc l'Ordre de Mérite final, ne reflèteront que le bilan des coûts et des avantages directs. On reviendra plus loin sur cette question, et sur la difficulté qu'il y a à prévoir ce que sera l'insertion d'une technologie dans la Société. *Raison de plus, pour une étude sur l'énergie, d'explicitier les hypothèses choisies*, qui peuvent aller, le cas échéant, jusqu'à l'abandon de toute idée d'un classement explicite et complet.

Une des conséquences les plus intéressantes de l'approche par le Merit Order est qu'elle fait apparaître que *le nombre des technologies gagnantes est nécessairement limité*. "Winner takes all" : cette amère vérité du jeu économique-industriel est toujours négligée par les chercheurs et les technologues. En pratique, seuls les premiers ou seconds de la liste influenceront l'économie. Les autres sont condamnés aux seconds rôles. Pour éviter toute incompréhension, insistons sur le fait que tout cela n'est pas incompatible avec l'existence de "niches", et qu'une technologie peut très bien jouer un rôle important localement, tout en étant marginalisée aux échelles plus vastes.

Ainsi, cette idée très simple que "tout le monde ne peut pas gagner simultanément" devra servir de fil rouge dans la lecture de beaucoup de rapports qui proposent simultanément plusieurs sources, plusieurs vecteurs d'énergie,.. et plusieurs façons (Negawatt) de se passer de celle-ci. La réussite des uns signera nécessairement l'échec ou la marginalisation des autres.

On doit souligner que cela impliquera, pour un grand nombre de chercheurs et d'ingénieurs, un véritable changement de point de vue et d'objectif. Dans l'approche "Besoins-Ressources", une technologie devait être "bonne". Dans l'approche "Merit Order", il faudra vérifier qu'elle peut être "la meilleure".

* * *
*

Plaçons-nous maintenant dans la position de celui qui a précisé son "unité de lieu" (par exemple, l'Europe), son "unité de temps" (par exemple, 2030 - 2050), et qui a brossé un tableau (ou plusieurs tableaux, selon un ensemble de scénarios) de l'arrière-plan qui concerne la population, le PIB et sa répartition, etc.. de la zone sous revue.

Il doit alors se préoccuper du Merit Order du Pétrole et du Gaz (question liée à la transition T1), de celui des énergies émettrices de CO₂ (question liée à la transition T2). Il doit également se préoccuper de la "filiale Negawatt" et préciser ce qu'on peut en attendre. Il doit enfin revenir sur l'évaluation des externalités, et plus généralement sur l'environnement sociétal et institutionnel qui assurera le succès ou l'échec des différentes solutions énergétiques.

Ce sont ces différents points que nous allons évoquer dans ce qui suit.

* * *
*

IV. Le retournement du Marché du Pétrole : 2015 ou 2030_?

Les dernières décennies du 20ème siècle ont été marquées, au moins au niveau du public, par un débat assez surréaliste. D'une part, la conscience des "limites de la croissance" et du caractère fini des ressources fossiles était de plus en plus claire, et intervenait de plus en plus souvent au cours des discussions. D'autre part, le chiffre exprimant les réserves, sous la forme d'un certain nombre d'années à production inchangée et à coûts stables, restait, quant à lui, remarquablement stable : de l'ordre de 30 ou 40 ans.

Depuis quelques années néanmoins, on est sorti de cette "impasse", et la discussion entre les experts a pris un tour assez nouveau. Elle s'est centrée sur le concept de "Peak", du moment où l'extraction du pétrole atteint sa valeur maximale, et ne peut plus suivre la croissance de la demande (voire commence à décroître). Cette évolution a déjà été constatée pour certains bassins, voire certains pays. Le "Peak Oil" global (qui est nécessairement très plat) concerne, lui, l'ensemble de la production mondiale. Sa date est l'objet de nombreuses évaluations (6), qui convergent sur la période 2015 - 2025. C'est le début de la transition que nous avons désignée par T1.

A partir de T1, les anticipations des acteurs changent et s'orientent à la hausse. Hausse importante (facteur 2 ou plus) et surtout installée de façon quasi-définitive. C'est donc le signal d'une réorganisation profonde, d'abord du marché de l'énergie destinée aux transports puis, progressivement, du marché dans son ensemble. Plus rien de ce à quoi nous sommes habitués, par exemple en matière de coût des transports ou de coût de l'agriculture "productiviste", ne reste à l'abri de cette réorganisation.

On voit donc que toute étude traitant de l'énergie doit expliciter les hypothèses faites sur la transition T1 (y compris la possibilité, pour T1, de se situer hors du cadre traité) et sur les conséquences qui suivront. Une fois cette question essentielle traitée, il restera deux "questions subsidiaires", portant toutes deux sur la deuxième moitié du 21ème siècle :

- il est admis, de façon générale, que le Gaz suivra le Pétrole avec un décalage de quelques décennies : c'est le problème de la transition que nous avons appelée T3, et des conséquences qui renforcent et "dramatisent" celles du retournement pétrolier.
- la situation de l'énergie à la fin du 21ème siècle dépendra, comme on l'a déjà souligné, de plusieurs grands événements dont la probabilité est très difficile à préciser. Cela étant, beaucoup d'études de long terme font, sans le savoir ou du moins sans le dire, des hypothèses sur ces événements. Il faut donc qu'une relecture soignée des documents finaux conduise à préciser les scénarios cachés, qui souvent sont présentés comme des évidences.

V. **La Maîtrise des Emissions de Gaz à Effet de Serre**

Le dossier que les scientifiques, rassemblés autour du GIEC, ont constitué sur la question de l'effet de serre est destiné à jouer un rôle essentiel au cours du 21^{ème} siècle.

Ce dossier a d'abord dû affronter beaucoup de doutes et d'objections, qui l'ont d'ailleurs aidé à progresser. Mais cette période est derrière nous: la recherche avance régulièrement, et les critiques elles-mêmes s'intègrent au processus, sans remettre en cause l'essentiel des résultats obtenus.

Par contre, dès qu'on passe à la question "Que faut-il donc faire?", question qui ne relève pas seulement du climat, mais des trois pôles du triplet "Economie - Société - Nature", on se trouve confronté à deux catégories d'incertitudes:

- il n'est pas certain que nous en sachions jamais assez (par exemple, en matière de régionalisation des prévisions) pour pouvoir *parler de prévention et non de précaution*. Le dossier peut fort bien rester, tout au long du siècle, un dossier où la précaution l'emporte sur la prévention.
- Du coup, il n'est pas certain que le mode d'action inauguré à Kyoto se généralise jusqu'à englober "tous les pays, sur tout le siècle". Il est possible que certains pays, tout en reconnaissant la validité des analyses du GIEC, adoptent un mode d'action que l'on peut appeler "Kyoto sans Kyoto" (7).

Ce sont ces deux modes d'action qu'il faudra étudier.

Caractéristiques d'un Système Kyoto généralisé

La généralisation de Kyoto sera (serait) fondée sur un système d'engagements périodiques (tous les 10 ans) fixant des quotas à chaque pays, et sur un marché de permis échangés lors de l'exécution des engagements. Il est très probable que le même schéma sera utilisé par les gouvernements vis-à-vis des entreprises ou des secteurs économiques.

Ce système présente deux avantages:

- d'une part, il diminue les coûts d'exécution des engagements pris (par rapport à ce que donnerait un système quantitatif sans permis), et permet d'optimiser l'efficacité économique de la phase d'exécution,
- d'autre part, il fait de la décision initiale un problème politique, tranché au début de chaque période. Les erreurs commises lors de chaque négociation peuvent être rattrapées "au coup suivant". Et la partie continue.

Il n'y a aucun doute que la généralisation de Kyoto modifierait profondément le Merit Order des énergies fossiles. Et ceci est particulièrement vrai au début du siècle, avant que la croissance des prix du pétrole ne vienne jouer un rôle, peut-être plus décisif.

Caractéristiques d'un système "Kyoto sans Kyoto"

Est-il possible d'obtenir des résultats comparables à ceux de Kyoto, sans entrer dans le système d'engagements décennaux qui vient d'être décrit? C'est en tout cas ce que défendent, aujourd'hui, un certain nombre d'acteurs économiques, regroupés autour des USA.

Le pari n'est pas aussi audacieux qu'il semble l'être à première vue, et il repose sur trois familles de mécanismes :

- d'une part, sur la création de plusieurs marchés de permis, d'envergure limitée, fondés sur des engagements volontaires: ce qui ressemble beaucoup à Kyoto, mais risque d'être moins efficace,
- ensuite, sur le lancement de programmes de développement technologique (ce qui serait nécessaire, également, dans le premier cas),
- enfin, sur la croissance des prix de l'énergie, au delà de la date T1. Les "pénalités" encourues par les énergies pétrolières (et ultérieurement gazières) pouvant être beaucoup plus fortes que la pénalité liée au CO₂ émis.

Il n'est pas question de discuter ici des mérites et des chances des deux systèmes, mais de conclure en affirmant la nécessité, pour toute étude portant sur l'énergie et les technologies associées, de prendre position sur ce problème. L'estimation de la date T2 (y compris $T2 = \infty$) permet, en relation avec T1 (date du "Peak") de marquer la frontière entre deux périodes : "avant" et "après".

Beaucoup d'études s'en dispensent, en choisissant des échelles de temps ou d'espace qui leur permettent d'affirmer, par exemple, soit que "les pays du Sud ont autre chose à faire qu'à penser à Kyoto", soit que "sur la période 2003 - 2020, Kyoto n'aura aucun effet", etc. Indépendamment du fait que ces affirmations sont très difficiles à prouver, le moins qu'on puisse demander, c'est qu'elles soient explicitées et discutées en introduction à l'étude elle-même.

VI. Les ambitions et les limites du Negawatt. Vers deux familles d'Usages ?

Tout donne à penser que les économies d'énergie joueront un rôle significatif au cours de la première période (2003 - 2025), et qu'il existe un portefeuille important de technologies qui pourront être mises en œuvre. Surtout si on adjoint aux économies d'énergie au sens strict l'utilisation d'énergies renouvelables (biomasse, énergie solaire) pour produire de la chaleur.

On pourra consulter à ce sujet le Débat National sur l'Energie (1), les publications de l'ADEME, celles de plusieurs Associations (8). Les questions concernant cette première période, qu'on ne cherchera pas à évoquer ici, portent avant tout sur l'équilibre entre le marché et l'action publique, et sur l'importance des investissements.

Tout autre est la question qui se pose lorsqu'on réfléchit à la deuxième période (2025 - 2050): cette question porte sur ce qu'on pourrait appeler les "limites ultimes du Negawatt". Jusqu'où peut-on espérer réduire l'usage de l'énergie, et en particulier des énergies fossiles émettant des gaz à effet de serre?

Cette question a fait l'objet de nombreuses études européennes, qui présentent des résultats assez concordants : Suisse, Suède, Pays-Bas, Royaume-Uni, Allemagne (9) (10). La réduction qui pourrait être atteinte va de - 50% à - 80%, pour un horizon fixé en général au voisinage de 2050. Cette réduction est obtenue essentiellement dans deux secteurs.

Ces analyses, qui se continuent et se précisent en Europe et dans notre pays, mettent en évidence le poids propre du Negawatt et le rôle clé qu'il peut jouer, mais aussi le fait qu'à partir d'une certaine époque (la transition T4) les usages de l'énergie peuvent se séparer en deux familles à peu près indépendantes :

- les usages "fixes", pour lesquels la question essentielle reste bien la limite que l'on attribue au Negawatt (- 50%, -75% de l'énergie consommée actuellement sous forme de chaleur?), limite au delà de laquelle les gains sont considérés comme marginaux ou trop difficiles à atteindre;
- les usages "mobiles", c'est-à-dire les transports. Ces usages sont si profondément liés à la structure de l'économie que leur étude est un "chapitre en soi", au sein duquel les déterminations purement énergétiques ne sont sans doute pas dominantes.

On a donc appelé T4 la transition qui conduirait à cette séparation. On voit d'ailleurs immédiatement qu'elle dépendra des pays, et qu'elle ne s'accomplira pas simultanément partout. Mais le plus important, c'est qu'au delà de T4 on entre dans une évolution où "les énergies en réseaux" (usages fixes) et "les énergies pour les transports" obéissent à des logiques très différentes, voire opposées :

- les premières se marient aisément avec les énergies renouvelables (chaleur) et avec le Negawatt. De sorte que le problème central de ces réseaux devient, non pas la fourniture d'une quantité d'énergie annuelle, mais celle d'une puissance, pour chacune des 8600 heures de l'année.
- les secondes sont complètement à l'abri du risque de défaut de puissance (Blackout). Mais elles subissent directement l'impact de la transition T1, et doivent accompagner une croissance des usages particulièrement forte.

Il n'est pas possible, dans le cadre d'une grille méthodologique, d'aller plus loin dans la description du monde énergétique après la séparation T4. On veut seulement souligner quelques conséquences qui portent sur la méthode.

On peut d'abord poser en principe que le réductionnisme technique est tout à fait insuffisant lorsqu'on aborde cette période et que, pour être valables, les études doivent se prononcer sur :

- l'impact d'un doublement ou d'un triplement des prix sur la logistique et sur les flux de transports de marchandises. La réorganisation correspondante.
- l'évolution des transports de personnes sous l'influence des prix et des changements à prévoir dans la société.

Par ailleurs, comme les énergies ne sont pas nécessairement substituables, on devra ré-examiner la validité de certaines des affirmations posées au début de cette note. C'est ainsi que l'approche Besoins-Ressources pourrait reprendre de l'importance, à condition de l'appliquer aux seules "énergies pour les transports".

Ainsi, l'examen de la démarche Negawat et de ses limites devrait conduire à séparer les usages de l'énergie en deux groupes. Et à prévoir une date à partir de laquelle c'est l'ensemble du domaine de l'énergie qui se scindera en deux (la transition T4).

Du côté des usages fixes, on devra préciser les hypothèses faites sur l'évolution et les limites adoptées pour le Negawat.

Du côté du transport, l'évolution devient de plus en plus complexe, et de plus en plus liée aux comportements plutôt qu'aux technologies, quand on avance dans le temps. Il paraît difficile, dans ces conditions, de ne pas faire appel à une méthode de scénarios.

VII. Effets latéraux, externalités, et Rôle du Cadre Institutionnel

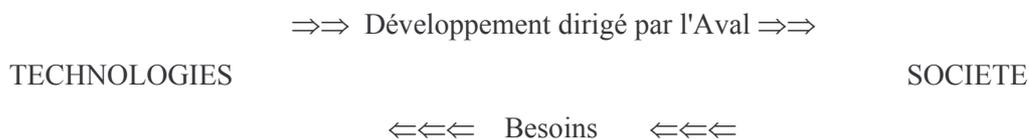
Toute activité de production ou d'utilisation d'énergie s'accompagne d'effets latéraux. On peut essayer de tenir compte de ces effets tout en restant dans le cadre d'une approche économique: on propose alors de "chiffrer les externalités". Ce qui revient à admettre qu'il existera des mécanismes de type économique qui feront entrer dans l'évaluation du Merit Order les différentes *nuisances qui accompagnent les énergies*. Nous avons cité un de ces phénomènes: les émissions de CO₂. Mais il en existe beaucoup d'autres : les déchets radioactifs, les déchets chimiques, l'occupation de l'espace, le bruit, etc.. Certains jouent un rôle essentiel dans l'évolution de l'énergie qui les produit (c'est le cas des déchets nucléaires), d'autres ne sont que des problèmes industriels parmi d'autres. Que doit-on traiter absolument ?

Avant de proposer une méthode pour traiter des externalités, on doit peut-être élargir le sujet, pour voir que ce qui est demandé c'est de se prononcer sur le cadre *institutionnel* (au sens large: l'ensemble des mécanismes politiques et juridiques) qui freine ou qui amplifie le développement des solutions techniques (énergies ou Negawatt). *La taxation des externalités en fait partie, mais beaucoup d'autres mécanismes politiques et sociaux également.*

Encart - L'évolution des Technologies: Modèles Darwiniens et Lamarckiens

Lorsqu'on veut décrire le développement des sociétés techniciennes, à l'échelle des siècles ou des décennies, le vocabulaire des théories évolutionnistes est parfaitement adapté. Il ne s'agit, bien sûr, que d'une métaphore, mais elle permet de voir que l'opposition historique entre modèles "Lamarckiens" et "Darwiniens" est encore pertinente aujourd'hui.

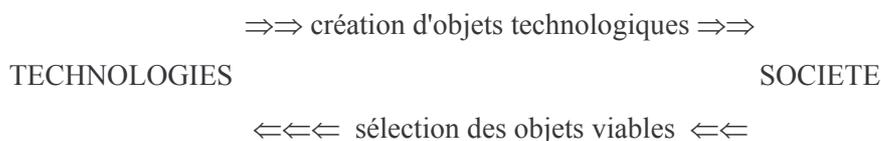
Le modèle qu'on utilise classiquement pour décrire l'évolution technologique peut être qualifié de "Lamarckien", voire de "finaliste". En effet, il suppose que les technologies sont développées pour "répondre à des besoins" (concept tout à fait Lamarckien) selon le Schéma ci-dessous:



Par ailleurs, le modèle admet qu'il existe un phénomène autonome: le "progrès scientifique et technologique" (qui peut admettre des ruptures), ce qui permet au schéma de ne pas tourner en rond.

A partir de là, on voit que la Société est plutôt traitée comme un acteur "passif", et que la façon dont elle traduit ses modes de vie en besoins ne joue presque aucun rôle. Les besoins sont des "fondamentaux" de l'analyse, et les réactions de la Société sont "informées", voire déterminées, par les solutions technologiques que ces besoins ont conduit à développer. Malgré l'égalité apparente entre les deux pôles, c'est la Technologie qui se voit attribuer le rôle majeur.

Ce déséquilibre est à l'origine de nombreux défauts du modèle classique, défauts qui apparaissent clairement dans la situation actuelle, et qui conduisent à proposer un modèle complètement différent, où les mécanismes de sélection jouent un rôle essentiel, et l'anticipation technologique un rôle très secondaire:



Ce schéma est, lui, complètement Darwinien : création d'espèces nouvelles, puis sélection et disparition de la majorité d'entre elles. Le caractère aléatoire du processus de création et son absence de prévisibilité (le hasard) sont les traits dominants. Le processus de sélection (la nécessité) marque l'autonomie de la Société vis-à-vis de ses technologies. Mais la puissance créative (le nombre d'espèces nouvelles par unité de temps) conduit, sur le long terme, à un impact fort des technologies.

Il ne fait pas de doute que le développement de l'ensemble USA - Europe - Japon au début du 20ème siècle, puis au cours de sa deuxième moitié, s'est fait selon les lignes de force du premier modèle, et que celui-ci marque encore nos analyses et nos réactions. Néanmoins, c'est, de plus en plus, le second qu'il faut prendre comme outil d'analyse, ce qui implique une profonde révision dans nos façons de raisonner

Tout se passe comme si (voir l'encart ci-dessus) l'évolution des technologies *avait abandonné les schémas finalistes et planificateurs du 20ème siècle, et laissait la société exercer, assez librement, sa "pression de sélection", adoptant une technologie et en éliminant une autre*

Ce que l'encart souligne, c'est que la sélection que pratique la Société ne s'opère pas selon un bilan d'externalités. Jusqu'à présent, les décisions qu'elle a prises ont suivi une autre voie: elles ont conduit à des confrontations tripartites ("stakeholders" et Associations, Pouvoirs Publics, industriels) et ont pris la forme la forme "d'institutions" (lois, normes, etc..).

Le problème des Déchets radioactifs est un bon exemple de cette situation. Il se pose très différemment aux USA et en Europe. En Europe même, la Suède, l'Allemagne et la France constituent autant de cas. Si on veut le traiter en comparant les externalités et leur évaluation par les trois Sociétés qui viennent d'être citées, on risque d'aboutir à une impasse. Si, au contraire, on étudie la façon dont évoluent les représentations, le débat lui-même, et surtout les institutions auxquelles il donne naissance, on est sur un terrain plus solide, bien qu'il reste très difficile à traiter.

Le problème du CO₂ est un autre exemple, qui correspond parfaitement à ce qui vient d'être écrit. Malgré les apparences, *le système de Kyoto* (à condition qu'il soit achevé) *ne repose pas sur une évaluation d'externalités* (qui correspondraient, dans ce cas, aux coûts engendrés par le réchauffement). Cela a été dit cent fois, mais il faut le répéter. C'est une "institution", un ensemble de règles grâce auxquelles la Société mondiale entend traiter le problème de l'effet de serre. Les coûts que le système fait apparaître sont liés à la démarche d'optimisation de la solution, et non au problème lui-même.

L'exemple du CO₂ est donc intéressant à plus d'un titre, car il montre la difficulté qu'il y a à anticiper les réactions de la société. L'évolution que l'on a pu constater, depuis la rencontre fondatrice, à Kyoto en 1998, jusqu'à l'époque actuelle où le dernier signataire (la Russie) refuse de se déterminer sur un texte pourtant très édulcoré, montre que la création d'un cadre institutionnel est toujours très difficile. Du moins s'il s'agit d'un cadre capable de modifier les décisions et les comportements.

Il est toujours possible (et souvent fructueux) de faire des comparaisons entre énergies en chiffrant largement les externalités. Ou de décider qu'à telle date, telle énergie occupera 30% du marché. Mais, si on veut éviter que ces comparaisons et ces annonces ne restent du domaine de l'incantation, il convient de s'intéresser aux mécanismes politiques et juridiques qui leur permettraient de s'insérer dans le réel, et donc de changer les comportements et les décisions (11). Il convient également d'évaluer les chances que l'on a de voir ces mécanismes se mettre en place, et fonctionner de façon efficace.

La conclusion est donc double :

D'une part, il n'est pas possible que, dans une étude sur l'énergie, les évaluations de Merit Order fassent l'impasse sur les problèmes d'effets latéraux, de "nuisances" que la Société considère comme majeures, et qui pourraient condamner certaines technologies à n'être que des "espèces non retenues par l'Evolution".

D'autre part, la méthode qui consisterait à se focaliser sur l'évaluation des externalités risque d'enfermer les études dans une approche trop théorique, finalement sans issue. Le chiffrage des externalités peut être un guide pour la décision, mais ce n'est jamais une décision. Il importe de prendre du recul (ce qui peut conduire à changer les échelles temporelles et spatiales), et d'étudier la capacité qu'a la Société d'éliminer ou d'accepter les solutions retenues.

Conclusion générale

Au cours des pages qui précèdent, sept points ont été examinés successivement. Ensemble, ils constituent la Grille d'Analyse que propose l'Académie pour les études consacrées à l'énergie et aux technologies qui s'y rattachent.

Rappelons, en quelques lignes, ce que sont ces sept points.

I - Le choix du cadre spatial, et sa justification au vu des objectifs de l'étude.

II - Le choix du cadre temporel, et sa justification. En matière énergétique, le 21^{ème} siècle devrait être marqué par un certain nombre de "transitions", vis à vis desquelles il faut se positionner clairement.

III - Le choix entre une approche guidée par la compétition entre technologies (baptisée "Merit Order"), et l'approche plus classique confrontant besoins et ressources. Les limites que rencontre cette dernière approche ont été soulignées.

Les trois transitions considérées comme les plus importantes constituent les points IV à VI.

IV - Le plafonnement de l'extraction du pétrole (ce qu'on désigne par "Peak Oil") marque l'entrée dans une période de prix élevés, pour le pétrole, mais aussi pour l'énergie en général. On a appelé T1 cette transition.

V - La lutte contre l'effet de serre peut conduire à une organisation mondiale (dans la ligne de Kyoto) ou rester pendant longtemps limitée à des politiques nationales ou pluri-nationales, appuyées sur la montées des prix. On a appelé T2 la transition qui correspond à la première voie, et qui fait entrer dans un monde où la contrainte carbone joue un rôle structurant.

VI - On a appelé T4 la transition qui conduirait à une séparation entre les usages fixes de l'énergie et les usages mobiles (transports). La problématique des seconds (ressources, Merit Order des énergies, économies possibles, impact sur la société) devenant complètement indépendante de celle des premiers.

La Grille d'analyse demande que les études ou projets se positionnent par rapport à T1, T2, et T4.

VII - Enfin, on a souligné que, lorsqu'on traite de la trajectoire complète d'une technologie (développement, pénétration, maturité, déclin), on ne peut se contenter d'une démarche "techno-centrée", qui négligerait l'importance des effets latéraux, des nuisances associées à tout développement, et la capacité de la Société à formuler (et à imposer) des jugements négatifs. Mais qu'on ne peut pas, non plus s'en remettre à la solution trop théorique qui consisterait à faire entrer ces effets dans un coût d'externalités. Les études devront donc se prononcer sur le type de mécanisme qui peut soutenir, ou au contraire faire échouer, les solutions étudiées.

Aucun de ces sept points n'est très nouveau: on les retrouve (au moins partiellement) dans les études que cite la bibliographie, et dans beaucoup d'autres. En les présentant tous ensemble, néanmoins, la grille insiste sur trois choses :

- d'une part, sur le fait que ce ne sont pas seulement les études de prospective énergétique qui doivent prendre en compte les sept points, mais également (on a envie de dire "mais surtout") les études et projets portant sur les technologies énergétiques.
- d'autre part, qu'il est demandé de prendre en compte, non pas une partie du questionnaire en sept points, mais sa totalité. Car les différents points se renvoient l'un à l'autre.
- enfin, que questions et réponses doivent être explicites. La logique interne de beaucoup de dossiers montre souvent quelles hypothèses ont été faites, implicitement. La méthodologie proposée demande de passer à l'explicite.

On peut alors conclure cette note par un survol rapide, et volontairement critique, des études sur l'énergie et ses technologies. On peut les regrouper, de façon sommaire, par référence à la période qu'elles traitent de façon préférentielle.

2003 - 2020 - La période d'extrapolation des situations actuelles

Il n'y a pas grand chose à dire des études de ce type, et de l'analyse "toutes choses égales par ailleurs" qui les sous-tend. On peut seulement noter que ce sont, en fait, des études "Avant T1 et T2". Et que ce point n'est presque jamais mentionné. On peut également noter que les technologies évoquées sont, le plus souvent, adaptées aux pays industriels les plus évolués.

2025 - 2050 - La période critique

Ce sont en fait, ou ce devrait être, des études "Après T1 et T2". Or, dans la mesure où ces études présentent des technologies (Piles à combustibles, Hydrogène, Biomasse, Nucléaire, etc..) destinées à jouer un rôle important (numéros 1 ou 2 du Merit Order) on reste stupéfait de constater que rien ou presque rien n'est dit de l'évolution globale que symbolisent les trois transitions, et qu'on applique, sans scrupule excessif, l'approche "Toutes choses égales par ailleurs". Comme rien ne sera égal (même par ailleurs), on peut considérer que ces études sont, au mieux, des éléments d'un dossier à construire.

2050 et au delà

Les critiques faites pour la période précédente ne peuvent plus être ignorées, et la prudence suggère à beaucoup de renoncer à évoquer les situations de fin de siècle. Ce qui évite d'avoir à se prononcer sur des dates comme T3, T4 et T5.

Peut-on en rester là, néanmoins, sans tricher quelque peu avec la cohérence de chaque étude? Il semble bien que ce soit impossible, et cela pour deux raisons :

- d'abord parce que beaucoup de technologies aujourd'hui en développement n'auront qu'une influence faible avant 2050. Malgré leur penchant pour la vantardise, ce sont en fait des technologies de la deuxième moitié du 21ème siècle. Savoir si elles seront adaptées à cette époque est donc une question incontournable.

- ensuite parce que la fin de la deuxième période et l'héritage qu'elle laissera (notion clé pour le Développement Durable) doivent être examinés dans l'optique de ce que sera la deuxième moitié du siècle.

Ce passage en revue peut paraître exagérément critique. Pourtant, son but n'est pas de stigmatiser des manques, mais de souligner la nécessité d'une méthodologie. En matière d'énergie, les dépenses associées à tout programme de recherche sont nécessairement élevées, et plus encore si on met en route des développements industriels. On est donc obligé de partir de la situation finale, de la rencontre entre la technologie et la Société qui aura à l'utiliser, pour bien mesurer les forces et les faiblesses de ce que l'on veut entreprendre. Ce faisant, on est pris entre le souci de ne rien négliger et le découragement devant les incertitudes. Ce qui est alors demandé par la Grille, ce ne sont donc pas des réponses (parfois impossibles à donner), c'est de n'oublier aucune des questions, et de souligner, lorsque c'est nécessaire, qu'il n'y est pas répondu.

BIBLIOGRAPHIE

Cette Bibliographie est volontairement très courte, et n'a pas d'autre objectif que d'illustrer certaines des propositions du texte principal. Une "véritable bibliographie" sur les technologies de l'énergie serait d'ailleurs impossible à manier!

- 1 - *Débat National sur l'énergie* - 2003
- 2 - *World Energy Technology and Climate Policy Outlook* - Bruxelles 2003
- 3 - *Global Energy Perspectives* - World Energy Council 1999
- 4 - *L'Energie pour le monde de Demain: le temps de l'action* - WEC 2000
- 5 - Rapport 2000 de l'Académie des Sciences au Président de la République
- 6 - ASPO - *Second International Workshop on oil and gas Depletion* Mai 2003
- 7 - *Lettre de l'Académie des Sciences* - printemps 2003
- 8 - Association Negawatt *Manifeste pour un avenir énergétique sobre, efficace, et renouvelable* - avril 2003
- 9 - Energy Foresight - *Sweden in Europe. Synthesis and Summary* 2003
- 10 - Suisse Energy Foresight.
- 11 - Godard: *"Exhorter ou gouverner?"* Le Débat 1999
- 12 - *Energy related Delphi statements in comparison* - Eurendel 2003
- 13 - VLEEM - *Very Long Term Energy Environment Modelling* - 2002