

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
AVIS ET RAPPORTS DU
CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

RECHERCHES ET
TECHNOLOGIES DU FUTUR :
QUELLES ORIENTATIONS POUR
LA PRODUCTION ET LA
CONSOMMATION D'ÉNERGIE ?

2006
Rapport présenté par
Mme Marie-Odile Paulet

MANDATURE 2004-2009

Séance des 12 et 13 décembre 2006

**RECHERCHES ET TECHNOLOGIES DU
FUTUR : QUELLES ORIENTATIONS
POUR LA PRODUCTION ET LA
CONSOMMATION D'ÉNERGIE ?**

**Avis du Conseil économique et social
sur le rapport présenté par Mme Marie-Odile Paulet
au nom de la section des activités productives, de la recherche
et de la technologie**

(Question dont le Conseil économique et social a été saisi par décision de son bureau en date du 22 septembre 2004 en application de l'article 3 de l'ordonnance n° 58-1360 du 29 décembre 1958 modifiée portant loi organique relative au Conseil économique et social)

SOMMAIRE

AVIS adopté par le Conseil économique et social au cours de sa séance du mercredi 13 décembre 2006 I - 1	
Première partie - Texte adopté le 13 décembre 2006 3	
INTRODUCTION.....5	
I - ÉTAT DE LA SITUATION7	
A - L'ÉTAT DES LIEUX7	
1. Structure des consommations/productions7	
2. Inégalités dans la consommation7	
3. Ressources et réserves d'énergies fossiles.....8	
4. La situation française dans le contexte européen.....10	
B - COMMENT ENVISAGE-T-ON LE FUTUR ? SUR QUELLES SOURCES TABLER ?.....11	
1. Les ressources fossiles.....11	
2. Une place accrue de l'électricité ?12	
3. Les énergies renouvelables.....13	
4. Capture et stockage du carbone15	
5. La consommation : une tendance préoccupante et inquiétante.....15	
II - LES PROPOSITIONS.....16	
A - COMMENT DÉFINIR ET PRÉPARER LES CHOIX.....16	
1. Définir les objectifs17	
2. Méthodes et critères.....18	
3. Démocratie et conduite du débat20	
B - PERFECTIONNEMENTS ET RUPTURES TECHNOLOGIQUES.....21	
1. Dans la consommation21	
2. Dans la production.....24	
C - VERS UN MIXTE ÉNERGÉTIQUE DIVERSIFIÉ ET ÉQUILIBRÉ.....34	
1. Un impératif : se situer dans le développement durable34	
2. Un mixte raisonné, équilibré, associant fossiles, renouvelables, nucléaire.....34	
3. Grandes installations et énergie décentralisée36	
4. Les technologies ne suffisent pas36	
CONCLUSION.....39	

Deuxième partie - Déclarations des groupes.....	41
ANNEXE A L'AVIS.....	67
SCRUTIN.....	67
RAPPORT - présenté au nom de la section des activités productives, de la recherche et de la technologie par Mme Marie-Odile Paulet, rapporteure	II - 1
INTRODUCTION.....	4
CHAPITRE I UN CONSTAT	7
I - BILAN DE L'EXISTANT OU ÉTAT DES LIEUX.....	7
A - DE LA PRODUCTION ET DE SES USAGES.....	7
1. La production	7
2. Les consommations et les usages	9
B - DES RESSOURCES CONNUES	11
1. Le pétrole.....	13
2. Le gaz naturel	14
3. Le charbon.....	15
4. L'uranium : des réserves pour 3/4 de siècle avec les technologies actuelles ?.....	16
C - LA SITUATION FRANÇAISE	17
1. Ressources et production.....	17
2. Les consommations	18
II - LES SOURCES « TRADITIONNELLES » RESTENT LES PLUS UTILISÉES.....	20
A - LES SOURCES FOSSILES PAR MODE DE PRODUCTION	20
1. Les hydrocarbures	20
2. Le gaz naturel	21
3. Le charbon.....	22
B - LE CHOIX DU NUCLÉAIRE OU COMMENT PALLIER LE MANQUE DE MATIÈRE PREMIÈRE PAR L'OUTIL TECHNOLOGIQUE	22
1. Paysage du nucléaire dans le monde	22
2. Éléments techniques sur la filière.....	24
3. La gestion de l'aval du cycle	26
III - L'APPORT RELATIF DES ÉNERGIES RENOUVELABLES...26	26
A - BRÈVE PRÉSENTATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES.....	27

1. L'hydraulique	27
2. La biomasse	28
3. Les biocarburants	28
4. L'énergie solaire	28
5. La géothermie	28
6. L'éolien	28
7. L'énergie des mers	29
B - L'APPORT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES AU BILAN ÉNERGÉTIQUE	29
C - L'INTERVENTION COMMUNAUTAIRE	31
D - LES INTERVENTIONS NATIONALES	32
CHAPITRE II LES DÉTERMINANTS DE LA CROISSANCE ÉNERGÉTIQUE	33
I - CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE, CROISSANCE ÉCONOMIQUE : ÉLÉMENTS DE PROSPECTIVE	33
1. Démographie et croissance économique	33
2. Différents scénarii, selon les politiques suivies et selon le prix des énergies	35
3. Prévision de la demande en 2030	37
4. Des prévisions encore plus difficiles à plus longue échéance	40
II - LA DISPONIBILITÉ PHYSIQUE DES RESSOURCES ET LE COMMERCÉ MONDIAL DE L'ÉNERGIE	42
A - DU CÔTÉ DE L'OFFRE, VERS 2030, COMPTE TENU DES ÉVOLUTIONS DE LA DEMANDE	42
1. Une nécessité : produire globalement plus et mieux	42
2. La notion de « peak oil »	42
3. Du charbon en quantité... et plus propre ?	43
4. Une part du gaz en hausse, y compris pour la production électrique	44
5. En résumé	44
B - LA DISPONIBILITÉ PHYSIQUE DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES	45
1. Une nouvelle géographie de l'énergie ?	45
2. Des zones de production consolidées et des zones émergentes	45
3. Quels futurs possibles ?	45
C - LES QUESTIONS POSÉES POUR RÉPONDRE À LA DEMANDE	46
1. Rôle des investissements et des infrastructures	46
2. D'énormes besoins d'investissements	47
3. Exigences quantitatives et qualitatives	48

4. Importance stratégique de l'énergie : le commerce international de l'énergie et investissements.....	49
III - DES RÉGIONS DU MONDE RESTENT TOUJOURS EN RETRAIT.....	54
IV - DE L'IMPORTANCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	56
A - LA PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	56
B - LES CRAINTES D'UNE ACCÉLÉRATION DE L'ÉMISSION DES GAZ À EFFET DE SERRE.....	57
C - DES PROJECTIONS INQUIÉTANTES	58
D - UNE PROGRESSION DE LA PRISE DE CONSCIENCE DEPUIS KYOTO	59
CHAPITRE III QUELLES RÉPONSES POSSIBLES ?	61
I - ÉTAT DU DÉBAT ET HORIZON TEMPOREL	61
A - ÉTAT DU DÉBAT AU NIVEAU NATIONAL.....	61
1. Un débat récurrent et intense	61
2. Le débat public de 2003 et la loi d'orientation de 2005	63
B - AU SEIN DE L'UNION EUROPÉENNE	64
1. Un thème régulier de débats et de travaux.....	64
2. Une phase de prise de conscience des enjeux du futur	64
3. Un débat nourri.....	65
4. Les plus récentes décisions communautaires.....	65
C - LE DÉBAT AU NIVEAU INTERNATIONAL : UNE PRISE EN COMPTE INSUFFISANTE FACE À UN DÉFI MAJEUR	66
D - QUESTIONNEMENT SUR L'HORIZON TEMPOREL.....	67
II - QUEL APPORT DE LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE LA PRODUCTION ?.....	69
A - LES ÉNERGIES DITES CLASSIQUES.....	69
1. Le Pétrole	70
2. Le gaz naturel	76
3. Le charbon.....	78
4. Le nucléaire	79
B - LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	82
C - CAPTURE ET STOCKAGE DU CO ₂	87

III - QUEL APPORT DE LA RECHERCHE, POUR UNE UTILISATION FINALE PLUS EFFICACE DE L'ÉNERGIE : LE CAS DE LA FRANCE	89
A - DANS LE DOMAINE DE LA CONSOMMATION	89
1. Des économies d'énergie à la maîtrise de l'énergie.....	90
2. Jusqu'en 1973 une énergie abondante et bon marché.....	90
3. Les politiques d'économie d'énergie.....	91
4. La nécessaire maîtrise de l'énergie.....	92
5. La montée en puissance des préoccupations environnementales... ..	92
B - UNE BAISSÉ DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE PAR L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE.....	95
1. Des options technologiques et comportementales pour favoriser la sobriété énergétique	95
2. L'évolution sectorielle de l'efficacité énergétique en France.....	96
C - LA RECHERCHE AU SERVICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	99
1. Le rôle majeur de la R&D pour une meilleure efficacité énergétique dans les usages finaux	100
2. La maturité technologique.....	102
D - COMPÉTITIVITÉ DES ENTREPRISES ET MAÎTRISE DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE.....	103
1. La consommation énergétique dans le secteur industriel	103
2. Une consommation finale d'énergie par branche industrielle très concentrée	104
3. Les moyens mis en œuvre pour maîtriser les consommations d'énergie dans l'industrie.....	104
4. Les marges de manœuvre et les orientations dans le domaine de l'industrie.....	105
E - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE DANS LES TRANSPORTS ROUTIERS	106
1. Réduire les nuisances du transport routier.....	107
2. Réduire la pollution locale due à l'automobile.....	108
3. Les évolutions technologiques pour une meilleure efficacité énergétique dans les transports routiers	109
4. Les nouvelles motorisations possibles.....	113
F - LES SYNERGIES DE RECHERCHE POUR TRANSPORTER GRÂCE À L'HYDROGÈNE	116
1. La pile à combustible (PAC)	116
2. L'hydrogène : vecteur d'énergie propre	116
3. L'hydrogène comme carburant pour les automobiles.....	117

4. L'hydrogène parviendra-t-il à réconcilier transport et développement durable ?	119
G - LE « RÉSIDENTIEL/TERTIAIRE ».....	120
1. Un secteur diffus et très consommateur.....	120
2. Une réglementation thermique en constante évolution.....	122
3. Une recherche programmée.....	123
4. Quelques réalisations.....	123
IV - QUEL FUTUR ÉNERGÉTIQUE ?	125
A - SOBRIÉTÉ, EFFICACITÉ, ÉCONOMIES D'ÉNERGIES	125
B - QUEL MIXTE ET À QUELLE DATE ? FOCUS SUR DEUX ÉNERGIES DOMINANTES	127
1. Pétrole et transport.....	130
2. L'électricité	131
CONCLUSION.....	133
BIBLIOGRAPHIE	135
LISTE DES PERSONNALITÉS RENCONTRÉES.....	141
TABLE DES SIGLES	143
UNITÉS DE VALEUR.....	145
LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	147

AVIS

**adopté par le Conseil économique et social
au cours de sa séance du mercredi 13 décembre 2006**

Première partie
Texte adopté le 13 décembre 2006

Le 22 septembre 2004, le Bureau du Conseil économique et social a confié à la section des activités productives, de la recherche et de la technologie la préparation d'un rapport et d'un projet d'avis sur « *Recherches et technologies du futur : quelles orientations pour la production et la consommation d'énergie ?* »¹.

La section a désigné Mme Marie-Odile Paulet comme rapporteure.

*
* *
*

INTRODUCTION

Le monde s'oriente-t-il vers un avenir énergétique durable ?

L'étude de l'Agence internationale de l'énergie pour le G8 du sommet de Saint Pétersbourg en juin 2006 conclut que la simple poursuite des tendances actuelles entraînerait une réponse négative, mais que tout dépend entièrement de l'action que mèneront l'ensemble des pays.

Depuis deux siècles, nos sociétés ont vécu et ont assuré leur développement sur des sources d'énergie commodes à utiliser et peu chères. Les deux révolutions industrielles ont été permises d'abord par le charbon, ensuite par l'électricité. Au charbon s'est adjoint, puis substitué le pétrole, dont la souplesse d'utilisation a permis la révolution des moyens de transport. Pour sa part, l'électricité a littéralement transformé notre mode de vie par le développement sans fin de ses usages. Elle s'est rapidement située en position centrale du système énergétique.

Depuis quelques décennies, le monde de l'énergie a dû faire face à de multiples difficultés et les a, pour partie, surmontées. Cependant, si l'avenir est à l'image de la situation actuelle, les tendances préoccupantes ne feront que s'aggraver. Les contraintes passées menacent toujours aujourd'hui. D'autres sont apparues dont la prise en compte pourrait avoir comme conséquence de modifier sensiblement l'approche traditionnelle de notre rapport à la consommation d'énergie.

L'analyse à laquelle le Conseil économique et social propose de réfléchir a pour horizon 2050. Cette date peut paraître lointaine, cependant dans le domaine énergétique il s'agit d'un long terme ayant du sens, le temps de l'énergie étant celui de la longue durée. Bien des infrastructures sont bâties pour cette durée de temps et les recherches fondamentales engagées aujourd'hui donneront leurs

¹ L'ensemble du projet d'avis a été adopté au scrutin public par 199 voix contre 1 et 2 abstentions (voir le résultat du scrutin en annexe).

effets industriels au-delà, pour se poursuivre longtemps encore dans le XXII^e siècle.

Le terme fixé à cette analyse ne peut être celui de la prévision. Il ouvre le champ des possibles, qu'il s'agisse des évolutions, des ruptures technologiques, démographiques ou économiques, voire politiques.

Si les incertitudes sont grandes concernant deux des plus importants déterminants de la croissance de la demande et de la consommation énergétique - on évoquera ici la démographie et le taux de croissance économique -, si elles le sont aussi lorsque l'on évoque le futur de telle ou telle source d'énergie, elles le sont moins quant à la réalité du changement climatique, même si ses conséquences demeurent encore mal connues, - tant ce phénomène se caractérise par son inertie.

Le réchauffement climatique - on le sait bien aujourd'hui - constitue aussi une véritable contrainte qui nous impose de modifier nos comportements individuels et collectifs et en premier lieu le rapport à l'énergie.

Le degré d'acceptation ou d'action face aux risques liés à un changement climatique et aux incertitudes relatives aux différentes énergies, aux transports... déterminera le paysage énergétique et la structure de nos consommations dans l'avenir.

Les disponibilités physiques de certaines réserves constituent désormais (ou vont bientôt constituer ?) une véritable contrainte, ce qui ne s'était jamais produit, sauf en temps de guerre ou d'embargo : la transition du bois au charbon, puis du charbon au pétrole, par exemple, s'est opérée pour des raisons de progrès technique, économique et de souplesse d'utilisation mais non de rareté.

On distingue alors que la dimension technique, si elle est importante, n'est pas unique.

Interroger la recherche et la technologie ne doit pas conduire à ne tableer que sur elles pour régler la question de l'avenir énergétique du monde, d'autant qu'en l'état actuel de nos connaissances aucune technique ne peut, à elle seule, jouer un rôle assez déterminant pour modifier radicalement le paysage énergétique même à horizon 2050.

La modification des comportements, de chacun d'entre nous comme des systèmes productifs, est une condition probablement aussi déterminante pour assurer un avenir durable à nos sociétés.

Il s'agit bien d'appliquer de manière équilibrée le principe de précaution à la prospective énergétique dont la mise en œuvre suppose l'élaboration de politique sur les différents angles d'actions possibles et qui peut, dans le cas du changement climatique, prendre parfois la forme d'un surcoût à payer pour les sociétés actuelles (en faisant le choix de techniques ou sources les moins émettrices de CO₂) afin d'éviter aux sociétés futures un surcoût autrement lourd à payer, en plus des dommages difficilement réversibles.

L'exercice, on le voit, n'est pas aisé car les évolutions futures du paysage énergétique à quelque niveau qu'on l'observe, sont conditionnées par des questions d'ordre éthique et politique dont la résolution doit permettre la pérennité de nos sociétés et leur développement vers plus de bien-être.

I - ÉTAT DE LA SITUATION

A - L'ÉTAT DES LIEUX

La croissance de la consommation et de la production d'énergie est toujours sensible. Depuis 1973, la production mondiale a crû de 50 % pour atteindre aujourd'hui plus de 11 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep). La consommation atteint, en 2005, 10,5 milliards de tep.

Les déterminants de cette croissance substantielle sont nombreux, néanmoins deux facteurs sont essentiels : la démographie et la croissance économique, lesquelles conditionnent en partie l'évolution des modes de vie.

1. Structure des consommations/productions

L'analyse de la structure de la consommation mondiale d'énergie actuelle montre une certaine prééminence du pétrole comme source, suivi à bonne distance du charbon et du gaz naturel. L'hydraulique et l'énergie nucléaire (pour la production d'électricité) sont assez proches en pourcentage l'une de l'autre.

La période contemporaine est marquée par la croissance spectaculaire de la consommation et de la production d'électricité dans le monde. Au début de la décennie 1970, la production dépassait 5 200 tWh. Elle aurait atteint plus de 17 000 tWh (en 2004) soit une multiplication par plus de trois.

Le bilan général que l'on peut dresser à l'aube du XXI^e siècle montre donc notre dépendance envers les sources fossiles. Selon le rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) 2006, plus de 80 % de l'énergie primaire consommée dans le monde a pour origine le pétrole, le gaz ou le charbon ; l'électricité primaire (nucléaire, hydraulique, éolien) représente 10 %, les quelque 10 % restant représentent la part des autres énergies renouvelables.

La poursuite, au même niveau de consommation/production contemporaine, de cette tendance conduira inmanquablement à l'épuisement des ressources non renouvelables. La question est alors celle du laps de temps nous en séparant.

2. Inégalités dans la consommation

En dépit d'un certain rattrapage de pays en développement, la consommation d'énergie est toujours très inégalitaire. À eux seuls, les États-Unis participent pour plus du cinquième des consommations, soit plus que l'Union européenne tout entière. La Chine, depuis quelques années, se place au deuxième rang des pays consommateurs, avec 15 %.

Rapportés aux consommations individuelles, les écarts sont toujours aussi grands. Par an, un habitant des États-Unis consomme près de 8 tep, un Chinois 1 tep, un Français 4,5. La consommation d'un Africain - lorsqu'elle est connue - évolue de 2,6 tep en Afrique du Sud à 0,3 tep pour un Éthiopien.

Enfin, chaque pays ou région privilégie une ou deux sources. Le charbon domine en Asie-Pacifique, cela étant essentiellement dû à l'importance de cette source pour la Chine et l'Inde. L'Amérique du Nord recourt beaucoup au gaz naturel et au charbon. L'Europe accorde la première place au pétrole.

Par usage, le pétrole est utilisé essentiellement pour le transport, puis pour produire de l'électricité. Le gaz est consommé pour produire de l'électricité, bien avant le chauffage. Deux tiers du charbon extrait sont utilisés pour produire de l'électricité et de la chaleur.

Enfin, l'électricité est produite pour près de 40 % à partir du charbon. Le pétrole entre pour moins de 7 % de cette production. Le gaz (près de 20 %), l'hydroélectricité (16 %), le nucléaire (près de 16 %) se partagent le reste (selon Enerdata « *Key world energy statistics* » 2006). L'importance de l'électricité se mesure au fait que 40 % des énergies fossiles consommées dans le monde, aujourd'hui, le sont pour produire ce fluide.

3. Ressources et réserves d'énergies fossiles

Le volume des ressources prouvées évolue sans cesse, au fil des découvertes mais aussi de la valeur marchande qu'on accorde à la matière produite ou extraite.

Le terme de « réserves », fréquemment employé, présente quelques ambiguïtés et la question de leurs niveaux est très controversée. Il correspond à ce qu'on peut espérer récupérer de ressources dans le futur et sous certaines conditions techniques et économiques. Il s'agit donc d'une notion technico-économique qui varie en fonction, notamment, de ces deux paramètres. On peut expliquer ainsi que les réserves mondiales de pétrole soient, depuis quarante ans, de... quarante ans, dans la mesure où en quatre décennies les techniques ont largement évolué et que les prix, souvent orientés à la hausse, ont permis de réaliser des investissements pour accéder à des ressources qui n'étaient pas accessibles jusque là.

Cependant à cette donnée technique s'ajoute une dimension politique qui revêt un aspect essentiel dès lors que le produit en question est stratégique et que les États sont, tout à la fois, propriétaires (le plus souvent) et producteurs de la ressource. La présentation de l'état des réserves relève d'un acte politique.

Pour ajouter encore à la difficulté de chiffrer, les différents acteurs évoquent tour à tour les « réserves prouvées, les « réserves probables » voire les « réserves ultimes ».

Le terme de « réserves prouvées » veut dire qu'il s'agit de quantités de matières ayant une forte probabilité d'être récupérées dans le futur, selon les informations géologiques et techniques disponibles à partir de gisements connus et dans les conditions technico-économiques existantes. C'est dire si le prix est fondamental, puisqu'il influencera des recherches plus approfondies, des exploitations plus systématiques, et aussi le recours à des nouvelles techniques de consommation. Or, ce prix est volatil, alors que les investissements de capacités sont, de long, voire, très long terme. Ils doivent, pour être décidés, se baser sur un prix, sinon constant, du moins ne subissant pas de mouvements erratiques.

Ces réserves sont inégalement réparties. Des zones géographiques en recèlent en quantité importante - le Moyen-orient renferme plus de 60 % des réserves pétrolières et 40 % de celles de gaz naturel mondiales ; la Russie renferme plus du quart des réserves gazières mondiales, par exemple -, d'autres en disposent avec parcimonie. Cette inégalité géologique est loin d'être sans effet sur la géopolitique. Combinée au prix de ces ressources primaires, elle constitue un arrière plan déterminant.

3.1. Le pétrole : 40 fois la consommation annuelle actuelle ?

Les réserves prouvées d'hydrocarbures étaient évaluées, à la fin 2005, à quelque 164 milliards de tonnes, soit 1 200 milliards de barils (1 tonne = 7,33 barils). En vingt-cinq ans, ces réserves se sont enrichies de plus de 60 milliards de tonnes. Cependant, l'essentiel de l'augmentation des réserves prouvées a été réalisé dans la décennie 1980. Depuis les découvertes de nouveaux gisements se sont ralenties. Au rythme présent, les réserves sont de l'ordre de 40 fois la consommation annuelle actuelle.

3.2. Le gaz naturel : un peu plus de durée de réserves ?

Les réserves de gaz naturel étaient de 180 milliards de m³ fin 2005. Elles ont doublé depuis 1980. Contrairement au pétrole, la dernière décennie a été riche en découvertes ou en approfondissement des connaissances de la ressource.

Au rythme actuel de production, les réserves mondiales sont estimées à 67 fois la consommation actuelle.

3.3. Le charbon : deux siècles de réserves ?

Il s'agit des réserves les plus importantes. Elles se montent, fin 2003, à près de 1 000 milliards de tonnes. Elles sont, aussi, plus également réparties entre les différents continents ou pays. Au rythme actuel de la production, les réserves sont assurées au minimum pour un siècle et demi.

3.4. L'uranium : des réserves pour 3/4 de siècle avec les technologies actuelles ?

Ces réserves sont estimées à près de 4,4 millions de tonnes, dont plus de 3 millions seraient facilement exploitables. Les besoins annuels sont estimés à quelque 60 000 tonnes.

4. La situation française dans le contexte européen

La situation européenne est variée, avec des ressources d'hydrocarbures - mais en baisse - dans la mer du Nord et du charbon en Europe centrale - Allemagne, Pologne... - et des pays sans ressources. Globalement, l'Union européenne est de plus en plus dépendante de ses importations énergétiques, pour 50 % de son énergie aujourd'hui, sans doute 70 % demain.

Désormais pratiquement sans ressources naturelles fossiles, la France a fait le choix de privilégier une source nationale d'électricité, par le recours au nucléaire.

La situation actuelle est issue du « Plan Messmer », décidé en 1973 qui visait sinon à donner à notre pays une indépendance énergétique, du moins à le rendre moins dépendant, en agissant simultanément sur trois leviers :

- la création et le développement d'une nouvelle énergie d'origine nationale ;
- la diversification des sources d'approvisionnement ;
- les économies d'énergie.

Le « Plan Messmer » a atteint pleinement ses deux premiers objectifs, si l'on en juge par l'évolution du taux d'indépendance énergétique : de l'ordre 20 % en 1973 et qui se situe aujourd'hui au voisinage de 50 %.

Le choix de la filière électronucléaire a été mené jusqu'à assurer aujourd'hui 80 % de la production électrique.

Aujourd'hui la structure de la consommation nationale d'énergie primaire (plus de 276 Mtep) est à 42 %, assurée par l'électricité, pour un tiers par le pétrole (essentiellement pour les transports) et le gaz naturel (15 %). Le charbon et les énergies renouvelables, hors hydroélectricité, participent chacun pour environ 5 % du bilan national.

Le vaste secteur « résidentiel/tertiaire » est le premier consommateur d'énergie, au-delà de 40 %. Il devance les transports que les différents chocs pétroliers n'ont finalement que peu affectés sur la longue durée, lesquels ont, eux-mêmes, dépassé depuis quelques années le secteur industriel. La baisse, en valeur relative de 16 points depuis 1973, de la consommation de ce secteur résulte d'un double phénomène : d'une part, la baisse relative de la part de l'industrie dans l'ensemble de l'appareil productif français, marqué parallèlement par la tertiarisation de l'activité, d'autre part, l'amélioration sensible de l'intensité énergétique du secteur (c'est-à-dire l'amélioration du rapport de la consommation d'énergie pour produire une unité de PIB).

B - COMMENT ENVISAGE-T-ON LE FUTUR ? SUR QUELLES SOURCES TABLER ?

Alors que l'énergie constitue un moteur essentiel du développement et que l'évolution économique et sociale nous montre que le monde emploie, années après années, de plus en plus d'énergies, une question revient toujours.

Comment envisager et préparer l'avenir ? Comment faire pour que la demande légitime de développement et de bien-être trouve réponse en matière d'énergie, alors que l'on sait que, sans politiques anticipatrices, l'offre sera incapable à la fois de répondre à la demande et d'assurer la préservation de l'environnement et des ressources naturelles.

Si la longueur de la période prise en compte jusqu'au terme de notre étude interdit de recourir à la prévision - au sens strict du terme - elle autorise un examen prospectif et le recours aux scénarii.

Ils sont particulièrement nombreux en la matière. Une majorité d'entre eux s'accorde sur l'idée que la poursuite des tendances actuelles serait rapidement dangereuse. La plupart des études prospectives indiquent, en effet, que la consommation d'énergie primaire (commerciale) dans le monde devrait doubler d'ici à 2030 et tripler d'ici à 2050 pour atteindre, selon les scénarii, selon qu'ils sont plus ou moins « productivistes » ou précautionneux, de 20 à 25, voire à l'extrême, 30 Gtep. D'autres scénarii s'appuyant sur une vision radicalement différente tablant sur un recours très important aux énergies renouvelables et sur une politique très résolue d'économies d'énergie... proposent un niveau de consommation moindre : de l'ordre de 15 Gtep (soit, tout de même, 5 Gtep de plus qu'aujourd'hui et une croissance de 50 %).

L'évolution prévisible ou possible de la demande exigera l'accroissement de la production d'énergie. Les ressources auxquelles il est demandé en priorité l'essentiel de la production ne sont pas infinies. On peut également augurer que, compte-tenu de l'émergence de nouveaux consommateurs mondiaux, la concurrence va s'accroître entre régions de consommation tout autant qu'elle s'exacerbera entre les formes d'énergies.

1. Les ressources fossiles

1.1. Les hydrocarbures

Les sociétés industrielles (ou post industrielles) sont liées de long temps aux combustibles fossiles et particulièrement aux hydrocarbures. La dépendance de notre mode de vie à leur égard est très grande, soulignait encore récemment l'Académie des sciences dans ses « *Perspectives énergétiques* » (en 2005), ce que confirme l'AIE dans son scénario de référence à 2050 (*World energy outlook, 2005*).

Pour répondre à cette demande, la production de pétrole devrait approcher 6 milliards de tonnes en 2030, soit une croissance annuelle moyenne de + 1,6 % (par rapport à 2000).

On peut émettre quelques interrogations sur l'apport décisif de nouvelles découvertes de champs majeurs de pétrole conventionnel. La croissance des ressources devrait alors reposer sur le recours aux technologies les plus avancées permettant d'améliorer les rendements d'extraction et sur un apport croissant des huiles non conventionnelles, c'est-à-dire les huiles issues des sédiments bitumineux, les sables et les schistes, les produits dérivés, le charbon liquéfié, les huiles issues de la biomasse et les huiles basées sur le gaz liquéfié.

Il est plus que certain qu'au-delà de 2030, en l'état actuel des connaissances, la production ne pourra pas suivre une demande en croissance.

Les réserves de gaz naturel donnent une apparence d'abondance mais certaines estimations prospectives laissent à penser que le plateau de production pourrait être atteint vers 2015/2025 et s'étaler sur une quarantaine d'années, sans exploration dans les couches profondes et sans évolutions technologiques permettant d'utiliser la ressource des hydrates.

1.2. Le charbon

Toutes les études prévoient un recours important et en croissance du charbon, tout au long du XXI^e, les ressources étant abondantes. Si cette situation est plus que probable, une question d'importance doit être posée : comment rendre compatible l'utilisation du charbon avec les objectifs de réduction des émissions des gaz à effet de serre ? Un vaste effort de recherche - déjà avancé - est à poursuivre et à développer, afin d'améliorer les techniques dites de « charbon propre ». Toutefois, cela ne résoudra pas la question des émissions de CO₂, qui devra être traitée par la technique de la séquestration du carbone. Cet effort devra être mené au niveau international, notamment par le transfert des technologies. Si tel n'était pas le cas, comment peut-on admettre, rejoignant en cela une réflexion faite, notamment, par M. Pierre-René Bauquis (dans un article de la « *Revue de l'énergie* » de septembre 1999) « *qu'on* » *accepterait un risque « effet de serre » bien supérieur à ce qui paraîtrait aujourd'hui comme raisonnablement acceptable* », avec une production mondiale qui aurait doublé à l'horizon 2050 ?

2. Une place accrue de l'électricité ?

Il fait peu de doutes que l'électricité verra sa part relative croître dans le bilan énergétique mondial à l'horizon 2050. La demande dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés, sera constamment en augmentation. La demande mondiale d'électricité devrait ainsi croître, selon toute vraisemblance, d'ici à 2050 de manière extrêmement importante.

Pour faire face à cette demande accrue, toutes les sources seront mobilisées. Les hydrocarbures, en particulier le gaz, comme le charbon, devraient répondre pour partie à la demande. D'autres sources ou techniques seront requises : nucléaire, énergies renouvelables...

Si l'on suit l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le secteur de la production, transmission et distribution d'électricité, absorberait 60 % des investissements énergétiques totaux à réaliser c'est-à-dire de l'ordre de 12 000 milliards de dollars sur 20 000 milliards de dollars à l'horizon 2030 (ce qui ne représente, à tout prendre, qu'1,2 % du PIB annuel mondial). Le montant des investissements, pour les trente années à venir, serait alors trois fois supérieur (en termes réels) à ceux réalisés durant les trente dernières années. Une part non négligeable pourrait être investie dans le nucléaire.

L'énergie nucléaire est aujourd'hui une des voies de production d'électricité les plus rentables sans émission de gaz à effet de serre. Une trentaine de pays ont recours à cette technique qui assure pour chacun d'eux de quelques pour cent à près de 80 % de l'électricité produite. Au niveau mondial, le nucléaire assure 16 à 18 % de la production d'électricité et 6 % de la consommation énergétique.

C'est, rappelons-le, une technologie jeune mais dont l'acquis scientifique est important. Les plus de 440 réacteurs en fonctionnement dans le monde, ajoutés à ceux arrêtés depuis plus ou moins longtemps ont permis une accumulation d'expérience de l'ordre de plusieurs milliers d'années/réacteurs.

Si l'un de ses atouts est de ne pas émettre de CO₂, son utilisation doit surmonter certains obstacles : le coût total des investissements à réaliser ; l'opposition d'une partie de la population motivée par la question de l'acceptabilité liée à la sûreté et à la gestion de l'aval du cycle dont les déchets ; et la crainte d'un accident nucléaire, du risque terroriste et de la prolifération vers l'arme nucléaire.

C'est probablement dans le domaine du nucléaire civil que les recherches pour 2050 et après, au niveau international, sont les plus structurées ou du moins les mieux présentées.

Le parc actuel mondial, relativement homogène correspond à la « génération II ». La « génération III », illustrée par le nouveau réacteur franco-allemand EPR (réacteur à eau pressurisée), ou par ses concurrents américains (ABWR) ou russes (UVEM), a fait son apparition.

L'énergie d'origine nucléaire ne répondra qu'à une partie minoritaire de la demande d'électricité mondiale. À l'horizon 2050, l'AIE dans ses divers scénarii fait osciller sa part entre 7 % (dans les scénarii les plus pessimistes pour cette technique) à 22 % (scénarii les plus optimistes) et de 16 à 20 % dans les scénarii tendanciels, mais de 22 % à 70 % de la production d'électricité. En tout état de cause, elle restera au cœur du sujet d'ici au terme fixé à cette étude.

3. Les énergies renouvelables

Il en va de même des énergies renouvelables qui ont été pour ainsi dire littéralement redécouvertes par la mise en œuvre de nouvelles techniques. Comme le nucléaire, elles présentent un double avantage. Elles ne reposent sur aucune énergie fossile ou combustible et participent à la réduction de la

dépendance énergétique de ses producteurs ; elles ne génèrent aucun rejet dans l'atmosphère (à l'exception de la biomasse, laquelle agit comme un puits à carbone pendant sa vie). Pour les traiter correctement, il faut bien les distinguer selon qu'elles peuvent produire une énergie continue, stockable, discontinue ou aléatoire.

La plupart des scénarii prévoient que ces énergies participeront, pour une part plus importante qu'aujourd'hui, au bilan énergétique mondial du milieu du siècle. Cette part pourrait atteindre entre le quart et le tiers de la production d'électricité en 2050, selon l'AIE, surtout si les coûts des énergies produites baissent fortement. Il est évident que leur développement dépendra pour une large part du type d'aides qu'il sera décidé de mettre en œuvre pour aider à leur décollage. Il dépendra aussi, pour certaines d'entre elles, de la disponibilité des sites (dans le cas de l'hydroélectricité), ou des sols (dans le cas d'un développement des diverses formes de la biomasse, notamment les biocarburants), voire pour d'autres encore, du degré d'acceptation (éoliennes).

Les énergies renouvelables sont nombreuses et présentent une particularité, hormis la grande hydraulique, dans un monde énergétique marqué parfois par un certain gigantisme dans les investissements, les installations, la recherche... celle de participer d'une approche décentralisée, presque individualisée - pour certaines d'entre elles - qu'il s'agisse des moyens à mettre en œuvre, voire des investissements ou des aides à apporter.

Leurs applications relèvent de la production d'électricité, qu'il s'agisse de la grande ou de la petite hydraulique, de l'éolienne terrestre ou marine, de la biomasse, du solaire thermique de concentration ou photovoltaïque. Dans ce dernier cas, les applications à des régions ou des populations isolées non raccordées au réseau (on pense notamment à certaines populations de pays en développement) devraient permettre une amélioration substantielle de la situation, notamment sanitaire.

L'utilité des énergies renouvelables « *ne se résume pas à la production d'électricité, bien au contraire - la production de chaleur... figure parmi les applications où ces énergies sont les plus performantes* », souligne un rapport récent de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique (OPECST). On y retrouve notamment le solaire thermique, le biogaz, la biomasse, la géothermie. Elles relèvent aussi, et de plus en plus, des transports dans le cas des biocarburants et des piles à combustible à l'hydrogène, technologie en devenir.

Dans ces conditions, chacune des filières doit être analysée, une fois la distinction entre les diverses applications faites, pour ce qui est de sa contribution au bilan énergétique.

Une approche identique est celle retenue par le rapport sur « *Les nouvelles technologies de l'énergie* » élaboré sous la présidence de M. Thierry Chambolle, en 2003. Elle se retrouve également dans les rapports du « Comité des sages » à l'occasion du débat national sur les énergies de 2003.

4. Capture et stockage du carbone

La teneur en gaz carbonique de l'atmosphère est une question déterminante et participe de la configuration du paysage énergétique mondial. Même si ce n'est pas la solution unique pour résoudre la menace du changement climatique, aucun des scénarii envisagés à l'horizon de 30 à 50 ans, voire plus loin, n'est véritablement tenable pour l'humanité si une solution de séquestration du plus répandu d'entre les gaz à effet de serre (le CO₂) n'est pas trouvée.

Les océans constituent le premier puits naturel du carbone. Il est cependant peu concevable de vouloir accroître leur part relative dans la mesure où le résultat pourrait s'avérer particulièrement néfaste pour un milieu à l'équilibre extrêmement fragile.

Si donc, comme le soulignait M. Olivier Appert, lors de son audition par la section, le stockage du carbone, après liquéfaction, à de très grandes profondeurs d'eau semble voué à l'échec en raison, notamment, d'acceptabilité par l'opinion publique, il existe d'autres possibilités dans les sites géologiques.

La question essentielle est alors celle de la capture du CO₂. On y reviendra plus loin.

5. La consommation : une tendance préoccupante et inquiétante

La plupart des scénarii, de même que le très récent rapport de l'AIE sur ses perspectives énergétiques 2006 font, de fait, référence aux conséquences qu'aurait pour nos sociétés la poursuite des tendances actuelles de consommation des pays de l'OCDE et de l'extension de leur modèle aux autres pays notamment la Chine et l'Inde, compte tenu de leur poids démographique.

Les propos de M. Claude Mandil, directeur général de l'AIE seraient alors prophétiques lorsqu'il déclare que notre futur énergétique serait alors « sale, incertain et cher ». On ne peut exclure une telle hypothèse, laquelle conduirait probablement à des tensions tellement fortes que les risques de conflits seraient envisageables. On peut, également, s'interroger sur ce que serait la consommation des pays les plus en retrait dans le cas d'une telle compétition. Il y a fort à parier que les plus pauvres n'auraient que peu de chances de voir leur sort s'améliorer tant la lutte pour des ressources chères serait ardente. On peut, en outre, augurer que les taux de dépendances énergétiques de certaines économies seraient tels que des pans entiers d'activités s'en trouveraient compromis. On distingue alors combien nos sociétés sont placées devant un choix qui peut se résumer en celui de l'amélioration de l'efficacité énergétique, d'une certaine sobriété dans les consommations, ne serait-ce que pour éviter des gaspillages qui se traduisent, comme le rappellent la Commission européenne mais aussi l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), au niveau national en termes de coûts collectifs et individuels, directs et indirects.

Le choix du paysage énergétique mondial à l'horizon 2050 au sein duquel celui de notre pays et de l'Union européenne ne représentent qu'un pourcentage, ne peut s'extraire d'un certain nombre de contraintes :

- la prise de conscience de plus en plus importante du contexte environnemental illustré par les risques du changement climatique ;
- le niveau des ressources/réserves d'énergies fossiles et leur répartition alors que de nouvelles puissances économiques formuleront des demandes telles que les tensions, notamment en terme de prix devraient croître ;
- la part de plus en plus importante des transports dans le bilan des consommations ;
- l'importance croissante de la part de l'électricité dans le bilan mondial ;
- enfin, une géopolitique de l'énergie toujours marquée par de fortes instabilités.

Si la science et la technique ne peuvent, à elles seules, prétendre résoudre l'ensemble de ces problèmes dont certains les dépassent, elles peuvent largement contribuer à assurer l'approvisionnement énergétique du monde, dès lors que les décisions seront prises assez tôt, c'est-à-dire probablement dès aujourd'hui, tant il vrai que le temps de l'énergie est celui de la longue durée.

II - LES PROPOSITIONS

Les énergies sont un domaine du long terme : il faut de longues années de recherches puis de construction de plates-formes pour lancer en production un gisement pétrolier ; une centrale électrique nécessite de gros investissements et de longs délais de construction répartis sur plusieurs années avant la mise en production ; et il faut concevoir en terme encore plus long le temps de la recherche pour mettre au point une technologie nouvelle ou une énergie de rupture.

A - COMMENT DÉFINIR ET PRÉPARER LES CHOIX

Préparer les choix est donc essentiel pour organiser le futur de l'énergie, en intégrant ces problématiques de fond, en organisant la recherche pour des mises au point gagnant en performance et des découvertes en temps utile, en planifiant les investissements nécessaires, bref en élaborant les politiques sans lesquelles le futur énergétique sera au moins difficile sinon douloureux.

Préparer les choix revient à se donner les meilleures conditions pour affronter l'avenir en tenant compte de - et en accroissant - la compétitivité de notre économie.

1. Définir les objectifs

Les évolutions structurelles profondes que nous vivons réactivent et renforcent les objectifs traditionnels de sécurité d’approvisionnement et de maîtrise de l’énergie formulés déjà depuis quelques décennies. Leurs formes ont évolué et s’inscrivent désormais dans les objectifs du développement durable.

Ainsi pour le Conseil économique et social, toute politique de l’énergie doit intégrer :

- de façon concrète la protection de l’environnement et – nous sommes signataires du Protocole de Kyoto – la lutte contre changement climatique, en faisant une priorité de produire et utiliser des énergies propres ou des énergies rendues propres ainsi que l’a développé l’avis « *Les enjeux de l’après-Kyoto* », sur le rapport de Mme Élyane Bressol ; cela implique de conditionner toute politique énergétique au facteur CO₂ ;
- la réponse aux besoins des populations et pays actuellement « en retrait », par un effort de solidarité entre les territoires et envers les personnes et les pays exclus : aménagement du territoire, aide ciblée au développement, transfert de technologies et autres coopérations ;
- l’idée que la sécurité d’approvisionnement énergétique repose sur plusieurs facteurs : la diversification géographique de cet approvisionnement et le développement d’une énergie nationale (le nucléaire en France) mais aussi le développement, resté jusqu’ici modeste dans notre pays hors l’hydroélectricité, des énergies renouvelables et la recherche de technologies et d’énergies nouvelles.

Les objectifs doivent prendre en compte :

- la raréfaction progressive des ressources fossiles, à une échéance différente les unes et les autres, à commencer par le « peak oil », c’est-à-dire le moment à partir duquel la demande excèdera l’offre de pétrole et le développement de la recherche vers d’autres énergies ;
- l’idée que la maîtrise de l’énergie n’est pas seulement la recherche d’économies d’énergie mais aussi celle de l’efficacité énergétique afin que le développement de notre pays se place dans la poursuite de la baisse de l’intensité énergétique ;
- que ces mutations interagiront sur les modes de vie, par les changements technologiques, les évolutions de prix, par les incitations à une consommation sobre ;
- la nécessité d’informer et d’associer les populations, au préalable et dans la durée, aux débats sur les enjeux énergétiques. Par exemple, l’énergie nucléaire suscite des débats essentiels sur la sûreté et la gestion des déchets.

2. Méthodes et critères

Face à un futur incertain à propos duquel on ne peut préjuger des résultats de la recherche et où la France doit situer ses choix dans un cadre européen en tenant compte de l'environnement international, la méthode utilisée pour arriver à la décision est essentielle. Elle donne forcément une grande place à la recherche et à l'innovation technologique.

- Un effort de recherche accentué et rééquilibré

La stratégie de Lisbonne a acté la volonté de l'ensemble des pays de l'Union européenne de développer leur effort de recherche pour atteindre 3 % du PIB à l'horizon 2010. Même si la mise en œuvre de cet objectif subit des retards, l'Union européenne et la France s'engagent dans un essor substantiel de l'effort de recherche. Un des domaines importants concerne l'énergie. Or, en France, la recherche énergétique, dans ces dernières décennies, a priorisé la recherche nucléaire. Cet effort a permis à notre pays de produire une électricité abondante et bon marché et de devenir un acteur mondial essentiel dans ce domaine avec des entreprises phares et une forte capacité d'exportation. En corollaire, on constate un moindre développement dans les autres énergies, notamment des énergies renouvelables, une recherche moins tenace (par exemple dans le solaire), des développements plus limités.

Or, si le nucléaire jouera un rôle important dans ce siècle, il n'a pas vocation à répondre seul aux besoins énergétiques (qui, de plus, ne sont pas qu'en électricité). Notre assemblée approuve la recherche pour la génération IV et la fusion nucléaire qui continueront à consommer une partie importante des ressources allouées à la recherche. Elle pense également que l'accroissement nécessaire de cet effort doit avoir, notamment, pour objectif de favoriser le développement des autres énergies (hydrogène, renouvelables) et technologies (stockage de l'électricité, capture et séquestration du carbone...); il convient également de noter que si certaines de ces recherches sont du domaine de la recherche appliquée ou de la pré-industrialisation, d'autres doivent encore porter sur des domaines de recherche fondamentale (par exemple, le solaire photovoltaïque).

- Veille d'ensemble et priorités de recherche

La France, avec 5 % du PIB mondial, a des capacités de recherche et développement, ainsi que l'a mis en évidence l'avis de notre assemblée dans « *le projet de loi de programme pour la recherche* », sur le rapport de M. François Ailleret en novembre 2005, mais ne peut prétendre lancer à part égale des recherches dans tous les secteurs de l'énergie ; quel pays, aujourd'hui, le peut-il d'ailleurs ?

Il est donc nécessaire d'éviter la dispersion de la recherche, de choisir de développer des actions dans des secteurs prioritaires où elle possède des atouts, mais aussi d'accélérer les travaux dans certains domaines où elle est faible actuellement et dont elle pressent l'importance future. Ces choix sont à organiser dans la recherche de complémentarités et de coopération européennes (EnR, H₂, pile à combustible..) et même internationale (génération IV, ITER...)

Le Conseil économique et social rappelle que l'importance de la recherche et développement à engager est telle que l'on doit chercher à développer les synergies par type de recherches, entre les acteurs publics et privés concernés. Cela permettrait, chacun jouant son rôle spécifique, de maximiser les possibilités de découvertes et de développements, pour la construction des outils de recherche mais aussi de démonstration dans le domaine énergétique.

S'il faut fixer des axes prioritaires de recherche, bénéficiant d'un temps suffisamment long, notre assemblée juge qu'il est également indispensable de ne pas les figer et en conséquence organiser la veille pour garder la capacité de réorientation périodique des choix. Il est nécessaire, pour cela, d'établir des objectifs quantifiés et de vérifier, périodiquement, leur conformité, afin de revoir régulièrement leur place, en fonction des résultats d'étape de la recherche, de leurs risques, de leur coût.

- Quelques critères à retenir

Quelques critères essentiels peuvent guider ces choix. On peut simplement en donner une première liste :

- des énergies sans émission de gaz à effet de serre ou en réduisant la production, favorisant ainsi la sauvegarde de l'environnement ;
- une réponse aux risques : sécurité, déchets, ainsi que l'a proposé l'avis rendu sur le rapport de Mme Anne Duthilleul sur le « *projet de loi sur la gestion des matières et déchets radioactifs* » en mars 2006 ;
- le niveau de maturité de la recherche ;
- la probabilité de résultat ;
- l'impact sur la compétitivité et la vigueur de l'activité productive ;
- le type de production (centralisée ou décentralisée) que l'on peut en attendre et son adaptation aux conditions géographiques ;
- l'existence d'industries françaises : les énergies pour lesquelles la France peut et doit agir en priorité sont celles où elle possède une présence industrielle développée, dotée d'un savoir-faire et d'une capacité de production ;
- les possibilités de coopération européenne et/ou internationale, avec les pays à forte demande énergétique actuelle ou potentielle, à besoins croissants.

- Champs d'action

Aux quatre champs d'action traditionnels que sont la production électrique, l'industrie, le tertiaire-résidentiel, - sujet traité par notre assemblée sur le rapport de M. de Viguerie sur « *Les politiques de l'urbanisme et de l'habitat face aux changements climatiques* » en mars 2006 - et les transports, notre assemblée note que se sont ajoutés ou s'ajoutent maintenant, des champs d'action insuffisamment pratiqués, notamment l'efficacité énergétique et les secteurs en interaction, la politique urbaine, l'aménagement du territoire.

3. Démocratie et conduite du débat

- Organiser le débat

Le débat national de 2003 l'a bien montré : il est utile car il s'agit d'un facteur déterminant de l'acceptabilité sociale des choix, des évolutions voire des changements souhaités, de mener un débat public sur les choix énergétiques. Une population, pleinement informée, partie prenante de ces choix est une condition essentielle de réussite des politiques menées. Il faut même en prévoir une certaine permanence, avec des rendez-vous réguliers et, notamment, en fonction de l'évolution :

- des résultats de la recherche ;
- des données économiques et des coûts : il faut faire connaître les coûts complets, en fonction du coût d'investissement, du prix des ressources énergétiques, du taux de disponibilité, de panne et maintenance, des exigences par rapport aux émissions, émanations, déchets...

Notre assemblée estime utile de mettre en place une organisation nationale appropriée de débat, d'évaluation et de proposition sur les politiques à mener, les évolutions souhaitables des comportements de chacun et sur les technologies à développer et leurs perspectives comme, par exemple, les hauts rendements, le multi-usages (cogénération, chauffage, dessalement...). Il ne s'agit, en rien, de vouloir créer une nouvelle structure, mais d'utiliser celles qui existent déjà. Il sera en outre indispensable de bénéficier de l'expertise du Haut conseil de la science et de la technologie qui vient de se mettre en place et qui trouvera, dans le domaine de l'énergie, matière à faire entendre sa voix : il est souhaitable que l'énergie soit un de ses thèmes permanents.

- Distinguer les diverses étapes du débat

Le résultat du débat sera d'autant plus utile à la décision que les compétences de chacun ne seront pas confondues. Les citoyens ne sont pas des spécialistes, les experts n'ont de légitimité que dans leur spécialité. Permettre à chacun de jouer pleinement son rôle impose de distinguer :

- le débat des experts, sur les questions scientifiques et technologiques, nombreuses et lourdes, qui se posent sur l'avenir des énergies, à l'équivalent des « Entretiens Bichat » ou des « Entretiens

Condorcet », pour y faire le point régulier des avancées et des questions de recherche ;

- le débat citoyen qui doit être organisé comme un débat de société, un débat politique de fond, apportant une information claire et pertinente, notamment comme cela a été engagé sur le nucléaire, ce qui permettrait d'éviter les ruptures de confiance, lourdes d'enjeux pour l'avenir.

C'est à cette condition que peut se construire l'acceptabilité sociale selon la façon dont il sera apporté réponse sur les questions d'environnement, de risques, de coûts et d'accès notamment. Un axe de débat devra forcément inviter à la réflexion sur le rapport entre le choix des énergies, les résultats en termes de production, les prix et les risques.

La difficulté résidera dans la manière dont se rencontreront et débattront experts et citoyens et dont ils se comprendront. Notre assemblée considère que toutes les formes modernes de la communication doivent être mises en œuvre pour amorcer un véritable dialogue citoyen. De plus, il conviendra, d'éviter que le débat ne puisse être confisqué par un quelconque dogmatisme et qu'il soit véritablement répondu aux questions que se posent les citoyens. Il faudra enfin, aborder même dans un débat national, la question dans ses aspects européens et internationaux.

B - PERFECTIONNEMENTS ET RUPTURES TECHNOLOGIQUES

1. Dans la consommation

Dans notre système socio-économique, il convient d'accentuer le découplage entre croissance économique et croissance de la consommation d'énergie, c'est-à-dire de poursuivre l'amélioration de notre intensité énergétique. Deux axes d'action devraient être favorisés :

- d'une part, l'investissement dans l'efficacité énergétique. Il s'agit de réduire les pertes lors du fonctionnement et de l'exploitation. À cette fin, le potentiel d'amélioration de nos bâtiments, de nos moyens de transport et des appareils que nous utilisons est considérable. Une forte réduction de la consommation d'énergie est envisageable à partir des techniques déjà connues ;
- d'autre part, l'amélioration de la sobriété dans les consommations. Cette action consiste principalement à réduire les gaspillages par des comportements rationnels et par des choix individuels, industriels et sociétaux s'inscrivant dans la logique du développement durable comme par exemple une organisation intelligente de l'espace, une consommation saisonnière des produits frais...

Dans ces deux axes d'action, il s'agit de faire mieux quantitativement, mais aussi qualitativement, en substituant à l'usage d'énergies fossiles de nouveaux usages d'énergies moins émettrices en CO₂, notamment pour les transports et le bâtiment qui contribuent de façon prépondérante aux émissions de carbone.

La Commission énergie du Groupe Facteur 4 a préconisé « *une politique d'efficacité énergétique visant à réduire la consommation d'énergie de 13 % en 2020 et de 20 % en 2030. La stratégie d'efficacité énergétique est en effet gagnante tant sur la compétitivité (réduction de la facture énergétique et potentiel de création d'emplois) que sur la sécurité des approvisionnements (réduction de la dépendance extérieure) et sur l'environnement (réduction des pollutions diverses) ».*

Or, cette politique est liée pour partie aux technologies qui permettent de diminuer la consommation unitaire ; elle est influencée par la conjoncture notamment des prix de l'énergie et par les comportements qui conduisent le consommateur à être plus ou moins exigeant.

L'information, pour chaque produit, de ses performances énergétiques est un élément essentiel à fournir aux consommateurs pour leur permettre d'intégrer ces notions dans leurs choix. Pour le Conseil économique et social, la sensibilisation et le débat public sont indispensables pour permettre le développement des comportements responsables.

Au sein du monde occidental, on voit combien les modes de consommation induisent de grandes différences. Actuellement, un Français consomme 2 fois moins d'énergie qu'un Américain du Nord et émet 3 fois moins de gaz à effet de serre. Malgré ce meilleur chiffre européen, notre niveau de consommation énergétique est impossible à généraliser en raison des ressources existantes aujourd'hui, à l'échelle planétaire, sachant, de plus, que la population mondiale passera de 6 milliards d'habitants actuellement à 8 ou 9 milliards en 2050. Certains experts font observer que si l'ensemble des terriens consommait comme les Américains du Nord, il faudrait deux, voire trois, Terre pour répondre à cette demande.

Il s'agit dès lors, de recenser les gisements d'économies là où ils se trouvent. Ainsi, à titre d'exemple :

- concernant l'usage des appareils bruns et blancs dans le secteur du résidentiel-tertiaire, de nombreux progrès sont encore possibles en termes de sobriété et d'efficacité énergétique, tant pour leur fonctionnement que pour leurs longues périodes de veille.
- l'utilisation de la voiture, tant pour les usages contraints que pour la liberté de chacun, pourrait être optimisée par le renforcement de l'offre de services collectifs de transports pour les autres usages. Cela revient à la nécessité de développer une véritable politique de transports (en améliorant le maillage aux niveaux national et européen) visant à diminuer la consommation d'énergie et plus particulièrement de pétrole.

Le développement des transports en commun n'est qu'un élément parmi tant d'autres : l'amélioration des performances des véhicules individuels est encore largement possible. De plus en plus de constructeurs lancent sur le marché des véhicules équipés de technologies sobres en énergie (motorisations hybrides, système « stop&go »...), même si la vente de véhicules haut de gamme (Sport Utility Vehicles (SUV), berlines de luxe... aux performances énergétiques moindres, est plus développée.

Conformément aux propositions formulées récemment par notre assemblée dans l'avis relatif à « *L'automobile française : une filière majeure en mutation* » sur le rapport de M. Roland Gardin, d'importants progrès techniques sont facilement réalisables dans un proche avenir pour accroître l'efficacité énergétique des voitures (nouveaux aciers des châssis automobiles, meilleur aérodynamisme, diminution de la résistance au roulement des pneumatiques par l'évolution de structure des carcasses et des mélanges de gomme...).

Une voie technologique relativement simple à explorer concerne l'allègement du poids des véhicules, solutions techniques largement répandues dans le domaine aéronautique car les trois quarts des besoins d'une voiture en matière d'énergie sont dus à son poids.

Les matériaux composites polymères avancés sont encore plus solides et plus légers (les composites en fibre de carbone peuvent absorber jusqu'à 12 fois plus d'énergie en cas de collisions que l'acier). Les nouveaux procédés de fabrication devraient permettre à terme de construire une voiture en fibre de carbone au même coût qu'un modèle acier. Le coût supplémentaire des nouveaux matériaux serait aussi compensé par l'emploi d'un système de propulsion plus petit et, comme le démontre une étude menée pour le DOE américain en juillet 2006 « Énergie propre : les diverses solutions » grâce aux économies de carburant réalisées sur une période de un à deux ans.

En outre, le développement de moteurs permettant un usage interchangeable d'énergies est une voie d'avenir.

- En dehors des émissions de gaz à effet de serre dues à la circulation des voitures, il faudra également se préoccuper du transport routier de marchandises, ainsi que des transports aérien et maritime, actuellement délaissés par le Protocole de Kyoto. Leurs nuisances revêtent un caractère international et leur croissance ne peut qu'accentuer les problèmes environnementaux liés au réchauffement climatique.
- Enfin, notre assemblée rappelle, à la suite du récent avis « *Une nouvelle dynamique pour le transport inter-modal* » sur le rapport de M. Christian Rose, l'intérêt de développer l'inter-modalité, particulièrement dans le domaine du transport des marchandises. Il s'agit d'une voie importante à la fois d'économies de carburants et de régulation de la circulation communautaire dans un espace de plus en plus vaste que constitue l'Union européenne.

D'importants progrès sont également envisageables pour le secteur résidentiel/tertiaire. Le Conseil économique et social, dans son avis sur « *Les politiques de l'urbanisme et de l'habitat face aux changements climatiques* » sur le rapport de M. Paul de Viguier, a formulé de nombreuses propositions pour concevoir des bâtiments, des immeubles et des maisons économes en énergie. Pour poursuivre cet objectif, le plan climat de 2004, a identifié les besoins de créer un programme de recherche et d'expérimentation sur les bâtiments existants et à construire. Le programme de recherche élaboré en 2005 par la direction de la technologie a présenté des solutions novatrices qui permettraient de réduire de 40 % l'énergie consommée dans ce secteur en 2020. À l'horizon 2050, l'effort de recherche porterait prioritairement sur la création de bâtiments à énergie positive ayant recours exclusivement aux énergies renouvelables : vent, soleil, géothermie superficielle, biomasse, ... Les bâtiments existants, c'est-à-dire la majorité du parc, ne seront pas délaissés puisque les axes de recherche porteront sur les matériaux et technologies qui permettront de développer une solution alternative au système combiné chauffage/réfrigération par des pompes à chaleur alternatives, des façades actives et des murs solaires...

Les aides à la conception seront également à améliorer afin de se baser sur des échelles pertinentes de décision : agir sur un bâtiment, un quartier, une ville...

Le Conseil économique et social constate aussi que la consommation énergétique de ce secteur est très liée au mode de vie. Toute solution proposée devra être attractive pour l'utilisateur ; ce qui nécessite en amont d'expérimenter les conditions de faisabilité et d'appropriation des solutions innovantes.

L'incitation fiscale déjà existante continuera à jouer un rôle primordial pour accélérer la diffusion de ces nouvelles technologies. Il faudra donc impliquer les acteurs du secteur et plus particulièrement les PME et TPE de la construction par un accompagnement et des formations adaptées qui permettront la naissance d'une véritable filière d'installateurs qualifiés et déboucheront sur de nouveaux emplois au sein d'un marché en plein essor. De même, un engagement de garantie de fiabilité (sous forme de signes distinctifs lisibles par le grand public, label, charte ou réseau de professionnels) est indispensable pour créer la confiance et rendre possible la diffusion de ces technologies.

Les pouvoirs publics devront mettre en oeuvre des moyens, y compris fiscaux, pour accélérer le renouvellement des parcs pour tous les secteurs à forte inertie : logement-tertiaire, automobile (mais aussi transport aérien ou maritime), électroménager, afin de les remplacer par des produits à hautes performances énergétiques.

2. Dans la production

Alors que, pour ne prendre qu'un exemple, l'Union européenne a calculé que l'amélioration de ses infrastructures énergétiques demandera 1 000 milliards d'euros dans les vingt prochaines années et qu'au niveau mondial, l'AIE estime

les montants d'investissements à réaliser d'ici 2030 à plus de 16 000 milliards de dollars, la réponse à une demande accrue passe, prioritairement, par l'amélioration de l'efficacité de la production permettant de meilleurs rendements.

2.1. Les énergies fossiles

Dans le cas du pétrole, une amélioration des taux de récupération des hydrocarbures est naturellement réalisable à technologies inchangées. On rappellera qu'une augmentation de 1 % de ce taux apporte l'équivalent de un à deux ans de consommation au rythme actuel.

Une valorisation plus importante suppose le recours à des technologies plus performantes, puisqu'il s'agit alors de produire en parallèle du gaz et des huiles, voire d'injecter de l'eau et du gaz dans les puits afin d'accroître la quantité de pétrole à récupérer, voire, en fin d'exploitation, d'injecter des polymères, du gaz ou de la vapeur d'eau.

Les techniques existent. Elles devront être utilisées afin d'optimiser la production.

C'est évidemment dans le domaine de l'exploration qu'il faut attendre les avancées les plus importantes dans le futur particulièrement dans l'*offshore* et dans les grandes profondeurs, voire très grandes profondeurs, y compris terrestres. Il s'agit d'un thème prioritaire des recherches menées par l'Institut français du pétrole, ainsi que le soulignent MM Birraux et Bataille (« *les nouvelles technologies de l'énergie* » OPECST 2006). Notre assemblée juge stratégique cette recherche dans laquelle l'Institut français du pétrole (IFP) figure en très bon rang dans le monde. L'Institut doit pouvoir disposer des moyens nécessaires pour poursuivre et maintenir ses efforts.

De même, mais au niveau international, il conviendrait d'associer à la recherche visant la récupération des pétroles non conventionnels, un effort substantiel déjà entamé sur le stockage du CO₂. La récupération de ce pétrole non conventionnel consomme beaucoup d'énergie - de l'ordre de 25 % de l'énergie produite - et émet beaucoup de CO₂ pour son extraction. Il serait assez vain, en effet, d'évoquer le concept de développement durable afin de produire une énergie fossile, aussi intéressante soit-elle, mais aussi coûteuse en énergie.

- On a vu que la part du gaz devrait être croissante dans le bilan énergétique mondial à l'horizon 2050. Si la production ne pose pas les mêmes problèmes que le pétrole, c'est dans son utilisation que les recherches devraient être poursuivies et accentuées. Si la cogénération, voire selon certains la « trigénération » (à la chaleur et à l'électricité pourrait s'adjoindre la production d'hydrogène) ont pénétré l'espace national avec des résultats utiles, la technologie des cycles combinés est appelée à se développer toujours plus, dès lors que les rendements seront améliorés et qu'on évitera de trop importantes émissions de CO₂. Cependant, la liquéfaction du gaz et

son transport nécessitent des investissements importants que l'AIE a chiffrés à plus de 3 000 milliards de dollars à l'horizon 2030 pour répondre à la demande.

- Le recours massif, dans le monde, au charbon pose de redoutables questions alors que l'importance du risque du changement climatique est reconnue. Comment gérer ce défi, sinon en accentuant l'effort de recherche sur le « charbon propre » ? Des améliorations ont été apportées : à titre d'exemple, les cycles critiques qui optimisent les rendements et, bientôt supercritiques, voire ultrasupercritiques (utilisant de la vapeur atteignant 600°C sous 270 bars permettant une moindre émission de CO₂ par kWh produit) donnent des résultats probants et prometteurs si la recherche sur la capture du CO₂, est poursuivie, tout comme la technique du lit fluidisé qui permet l'élimination du soufre, par exemple...

Au-delà, il faut probablement intensifier les recherches du type « gazéification » du charbon en gaz de synthèse technique dite « IGCC » (pour *integrated gasification combined cycle*) dont il est dit qu'elle est prometteuse bien que complexe. Cette technologie, remarque le Conseil économique et social, s'apparente, par bien des points, à une rupture. Notre pays et plus largement l'Union européenne, ne peuvent être absents de la R&D du charbon « *cela est nécessaire pour assurer (leur) sécurité énergétique à long terme et (leur) permettre une compétitivité commerciale en équipements lourds* » (Académie des sciences).

- Les énergies renouvelables : à la recherche d'une énergie inépuisable ?

Les énergies renouvelables, comme les autres sources, doivent pouvoir répondre à un besoin de pérennité de production. On peut, en effet, classer les sources entre celles qui garantissent une production constante ; celles qui sont programmables et celles qui offrent une production que l'on qualifiera d'aléatoire. On conçoit qu'une production aléatoire, aussi intéressante soit-elle, ne saurait véritablement satisfaire aux besoins de chacun et qu'elle doit être assurée d'un stockage suffisant, inexistant aujourd'hui ou dans le cas contraire, quasiment doublée par une source assurant une production garantie.

Trois grands facteurs orientent le marché vers les énergies renouvelables : la sécurité de l'approvisionnement énergétique, la lutte contre le changement climatique et la diminution du coût des énergies renouvelables qui devrait se poursuivre avec la maturité de ce secteur.

Cependant, la répartition des sources des énergies renouvelables est inégale sur le territoire français. Ainsi, l'énergie solaire est plus importante dans le quart sud-est du pays, l'énergie éolienne est surtout sectorisée dans les plaines et au large des côtes et l'énergie géothermique est principalement exploitée en Ile de France et en Alsace. La biomasse est exploitable dans tout le pays mais dans des formes différentes suivant les régions. Beaucoup de techniques sont déjà mises au point, mais leur essor est jusque là limité.

Le Conseil économique et social recommande d'élaborer une politique nationale de développement de la production et des recherches complémentaires dans le domaine des ENR adaptée à chacune des sources suivantes :

- L'énergie éolienne dispose actuellement d'un potentiel croissant dans de nombreuses régions. Elle bénéficie de délais de construction relativement courts combinés à une technologie parvenue à maturité, la France ne dispose malheureusement d'aucune industrie d'envergure dans ce secteur, dominé par l'Allemagne et le Danemark, même si elle est bien placée dans la petite éolienne. Par ailleurs, l'énergie éolienne entame son développement dans les collectivités d'Outre-mer où règne le régime des alizés. Son acceptabilité auprès des populations résidant à proximité des zones d'implantation est parfois délicate. Son principal inconvénient est lié à l'intermittence du potentiel : elle ne peut que produire de l'électricité d'appoint. Seule une rupture technologique permettrait une amélioration significative du stockage de l'électricité qui assurerait une régularité de production, pour permettre son développement industriel. C'est un point sur lequel il est nécessaire que la recherche mette l'accent. Des efforts de recherche et développement sont encore à déployer pour envisager l'implantation d'éoliennes de grande taille et le déploiement des champs d'éoliennes en mer production « off shore ».
- Le potentiel du parc hydroélectrique national de grande taille est pratiquement totalement équipé. Cette situation permet, on l'oublie trop souvent, à notre pays de présenter un bilan de son électricité produite par les énergies renouvelables largement supérieur à la moyenne européenne. Il l'autorise à répondre sans beaucoup de difficultés à la base requise par la Commission européenne d'ici à 2020, sous réserve du développement prévu de l'éolien. Seules de petites centrales hydrauliques peuvent désormais être créées. Cette technologie mature, de conception simple, bénéficie d'un faible coût d'investissement et d'exploitation. Cependant, cette production est tributaire des fluctuations saisonnières, son expansion dépendra des facilités accordées pour sa connexion au réseau électrique existant et de son acceptabilité environnementale. Parallèlement, la recherche en cours à Grenoble d'hydroliennes à axe vertical permettrait le développement d'un petite hydraulique de rivières sans l'impact environnemental d'un barrage.
- L'exploitation de la biomasse est favorisée par la hausse des hydrocarbures et la contrainte environnementale - diminution des émissions de gaz à effet de serre, lutte contre le réchauffement climatique... Les perspectives de production à partir des gaz d'enfouissement, des déchets urbains, des déchets végétaux, du bois, des produits agricoles... sont variables selon les régions et les buts

recherchés (production de chaleur, biocarburant...). Le potentiel de la bio-énergie est de plus handicapé par des coûts de lancement et des frais d'exploitation souvent élevés. Dotée du premier massif forestier d'Europe, la France dispose cependant d'un potentiel « bois » sous-utilisé qui reste à développer. Il faut donc renouveler et amplifier les initiatives de l'ADEME dans ce secteur. Depuis 1994, cette agence a développé un premier programme de soutien à l'utilisation du bois-énergie, notamment dans le secteur collectif et tertiaire. En y associant les collectivités territoriales, plusieurs centaines de chaufferies ont pu être créées tout en valorisant le patrimoine forestier local.

- Les biocarburants offrent l'avantage des carburants liquides, l'état physique le mieux adapté pour un usage mobile. Par nature la combustion de ces produits n'émet pas de surcroît de CO₂ d'origine fossile : celui qui est relâché correspond au carbone de l'air fixé par la plante pendant sa croissance. La France, dont la position est en pointe sur le sujet, se fixe comme objectif de substituer dès 2008, 5.75 % de la demande de carburants classiques et 10 % dès 2015 soit deux fois plus que les objectifs européens, ce qui se traduirait par 8.2 millions de tonnes de CO₂ évitées sur une production totale d'environ 140 millions de tonnes. Les terres agricoles en jachère (de l'ordre de 1.5 Mha) sont suffisantes pour atteindre cet objectif. Pour dépasser ce premier objectif, l'utilisation des bioénergies d'origine agricole risque d'être limitée par plusieurs facteurs : le rendement insuffisant de production de la biomasse par unité de surface cultivée ; la disponibilité des surfaces exploitables prioritairement pour la production alimentaire et la structuration des filières entre les usages énergétiques ou la chimie verte ; le coût élevé et le nombre limité des filières de transformation. Pour poursuivre et amplifier cette politique de développement des biocarburants, il faudra passer à la deuxième génération c'est-à-dire une production à partir de la biomasse ligno-cellulosique majoritairement issue de l'exploitation forestière mais aussi des coproduits agricoles (paille, tourteaux...). Cette filière complémentaire de la filière agricole non alimentaire pourrait se développer aux alentours de 2020 pour la production de biocarburants (éthanol par la voie biochimique), de gaz de synthèse (gazéification de la biomasse ligno-cellulosique par voie thermochimique) ou d'hydrogène renouvelable pour l'alimentation des PAC.
- Par la géothermie, les centrales électriques extraient de la vapeur souterraine profonde d'origine naturelle pour alimenter une turbine à vapeur et une génératrice conventionnelles. Les investissements de départ sont élevés mais les coûts de combustible ainsi que les frais d'exploitation et d'entretien sont très concurrentiels par rapport aux autres technologies. De plus, la production est fiable pour une charge de base. L'expérience menée en partenariat avec l'Allemagne et avec le

soutien de l'Union européenne montre que l'opération est complexe. Malgré tout, le programme de recherche sur la géothermie profonde est à poursuivre car il pourrait s'adapter à de nombreuses régions. Par ailleurs, la géothermie à basse énergie a un fort potentiel de développement pour le chauffage collectif, et celle à très basse énergie pour le chauffage et la climatisation par l'insertion de pompes à chaleur.

- Les cellules photovoltaïques ou cellules solaires faites de matières semi-conductrices telles que le silicium, produisent directement de l'électricité à partir du rayonnement solaire. On y a recours essentiellement pour des applications d'énergie décentralisée c'est-à-dire une production d'énergie directement au point de consommation dans les résidences, les bâtiments commerciaux, certaines applications industrielles tout particulièrement dans les zones ou pays sans réseau électrique. Elles peuvent permettre aussi de construire des centrales solaires photovoltaïques comme c'est le cas en ce moment au Portugal. Cette technologie est à développer pour diminuer les coûts des matériaux, augmenter le rendement de conversion des modules photovoltaïques, améliorer leur résistance et leur fiabilité, faciliter leur entretien et abaisser le prix du kWh produit. L'Outre-mer français doit être un lieu privilégié pour la recherche et pour le développement de cette énergie, en raison du taux d'ensoleillement particulièrement favorable de la plupart des collectivités ultramarines. Le Japon et l'Allemagne ont développé des programmes de promotion ambitieux qui leur confèrent actuellement une avance industrielle, technologique et commerciale qu'il sera difficile de rattraper. L'énergie solaire pourrait donner naissance à une industrie de pointe apparentée aux secteurs de l'électronique et de l'électrotechnique. Actuellement au stade expérimental, le développement du photovoltaïque sera très certainement créateur d'emplois locaux de plus en plus reliés à l'industrie du bâtiment. Notre assemblée ne peut que soutenir l'existence d'organismes ayant pour mission de promouvoir et développer les énergies solaires en France (Institut national de l'énergie solaire - INES -, Institut de recherche et de développement sur l'énergie photovoltaïque - IRDEP)
- L'énergie solaire thermique est valorisée par différentes technologies comprenant la plupart du temps un système de miroirs pour concentrer les rayons solaires. Dans tous les cas, ces systèmes n'utilisent que la chaleur rayonnée, la densité de puissance est donc assez faible. La production est également intermittente (jour/nuit et saisonnière) et localement imprévisible en raison des aléas météorologiques. C'est pourquoi les centrales existantes ou en création sont systématiquement situées dans des zones géographiques bénéficiant d'un ensoleillement conséquent. Par exemple une centrale de 64 MW est en construction

dans l'État du Nevada, elle devrait être reliée au réseau électrique en 2007 afin de satisfaire les besoins d'environ 40 000 foyers. Les nouvelles technologies de récepteurs absorbent davantage et retiennent mieux l'intensité des rayonnements. Elles sont plus rentables car d'un entretien plus simple qui réduit les coûts de maintenance. La réalisation de cette centrale thermosolaire de pointe fait franchir un seuil à ce secteur en pleine évolution : la chaleur pouvant être stockée, les centrales fonctionnent jour et nuit. D'autres projets bénéficiant des mêmes technologies sont attendus bientôt dans des régions à fort ensoleillement, dans le sud-ouest des États-Unis, ainsi qu'en Espagne, près de Grenade, et en Israël.

- L'énergie de la mer ou « thalassoénergie » : la France dispose d'un capital de connaissance et d'expérience par l'existence de l'usine marémotrice de la Rance. Cependant, un réel développement de cette technologie énergétique en vue d'une production commerciale, suppose un nouvel essor de la recherche, afin d'évaluer les technologies le plus favorables, utilisant les courants de marée (hydroliennes) et les vagues. À ce propos, des unités de production semblables à celles existant en Ecosse et au Portugal vont être installées en Nouvelle-Calédonie et à la Réunion. Cette énergie est par nature intermittente.

Les énergies renouvelables disposent d'un potentiel intéressant aux niveaux national et mondial. Un développement significatif et une meilleure utilisation, participeront de la sécurité d'approvisionnement en réduisant les importations de pétrole, la diminution de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre, en favorisant aussi la création d'emplois et les investissements.

Un potentiel qu'il conviendrait d'exploiter concerne la production d'électricité. Dans un premier temps il faudrait atteindre l'objectif proposé par le Parlement européen à savoir 20 % en 2020. Même en atteignant cet objectif, il est cependant impossible qu'elles puissent remplacer totalement les sources d'énergie traditionnelles à l'échelle du siècle.

Leur développement permettra sans doute aux habitants des zones rurales du monde en développement d'accéder plus aisément à des formes variées d'énergie. Par exemple, les panneaux solaires photovoltaïques et les appareils de chauffage solaires peuvent apporter une énergie moderne aux logements.

Les perspectives des énergies renouvelables sont donc favorables d'autant plus que les prix de l'énergie classique devraient parallèlement rester élevés et à condition que leur coût de production continue de diminuer et que les politiques publiques restent stables et prévisibles pour encourager les investisseurs à financer les installations dans ce domaine. Le marché des énergies renouvelables est en pleine croissance mais les risques encourus sont encore importants.

Le fait que de nombreuses énergies renouvelables aient un caractère intermittent nécessite d'accroître la recherche pour développer des systèmes de stockage. Les batteries et accumulateurs au lithium semblent actuellement la solution la plus performante notamment dans le domaine des équipements portables ou celui du transport. Ces bonnes performances ne sont pas encore suffisantes pour garantir aux énergies renouvelables intermittentes une production constante. La France doit donc lancer un programme de recherche d'envergure dans ce secteur pour permettre une utilisation optimale des énergies renouvelables.

La coopération internationale en matière de transfert des technologies les plus innovantes en direction des pays en développement, est aussi essentielle.

2.2. Les ruptures technologiques possibles et les recherches sur le très long terme

- La capture et le stockage du CO₂

Cette donnée constitue un enjeu majeur si le mixte énergétique mondial fait appel dans de plus fortes proportions au charbon, maintient sa dépendance vis-à-vis des hydrocarbures et entend parallèlement lutter contre les effets du changement climatique.

De nombreuses techniques de capture du CO₂ existent déjà mais doivent être testées en vraie grandeur sachant qu'une limite s'imposera d'elle-même pendant longtemps encore : celle de la capture des émissions diffuses des transports, particulièrement.

La séquestration du CO₂ indépendamment du coût financier pose des questions essentielles dont celle du lieu du stockage n'est pas la moindre. Si les océans constituent le premier des réservoirs naturels, il apparaît inenvisageable de penser qu'ils pourraient recevoir plus de CO₂ qu'actuellement, les risques d'acidifier encore plus le milieu marin entraîneraient des effets dommageables inacceptables sur la flore et la faune.

Il conviendra donc de poursuivre et d'approfondir la recherche pour un stockage du CO₂ dans des formations géologiques profondes, mines désaffectées, gisements d'hydrocarbures, même encore en activité, notamment. Ces recherches de nature internationale sont déjà bien entamées et s'appuient au niveau européen sur les PCRD après que le programme Joule a été mis en place en 1993, ce qui prouve l'antériorité de la recherche européenne en la matière.

Le Conseil économique et social souhaite que l'Union européenne se situe toujours en pointe de la recherche sur la capture et la séquestration du carbone et que, par l'effort de ses multiples équipes de recherche qu'il faudrait davantage aider, notre pays y joue un rôle dans l'ensemble de la filière dans laquelle les activités de services auront une importance extrême.

On ne saurait sous-estimer cette question et notre assemblée note pour l'approuver que l'ANR a retenu plusieurs projets de recherche sur la capture et la séquestration du CO₂.

- L'énergie nucléaire

Les recherches sont en cours sur les réacteurs nucléaires du futur. La filière a pensé son avenir au XXI^e siècle.

L'importance des recherches est telle en ce domaine que l'idée de la génération IV, formalisée en 2001, a pris la forme d'une coopération internationale. Les réacteurs de génération IV devraient répondre à plusieurs conditions. La première est de s'inscrire dans une perspective de développement durable, c'est-à-dire qu'ils devront répondre à un souci d'économie des ressources naturelles, produire moins de déchets à vie longue, avoir une sûreté renforcée et une compétitivité accrue par rapport aux filières gaz ou charbon.

La seconde est de répondre à des applications autres que la production d'électricité, c'est-à-dire avoir une aptitude à la cogénération et à la production d'hydrogène. Ils devront, en outre, répondre à un souci d'économie générale. Ainsi, il a été fixé un coût d'investissement inférieur à 1 000 dollars/kwe - associé à un temps de construction inférieur à 5 ans et un coût global limité à 2 à 3 cents/kWh.

Le Conseil économique et social s'interroge sur un point qui pourrait apparaître à l'avenir : celui de la gestion d'un parc qui ne serait plus caractérisé par l'homogénéité des techniques utilisées, ce qui a contribué à la force et à la sûreté du système actuel et a permis une baisse des prix par effet de série. Il conviendra dans ces conditions de prévoir dès aujourd'hui la multiplication des équipes et la pérennité des compétences afin d'assurer l'ensemble de la filière dans laquelle des réacteurs de différentes générations fonctionneront simultanément.

La génération IV devrait constituer progressivement les réacteurs de la deuxième moitié du XXI^e siècle. Le Conseil économique et social approuve et souhaite voir poursuivre l'activité de recherche sur ces réacteurs et note que notre pays tient un rôle très important dans cette recherche de dimension internationale, à la mesure de son investissement scientifique et technique.

- La fusion nucléaire

Au-delà, reste le passage – véritable rupture – de la fission à la fusion, poursuite d'une très vaste ambition, puisqu'il s'agit de reconstituer, de façon contrôlée, la réaction thermonucléaire de fusion des atomes d'hydrogène qui animent le soleil.

Les travaux internationaux ont repris dans le cadre du projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*). Après d'âpres discussions diplomatiques, menées sur près de vingt ans, le projet a été implanté à Cadarache où devrait être installé le premier réacteur de recherche.

Les experts rappellent, cependant, comme l'Académie des Sciences le note que « *la contribution potentielle de la fusion à la solution du problème énergétique ne pourra être évaluée avant 2050... Dans la seconde moitié du siècle, ses capacités seront connues sur les plans techniques, économiques et environnementaux. Son déploiement dépendra de paramètres économiques... ainsi que des performances des autres sources d'énergie* ». Si elle se concrétise, ce ne pourra être qu'au XXII^e siècle.

Notre assemblée apprécie la part notable dévolue à la France dans le programme ITER.

- L'hydrogène et les piles à combustible

La pile à combustible comprend des cellules électrochimiques qui produisent à la fois de l'électricité en combinant de l'hydrogène et de l'oxygène, ainsi que de l'eau et de la chaleur. Son fonctionnement s'effectue à des taux d'efficacité élevée. Elle peut être fabriquée à différentes tailles et être adaptée à des applications de production décentralisée. Mais comme les technologies ne sont pas encore matures, ses coûts de fabrication sont encore élevés et sa matière première de fonctionnement, l'hydrogène, est aujourd'hui difficile à produire, à transporter et à stocker en amont en grande quantité.

Il est souvent fait référence à une société de l'hydrogène qui serait appelée à remplacer la société des hydrocarbures. De nombreuses initiatives de recherche sont engagées depuis maintenant plusieurs années. La plus spectaculaire est l'IPHE, initié par les États-Unis au niveau international. Une autre mérite également considération comme « *l'European hydrogen fuel cell technology platform* » dans le cadre communautaire. Le plan d'action national sur l'hydrogène et les piles à combustible, dit « PAN-H » proposé par un groupe de travail à la suite de la présentation du rapport « Chambolle » peut être considéré comme la participation française aux recherches sur ces techniques vise à mettre en synergie la recherche publique et la recherche privée et propose une liste – limitative - de thèmes afin de ne pas disperser les efforts.

Notre assemblée, très favorable à ce que la recherche sur l'hydrogène soit considérée comme importante à développer, relève, cependant, avec les auteurs du rapport de l'OPECST sur « *les apports de la science et de la technologie au développement durable* », MM. Laffitte et Saunier, que chaque étape de la filière doit être soigneusement étudiée et entraînera des efforts de recherche importants : qu'il s'agisse de la production, du stockage, de la distribution et de l'utilisation.

En d'autres termes, le remplacement du pétrole par l'hydrogène particulièrement dans le transport est difficilement envisageable dans un avenir proche et nécessitera des investissements très importants. La production de piles pourra sans doute se développer plus rapidement pour l'électronique portable tandis que celle de l'hydrogène répondra aussi à des besoins fixes.

Il n'en demeure pas moins que l'effort de recherche à tous les niveaux doit être poursuivi et encouragé pour qu'une filière soit mise en place et soit en mesure de participer du mixte énergétique possible autrement qu'à l'état de démonstration.

C - VERS UN MIXTE ÉNERGÉTIQUE DIVERSIFIÉ ET ÉQUILIBRÉ

Il ne s'agit pas de rechercher un mixte électrique, mais bien un panier d'énergies pour les différents usages (chaleur, force, mouvement...), dont la production électrique n'est qu'un volet.

Un mixte énergétique équilibré gardera-t-il à l'électricité la même part de la consommation finale qu'elle a aujourd'hui en France (par exemple si le solaire thermique et les pompes à chaleur et climatisation se développent dans le bâtiment au lieu du chauffage et de la climatisation électriques alors que, dans l'autre sens, des usages nouveaux de l'électricité verront le jour). Cette question qui fait débat, vaut d'être posée, alors qu'au niveau mondial l'électricité verra sa part renforcée.

1. Un impératif : se situer dans le développement durable

Le concept de développement durable ne saurait se réduire à une seule dimension, aussi importante soit-elle. Il s'agit - et ses initiateurs (on pense particulièrement à Mme Gro Harlem Brundtland, responsable du rapport sur notre avenir commun dont l'intitulé a vulgarisé le terme de développement durable) le rappelaient avec force - de conjuguer à la fois des solutions économiques réalistes, socialement satisfaisantes et écologiquement conformes à la poursuite de notre destin commun.

La valeur que l'on attribuera au carbone devrait, à terme, constituer un élément clé dans le choix du mixte énergétique. Déjà, les compagnies de réassurance étudient les coûts potentiels d'une augmentation des températures dans certains pays. Ces études devraient, pour le Conseil économique et social, faire partie des travaux assignés au GIEC, pour avoir une approche internationale du sujet. En effet, une fois connu, ce coût et donc la valeur qu'on attribuera au carbone détermineront les choix technologiques, les décisions d'investissement, voire les comportements de consommation. Plus elle sera élevée, plus les ruptures technologiques seront compétitives.

Il s'agit pour notre assemblée d'une tâche prioritaire.

2. Un mixte raisonné, équilibré, associant fossiles, renouvelables, nucléaire

Pour répondre à l'ensemble des besoins énergétiques attendus, il sera très certainement nécessaire d'utiliser toutes les sources et formes d'énergie, afin d'alléger les dépendances, rechercher les modes de production et les usages les plus pertinents et optimiser chacune des possibilités, cumuler les parties de

solution apportées par chacune. La diversification est un moyen de diminuer les risques, dans la production, mais aussi dans la consommation.

Cela doit inciter à :

- intégrer l'avenir du nucléaire dans une vision diversifiée de la production d'énergie. Le nucléaire a permis à notre pays de se dégager pour partie des contraintes de la dépendance énergétique, ce qui constitue un atout et lui permet de respecter les engagements internationaux auxquels il a souscrit dans le cadre du Protocole de Kyoto. Notre assemblée ne mésestime pas non plus les risques liés à cette filière et a étudié récemment l'aval du cycle de manière équilibrée, préconisant d'accentuer les efforts de recherche pour un nucléaire sécurisé à toutes les étapes du cycle. Le Conseil économique et social considère que l'énergie nucléaire continuera à contribuer à un mixte énergétique moderne dans notre pays. Les usages les plus adaptés à sa technologie et à la taille de ses installations sont d'assurer des besoins électriques de base (alors qu'il ne peut avoir la même performance pour les demandes de pointe). L'importance des investissements constituera aussi une limite à son développement, de même que la question de l'acceptabilité selon la façon dont seront assurées les questions de sûreté et de gestion des déchets : pour la majorité des experts, cela limiterait la place possible du nucléaire à 15 ou 20 %, au maximum de l'énergie nécessaire à l'échelle de la planète ce qui est comparable à la situation actuelle, en raison des investissements, de la taille des réseaux et du niveau technologique, nécessaires à leur développement ;
- toujours pour l'électricité, utiliser l'apport des autres sources d'énergie possibles, en gardant sa place à l'hydraulique et en développant les autres énergies renouvelables déjà matures et en poursuivant la recherche et la recherche et développement pour de nouvelles. Cela veut dire investir dans la recherche pour résoudre l'actuel problème du stockage de l'électricité produite souvent de façon discontinue. Le traitement des demandes de pointe peut aussi être assuré en partie par des centrales au gaz : le coût d'investissement est beaucoup plus léger que pour une installation nucléaire car l'essentiel du coût vient du combustible (85 % contre 15 % dans le nucléaire) ; quant à la semi base, elle peut recourir aux cycles combinés ou à la cogénération ;
- à développer aussi les énergies renouvelables et leur recherche pour la production de chaleur et pour les carburants ;
- enfin, à recentrer l'utilisation des hydrocarbures sur les usages les plus performants et les moins facilement remplaçables, tout en préparant l'après-pétrole, voire l'après-gaz, à plus long terme.

3. Grandes installations et énergie décentralisée

Les XIX^e et surtout XX^e siècles ont de plus en plus concentré la production en grandes unités pour une production énergétique de masse, (raffineries, centrales électriques...) afin de répondre à des consommations croissantes tout en assurant des réseaux de distribution jusqu'aux personnes et aux activités. Les grandes activités, les urbanisations massives continueront à nécessiter de telles installations, d'autant plus que, selon les Nations unies, l'humanité, déjà urbanisée à 50 %, le sera sans doute aux deux-tiers avant 2050.

Le XXI^e siècle verra vraisemblablement se développer - et il y a intérêt -, à côté de ces grandes unités, une production décentralisée : dans certains espaces ruraux éloignés et de faible densité de population où la production autonome est plus pertinente que l'amenée des grands réseaux ; dans les bâtiments par le solaire thermique, la géothermie et photovoltaïque... ; ou encore la possibilité d'équipements dans beaucoup de pays où les grandes infrastructures sont inexistantes ou faibles et où déjà les moteurs diesel y fournissent une énergie diffuse mais irrégulière, souvent très polluante. Dans cet objectif, un effort de recherche doit être ciblé sur les réseaux « intelligents » permettant de gérer un système de plus en plus complexe et d'assurer le même niveau de qualité et d'accès à l'énergie sur l'ensemble d'un territoire.

Or la petite hydraulique, l'éolien, le biogaz, le solaire, les piles à combustibles, le bois énergie, se prêtent bien au développement d'une énergie répartie voire diffuse.

Il faut se préparer à un paysage différent, associant des productions de chaleur, de gaz ou d'électricité par des installations de taille fort différente.

4. Les technologies ne suffisent pas

4.1. La volonté politique est indispensable

Les technologies sont des outils au service d'une politique. Elles ne sont pas capables d'assurer seules la réponse aux questions énergétiques. Les aspects sociétaux, internationaux, géopolitiques supposent des choix politiques. Il faut des politiques publiques pour établir les règles et développer les programmes de recherche.

a) France : pour une action stratégique de l'État

Cela est d'autant plus nécessaire que l'énergie est une ressource vitale et un défi majeur pour les décennies prochaines, un enjeu d'avenir pour le développement de notre économie, un domaine de long terme pour les investissements en matière de recherche comme d'installations. L'établissement de priorités, sur la base de choix raisonnés apparaît, d'évidence, comme la prérogative de l'État, à même d'apprécier les conditions générales permettant d'assurer, au mieux et à long terme, l'indépendance énergétique, l'approvisionnement en énergie au meilleur coût, le respect de nos engagements

environnementaux et les coopérations internationales particulièrement avec les pays en développement.

Il lui revient ainsi de mettre en œuvre tout une série d'instruments en choisissant le plus adapté selon chaque sujet et d'assurer l'accompagnement des transitions technologiques, la veille technologique, le bilan périodique, voire la réorientation, si nécessaire, des choix effectués.

b) Union européenne : harmonisation des politiques nationales, développement de politiques communes

L'énergie est un facteur de tension géopolitique, surtout le pétrole, car le gaz et le charbon sont plus également répartis. Son absence constitue un obstacle au développement des pays pauvres. Mais elle peut être un domaine de coopération privilégiée, comme l'ont montré les débuts de la construction européenne.

L'énergie qui fut à l'origine de la construction européenne devrait continuer à contribuer au renforcement de l'Union européenne et à la cohérence de sa situation notamment vis à vis des ses partenaires qui sont pour beaucoup des fournisseurs.

L'Union européenne forte aujourd'hui de près de 400 millions d'habitants dispose d'atouts certains pour peu qu'elle poursuive et approfondisse la mise en commun de ses savoirs et savoir-faire.

Au-delà de l'agence européenne pour l'énergie intelligente, créée en décembre 2003, cela devrait conduire à la formulation d'une véritable politique européenne de l'énergie, dépassant la simple harmonisation des politiques nationales.

L'énergie doit faire l'objet d'un traitement à la hauteur des enjeux dans les différents programmes cadres communautaires, afin de renforcer les coopérations au sein de l'Union européenne, aucun de nos pays pris séparément n'ayant véritablement les moyens de mener seul des recherches d'envergure sur plus d'un, voire deux, créneaux de recherche.

Enfin, le Conseil économique et social se prononce pour, qu'à terme, chaque énergie soit dotée d'une plate-forme technologique européenne en capacité de rivaliser et de coopérer avec leurs homologues des autres puissances.

c) La dimension internationale

Les coopérations internationales sont déjà d'actualité dans certains domaines de la recherche énergétique. Certaines d'entre elles ont été déjà évoquées. Elles portent assez logiquement sur des recherches fondamentales de grande envergure.

Par ailleurs, le Protocole de Kyoto a fixé un objectif global de réduction des émissions de gaz à effet de serre, décliné en objectifs individuels associant pays développés et pays en développement, pour lutter ensemble contre le changement climatique : l'énergie y est complètement incluse.

Notre assemblée soutient l'idée - une fois certains objectifs fixés - qu'on intensifie, à l'échelle internationale, les partages de connaissances, comme ceux du GIEC et les programmes scientifiques en commun, notamment dans le domaine de la recherche associant énergie et climat, énergie et développement.

À cet égard, notre assemblée, sensible au risque d'un décrochage encore plus important qu'il n'est aujourd'hui des pays les moins avancés, engage au développement du transfert de technologies à destination de ces pays. Ce transfert devra, naturellement, prendre en compte leur situation réelle et porter sur les énergies les mieux à même de leur permettre d'assurer l'avenir de leur population.

4.2. Une nécessaire évolution - encouragée - des comportements

De nombreuses technologies dites encore « nouvelles » existent déjà, mais n'ont pas toujours le développement qu'elles pourraient avoir. Si des filières professionnelles manquent pour en développer certaines, un des facteurs important d'explication est certainement le faible coût de l'énergie depuis 20 ans. Alors que c'était le troisième axe du Plan Messmer en 1973, le retour à des prix bas a pu faire perdre de vue les économies, les investissements d'efficacité, les politiques de maîtrise de l'énergie.

La forte remontée tendancielle du prix des hydrocarbures, concomitante à l'essor des informations et des inquiétudes concernant le réchauffement climatique et la responsabilité des gaz à effet de serre émis par les activités humaines, doit constituer le moment propice pour inciter à l'évolution des comportements et des modes de consommation. La sobriété énergétique veut dire vivre mieux tout en consommant moins d'énergie. Cette sobriété ne veut pas dire frugalité. Il ne s'agit pas pour le Conseil économique et social d'encourager à une quelconque régression, laquelle ne serait acceptée par personne. Il s'agit bien plutôt d'envisager une attitude responsable pour chacun et dans tous les gestes quotidiens. Des économies peuvent ainsi être aisément réalisées, individuellement et collectivement, sans perte de bien-être ; une telle attitude est acceptable par tous – et d'abord dans les sociétés les plus avancées – dès lors qu'on aura informé les citoyens des réels enjeux de l'énergie des objectifs poursuivis et des moyens appropriés.

Il faut donc préparer les esprits à des évolutions comportementales profondes. Aux côtés des familles, l'école doit éveiller les jeunes générations et les médias doivent accompagner ce changement de comportement. Quelques campagnes d'information y contribuent en ce moment. C'est tout ce mouvement qui doit être largement amplifié.

CONCLUSION

Les défis à relever sont, on vient de le voir, cruciaux et remettent en question le modèle économique dans lequel nous vivons depuis bientôt deux siècles. Si l'on se laissait tenter par le découragement, notre avenir ou, plutôt, celui de nos descendants serait alors sombre et connaîtrait, immanquablement, une forte régression. L'histoire a déjà connu le recul, voire la disparition de civilisations qui n'avaient pas réussi à maîtriser la complexité et les déséquilibres qu'elles avaient créés.

Or, le défi de l'énergie est multiple et peut apparaître presque contradictoire. Il faut permettre un développement économique apte à fournir à chacun l'énergie dont il a besoin afin de lui assurer le bien être ou le lui faire acquérir, sans dégrader un environnement aux équilibres fragiles et sans recourir de façon irraisonnée à des ressources dont on sait qu'elles ne sont pas infinies. Il faut pouvoir offrir, particulièrement, au milliard et demi de personnes qui n'ont qu'un accès imparfait ou pas d'accès du tout à une forme moderne d'énergie et pour qui il s'agit trop souvent d'un enjeu quotidien que de trouver le combustible qui lui permettra de survivre, l'énergie mécanique qui le libérera de l'asservissement. Parallèlement, les ressources sur lesquelles s'est fait ce développement depuis deux siècles sont désormais limitées à quelques dizaines de fois la consommation annuelle actuelle, encore moins si celle-ci s'accélère.

Le recours à la technique la plus efficace est, d'évidence, une condition nécessaire à l'accomplissement de cette tâche. La mise en œuvre des technologies déjà existantes, mais d'usage encore confidentiel, comme les recherches de nouvelles solutions qui feront découvrir de nouvelles voies sont indispensables. On sait déjà qu'il n'y a pas une solution, ni même seulement quelques grandes solutions groupées : il faudra associer de multiples solutions, de nature différente et de taille différenciée.

L'effort de recherche et développement à conduire est, dès lors, un impératif. La recherche fondamentale, de niveau internationale, doit être une préoccupation constante, la recherche appliquée également. L'acquisition des connaissances, qui a scandé et permis, depuis plusieurs siècles, notre développement économique et social doit se poursuivre : nous en avons les moyens, tant au niveau national qu'international.

Cependant, tabler sur le seul pouvoir de la science et de la technique ne saurait être suffisant. Nos sociétés les plus développées doivent prendre la pleine conscience que la sobriété énergétique doit devenir un élément déterminant de notre futur et qu'elle est l'affaire de tous. Chacun doit participer à cet effort. Il ne s'agit en aucune façon de rationnement, il s'agit de raisonnement pour réduire puis éliminer les consommations inutiles. Bien plus nombreux qu'on ne pense seront nos contemporains disposés à entreprendre les efforts nécessaires, dès lors que les termes des enjeux auront été clairement fixés. Ce sont ces attitudes qu'il

faut encourager. Cela suppose aussi que les systèmes productifs intègrent pleinement cet objectif. Cela suppose, enfin, que des politiques publiques plus ambitieuses et coordonnées qu'aujourd'hui soient développées, au niveau national, européen et international.

On conçoit bien que de telles décisions, engageant un avenir qui paraît lointain, sont difficiles à prendre. Le temps des évolutions démographiques profondes, celui de la science, de la technique, des infrastructures énergétiques, sans évoquer celui du changement climatique sont des temps longs ; celui du politique est trop souvent court. Il n'empêche que ce « hiatus » doit être dépassé car plus tôt les mesures seront décidées et prises, plus leurs résultats seront efficaces et moins elles coûteront à la collectivité humaine, alors qu'attendre fait encourir le risque de réveils douloureux et l'instauration de mesures autrement drastiques.

Les politiques de préparation de l'énergie de demain doivent s'appuyer sur un outillage d'innovation performante dans tous les domaines, y compris dans les domaines technologique, environnemental, économique et sociétal.

La période qui nous sépare de 2050 reposera encore largement sur les énergies d'usage actuelles. Elle doit être utilisée pour préparer les énergies qui leur succéderont dans la deuxième moitié du siècle, voire pour le siècle suivant, celles dont on attend qu'elles nous dégagent du lancinant problème de l'accès à des ressources fossiles limitées et inégalement réparties, qu'elles répondent au défi du changement climatique et à ses effets désastreux et qu'elles permettent de satisfaire, enfin, aux besoins de tous.

Cet avenir est possible et commence aujourd'hui. Il dépend de nous.

Deuxième partie
Déclarations des groupes

Groupe de l'agriculture

En quelques années, la « donne » énergétique a profondément changé. Chacun pressent que le modèle qui nous était familier, d'un développement principalement basé sur les énergies fossiles, s'essouffle.

Il y a plusieurs raisons à cela : certaines concernent la limitation des énergies fossiles dans le temps (même si des technologies performantes peuvent repousser le terme de quelques décennies) - d'autres ont trait à la sécurité nationale et à la nécessité d'assurer notre indépendance face à des zones productrices soumises à des aléas politiques - d'autres encore ne peuvent méconnaître les questions de pollution et les obligations qui nous incombent au titre du développement durable...

Parce qu'elle ne peut ignorer tous ces éléments, la politique énergétique doit changer de dimension et revêtir demain un caractère pluriel. Vers un « mixte énergétique diversifié et équilibré » ainsi que le suggère l'avis.

Il est de l'intérêt de notre économie et, de façon plus générale, de la planète toute entière, de rechercher de nouvelles sources d'énergie qui puissent compléter les énergies existantes. Il ne s'agit pas ici de substituer les unes aux autres ou de dominance de marché mais, bien au contraire, de mettre en place des complémentarités qui se révéleront précieuses dans l'avenir.

Deux sources d'énergies majeures paraissent devoir être stimulées et développées.

L'une est le nucléaire. Grâce aux choix faits dans le passé, le nucléaire fournit aujourd'hui une très grande part de notre électricité. C'est une chance pour un pays comme le nôtre qui ne dispose sur son sol national que de faibles réserves énergétiques conventionnelles. Les recherches et les programmes doivent être encore poursuivis, avec un effort important de communication à l'égard du grand public.

Les autres sources d'énergie, complémentaires de la première, concernent les biocarburants, la biomasse – forêt, méthanisation etc. Ils offrent l'avantage d'une utilisation facile par leur aspect liquide et stockable, d'une moindre pollution en CO₂ et d'une pérennité sans fin car les biocarburants sont issus des cultures végétales, c'est à dire du fruit du travail des Hommes.

Certes, des mesures ont déjà été prises par la Commission de Bruxelles pour faciliter l'incorporation des biocarburants dans les essences. Elles ont été renforcées dernièrement par le gouvernement français, ce dont nous nous félicitons. Pour autant, nous devons avoir bien conscience, que comme toute énergie nouvelle ou comme toute technique nouvelle, elle ne pourra pas se développer sans un soutien des pouvoirs publics et sans le maintien d'une préférence communautaire suffisante.

Ne pas y recourir serait condamner cette filière mais, plus encore, se condamner nous même en nous privant d'une voie énergétique d'avenir. Le Brésil et les États-Unis l'ont bien compris, eux qui ont fait ce choix. Ils affichent aujourd'hui une production de biocarburants toujours en augmentation et exportent déjà vers l'Union européenne !

Les biocarburants représentent assurément l'une des sources énergétiques du monde de demain, sans peser d'aucune manière sur notre sécurité alimentaire tant les marges sont importantes et les progrès agronomiques rapides.

Groupe de l'artisanat

À l'heure de la remise en cause du Protocole de Kyoto par les « trocs de CO₂ » et l'accélération des catastrophes naturelles sur la planète, cette réflexion sur la politique énergétique à l'horizon 2050 arrive à point nommé pour mesurer les avancées de la science, sortir des débats d'experts et avancer des pistes stratégiques prenant en compte toutes les réalités du terrain.

Ces réalités sont apparemment complexes, puisque la question du niveau des réserves est controversée et celle des prévisions difficile au regard des incertitudes pesant sur les évolutions démographiques, le niveau de croissance des pays, leurs modes de consommation et les progrès techniques.

Partageant l'approche globale, sans concession de cet avis, le groupe de l'artisanat a centré son intervention sur quelques pistes prioritaires :

La première est la mobilisation de toutes les sources d'énergie. Le fait de réaffirmer qu'aucune technique ne changera le paysage énergétique de demain implique de ne privilégier aucune source d'énergie et de tirer profit au maximum de la diversité de notre territoire. La décentralisation, au plus près des richesses naturelles, est l'occasion de valoriser les techniques issues du soleil, du vent, de l'eau, du sous-sol, sans oublier les bio carburants. Cependant, il conviendra d'être vigilant sur la maîtrise globale de ces ressources pour éviter toute fracture sociale et risque de rupture de charges. Dans ce domaine, seul l'État sera en mesure de garantir en tout point du territoire un accès pour tous au moindre coût et une sécurité des approvisionnements.

La seconde est l'amélioration de l'intensité énergétique. Elle touche, à la fois, la performance technique des installations et l'utilisation rationnelle des sources d'énergie. Compte tenu des marges de progrès au niveau des bâtiments, des moyens de transport et des appareils utilisés, il faut qu'au-delà des incitations fiscales, chacun soit acteur d'un véritable changement de comportement de la société. L'artisanat peut contribuer à cette ambition dans la mesure où il est souvent l'interface entre les fournisseurs et les consommateurs. Cela implique de développer la recherche appliquée en associant davantage les professionnels de ces secteurs, faciliter et encourager les formations professionnalisantes et d'une manière générale mettre en place les outils d'accompagnement des entreprises pour une meilleure appropriation des solutions innovantes par le grand public.

La réussite de ce vaste chantier repose en grande partie sur l'acceptabilité sociale des choix énergétiques. C'est la raison pour laquelle, le groupe de l'artisanat partage la place accordée au débat public, dans cet avis. Celui-ci devra avoir lieu suffisamment en amont, être permanent avec des rendez-vous réguliers en fonction des évolutions techniques et technologiques, nationales, européennes et internationales pour que les solutions retenues soient économiquement réalistes, socialement satisfaisantes et écologiquement conformes aux attentes d'un bien être commun.

Le groupe de l'artisanat a voté l'avis.

Groupe des associations

L'effort de sensibilisation réalisé sur la nécessité de s'inscrire dans un développement durable fait que la population sait que notre avenir ne peut être envisagé sans surmonter les dangers énergétiques connus sous les appellations : « pollution », « gaz à effet de serre », « émission de CO₂ » et « réchauffement climatique ». Ces expressions, plus ou moins maîtrisées dans leur compréhension, font partie du langage courant. Tout le monde a entendu parler du Protocole de Kyoto et en retient que des pays s'unissent pour s'obliger à mieux respecter l'environnement. Les discours écologiques ont au moins atteint ce but : nous devons impérativement changer nos comportements. Quel que soit son niveau scientifique, chaque citoyen sait que les émissions de gaz - le gaz carbonique notamment - dues aux activités humaines sont devenues trop nombreuses, provoquent un réchauffement supplémentaire de l'atmosphère et que ce changement climatique met en danger la vie sur la planète. Chacun approuve que les gouvernements s'en préoccupent mais... ne change guère ses propres habitudes pour autant.

L'avis montre bien la nécessité de diversifier la production en diminuant la part actuellement occupée par les énergies provenant de la combustion du pétrole, du gaz naturel ou du charbon pour augmenter la part de celles qui n'émettent pas de gaz à effet de serre comme le nucléaire et toutes les énergies renouvelables. Mais cette diversification ne débouche pas à court terme sur une substitution, elle ne constitue donc pas l'unique solution. Science et technologie doivent être mobilisées pour limiter les émissions polluantes, capturer et stocker le carbone, développer les capacités de stockage des énergies propres...

Dans ce domaine, une politique européenne concertée et des coopérations internationales constituent les facteurs de développement de ce progrès scientifique indispensable à la maîtrise de notre avenir.

Pour sa part, le groupe des associations souhaite insister particulièrement sur les comportements des individus et des groupes sociaux. Des effets significatifs peuvent être obtenus à court terme par le seul changement de nos habitudes dans la société. Des « agendas 21 » permettent à des institutions, des organisations et des organismes de se donner des objectifs simples et efficaces de développement durable. À cette éducation non formelle, on peut facilement

adjoindre celle, plus formelle, de l'école, avec une approche des sciences de la vie et de la terre bien davantage intégrée aux projets pédagogiques et mise en œuvre dans les locaux d'enseignement eux-mêmes. Enfin l'éducation informelle par les médias peut facilement donner une image positive de l'écologie par le seul exemple.

Un vrai projet national autour de cette préoccupation serait sans doute un excellent moyen de réduire notre production de pollution énergétique en apprenant à maîtriser notre consommation, à mieux utiliser les solutions moins polluantes, à désirer la mise en œuvre de nouvelles solutions de production et de consommation d'énergie plus respectueuses de notre environnement.

Le groupe des associations a voté l'avis.

Groupe de la CFDT

Les trois principaux paramètres qui nous imposent aujourd'hui de repenser nos politiques énergétiques sont le réchauffement climatique, la finitude des réserves mondiales d'énergie fossile alors que les besoins mondiaux sont en forte croissance et les dégâts sur l'environnement. En dépit de ce constat partagé, les acteurs politiques, économiques et les experts ne s'impliquent pas au même niveau.

Compte tenu du terme fixé aux travaux de ce rapport et aux préconisations de l'avis, la réponse à ce triple défi relève du domaine de la prospective plus que de celui de la prévision. L'objectif est d'ouvrir le champ des possibles afin de permettre à tous l'accès à l'énergie, que ce soit pour le développement économique ou l'usage domestique, ce dernier devant être pratique et accessible aux populations y compris les plus fragiles.

Concernant les ressources d'énergie, l'objet principal de la recherche scientifique et technologique de moyen-long terme doit porter sur le développement de nouvelles formes d'énergie respectueuses de l'environnement (nucléaire du futur, énergies renouvelables, etc.) et sur la possibilité d'utiliser les réserves fossiles sans accroître la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre.

Les pollutions, qu'elles soient localisées ou répandues au-delà des frontières, sont actuellement les plus accessibles au progrès technologique : nous avons évoqué dans des saisines récentes, les efforts à faire en matière de pollution liée aux transports dans les villes, les risques nucléaires et ceux inhérents à la gestion des déchets nucléaires. Le rapport évoque les avancées technologiques attendues dans ces domaines et la nécessité des travaux de recherche qui les rendront possibles.

Ces préoccupations de long terme émergent dans le débat public et commencent à être prises en compte par les acteurs industriels. Mais recherche et technologie ne suffiront pas à régler la question de l'avenir énergétique de la planète sans une modification profonde des comportements des individus, des acteurs économiques et des responsables politiques.

Au-delà des préconisations de l'avis sur ce sujet, la CFDT souligne la responsabilité de la puissance publique. La maîtrise technologique ne constitue pas une politique énergétique. Il est urgent de définir des politiques publiques à la hauteur des enjeux. Pour la France, au-delà des engagements qui relèvent de la politique nationale, deux niveaux d'investissement nous semblent, aujourd'hui, importants à développer.

- Le niveau européen : susciter et développer des programmes de recherche doit, aujourd'hui, faire l'objet de coopérations européennes. L'énergie a été à l'origine de la construction européenne. Elle doit contribuer dans les années à venir au renforcement de politiques concertées qui au-delà des coopérations technologiques, conduisent à une véritable politique européenne de l'énergie quasiment inexistante à l'heure actuelle. Cette coordination européenne devient urgente pour répondre aux besoins croissants et légitimes des pays émergents.
- Le niveau territorial : les politiques publiques ont aussi pour rôle de développer la sensibilité et la prise de conscience des citoyens pour aller vers une nouvelle forme de croissance plus économe en énergie. Les collectivités territoriales, dans les choix de gestion des services publics dont elles ont la charge, doivent valoriser ces nouveaux comportements. Des expériences existent en matière de transport en commun, de chauffage urbain et au-delà des résultats environnementaux, l'effet pédagogique pour le citoyen contribuera à l'évolution nécessaire des comportements.

La CFDT insiste également sur la nécessité de mettre en place, à partir de structures existantes, une organisation nationale appropriée de débat, d'évaluation et de proposition sur les politiques à mener, les évolutions souhaitables des comportements et sur les technologies à développer.

La France doit, dès à présent, s'investir dans des politiques publiques volontaristes pour accompagner les mutations de comportement à l'échelle des États comme des consommateurs, afin d'anticiper les défis technologiques du long terme.

Le groupe CFDT a voté cet avis.

Groupe de la CFE-CGC

L'augmentation de la demande d'énergie et la maîtrise de la consommation sont les deux défis majeurs que nous devons relever au cours des prochaines décennies. Sur le premier point, il apparaît en effet que la France risque de manquer, dès 2009, d'une capacité de production annuelle équivalente à 1 000 mégawatts.

La France privilégie depuis plusieurs décennies une source nationale d'électricité par le recours au nucléaire. Celle-ci a largement contribué à augmenter notre taux d'indépendance énergétique.

L'énergie nucléaire est une des voies de production d'électricité les plus rentables sans émission de gaz à effet de serre.

La construction d'une ou de plusieurs tranches EPR (réacteur à eau pressurisée) sur le territoire national est indispensable, tant au regard de l'augmentation de la demande d'électricité que de l'avenir de la filière. Pourtant, il est illusoire de prétendre mettre en place la « génération IV » si de nouvelles capacités de production nucléaires (génération III- EPR) ne sont pas construites, qu'il s'agisse du développement de l'outil industriel et des compétences en recherche et en développement ou de l'approvisionnement en combustible des futurs réacteurs de IV^{ème} génération.

Pour le groupe de la CFE-CGC, l'État doit accompagner le développement, à la fois technique et financier, des investissements en raison de leurs coûts élevés et du retour sur investissement qui est particulièrement long.

Pour le groupe de la CFE-CGC, la consommation des énergies doit être maîtrisée et raisonnée et les émissions de gaz à effet de serre qui en résultent doivent diminuer.

Le transport est l'une des principales sources de gaz à effet de serre.

Pour le groupe de la CFE-CGC, la réduction des émissions de gaz à effet de serre issues des transports internationaux qui traversent notre pays passe entre autre par le feroutage.

Il faut se doter d'un réseau adapté aux poids lourds. Une source de financement se trouve selon nous dans la taxation des camions étrangers qui sillonnent la France. Le groupe a demandé lors d'une précédente assemblée plénière le développement du transport fluvial de marchandises dont les avantages sont nombreux.

Les sources d'énergie renouvelable doivent également être renforcées et notamment la filière bois. 30 % des communes du pays disposent de ressources forestières susceptibles de permettre la création de leurs propres réseaux de chaleur urbains. C'est un gisement d'énergie et d'emplois qu'il faut exploiter, notamment l'énergie solaire !

Les énergies renouvelables connaissent, en France, un essor important qui s'explique par la mise en place du crédit d'impôt dont bénéficient les particuliers pour ce type d'installations. Pour le groupe de la CFE-CGC il faut continuer dans cette direction en favorisant l'équipement des particuliers mais aussi des collectivités locales.

Pour moins polluer, il faut moins consommer. Aussi, pour que l'habitat individuel ne soit plus synonyme de « gaspillage énergétique », il est urgent de promouvoir au plus vite la construction de maisons à énergie positive.

Enfin, le groupe de la CFE-CGC recommande d'informer et d'éduquer les citoyens aux enjeux de la maîtrise de nos émissions de gaz à effet de serre

Dans le cadre de la stratégie de Lisbonne, l'Union européenne et la France se sont engagées à développer la recherche. L'énergie y occupe une place de choix. Pour le groupe de la CFE-CGC, la recherche et la politique d'appui à l'innovation qui doit l'accompagner sont des outils nécessaires à l'émergence de nouvelles énergies qui répondront à la demande croissante tout en étant moins polluantes. Cela suppose, notamment, de redéployer les crédits en matière de recherche et de développement, et de remettre en avant la profession de chercheur.

Enfin, chaque salarié doit pouvoir être une source de propositions dans la réflexion sur une organisation responsable de la production et cela via des structures telles que le comité d'entreprise.

Le groupe de la CFE-CGC a émis un vote positif.

Groupe de la CFTC

Le groupe de la CFTC, pense que l'avis a le mérite de faire un état des lieux objectif et complet.

Il y a d'un côté des réserves d'énergie fossile qui auront une durée limitée, de l'autre, la croissance exponentielle de pays émergents tels que l'Inde et la Chine qui entraîne une forte consommation d'énergie.

Il ne faudrait pas que cette situation empêche les autres pays de la planète d'accéder aux sources d'énergie.

Les récentes fortes hausses du pétrole témoignent de l'acuité de ces problèmes. Les réserves d'énergie fossile sont inégalement réparties, la sécurité des approvisionnements menacée par des risques géographiques.

En ce qui concerne le gaz, son coût de transport peut être très important.

La France a fait avec le « plan Messmer » de 1973 le choix du nucléaire pour réduire sa dépendance énergétique, nous en sommes tous conscients, dont nous sommes très dépendants. Cette filière assure en France 80 % de la production électrique.

Le problème de la sécurité et celui du traitement des déchets ont bien été traités et peuvent servir de référence.

Elle répond au souci de protéger l'environnement étant sans émission de gaz à effet de serre.

Dans un autre registre, il ne faudrait pas non plus que la délivrance des quotas de CO₂ conduise nos industriels à ralentir leur activité, à ne plus faire suffisamment de croissance, voire à délocaliser leur activité car l'achat de droits à polluer a aussi un coût.

Il n'y a pas dans ce domaine une solution, mais des solutions.

On peut développer les énergies renouvelables, les éoliennes. Notre pays a choisi de substituer en 2008 : 5,75 % et en 2015 : 10 % du carburant bio au carburant classique.

Si cet effort mérite d'être cité, il ne doit pas nous conduire à penser que l'on pourra demain et même après-demain se passer des énergies fossiles.

D'autant que lorsque l'on parle d'énergies tels que le méthanol, il faut se poser la question de savoir combien de CO₂ rejettent les engins nécessaires aux productions agricoles servant à le produire.

Par ailleurs on ne peut pas à l'échelle d'un pays, comme le nôtre, mobiliser tous les terrains agricoles. Au cours du XXI^e siècle, il faudra réfléchir à d'autres solutions.

C'est dire l'importance de la recherche qui doit bénéficier de crédits importants et pérennes.

Le partenariat européen devrait, dans cet ordre d'idée, être développé. Et il faudra réfléchir au problème de la fiscalité du carburant. Ce ne doit pas être seulement un instrument visant à remplir les caisses de l'État.

L'automobile a longtemps été la grande accusée, mais force est de reconnaître qu'elle a fait des efforts considérables : 20 % des émissions de CO₂ et 12 % des gaz à effet de serre sont d'origine automobile.

Les pistes de recherches : piles combustibles, véhicules hybrides, améliorations des moteurs, doivent être explorées, ceci parallèlement aux progrès techniques visant à accroître l'efficacité énergétique des automobiles. Le renouvellement plus fréquent du parc automobile devrait par ailleurs être encouragé. Le logement est aussi à mettre à contribution. Il nous semble qu'il reste beaucoup à faire dans ce domaine pour dépenser moins en consommant mieux.

La fiscalité devrait constituer un élément incitatif pour réaliser des économies d'énergie, ceci par des dispositifs clairs et pérennes.

Il faut compléter par une stratégie d'information de l'opinion.

L'avis répond à toutes ces préoccupations. C'est la raison pour laquelle notre groupe a voté favorablement.

Groupe de la CGT

Cet avis ne suscite pas de désaccords fondamentaux, néanmoins le groupe de la CGT exprime un jugement nuancé. En effet, cette question de l'énergie, - vitale, aux enjeux sociaux, économiques et environnementaux essentiels pour l'avenir de l'humanité, - exige des projets novateurs.

Toutes les projections, pour les décennies à venir, établissent des consommations énergétiques en augmentation forte sans pour autant prévoir l'éradication de la misère. Les inégalités d'accès à l'énergie au niveau mondial mais aussi européen et national ne sont pas supportables.

Aussi, avons-nous la conviction que sans ruptures technologiques majeures et rapides nous ne parviendrons pas à relever les défis énergétiques du XXI^e siècle. Pour les programmes de recherche et développement cela demande une amélioration de moyens afin de travailler aussi bien sur la demande, notamment, en terme de maîtrise de la consommation, que sur l'offre par la création de nouvelles filières de production. En effet, l'amélioration de l'efficacité énergétique est un objectif majeur.

Un plan stratégique permet de guider certains axes de recherche mais il ne doit pas devenir contraignant. L'innovation ne se programme pas et la recherche fondamentale est incontournable pour repousser les limites de la connaissance afin d'offrir une large palette de solutions.

Toutes les formes d'énergie doivent être améliorées. Au regard de l'avenir, la production de charbon propre devient déterminante. Si la CGT est favorable à la production d'énergie nucléaire, elle ne saurait s'accommoder de conditions d'exploitation qui conduisent à des risques pour les salariés et la population. Il est clair que sûreté et sécurité ne peuvent pas faire bon ménage avec les notions de productivité maximale.

Plus globalement, le groupe de la CGT met en cause les responsabilités d'un marché myope et d'une logique financière indifférente aux enjeux de long terme. Face au futur, l'actuel mode de développement est disqualifié. Favorables à une croissance capable de satisfaire les besoins humains et sociaux, nous préconisons aussi de donner la possibilité à chaque entreprise de réduire sa consommation énergétique en lui permettant d'accéder à de nouveaux matériaux et procédés.

L'évolution des comportements individuels est un objectif indispensable, cependant cela ne doit pas se concrétiser par des mesures de rationnement ou de culpabilisation déplacée. Ces enjeux méritent un engagement citoyen de tous et de chacun qui ne se construira pas sans un débat transparent et démocratique.

La production future d'énergie pose des enjeux stratégiques qui sont selon nous aux antipodes des orientations actuelles de désengagements publics. Aussi, la CGT souhaite que soit réalisé un bilan objectif, sur la base d'indicateurs larges et pertinents, en France et Europe.

La CGT propose que soit créée une agence européenne de l'énergie permettant aux États de reprendre la main sur des questions aussi fondamentales que l'indépendance énergétique, la sécurité d'approvisionnement, la protection de l'environnement, la gestion des déchets nucléaire, la recherche sur les nouvelles technologies, le financement de projets communs. Dans le même esprit, pour la France, il est indispensable de créer un pôle public national de l'énergie permettant de créer les synergies, les coordinations et coopérations entre les différents intervenants du secteur.

Ces ambitions peuvent paraître élevées, pourtant elles ne constituent qu'un socle minimal pour agir, tout de suite, afin de relever l'un des plus grands défis du XXI^e siècle.

Le groupe de la CGT a adopté l'avis.

Groupe de la CGT-FO

L'avis présenté contredit, sans appel, l'adage selon lequel on peut toujours laisser du temps au temps.

En matière d'énergie, il y a désormais urgence. Il y a une double urgence. D'une part au regard de l'épuisement des ressources qui couvrent l'essentiel de la consommation contemporaine. D'autre part, il est impensable de sevrer drastiquement les consommateurs actuels d'énergie et d'en priver ceux qui peuvent légitimement l'espérer : soit l'humanité toute entière. Ainsi, la plus grande modération dans toutes les formes de consommation ne saura empêcher la demande de croître, alors que la dimension environnementale du développement durable est devenue un enjeu incontournable. Aucune possibilité de lutte contre l'effet de serre ne doit être négligé et le secteur de l'énergie offre un gisement d'économie considérable.

Cette confrontation nécessite d'assurer, de manière catégorique, la production nécessaire aux consommations à venir sauf à encourir des risques de conflits aux conséquences imprévisibles générées soit par l'état de manque, soit par les atteintes portées à l'environnement.

Ne pas laisser de temps au temps impose, concomitamment, de considérer que faire toujours plus et mieux ne sera jamais assez. Cette dernière considération introductive peut servir de fil rouge à la réflexion sur la matière qui concerne le Conseil économique et social aujourd'hui.

En matière de production d'énergie, faire plus et mieux doit conduire à tirer le meilleur parti des ressources épuisables. Le rapport et l'avis en indiquent assez précisément les voies et les moyens, en sachant qu'il reste toujours mieux et plus proprement à faire. Parmi les autres ressources, la même posture s'impose avec une mention particulière pour l'univers du renouvelable. Celui-ci retrouve les vertus qu'avait momentanément estompées la prépondérance des énergies fossiles.

À ce stade se pose la question du coût des investissements, évalués par l'Agence internationale de l'énergie à environ 1 % du Produit intérieur brut mondial d'ici 2030, pour répondre à l'accroissement de la production et à celui des capacités de stockage, transport... Autant dire que cela n'est pas hors de portée, pour peu qu'on le veuille. Surdéterminant toute la préparation de l'avenir, la recherche, l'innovation et le développement sont stratégiques, leviers essentiels, là comme, et peut-être plus, qu'ailleurs. Informatique, géosciences, géophysique, mécanique, résistances des matériaux sont avec d'autres, les disciplines largement immatérielles indispensables à l'avancée de ce qui constitue le système énergétique.

Naturellement, il faut faire plus et mieux aussi dans le champ de la consommation et des usages. Efficacité énergétique et réduction sont ici deux maîtres-mots qui, l'un et l'autre, procèdent de la recherche de l'optimum qui n'est autre que la gestion en bon père de famille. Ce principe de bon sens a pu être momentanément oublié parce que, pendant une courte période, l'abondance a fait illusion avec le faible coût des ressources fossiles. Ce temps n'est plus et ne fera jamais retour. C'est pour cela que tous les feux sont à pousser pour plus d'efficacité énergétique. L'expérience des dernières décennies démontre que c'est possible sans altérer l'activité productive. La même démonstration n'a pas été réalisée en matière d'économie domestique. Là, c'est affaire de comportements avec une dimension individuelle significative. Seul un effort considérable d'information et d'éducation sera de nature à assurer l'optimum par l'appel à la lucidité de chacun et son invitation aux pratiques quotidiennes économes qui n'altèrent pas le confort.

Au sujet de l'énergie peut se justifier un travail de « partage de la connaissance et d'ouverture du dialogue » semblable à celui conduit par le Conseil économique et social et les Académies, sur le changement climatique, dont il sera rendu compte ici même le 14 décembre 2006.

Évidemment, tous les modes d'usage individuels et collectifs de l'énergie sont concernés, habitat, transports, usages ménagers... l'essentiel de ce qui peut être fait est consigné dans les rapports et avis auxquels chacun peut se reporter.

Le groupe Force ouvrière partage l'essentiel de l'avis qui conclut à la nécessité absolue d'accélérer les actions qui s'imposent aux niveaux national, européen et international, sans exonérer chacun de la part qui lui revient. En tout état de cause, tergiverser n'est plus de mise. En finir avec les tergiversations conduit à exiger une politique européenne de l'énergie.

Pour ce qui est de la France, la politique d'indépendance est, bien sûr, à poursuivre mais la dimension énergétique doit être placée en meilleur rang des préoccupations. Dans cette perspective, l'État doit donner l'exemple en impulsant une véritable politique publique de l'énergie, condition du développement de l'industrie.

Par ailleurs, en prolongement de la réflexion de l'avis, peut-être convient-il, sans délai, d'interroger le modèle économique à l'œuvre, sans grande rupture jusque-là. Il est vraisemblable que le passage des ressources fossiles, aujourd'hui essentielles, de l'abondance à la rareté accroîtra leur coût dans des proportions qui frapperont, pour la première fois et brutalement ou non, le modèle économique opérant jusque là d'obsolescence. La plausibilité de pareille évolution se renforce et affectera les rentabilités respectives des différentes sources d'énergie avec retour en grâce des renouvelables. Cela doit conduire à mobiliser plus de moyens sur ces énergies pour être à même d'en disposer le moment venu.

À défaut, ceux qui ne seront pas prêts quand le basculement adviendra risquent une forme de dépendance nouvelle. Pour ce qui est de la préparation à plus d'appel aux renouvelables, la rapporteure a raison de dire que la France serait bien inspirée d'explorer les ressources sans pareilles de ses espaces ultramarins.

Pas plus que les rapports et avis, les considérations de Force ouvrière ne sauraient épuiser le sujet qui nous occupe en face duquel s'instille un sentiment océanique. C'est cela aussi qui invite à toujours remettre l'ouvrage sur le métier pour sans cesse connaître plus afin de faire mieux pour aujourd'hui et pour le futur. Les experts disent ce qu'il faut faire, reste aux politiques à le faire, ils ont les cartes en main. Cela étant, l'utilité et la qualité de l'avis conduisent le groupe Force ouvrière à l'approuver.

Groupe de la coopération

L'énergie a soutenu, depuis plus de deux siècles, le développement économique et social de nos sociétés. La récente prise de conscience de la finitude des ressources fossiles et les bouleversements géopolitiques du dernier quart du XX^e siècle ont rendu nécessaire de mener une réflexion de fond, dans une perspective de long terme, sur la politique énergétique de la France et de l'Europe. Aussi, par cet avis, le Conseil économique et social affirme-t-il sa capacité d'anticipation et la rigueur objective de son analyse. En effet, réfléchir à la politique énergétique à l'horizon 2050 implique un examen raisonné et mesuré des différents scénarii d'évolution de la production et de la consommation mondiales, loin de tout catastrophisme. Les enjeux soulevés par la définition des orientations de la politique énergétique à long terme sont essentiels : comment assurer que la production mondiale d'énergie couvre des besoins de plus en plus importants ? Comment limiter tout risque de trop forte dépendance de la France ? Les réponses apportées devront tenir compte de deux éléments principaux et nouveaux. D'une part, le choix énergétique doit s'intégrer aux objectifs de développement durable. D'autre part, il doit prendre en considération le degré d'acceptation de la société face aux risques liés aux incertitudes relatives aux différentes énergies. C'est donc loin de tout préjugé et avec une volonté de changement que la question de la politique énergétique doit être examinée.

Le groupe de la coopération exprime sa reconnaissance à Madame la rapporteure d'avoir œuvré en ce sens. Nous partageons le constat et les propositions de l'avis parce que celles-ci visent à déterminer et à mettre en place un nouvel équilibre entre production et consommation d'énergie qui se fonderait sur un panel de solutions, sur « un mixte énergétique » diversifié. Nous sommes convaincus que seule une politique visant à associer différentes sources d'énergies (fossile, renouvelable, nucléaire) peut assurer la satisfaction des besoins européens et réduire les risques d'une trop forte dépendance de la France et de l'Europe par rapport au reste du monde. Les entreprises coopératives ont déjà engagé des actions afin d'encourager le recours à certaines formes d'énergies renouvelables. C'est le cas, par exemple, des coopératives agricoles qui se sont mobilisées autour de projets régionaux visant à la valorisation énergétique de la biomasse.

Dans cet esprit, notre groupe entend attirer l'attention de l'assemblée sur trois points qui contribueraient à encourager l'utilisation de la biomasse. Pour l'immédiat, il nous semble nécessaire que l'arrêté fixant le tarif de rachat obligatoire de l'électricité produite à partir de la biomasse soit enfin signé et que le programme de l'Agence nationale de la recherche sur les bioénergies soit fortement étoffé. Pour l'avenir, et conscients des difficultés de mise en oeuvre, il nous semble pareillement nécessaire que les organisations de producteurs soient renforcées au sein d'une filière biomasse fondée sur une contractualisation à long terme.

Comme vous l'a souligné la rapporteure, les technologies ne seront pas seules capables d'assurer la réponse aux enjeux énergétiques. En plus d'une nécessaire harmonisation des politiques en Europe et d'un soutien accru à la recherche, c'est un changement des modes de consommation et de vie au niveau individuel qui doit s'opérer. Il constituera une donnée déterminante pour la réussite de la transition vers un nouveau type de politique énergétique. Le groupe de la coopération a voté en faveur de l'avis.

Groupe des entreprises privées

Le groupe des entreprises privées estime que la rapporteure a fait un travail très utile d'information et de pédagogie. En effet, si l'avis met en relief des éléments connus, comme la consommation croissante de pays émergents - comme la Chine - ou les hauts niveaux de consommation d'énergies des États-Unis, il met également en perspective les enjeux économiques, environnementaux et sociétaux de ce sujet.

De ce travail, le groupe retient tout d'abord que le marché, malgré des sursauts fréquents, a montré sa capacité à mettre en adéquation les ressources avec la demande dans l'espace, c'est-à-dire entre zones productrices et zones consommatrices et dans le temps, c'est-à-dire en anticipant les mutations futures des ressources et des besoins. Les marchés ont ainsi fonctionné en assurant l'équilibre entre offre et demande, dans un contexte de fortes tensions

géopolitiques. Celles-ci ont entraîné une importante hausse des prix qui ne doit pas faire oublier que les réserves de pétrole et de gaz représentent encore plusieurs décennies de consommation, mais qui doit néanmoins encourager les économies d'énergies et la recherche et le développement de technologies alternatives, comme l'avis le rappelle utilement.

Quant à l'environnement, c'est devenu un enjeu de plus en plus présent et important, et l'avis se fait l'écho de l'inquiétude de tous pour les prochaines années. Si l'on peut partager cette inquiétude, il convient cependant de rappeler combien les efforts de la France, et en particulier ceux de l'industrie française, ont été souvent supérieurs à ceux de voisins immédiats. Plus encore, face aux pratiques de certains pays comme la Chine ou aux niveaux de consommation des États-Unis, la France n'a pas à rougir de ses performances, notamment grâce à l'énergie nucléaire. Cependant, satisfaire les marchés et respecter des contraintes souvent supérieures à celles de ses concurrents mondiaux risque de devenir une équation de plus en plus difficile à résoudre pour l'économie française, qui doit renforcer la croissance économique, rendre raisonnable l'évolution de la consommation d'énergie et respecter des contraintes environnementales de plus en plus fortes afin d'assurer un développement durable, comme le souhaite le projet d'avis.

Cela étant, et pour conclure de façon plus optimiste, la recherche a déjà prouvé sa capacité à relever les défis. Les progrès dans le domaine des économies d'énergie, les investissements dans les infrastructures, l'innovation et les nouvelles technologies permettront certainement de dépasser les défis d'aujourd'hui. Bien entendu, ces progrès actuels et à venir nécessitent aussi un changement des comportements et des habitudes, ce que l'avis souligne avec force.

Ainsi, le groupe des entreprises privées approuve l'ensemble de cet avis et l'a voté.

Groupe des entreprises publiques

Le lien est clair entre les questions énergétiques et le développement durable qui, avec ses trois piliers, la croissance économique, le respect de l'environnement et le progrès humain sous toutes ses formes, est devenu une référence partagée.

La recherche, la technologie ont profondément modelé les systèmes énergétiques et sont une ardente obligation pour préparer l'avenir. Le thème de l'avis qui nous est présenté est donc parfaitement pertinent.

La qualité et l'exhaustivité de l'état de la situation présenté dans le texte recueille notre approbation, tout en regrettant que, sauf sur l'émission de CO₂, l'accent n'ait pas été mis davantage sur les paramètres qui pour le producteur ou le consommateur différencient largement les diverses formes d'énergie. Certaines sont faciles à extraire, transporter ou stocker. C'est le cas du pétrole, du charbon et à moindre degré, du gaz. Certaines constituent une ressource dont le client

exige la continuité - l'électricité par exemple - alors que d'autres sont discontinues ou aléatoires, comme le solaire ou l'éolien. En outre, certains ensembles sont de grande taille et intégrés comme le système électrique européen, complètement interconnecté et qui dessert des centaines de millions de personnes alors que d'autres sont isolés et de petite dimension. Cette extrême diversité est à prendre en compte car les réponses optimales peuvent très largement différer d'une situation à l'autre.

La présentation d'objectifs de progrès pour la recherche de base ou technologique est exhaustive. Néanmoins, même si les moyens de la recherche méritent d'être accrus, il y aura toujours besoin de fixer des priorités et de faire des choix. Les critères ont été brièvement exprimés, cependant il aurait sans doute été utile qu'ils soient concrétisés par des éléments chiffrés, au moins en ordre de grandeur. À titre d'exemple, selon des experts reconnus, en partant de la situation présente, il est considérablement moins coûteux de réduire d'une tonne, les émissions de CO₂, en isolant les bâtiments qu'en produisant de l'électricité par des éoliennes. Ce sont des considérations de ce type qui doivent guider l'élaboration des programmes de recherche.

En termes de priorités, l'avis rappelle à juste titre que les secteurs du bâtiment et des transports tiennent une place prépondérante et croissante dans les émissions de CO₂ en France.

Notre groupe considère que, tout en laissant toutes les options ouvertes en raison de la variété des situations et des incertitudes qui demeurent, l'effort de recherche devrait traiter de façon prioritaire quatre grands thèmes :

- l'amélioration de la performance énergétique dans les bâtiments de toutes natures par l'isolation, la régulation, les concepts architecturaux, l'éclairage, etc. en privilégiant les actions qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre ;
- la création d'une véritable « industrie » du carbone car le charbon sera irrémédiablement de plus en plus employé en raison de l'abondance des réserves et de leurs localisations notamment en Chine et en Inde. La performance des centrales, la capture et le stockage du CO₂, les incitations ou contraintes financières ou fiscales... appellent des recherches, des innovations, des expérimentations puis du développement ;
- le nucléaire qui, sans être la panacée, peut apporter dans de nombreux pays une contribution essentielle face aux contraintes sur les émissions de CO₂ et à la disponibilité réduite à terme de pétrole et de gaz. Cela justifie pour la génération 4 des réacteurs, des travaux qui pourront disposer de temps puisque la génération 3, notamment avec l'EPR est aujourd'hui prête à l'emploi avec déjà un très bon niveau de sûreté et de performances économiques et environnementales ;

- le transport enfin car on peut - et on doit - aller plus vite pour concevoir puis diffuser un véhicule automobile de conception résolument nouvelle. Quant au transport collectif, il faut qu'il dispose d'atouts supplémentaires afin de se développer plus rapidement. Dans ce domaine aussi, il faut privilégier les actions qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre : les véhicules électriques et les véhicules hybrides rechargeables constituent des pistes de recherche et de développement importantes.

Enfin, en regard des trois piliers du développement durable, l'avis s'est attaché, à juste titre, à l'aspect environnemental. Cependant, les voies de réponse à la tragique inégalité des habitants de la planète devant l'énergie - près de 2 milliards d'entre eux n'ont pas accès à l'électricité - auraient mérité d'être davantage développées.

Et, sans aucun doute, aussi la dimension économique : sur la nécessité d'aller vite pour écarter le risque climatique, des voix autorisées commencent à s'exprimer sur la nécessité d'aller vite car cela coûtera moins cher. Ce point de vue mériterait d'être creusé car une telle conjonction serait un excellent argument pour accélérer les programmes de recherche.

Le groupe des entreprises publiques a voté l'avis.

Groupe de la mutualité

Le Conseil économique et social s'est penché cette année à plusieurs reprises sur des sujets qui plaçaient l'énergie et sa maîtrise au cœur de sa réflexion :

- « *Les enjeux de l'après Kyoto* » (avis de Mme Elyane Bressol)
- « *Les politiques de l'urbanisme et de l'habitat face aux changements climatiques* » (avis de Paul de Viguerie)
- « *Le projet de loi sur la gestion des matières et des déchets radioactifs* » (avis de Mme Anne Duthilleul)

Et dans une moindre mesure :

- « *L'automobile française : une filière en mutation* » (avis de M. Roland Gardin)
- « *Une nouvelle dynamique pour le transport intermodal* » (avis de M. Christian Rose)

La difficulté de l'exercice réside dans le fait qu'il faut agir à la fois sur la consommation et sur la production d'énergie. En effet, nous n'avons plus le choix : à la fois pour des raisons écologiques mais aussi pour des raisons économiques.

Du côté de la consommation d'énergie, de nombreux paramètres peuvent expliquer sa variation : la démographie, le niveau et le type d'industrialisation, la réglementation (par ex la limitation d'émission de gaz à effet de serre), le progrès technique, les modifications de mode de vie...

Du côté de sa production également de nombreux paramètres entrent en jeu : la raréfaction, le coût, les considérations environnementales, la recherche....

Le groupe de la mutualité souhaite insister sur la concentration géographique à la fois de la consommation d'énergie mais aussi de sa production. Ainsi, moins de 10 % de la population africaine subsaharienne a accès à l'électricité ; cette inégalité est d'autant plus injuste qu'elle s'ajoute au cercle vicieux entre pauvreté et consommation d'énergie : beaucoup des PVD consacrent à l'achat d'énergie près de la moitié des revenus de leurs exportations.

Si l'avis s'interroge sur des propositions à l'horizon de 2050, c'est bien parce que les choix en matière de recherche s'opèrent aujourd'hui.

Le groupe de la mutualité, conscient des difficultés, regrette cependant que l'avis ne s'avance pas un peu plus sur les priorités en matière de recherche et de choix énergétiques, justement parce que, comme cela est souligné, la recherche dans ce domaine représente un investissement financier important dont les effets industriels ne sont pas immédiats.

Des actions de sensibilisation de l'opinion publique sont nécessaires pour permettre des changements de comportements : il s'agit de mieux et moins consommer. Ces mesures reposent sur un choix politique et de société qui réclame une implication coordonnée des États entre eux et des citoyens, à travers un investissement réel et immédiat en matière d'éducation et de recherche.

Enfin, le groupe de la mutualité partage le fait que « les technologies ne suffisent pas et que la volonté politique est indispensable ». Il insiste également, comme il a déjà eu l'occasion de le faire, sur l'importance de la responsabilité vis à vis des générations futures et de l'instauration d'un débat public périodique, essentiel sur ces questions.

Le groupe de la mutualité a voté l'avis.

Groupe de l'Outre-mer

« Utilisez la nature, cette immense auxiliaire dédaignée... Réfléchissez aux mouvements des vagues, aux flux et au reflux, au va et vient des marées, une énorme force perdue, comme la terre est bête de ne pas employer l'Océan. » disait Victor Hugo.

C'est cette énergie inépuisable qu'utilise le projet Pelamis en Ecosse qui fourni 30 mégawatts, soit l'électrification de 20 000 foyers.

Imaginez une rame de TGV de quatre wagons séparés par des cylindres dans lesquels se trouvent des vérins hydrauliques qui vont transformer l'énergie mécanique, fabriquée par l'ondulation des vagues, en énergie électrique grâce à des dynamos, le tout immergé entre 30 et 50 mètres, attaché au fond de l'océan et à une extrémité un câble qui transmet le courant électrique jusqu'au rivage. Voilà le type de ferme qui existe en Ecosse et qui est en cours de construction au Portugal mais aussi en Nouvelle-Calédonie, demain à Wallis et Futuna et à La Réunion.

C'est la recherche et le développement de technologies nouvelles tout autant que l'information, la responsabilisation et la sensibilisation à la sobriété énergétique qui permettront de réduire l'utilisation des énergies fossiles et de lutter contre la production des gaz à effet de serre.

Pour les ultramarins qui utilisent presque exclusivement l'énergie fossile, les coûts sont exorbitants alors qu'il y a à portée de main le solaire, l'éolien et, désormais, l'énergie marine.

Il n'est plus possible par insouciance ou par facilité, de se contenter de brûler du fioul ou du charbon. Il est grand temps d'attirer l'intérêt des pouvoirs publics et des entreprises privées pour utiliser ces énergies renouvelables. Les générations à venir ne doivent pas faire les frais de notre incurie.

L'avis ne pouvait entrer, le groupe en est conscient, dans les propositions particulières à l'Outre-mer mais il a amorcé le débat.

Le groupe souhaite donc qu'un avis puisse être consacré au problème de l'énergie dans les collectivités d'Outre-mer.

Le coût de l'énergie est, en effet, un des aspects handicapants des économies ultra-marines, alors que les collectivités concernées ont déjà constitué un champ d'expériences précieux en matière d'énergies renouvelables.

Le groupe estime qu'un tel sujet pourrait être étendu, à partir de l'Outre-mer, à l'ensemble des îles et zones isolées pour lui donner la dimension mondiale qui prolongerait le présent avis.

La section des activités productives, de la recherche et de la technologie a, avec talent, traité un sujet d'intérêt planétaire et le groupe de l'Outre-mer adhère totalement aux conclusions de l'avis qu'il a voté.

Groupe des personnalités qualifiées

M. Obadia : « Je voterai le projet d'avis qui nous est soumis et je veux moi aussi féliciter notre rapporteure pour le travail important qu'elle a réalisé et pour sa prise en compte des réflexions de la section. Il est évidemment inutile de paraphraser le texte du projet, je souhaite pointer quelques questions résumées dans le débat public.

Je veux d'abord souligner l'urgence des problèmes posés.

L'épuisement de certaines des principales ressources non renouvelables est un fait avéré. En réalité, nous sommes déjà entrés dans la gestion de la transition vers l'après pétrole. L'acuité de la question du réchauffement climatique est chaque jour confirmée avec les multiples conséquences qu'elle engendre. Dans ce cadre, la signature et le respect du Protocole de Kyoto par tous ainsi que l'engagement résolu dans la nouvelle étape décisive du futur « Kyoto II » sont des impératifs absolus. C'est d'autant plus important que des pays, dont certains sont des géants, accèdent à un fort développement et qu'ils sont légitimes à revendiquer l'accès aux ressources énergétiques indispensables ; même s'ils peuvent emprunter des voies moins dispendieuses en énergie que nos pays des premières révolutions industrielles. Tout cela confère une urgence forte à l'accroissement de l'efficacité énergétique de nos modèles de production et de consommation, c'est-à-dire au découplage de l'augmentation du bien-être matériel et de la consommation énergétique. Dans le même temps, la question de l'accès à des formes modernes et efficaces d'énergie se pose de manière lancinante pour plus d'un milliard d'êtres humains. C'est aussi l'une des grandes questions d'urgence.

Évidemment et l'avis le souligne, ces différents enjeux confirment la nécessité absolue d'un considérable développement de la recherche. Il doit s'effectuer simultanément sur les différents domaines :

- au niveau de la production des énergies renouvelables, à la fusion nucléaire en passant par la pile à combustible ou la séquestration du CO₂... et cette liste n'est pas exhaustive.
- au niveau de la consommation du moteur « propre », aux bâtiments à énergie positive...

Nous devons avoir conscience que cela suppose un effort financier massif lié bien sûr à l'optimisation de la conduite des recherches et au recours aussi large que possible à la coopération européenne et internationale. En même temps, cet effort est incontournable d'une part parce qu'il s'agit de questions vitales, d'autre part parce qu'un investissement de ce type constitue un précieux gisement de croissance saine et durable.

Le troisième sujet est celui de la complémentarité des différentes démarches à engager.

En l'état actuel des connaissances, il n'existe aucune solution unique qu'il conviendrait de sur-privilegier. Nous devons raisonner et c'est bien la logique du projet d'avis, en terme de mixte énergétique qu'il s'agit d'optimiser selon les situations structurelles. L'éolien, le photovoltaïque sont indéniablement à développer car ils sont, par définition, propres et parce qu'ils peuvent contribuer à apporter des solutions rationnelles pour des besoins décentralisés. Par contre, leur production est, par nature, discontinue. Les bio-carburants constituent un apport utile, à encourager. En même temps leur limite est celle notamment des surfaces à cultiver nécessaires pour les produire. Le charbon est et sera encore plus demain dans le monde une source d'énergie usitée mais il doit être utilisé en

liaison avec les technologies de pointe qui réduisent son impact sur l'environnement sinon nous ne ferons qu'aggraver la situation actuelle déjà préoccupante. Le nucléaire est incontournable. Il est heureux que notre pays dispose de cet atout précieux pour son indépendance énergétique et son positionnement dans le paysage énergétique de demain. Rappelons que l'énergie nucléaire ne produit pas de CO₂ et que les perspectives de ses développements technologiques futurs sont prometteuses ; d'où l'intérêt nouveau qu'il suscite dans le monde. Dans le même temps, l'aspiration des citoyens à ce que la sûreté maximale soit assurée à tous les stades du cycle, de la production au retraitement ou à l'enfouissement est légitime et doit faire l'objet du débat le plus transparent.

Je souhaite enfin insister sur le rôle des États et le caractère impératif de leur coopération. Les questions énergétiques sont vitales au sens le plus fort du terme. Personne ne peut vivre décemment s'il n'a pas un accès assuré à l'énergie. Ce sont des questions de long terme qui impliquent des décisions d'investissements de nature prospective, fondées sur les notions d'intérêt national et d'indépendance énergétique. C'est ce qui fonde la légitimité des États à intervenir activement dans ce domaine. En même temps, cette affirmation ne signifie en rien qu'il faudrait adopter une attitude de repli ou de chacun pour soi. Les enjeux sont d'une telle importance que la coopération entre les États, au niveau de l'Union européenne et au niveau international est indispensable. C'est dans cet esprit, qu'à mon sens, la création d'une Agence européenne de l'énergie, susceptible de fédérer les efforts, de mettre en œuvre une véritable politique européenne de l'énergie et de favoriser la coopération des opérateurs à partir de l'intérêt général constituerait un grand pas en avant.

Ces différentes considérations sont, comme chacun peut le constater compatibles avec les propositions de l'avis que je voterai ».

Groupe des professions libérales

Depuis que les conséquences économiques d'un changement climatique ont pu être chiffrées, les rapports entre l'écologie et l'économie s'en trouvent profondément modifiés, voire inversés : si l'on avait pu constater, jusque-là, la répercussion en matière d'effet de serre du développement de la croissance économique, il est désormais mis en évidence le coût du réchauffement de la planète. Dans ce contexte, la gestion de la question énergétique, qui doit déjà composer avec le caractère limité des ressources, est plus que jamais contrainte d'affronter la question des risques environnementaux.

Dans cette optique, l'avis développe une réflexion originale englobant les aspects non seulement techniques mais aussi économiques et géopolitiques. Nous en partageons les deux idées force :

1°) Nous ne pouvons nous reposer entièrement sur les progrès de la science et de la technique. Il faut qu'il y ait articulation entre les deux, grâce à une information responsabilisante des citoyens. Loin d'être négligeable et simplement destiné à se donner bonne conscience, l'effort dans nos

comportements quotidiens peut avoir des conséquences considérables : selon l'Agence internationale de l'énergie, d'ici à 2030, dans les « émissions évitées » (différence entre le scénario tendanciel et le scénario vertueux), les deux tiers de l'effort sont attendus des ménages et de leurs comportements quotidiens (utilisation des carburants, électricité...). Évidemment, la part consommée par les ménages sera fonction des évolutions technologiques. Cependant, dès aujourd'hui, beaucoup de choses sont possibles : en remplaçant par exemple toutes les ampoules à incandescence par des ampoules à basse consommation, qui consomment 10 fois moins, on économiserait un milliard de tonnes de CO₂ par an !

L'engagement actif des citoyens dans une telle voie suppose qu'ils soient bien informés et soient entendus, afin de prendre part à la décision. C'est pourquoi l'idée d'une organisation nationale appropriée de débat, d'évaluation et de proposition, nous agréée.

2°) Une deuxième idée est que la maîtrise de l'énergie ne peut se limiter à des économies d'énergie mais doit reposer sur l'efficacité énergétique. À l'opposé de toute idée de rationnement, d'ailleurs peu réaliste, il faut favoriser le découplage entre croissance économique et croissance de la consommation d'énergie.

Cette exigence est essentielle, compte tenu de la dimension mondiale de la question : d'ici à 2050, la demande d'énergie aura doublé à l'échelle de la planète - 1,5 milliard d'hommes vivent encore sans électricité -. Les pays émergents devront passer directement aux technologies économes, et ce défi est de taille quand on sait, qu'actuellement, la Chine consomme deux fois plus de pétrole que la moyenne mondiale pour produire 1 000 dollars de PIB ! Pour cela, le transfert des technologies innovantes vers ces pays revêt un aspect essentiel.

Étant donné la très grande confusion des esprits sur le sujet, il était important de faire œuvre de pédagogie, en situant les diverses sources d'énergie futures par rapport à leurs différents horizons temporels et avec leurs avantages et inconvénients respectifs. L'avis s'y attache et le groupe des professions libérales félicite la rapporteure d'avoir su traduire en langage audible, tant pour les citoyens que pour les décideurs politiques et économiques, des réalités scientifiques qui ont une incidence directe sur notre vie quotidienne.

L'avis présente l'intérêt pédagogique de différencier ce qui relève du possible, dont l'application peut être immédiate ou dépendra de l'abaissement des coûts, de ce qui nécessitera encore des recherches approfondies. Il est par exemple utile de rappeler que le charbon propre n'existe pas (encore !) et que, si la pollution de l'air peut être réduite, le charbon reste l'énergie qui contribue le plus au changement climatique. De même, la séquestration de carbone en est encore au stade de projet : les risques demeurent immenses. Dans l'ordre du possible, l'avis souligne opportunément la piste de l'allègement du poids des véhicules. Si cela est envisageable techniquement, le renouvellement du parc automobile pose un problème quasi insoluble, surtout au niveau mondial !

Les professions libérales et, en particulier, les architectes qui conçoivent l'architecture dans son écosystème, appuient les propositions visant à limiter la consommation d'énergie du bâtiment, secteur qui représente un quart des émissions à effet de serre. Nous tenons à souligner que des décisions politiques devront favoriser la mise au point de mécanismes innovants de financements, pour absorber le surcoût de ces nouvelles technologies.

Nous pensons enfin qu'il est raisonnable d'espérer une nouvelle convergence entre l'écologique et l'économique. Le renforcement des normes environnementales pourra paradoxalement créer un marché, où les entreprises capables d'investir dans les nouvelles technologies environnementales, auront une action décisive. A cet égard, à rebours de l'approche du « rapport Stern » remis au gouvernement britannique, qui chiffre le coût de l'inaction, nous pouvons dire que le développement de nouvelles technologies aura sûrement des retombées économiques positives.

« L'acquisition des connaissances qui a scandé et permis, depuis plusieurs siècles, notre développement économique et social doit se poursuivre », dit l'avis. Partageant entièrement cette conviction dynamique, le groupe des professions libérales a voté l'avis.

Groupe de l'UNAF

Parler des technologies du futur pour la recherche et la production d'énergie, c'est mettre l'accent sur un des problèmes majeurs de notre société. On connaît à la fois notre dépendance énergétique et depuis les accords de Kyoto, la nécessité de maîtriser les effets négatifs des énergies actuelles sur l'environnement. La survie de la planète en dépend. Après avoir souligné l'évolution à court et moyen terme de nos besoins énergétiques, l'avis nous livre de manière très pédagogique une analyse exhaustive et précise des différentes ressources et des énergies renouvelables qui méritent d'être développées significativement, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le groupe de l'UNAF remercie la rapporteure pour cet important travail pédagogique.

Par ailleurs, comment faire évoluer les modes de consommation au regard du confort et des aspirations des individus, dans une démarche de développement durable ? L'analyse des bilans énergétiques incite à proposer des actions concertées visant à infléchir la croissance des besoins, en agissant sur la technologie et sur les comportements. Dans un contexte de sensibilité accrue à l'environnement, à la santé et au cadre de vie, tous les acteurs de la société doivent se mobiliser pour s'inscrire dans cette logique.

Le groupe de l'UNAF est particulièrement sensible aux développements de l'avis, relatifs à l'évolution des comportements, aussi bien individuels que collectifs. Il souhaite la mise en place de politiques plus conformes aux aspects écologiques en y associant les populations. Il soutient la proposition de « mettre en place une organisation appropriée de débat, d'évaluation et de proposition sur

les politiques à mener », tant il est vrai que l'acceptabilité sociale des choix, des évolutions et des changements souhaités relève d'un large débat.

Une information destinée au grand public s'impose, par le biais de campagnes nationales relayées au niveau local, comme par exemple celles qui ont pour objet la prévention des accidents domestiques. Un « site portail » Internet pourrait être créé, à l'instar du site créé en partenariat entre les Académies et le Conseil économique et social, afin de rassembler les données disponibles sur l'énergie et d'engager un dialogue direct avec les citoyens.

En outre, le cahier des charges des chaînes de télévision publiques devrait comporter des informations sur le développement durable et les économies d'énergie. Les ministères concernés devraient y veiller.

Par ailleurs, les gestes simples de la vie quotidienne comme le chauffage, la climatisation, le fonctionnement des appareils électriques, ainsi que le transport, peuvent être source d'économie. Cette éducation doit être faite dès le plus jeune âge en famille et être accompagnée par une formation à l'école primaire.

Enfin, il est bien évident que pour l'UNAF, comme pour l'avis, la recherche est aussi prioritaire. Elle devrait en particulier s'intéresser à la capture et au stockage du CO₂, ce qui permettrait d'utiliser les importantes ressources en charbon dont nous disposons.

De plus, un grand programme de recherche orienté vers les énergies renouvelables est indispensable. On ne peut que regretter la faiblesse des budgets qui lui sont affectés.

Pour terminer, l'UNAF soutient le dispositif des « Points information : énergie », dont le doublement est prévu d'ici 2009. Ils sont en effet chargés de sensibiliser et de conseiller tous les acteurs à « faire le bon choix au bon moment », en appui de l'action engagée avec « l'étiquetage énergétique ».

Le groupe de l'UNAF s'est prononcé en faveur de l'avis.

Groupe de l'UNSA

Considérant l'importance des questions énergétiques et environnementales, et l'impérieuse nécessité de préparer les évolutions en ce domaine, nous ne pouvons plus attendre pour que les enjeux du développement durable et climatique soient enfin considérés comme une priorité. Dès maintenant les gouvernants ont la lourde tâche d'accompagner les changements auxquels nous sommes contraints. L'emploi, l'activité économique, la solidarité, la démocratie et le bien-être de tous dépendent en grande partie des choix politiques.

L'UNSA approuve l'avis tout en soulignant un certain nombre de points.

La maîtrise des ressources énergétiques et la recherche liée doit dépasser le strict cadre national et se concevoir de plus en plus au niveau européen et international. En ce domaine, l'Europe doit se doter d'une ambition égale à son ambition politique et même envisager l'élaboration d'une nouvelle directive énergétique.

L'accès à l'énergie, son coût, ses nuisances aussi, structurent profondément nos vies et nos économies ainsi que le devenir de l'humanité. Les États ne peuvent laisser jouer les seules forces du marché et doivent exercer leurs responsabilités en ces domaines, en régulant et en orientant.

Le débat sur l'énergie ne peut être dissocié de celui sur les matières premières : les énergies fossiles sont aussi des matières premières - carbochimie avec le charbon, puis pétrochimie avec le pétrole et le gaz. C'est une raison de plus pour ménager et rationaliser l'usage des énergies fossiles si l'on veut aussi en préserver l'utilisation en tant que matière première.

Actuellement, les besoins en énergie sont couverts pour l'essentiel par des ressources finies : énergies fossiles et uranium. Tant que les énergies renouvelables ne pourront couvrir la totalité des besoins - le pourront-elles ? -, il importe de développer la sobriété dans la consommation d'énergie, de combattre les pertes et gaspillages et d'améliorer sans cesse l'intensité énergétique de nos processus de production. Il faut relancer le 3^{ème} axe du « Plan Messmer » et favoriser les économies d'énergie couplées à l'utilisation d'énergies renouvelables. Il existe un potentiel énorme dans le transport et le résidentiel avec notamment le développement de l'habitat à énergie positive.

La recherche concernant l'exploration, la production et le traitement des énergies fossiles doit être encouragée, les progrès technologiques en ce domaine pouvant aussi favoriser l'accès à ces ressources auprès des pays qui en sont détenteurs.

En lien avec l'utilisation encore prolongée des énergies fossiles et ses conséquences climatiques, la recherche sur les techniques de captation et séquestration du CO₂ doit être particulièrement encouragée et mise en œuvre.

Le recours au nucléaire est de nature à améliorer l'indépendance énergétique et le risque climatique ; il doit cependant être parfaitement maîtrisé pour en assurer l'acceptabilité par les populations, y compris pour la gestion des déchets.

Enfin, l'UNSA adhère à l'objectif de diversification du panier énergétique par l'encouragement du développement des énergies renouvelables. Il est aussi nécessaire de poursuivre la recherche tant fondamentale qu'appliquée afin de maîtriser et mettre en œuvre les énergies alternatives du futur. Dans cette optique, on ne saurait trop souligner la nécessité d'un engagement profond de l'Europe et de coopérations internationales à tous les niveaux.

Nous avons une chance unique d'engager une profonde mutation économique, sociale, environnementale et culturelle de nos sociétés qui doivent s'inscrire résolument dans le développement durable. Cette mutation ne pourra se faire qu'avec la participation active des citoyens pour lesquels la formation aura un rôle majeur afin d'obtenir leur adhésion.

L'UNSA a voté l'avis.

ANNEXE A L'AVIS

SCRUTIN

Scrutin sur l'ensemble du projet d'avis

Nombre de votants.....202

Ont voté pour.....199

A voté contre.....1

Se sont abstenus.....2

Le Conseil économique et social a adopté.

Ont voté pour : 199

Groupe de l'agriculture - MM. Bastian, Baucherel, de Beaumesnil, de Benoist, Boisson, Canon, Cazaubon, Mme Cornier, MM. Ducroquet, Giroud, Guyau, Lemétayer, Lépine, Marteau, Pelhate, Pinta, Salmon, Sander, Schaeffer, Szydłowski, Thévenot, Vasseur.

Groupe de l'artisanat - MM. Dréano, Duplat, Griset, Lardin, Liébus, Martin, Paillason, Pérez, Perrin.

Groupe des associations - Mme Arnoult-Brill, MM. Da Costa, Leclercq, Pascal, Roirant.

Groupe de la CFDT - Mme Azéma, M. Bérail, Mmes Boutrand, Collinet, MM. Heyman, Jamme, Mme Lasnier, MM. Le Clézio, Legrain, Mmes Paulet, Pichenot, M. Quintreau, Mme Rived, M. Toulisse, Mme Tsao, MM. Vandeweege, Vérolet.

Groupe de la CFE-CGC - Mme Dumont, MM. Garnier, Labrune, Saubert, Mme Viguier, M. Walter.

Groupe de la CFTC - MM. Coquillion, Fazilleau, Louis, Mme Simon, MM. Vivier, Voisin.

Groupe de la CGT - Mmes Bressol, Crosemarie, MM. Decisier, Dellacherie, Delmas, Mme Doneddu, M. Durand, Mmes Geng, Hacquemand, Kotlicki, MM. Larose, Michel, Muller, Rozet, Mme Vagner.

Groupe de la CGT-FO - MM. Bécuwe, Bilquez, Bouchet, Mme Boutaric, MM. Devy, Mazuir, Noguès, Mmes Peikert, Perray, Pungier, MM. Quentin, Rathonie, Reynaud, Mme Videlaïne.

Groupe de la coopération - Mme Attar, MM. Budin, Fosseppez, Fritsch, Gautier, Grave, Prugue, Thibous, Verdier.

Groupe des entreprises privées - Mme Bel, MM. Bernardin, Buisson, Mme Clément, MM. Creyssel, Daguin, Mme Felzines, MM. Gautier-Sauvagnac, Ghigonis, Gorse, Jamet, Lebrun, Lemor, Marcon, Mariotti, Mongereau, Pellat-Finet, Placet, Roubaud, Salto, Schilansky, Pierre Simon, Didier Simond, Talmier, Tardy, Veysset, Mme Vilain.

Groupe des entreprises publiques - MM. Ailleret, Blanchard-Dignac, Brunel, Chertier, Duport, Mme Duthilleul, MM. Graff, Mme Idrac.

Groupe des Français établis hors de France, de l'épargne et du logement - Mme Bourven, MM. Cariot, Clave, Feltz.

Groupe de la mutualité - MM. Caniard, Davant, Ronat.

Groupe de l'outre-mer - MM. Kanimoa, Mme Moustoifa, MM. Omarjee, Osénat, Paoletti, Paul, Penchard, Radjou.

Groupe des personnalités qualifiées - MM. d'Aboville, Aillagon, Aurelli, Baggioni, Mmes Benatsou, Cuillé, MM. Dechartre, Mmes Dieulangard, Douvin, MM. Duharcourt, Duquesne, Ferry, Figeac, Gentilini, Mme Kristeva-Joyaux, MM. de La Loyère, Mandinaud, Masanet, Mme Morin, MM. Nouvion, Obadia, Pasty, Mme Rolland du Roscoät, MM. Roulleau, Slama, Sylla, Mme Tjibaou, MM. Valletoux, Vigier.

Groupe des professions libérales - MM. Capdeville, Maffioli, Mme Socquet-Clerc Lafont, M. Vaconsin.

Groupe de l'UNAF - Mme Basset, MM. Brin, Édouard, Fresse, Guimet, Laune, Mmes Lebatard, Petit, Therry, M. de Viguerie.

Groupe de l'UNSA - MM. Duron, Martin-Chauffier, Olive.

A voté contre : 1

Groupe de l'agriculture - M. Lucas.

Se sont abstenus : 2

Groupe de l'agriculture – MM. Boisgontier, Cartier.

RAPPORT

**présenté au nom de la section des activités
productives, de la recherche et de la technologie
par Mme Marie-Odile Paulet, rapporteure**

Le 22 septembre 2004, le Bureau du Conseil économique et social a confié à la section des activités productives, de la recherche et de la technologie la préparation d'un rapport et d'un projet d'avis sur « *Recherches et technologies du futur : quelles orientations pour la production et la consommation d'énergie ?* ».

La section a désigné Mme Marie-Odile Paulet comme rapporteure.

*
* *

Afin de parfaire son information, la section a entendu les personnalités dont le nom suit :

- M. Olivier Appert, président de l'Institut français du pétrole (IFP) ;
- M. Paul Caseau, membre de la Commission scientifique et technique du traité Euratom, membre de l'Académie des technologies ;
- M. Dominique Maillard, directeur général de la direction générale de l'énergie et des matières premières, délégué de la France au Comité de direction de l'Agence internationale de l'énergie ;
- M. Gilbert Ruelle, président de la commission énergie environnement de l'Académie des technologies ;
- M. Bernard Tissot, membre de l'Académie des sciences, président du groupe d'« initiative énergie » de l'Académie des sciences.

La rapporteure a, de plus, rencontré un certain nombre de personnes, dont la liste est annexée au présent rapport.

La section et sa rapporteure remercient l'ensemble des personnalités entendues et auditionnées pour leur apport à la rédaction de ce document.

INTRODUCTION

L'énergie est omniprésente dans notre vie. Elle est indispensable à notre développement, elle participe de notre bien être, elle structure bien souvent notre espace. Elle est aussi celui du temps long, ne serait-ce que celui des investissements en équipements qu'elle requiert dès lors qu'il est question d'énergie « commerciale ».

Le Conseil économique et social a abordé, à de nombreuses reprises, ce thème général, en en explorant différentes faces. Le choix de le reprendre, au-delà d'une actualisation régulière utile à de nombreux sujets, trouve une légitimation par les transformations profondes de la question énergétique depuis quelques années et par celles que l'on peut augurer.

La poursuite prolongée des tendances actuelles de la consommation et de la production d'énergie n'est pas viable ; ce que le dernier rapport de l'Agence internationale de l'énergie rappelle avec insistance. Or, nos sociétés se trouvent placées devant une obligation : celle de devoir répondre à une demande qui ne peut que croître dans le demi-siècle qui vient, compte tenu de nos besoins, de ceux des sociétés qui aujourd'hui n'ont pas accès aux formes d'énergie moderne et qui légitimement aspirent à se développer et, parallèlement, envisager que les ressources pourraient se trouver limitées, ce qui serait une première dans notre histoire et qui nous invite à faire preuve de précaution. En effet, nos sociétés ont été habituées, particulièrement dans ce qu'il est convenu d'appeler la période de la révolution industrielle, à utiliser une énergie abondante et bon marché. Ces deux éléments constitutifs de notre développement ne sont pas intangibles : à la raréfaction physique relative de la ressource s'ajoutent les évolutions des prix des différentes énergies ainsi que les taxations décidées par les autorités publiques qui ont et auront un effet indéniable tant sur l'offre que sur la demande. En sus le changement climatique constitue une donnée, qui désormais, incontournable qui nous invite à (sinon nous impose de) repenser notre mode de développement et à mettre en œuvre des techniques nouvelles moins dispendieuses afin d'assurer notre avenir comme celui des générations futures.

Ce rapport a pour objectif de dresser un état de l'existant, d'étudier les pistes de recherche et de rappeler les tendances actuelles de réflexion. Il se propose d'aborder notre avenir énergétique à 2050, par la recherche et d'envisager, dans une échelle de temps qui ouvre le champ des possibles, quel pourrait être le mixte énergétique pertinent du milieu du XXI^e siècle, au-delà de la prolongation simple des tendances actuelles ; c'est-à-dire, à un moment où l'ordre de mérite des énergies pourrait ne plus être celui qui préside actuellement à notre développement.

Cela étant, on verra que si beaucoup reste à imaginer, à inventer, quelques-unes des technologies innovantes sont déjà présentes, parfois peu diffusées et donc disponibles pour l'action dès aujourd'hui.

Axé sur les recherches et technologies du futur, le rapport tente de les cerner tant au niveau de la production que de la consommation. Cependant, comme le simple recours à des technologies améliorées ou nouvelles ne saurait suffire pour répondre à l'ampleur des défis posés, il met en relation ces technologies avec l'évolution des comportements et les politiques nécessaires pour fonder un avenir énergétique durable.

CHAPITRE I

UN CONSTAT

I - BILAN DE L'EXISTANT OU ÉTAT DES LIEUX

A - DE LA PRODUCTION ET DE SES USAGES

1. La production

La production mondiale d'énergie croît sensiblement sur la longue durée : de l'ordre de 50 % entre 1973 et aujourd'hui, pour atteindre plus de 11 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep) (6,2 milliards avant le choc pétrolier de 1973)².

1.1. Le pétrole

La production de pétrole brut qui a crû d'un quart depuis 1973 est aujourd'hui assurée pour 30 % par le Moyen-Orient.

Parmi les producteurs, trois États se détachent assez nettement : l'Arabie saoudite, la Russie, les États-Unis. La Chine se rapproche des « meilleurs » producteurs et le Nigeria produit désormais plus que le Koweït.

Tableau 1 : Répartition géographique de la production de pétrole en %

	1973	1980	1990	2000	2003	2005
Amérique du Nord dont :	21,6	18,4	16,3	18,-	18,2	16,5
USA	18,-	15,7	13,3	9,8	9,2	8,-
Amérique latine	9,5	9,7	11,9	9,7	9,2	9,-
Europe de l'Ouest	0,1	4,1	6,4	9,-		
Europe de l'Est dont :	15,6	20,2	18,6	20,1	22,1	21,7
URSS/Russie	14,9	19,6	18,-	9,0	13,5	12,1
Moyen-Orient dont :	36,7	30,1	26,7	31,2	29,6	31,-
Arabie saoudite	12,8	16,-	10,3	12,5	12,8	13,5
Afrique dont :	10,1	9,7	9,9	10,3	10,8	12,-
Nigeria	3,5	3,3	2,8	2,9	2,9	3,2
Asie/Pacifique dont :	5,4	7,5	10,1	10,6	10,2	5,8
Chine	1,9	3,4	4,3	4,5	4,6	4,6
Indonésie	2,3	2,5	2,2	2,-	1,6	1,4
Total Mtep dont :	2 871,7	3 080,5	3 157,6	3 604,4	3 697,-	3 895
OPEP	54,5	44,8	38,2	41,9	39,7	41,7

Source : BP statistical reviews.

² Le rapport utilise, essentiellement, comme sources les publications annuelles statistiques de *British Petroleum* (BP), ainsi que les différentes publications statistiques de la DGEMP et de son Observatoire de l'énergie. Il s'appuie, en outre, sur les statistiques annuelles publiées par l'OCDE et le CEA (particulièrement la série « mémento sur l'énergie ») ainsi que sur les travaux du Conseil mondial de l'énergie (CME) sur ceux d'Enerdata. On trouvera, en fin de rapport, des informations sur les principales unités d'énergie ainsi que sur les zones géographiques évoquées.

1.2. Le gaz naturel

Avec plus de 38 % de la production mondiale de gaz naturel, l'Eurasie est la première région productrice, distançant l'Amérique du Nord (27,2 %). Deux États dominent assez largement le paysage : la Russie (21,6 %) et les États-Unis (19 %) de la production. Ce paysage doit s'apprécier en ayant à l'esprit que la production totale a plus que doublé dans le monde depuis 1973.

1.3. Le charbon

La production de charbon a également beaucoup augmenté pour atteindre près de 3 milliards de tep. La zone « Asie/Pacifique » extrait plus de la moitié de la production mondiale et arrive ainsi largement en tête.

La Chine extrait (2005) plus de 38 % de la production mondiale, c'est-à-dire presque le double des États-Unis et... 8 fois plus que la Russie.

1.4. L'électricité

La croissance de la production d'électricité est assez spectaculaire. La multiplication des usages de cette forme d'énergie non primaire mais directement utilisable - des applications spécifiques jusqu'à celles entrant en concurrence directe avec d'autres sources - explique cet accroissement.

Au début de la décennie 1970, la production d'électricité dans le monde dépassait 5 200 Twh. Elle aurait atteint en 2004 plus de 17 000 Twh ; c'est-à-dire qu'elle a été multipliée par plus de trois en l'espace de trente ans.

Le charbon représente toujours la première source de production d'électricité et selon « Enerdata », il pèse autant dans la production mondiale d'électricité, que l'addition du nucléaire, de l'hydraulique et du pétrole ; soit 39 %. Le gaz arrive en deuxième position, suivant une pente ascendante assez régulière.

La production d'électricité connaît depuis deux à trois décennies une modification assez sensible de ses origines. Aux sources traditionnelles s'est ajouté le recours à l'énergie d'origine nucléaire, tout au moins dans les régions les plus industrialisées du monde. La production d'électricité d'origine nucléaire a été, en effet, multipliée par quinze entre 1973 et nos jours et voit sa part relative atteindre 16 % de l'électricité produite contre 2 % au début de la décennie 1970.

La poursuite du développement de cette source d'énergie est sujette aux mêmes incertitudes que celles des autres sources dans la mesure où elle nécessite, pour être produite, une première source.

2. Les consommations et les usages

2.1. Géographie des consommations

Les consommations d'énergies se sont multipliées. Les consommations primaires³ ont atteint plus de 10 500 Mtep en 2005, contre un peu plus de 6 Mtep en 1973.

a) Des niveaux très inégaux de consommation

Une analyse infra régionale montre des écarts considérables entre pays. À eux seuls, les États-Unis absorbent plus d'un cinquième de la consommation mondiale soit autant que l'Europe tout entière. La Chine, avec près de 15 % de la consommation mondiale vient au second rang, suivie de la Russie, du Japon. La France pour sa part participe pour 2,5 % de cette consommation.

À la veille du choc pétrolier de 1973, les États-Unis atteignaient 28,1 %. Ils étaient suivis de l'URSS et de la Chine, la RFA et le Japon étaient au coude à coude. La France participait pour 2,9 % (derrière la Grande-Bretagne : 3,6 %).

b) Des grandes inégalités dans la consommation individuelle

Les différences sont encore plus importantes, lorsqu'on aborde la consommation individuelle. Au début de la décennie 1970, la consommation moyenne par habitant dans le monde était de 1,4 tep. L'amplitude allait de 7,8 tep/hab pour l'Amérique du Nord à 0,27 tep dans l'Asie du Sud. Un citoyen de l'URSS consommait 3 tep et un européen de l'Ouest 2,6 tep, tandis qu'un habitant de l'Afrique subsaharienne consommait, pour sa part, 0,5 tep/an.

Aujourd'hui (2002), la consommation individuelle d'énergie commerciale (excluant donc, la consommation de bois... dans certaines régions) est de plus de 7,9 tep par habitant aux États-Unis. Avec 4,5 tep environ, la consommation individuelle française dépasse celle de l'Allemagne. Avec 4 tep/an, les habitants du Japon se situent en deçà de la consommation française et que dire de la Chine : 1 tep/an/hab (quatre fois moins que la consommation *per capita* de la Corée du Sud). La consommation des Africains - lorsqu'elle est connue - évolue de 2,6 tep en Afrique du Sud à 0,3 tep en Éthiopie⁴.

c) Qui consomme quelle source ?

La structure des sources montre aujourd'hui une certaine prééminence du pétrole suivi, à bonne distance, par le charbon et le gaz naturel. L'hydraulique et le nucléaire sont assez proches en pourcentage l'un de l'autre.

³ La consommation d'énergie primaire est égale à la consommation finale totale plus les consommations internes de la branche et permet de connaître l'origine de ces énergies. Elle doit se distinguer de la consommation finale d'énergie qui permet de suivre la pénétration des diverses formes d'énergie dans les secteurs utilisateurs.

⁴ Banque mondiale « *indicateurs du développement mondial 2005* ». NB : la consommation moyenne mondiale était de 1,7 tep.

Une analyse plus détaillée montre, cependant, une prééminence du charbon, sur toutes les autres sources, dans la zone « Asie/Pacifique », due essentiellement à la Chine (près de 70 % de l'énergie chinoise provient du charbon). Une forte proportion de ce même charbon est consommée en Amérique du Nord, particulièrement aux États-Unis où il dépasse ou égale le gaz naturel (aux environs du quart de la consommation pour chacune des deux sources). Le charbon entre toujours pour une part certaine en Europe et en Afrique... Les États de l'ex-URSS tirent une part très majoritaire de leurs consommations du gaz naturel, très largement devant le charbon et le pétrole.

L'Europe accorde la première place au pétrole : 40 % (pourcentage à peu près identique à celui de l'Amérique du Nord). Le Moyen-Orient, terre de production du pétrole et du gaz naturel, partage presque également les deux sources ; le reste va au charbon.

Deux autres sources valent plus qu'une mention.

Dans le monde, l'hydraulique participe pour 6,5 % de la consommation ; l'énergie d'origine nucléaire (6 % de la consommation mondiale d'énergie) est, essentiellement, présente en Europe, en Amérique du Nord et en Asie.

2.2. Sources et usages

Si une très large part du pétrole (raffiné) va au transport, sous toutes ses formes (ainsi, à titre d'exemple, les USA utilisaient, en 1999, plus de 52 % des produits raffinés en essence automobile/carburants aviation), une part tout aussi importante - sinon plus importante - de cette ressource sert à produire de l'électricité ou de la chaleur, et ce y compris dans les pays de l'OCDE.

La majeure partie du gaz naturel, qui est aussi une matière première pour la chimie, est consommée pour produire de « l'énergie » (électricité, essentiellement), devant le chauffage, puis l'industrie.

Deux tiers du charbon extrait sont consommés pour produire de « l'énergie » (électricité, chaleur). L'industrie consomme aux environs d'un cinquième de la production de charbon.

2.3. Le cas particulier de l'électricité

La consommation primaire d'électricité croît dans le monde. En 1973 elle dépassait 6 133 Twh. Elle atteint, aujourd'hui, de l'ordre de 15 500 Twh.

Un tiers de l'électricité mondiale est produit à partir du charbon. Le gaz naturel, l'hydroélectricité, le nucléaire, participent chacun aux environs de 17 %, tandis que le pétrole entre pour moins de 10 %.

B - DES RESSOURCES CONNUES

Le volume des ressources prouvées évolue sans cesse, au fil des découvertes mais aussi de la valeur qu'on leur accorde.

Le terme de « réserves », appliqué à l'énergie, présente quelques ambiguïtés et la question de leurs niveaux est très controversée.

Pour beaucoup, le terme correspond plutôt, spontanément, à celui des « ressources » lesquelles forment ce que M. Pierre-René Bauquis définit comme « les quantités totales existantes en terre, qu'elles soient ou non économiquement productibles »⁵ et qu'on pourrait également appeler « les stocks en terre » en ce qui concerne le charbon, le gaz, le pétrole, voire... l'uranium.

En fait, le terme de réserves correspond à ce qu'on peut espérer récupérer de ressources dans le futur et sous certaines conditions techniques et économiques. Il s'agit donc d'une notion technico-économique qui varie en fonction, notamment, de ces deux paramètres. On peut expliquer ainsi que les réserves mondiales de pétrole soient depuis quarante ans, de ... quarante ans, dans la mesure où en quatre décennies les techniques ont largement évolué et que les prix, souvent orientés à la hausse, ont permis de réaliser les investissements nécessaires permettant d'accéder à des ressources qui n'étaient pas accessibles.

Cependant à l'aspect technique s'ajoute une dimension politique qui revêt un aspect essentiel dès lors que le produit en question est stratégique et que les États sont, tout à la fois, propriétaires (le plus souvent) et producteurs de la ressource. La présentation de l'état des réserves relève d'un acte politique. Le montant des réserves par champ est ainsi une donnée confidentielle dans tous les pays, à l'exception du Royaume-Uni, de la Norvège et du domaine fédéral aux États-Unis. En Russie, par exemple, la divulgation du montant des réserves de pétrole est punie de 7 ans de prison⁶.

Pour ajouter encore à la difficulté de chiffrer, les différents acteurs évoquent tour à tour les « réserves prouvées, les « réserves probables » voire les « réserves ultimes ». On rappellera que dans les pays du Moyen Orient membres de l'OPEP, les « réserves prouvées » sont les « réserves officielles » et qu'elles déterminent les quotas de production alloués à chaque État.⁷

En bref, la fiabilité des estimations des réserves est « sujette à caution quand le politique prend le pas sur la technique »⁸.

⁵ Pierre-René Bauquis « Un point de vue sur les besoins et les approvisionnements en énergie à l'horizon 2050 », *Revue de l'énergie*, n° 509, sept. 1999.

⁶ Jean Laherre « La fin du pétrole bon marché : pourquoi les informations sur les réserves sont si peu fiables et controversées » *Les futuribles*, n° 315 janvier 2006.

⁷ rc – « op cit ».

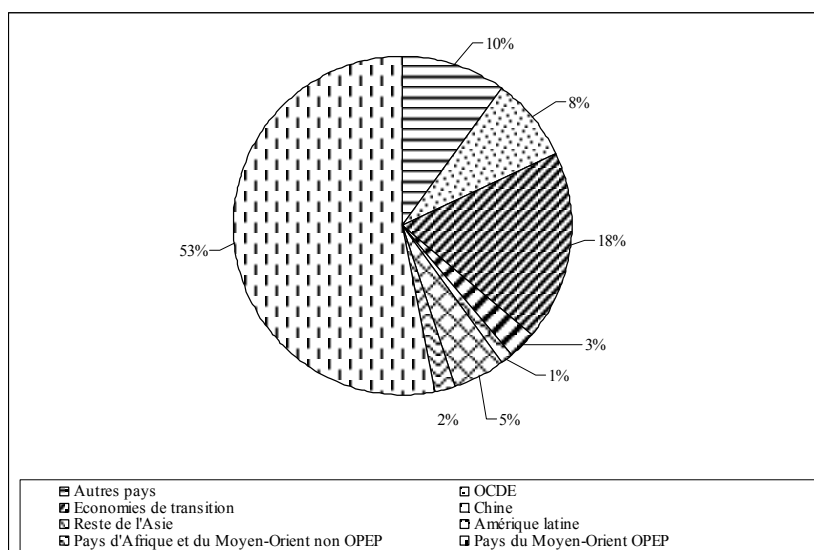
⁸ Maurice Allegre : Cher pétrole... « *Commentaires* » n° 114, été 2006.

Le terme de « réserves prouvées » veut dire qu'il s'agit de quantités de matières ayant une forte probabilité d'être récupérées dans le futur, selon les informations géologiques et techniques disponibles à partir de gisements connus et dans les conditions technico-économiques existantes. C'est dire si le prix est fondamental, puisqu'il déterminera des recherches plus approfondies, des exploitations plus systématiques, et aussi le recours à des nouvelles techniques de consommation. Il devrait pouvoir déterminer le recours à telles ou telles ressources. Or, ce prix est volatil, alors que les investissements de capacités sont, de long, voire, très long terme. Ils doivent, pour être décidés, se baser sur un prix, sinon constant, du moins ne subissant pas de mouvements erratiques.

Ces réserves sont inégalement réparties. Des zones géographiques en recèlent en quantité importante, d'autres en disposent avec parcimonie. Cette inégalité géologique est loin d'être sans effet sur la géopolitique. Combinée au prix de ces ressources primaires, elle constitue un arrière plan déterminant. Très souvent, la recherche/innovation conduite dans des pays hautement industrialisés, dépourvus de matières premières, a comme objectif essentiel de se dégager d'une relation bilatérale très (voire trop) contraignante : l'indépendance énergétique est souvent à ce prix.

Le tableau ci-après permet d'apprécier la part relative de certaines zones géographiques dans les réserves de pétrole et de gaz naturel.

Graphique 1 : Répartition des réserves de pétrole et de gaz par zone géographique



Source : IFP.

1. Le pétrole

1.1. 40 ans de réserves ou 40 fois la consommation actuelle ?

Les réserves prouvées d'hydrocarbures étaient évaluées, à la fin 2005, à quelque 164 milliards de tonnes, soit 1 200 milliards de barils (1 tonne = 7,33 barils). En vingt-cinq ans, ces réserves se sont enrichies de plus de 60 milliards de tonnes. Cependant, l'essentiel de l'augmentation des réserves prouvées a été réalisé dans la décennie 1980. Depuis, les découvertes de nouveaux gisements se sont ralenties.

Le Proche-Orient dispose de plus de 60 % des réserves prouvées et près d'un quart des réserves du Moyen-Orient est localisé en Arabie saoudite.

Au rythme actuel de consommation, les réserves sont de l'ordre de 40 ans. Le ratio a beaucoup évolué dans le temps. Ainsi a-t-il atteint son niveau le plus bas à la fin de la décennie 1970 (en 1979, les réserves étaient évaluées à 27 ans de production) et son point le plus haut en 1989 (près de 44 ans de réserves).

1.2. Une géographie à hauts risques des réserves

Les variations sont importantes d'une région à l'autre : ainsi, le ratio réserves/production est-il de 80 ans pour le Moyen-Orient et de 12 ans pour l'Amérique du Nord...

Carte 1 : Réserves de pétrole dans le monde en 2005 (en Gtep)



Source : BP.

2. Le gaz naturel

2.1. Un peu plus de durée de réserves

Les réserves de gaz naturel étaient de 180 milliards de m³ fin 2005. Elles ont doublé depuis 1980. Contrairement au pétrole, la dernière décennie a été riche en découvertes ou en approfondissement des connaissances de la ressource.

Au rythme actuel de production, les réserves mondiales sont estimées à 67 ans. De même que pour le pétrole, le ratio réserve/production a beaucoup évolué.

2.2. Une répartition bien différente

La répartition régionale des réserves est plus équilibrée qu'en ce qui concerne les huiles. Deux aires géographiques disposent, chacune, de plus d'un tiers de la ressource : le Moyen-Orient, les États issus de l'ex-URSS. La zone Asie-Pacifique dispose aussi d'importantes réserves.

Pour cette source également le ratio réserves/production, varie sensiblement d'une région à l'autre. Il est de près de 80 ans pour l'ex-URSS, d'une dizaine d'années pour l'Amérique du Nord et de 16 ans pour l'Europe

Carte 2 : Réserves de gaz naturel dans le monde à la fin 2005
(en milliards de m³)



Source : BP

3. Le charbon

3.1. Plus de deux siècles de réserves ?

Il s'agit naturellement des réserves les plus importantes. Elles se montent, fin 2003, à près de 1 000 milliards de tonnes. Elles sont, aussi, plus également réparties entre les différents continents ou pays.

Les réserves les plus importantes se situent aux États-Unis (27 % des réserves mondiales). La Fédération de Russie suit d'assez loin, puis viennent la Chine, l'Inde, l'Australie, l'Allemagne et l'Afrique du Sud.

Au rythme actuel de la production, les réserves sont assurées au minimum pour un siècle et demi. Le ratio réserves/production est de plus de 400 ans pour les États issus de l'ex-URSS, de 240 ans pour l'Amérique du Nord, de 167 ans pour l'Europe. Au niveau des pays, il serait de 50 ans pour la Chine, de 240 ans pour les États-Unis, de 200 ans pour l'Afrique du Sud, de 213 ans pour l'Australie et de... 11 ans pour la Grande-Bretagne...

3.2. Des qualités bien différentes de charbon

La qualité du produit diffère selon qu'il s'agit de l'antracite ou des charbons bitumineux et des lignites. L'antracite a un pouvoir calorifique plus important et dégage moins de carbone ; il constitue 53 % des réserves mondiales de charbon.

Carte 3 : Réserves de charbon dans le monde à la fin 2005
(en milliards de tonnes)



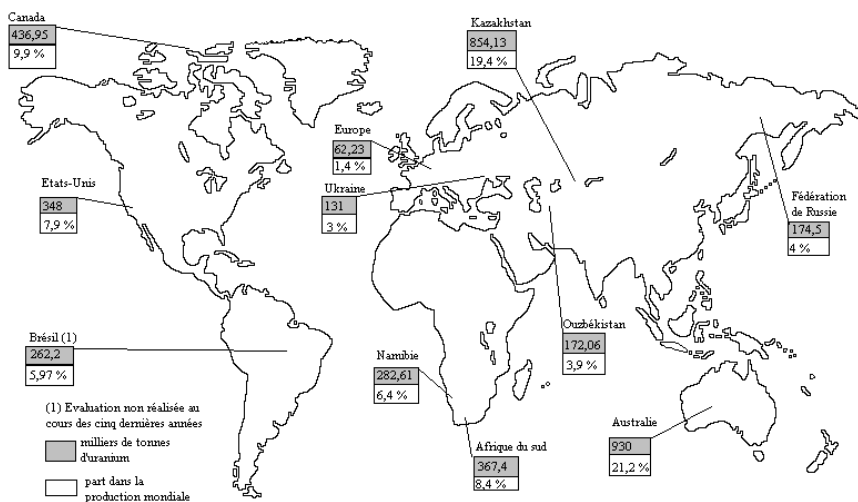
Source : BP.

4. L'uranium : des réserves pour 3/4 de siècle avec les technologies actuelles ?

Ces réserves sont estimées à près de 4,4 millions de tonnes, dont plus de 3 millions seraient facilement exploitables. Les besoins annuels sont estimés, par l'AIE en association avec l'agence internationale de l'énergie atomique, à quelque 60 000 tonnes. On voit donc que les réserves ne sont pas négligeables, d'autant qu'à un coût d'exploitation supérieur au coût actuel il serait économiquement rentable de faire intervenir des réserves supplémentaires. Mais ces estimations en indiquent aussi les limites.

Les réserves sont réparties inégalement sur l'ensemble des continents, l'Australie tenant largement la tête, tant en ce qui concerne les réserves (près d'un million de tonnes) que la production (plus de 20 % de l'uranium produit provient de cet État/continent). Cette situation a pu faire dire à M. Michel Jorda, conseiller scientifique à la direction de l'énergie nucléaire du CEA, qu'ainsi « *a priori aucun monopole de production de pays appartenant à des zones géopolitiquement sensibles n'était à craindre* ».

Carte 4 : Ressources mondiales en uranium estimées au 1er janvier 2001



N.B : Total : 4393 milles tonnes.

Source : CEA/voir également les « *Nuclear technology review* » de l'AIEA.

C - LA SITUATION FRANÇAISE

1. Ressources et production

Pratiquement dépourvue, aujourd'hui de ressources naturelles fossiles, la production française présente une structure particulière.

1.1. Une structure de production très spécifique

Les données permettent peu d'isoler les cas particuliers de l'outre-mer dont le panorama énergétique est marqué par l'isolement, l'absence de ressources fossiles et un développement intéressant des énergies renouvelables, le solaire en particulier. Une étude spécifique mériterait d'être conduite sur cette question. En effet, les régions ultrapériphériques françaises pourraient constituer autant de laboratoires et de vitrines des techniques nationales qui pourraient trouver des applications dans les pays voisins ; qu'il s'agisse du solaire, de l'utilisation de la biomasse mais aussi, et plus généralement, de la production déconcentrée d'énergie électrique.

Tableau 2 : Production française d'énergie primaire (Mtep)

	1973	1980	1990	2000	2005
Charbon	17,3	13,1	7,7	2,3	0,3
Pétrole	2,2	2,4	3,5	1,8	1,3
Gaz naturel	6,3	6,3	2,5	1,5	0,8
Electricité primaire dont :					
- hydraulique	4,1	6,1	5,0	6,2	5,-
- nucléaire	3,8	16,-	87,7	108	117,7
Renouvelables	9,8	8,7	11,4	11,9	12,5

Sources : Les bilans de l'énergie (1970-1998) et rapports annuels de la DGEMP.

À cette production nationale dont on voit la structure spécifique, marquée par une prééminence de la production d'électricité primaire d'origine nucléaire, il convient d'ajouter les échanges extérieurs : importations de pétrole, achat de gaz naturel ; exportations d'électricité. Le tableau suivant permet d'apprécier les évolutions de nos importations.

Tableau 3 : Importation de quelques produits en Mtep

	1973	1980	1990	1995	2005
Charbon	10,3	20,4	13,-	9,-	13,6
Pétrole (brut)	134,9	119,6	73,3	78,-	85,3
Gaz naturel	7,6	16,2	24,5	28,-	40,3

Sources : Les bilans de l'énergie (1970-1998) et rapports annuels de la DGEMP.

Outre le maintien du charbon à un niveau « résiduel », la montée des importations de gaz naturel est régulière (le volume est multiplié par cinq sur la période envisagée) et les évolutions, pour le moins irrégulières, de celles du pétrole, reflètent celles de la croissance économique et la montée en puissance du nucléaire.

1.2. La recherche de l'indépendance énergétique

Au total (production nationale - importations) se trouve posée la question de l'indépendance énergétique nationale, à l'origine de maintes décisions qui engagent l'avenir sur le long terme. Ce taux a été fort bas au début de la décennie 1970. Avec un taux de 23,9 % en 1973, notre situation était alors à comparer avec celle de la RFA (plus de 50 %) de la Grande-Bretagne (49,2 %). Elle était très loin de celle des États-Unis (près de 84 %) ou du Canada (123 %).

La situation, depuis 1973, s'est singulièrement modifiée et notre taux d'indépendance énergétique se situe depuis la fin de la décennie 1990 aux alentours de 50 % (49,8 % en 2005).

2. Les consommations

De 1973 à 2005, la consommation d'énergie primaire a beaucoup crû, passant de 184,4 Mtep à 276,5 Mtep, soit une progression de près de 50 %. Dans le même laps de temps, le PIB français, en volume, a été multiplié par deux.

2.1. Une grande évolution des consommations par source

La structure de la consommation par sources a beaucoup évolué. Le tableau suivant permet d'apprécier l'évolution de la part des différentes sources dans la consommation nationale.

Tableau 4 : Consommation française d'énergie par sources
en Mtep (et en %)

	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Électricité « primaire »	Renouvelables thermiques	Echanges	Total
1973	27,8 (15,1)	126,6 (68,6)	13,3 (7,2)	7,7 (4,3)	9,5 (4,8)	- 0,3	184,4
1980	31,- (15,8)	110,9 (56,7)	21,2 (10,8)	22,2 (11,7)	10,2 (5,2)	+ 0,3	195,5
1985	24,1 (11,8)	84,3 (41,3)	23,3 (11,4)	58 (28,4)	10,9 (5,3)	- 2	204,1
1990	19,2 (8,3)	91,3 (39,5)	26,4 (11,4)	73,9 (33,2)	11,4 (4,9)	- 4	231,4
1995	14,7 (5,8)	94,8 (37,8)	30,3 (12,1)	86,2 (36,2)	12,4 (4,9)	- 6	250,9
2000	14,1 (5,2)	95,7 (35,7)	36,9 (13,5)	109,2 (40,6)	12,7 (4,7)	- 6	267,8
2005	13,5 (4,9)	92,1 (33,3)	40,9 (14,8)	117,2 (42,4)	12,5 (4,5)	- 5	276,5

Sources : Les bilans de l'énergie (1970-1998) – DGEMP rapports annuels.

N. B : Consommation y compris celle de la branche énergie.

Electricité « primaire » : nucléaire + hydraulique/éolien/photovoltaïque – solde des échanges.

2.2. ...tout aussi grande dans les usages de l'énergie

La consommation française par secteur évolue principalement au bénéfice du « résidentiel/services » et des transports, tandis que la part de l'industrie baisse en valeur relative (mais non en valeur absolue).

Le tableau suivant permet d'en juger.

Tableau 5 : Répartition sectorielle des consommations d'énergie en %

	1973	1980	1990	2000	2005
Industrie	36,6	33,9	28,7	26,8	24,3
dont Sidérurgie	8,9	7,4	4,5	3,5	3,4
Agriculture	2,0	2,0	1,8	1,5	1,8
Résidentiel/Tertiaire	42,2	40,4	41,2	42,9	42,4
Transport	19,7	23,9	29,4	31,1	31,4
S/t. énergie finale	100	100	100	100	100
	83,7	83	84,1	83,7	84,4
Non énergétique	5,7	5,8	5,6	6,7	15,6
Énergies et pertes	10,6	11,2	10,3	9,6	
Total énergie primaire	100	100	100	100	100

Sources : DGEMP/CEA – Op.cit.

N.B. La consommation d'énergie finale représente 84,2 % du total de l'énergie primaire consommée en 2005.

2.3. Une meilleure efficacité des consommations mais des usages en croissance dans les bâtiments et les transports

Le vaste ensemble « résidentiel/services » voit sa part approcher la moitié des consommations d'énergie finales (hors consommation de la branche « énergie » et les consommations « non énergétiques »). Les transports passent du cinquième à plus de 30 % des consommations. L'industrie voit sa part relative décroître sensiblement en valeur relative (- 12 points), mais non en valeur absolue.

On soulignera, avec « les bilans de l'énergie » publiés par l'Observatoire de l'énergie, que « ...celle-ci (l'énergie) demeure un facteur de production très concentré dans la branche industrielle puisque plus de 40 % de l'énergie utilisée dans l'industrie (hors IAA) sont consommés par 0,2 % des établissements et 80 % sont consommés par 40 % des établissements ».

Le charbon et le pétrole ont perdu depuis le milieu de la décennie 1980 leur prééminence dans l'industrie au profit de l'électricité - laquelle assure depuis le début des années 1990 plus de la moitié des parts de marchés dans la consommation industrielle d'énergie - et à un moindre degré du gaz naturel.

Le très vaste secteur du transport connaît une expansion continue que les différents chocs pétroliers n'ont que globalement très peu affecté.

En 1973, moins du tiers des produits pétroliers consommés en France l'était pour les transports (hors soutes) ; aujourd'hui, 67 % du total du pétrole consommé l'est dans les transports qui représente 73 % de la consommation de produits raffinés.

Le principal de l'accroissement des consommations d'énergie dans ce secteur est le fait des véhicules automobiles individuels voire, à un degré moindre, du transport marchand autoroutier.

Le secteur résidentiel/tertiaire présente une autre structuration.

Le charbon y est désormais symbolique pour représenter aujourd'hui moins de 1 %. *A contrario*, l'électricité dépasse 30 % de « parts de marché » à partir de la décennie 1970. Le gaz voit son poids croître pour atteindre environ 30 % (aujourd'hui), tandis que les produits pétroliers suivent une pente exactement inverse à celle de l'électricité. Pour leur part, les énergies renouvelables demeurent relativement stables, autour de 13 % (sur la période). Or, lorsqu'on interroge les Français, ceux-ci plébiscitent ces énergies dans ce secteur. Ainsi, selon le baromètre « Observatoire de l'énergie/Credoc » de janvier 2006, ces énergies recueillent 40 % d'opinion favorable à la question de la source d'énergie idéale pour le chauffage des logements, devançant le gaz et plus encore l'électricité.

II - LES SOURCES « TRADITIONNELLES » RESTENT LES PLUS UTILISÉES

On parle ici de sources « traditionnelles » au sens de l'ère industrielle. Au regard de l'histoire, les sources dites classiques d'énergie seraient plutôt à chercher dans ce qu'il est convenu d'appeler maintenant les énergies renouvelables, on le rappellera dans la partie qui leur est consacrée.

A - LES SOURCES FOSSILES PAR MODE DE PRODUCTION

1. Les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont composés d'hydrogène et de carbone en quantité variable. D'une extrémité de la chaîne à l'autre, on passe du méthane (1 atome de carbone) aux bitumes (jusqu'à 300 atomes de carbone dans la molécule constituante). Plus la proportion de carbone est forte, plus il est lourd et plus il émet de CO₂ par molécule.

Un gisement de pétrole représente, plus simplement, « *un certain volume du sous-sol où roches, minerais, air et eau ne sont pas les seuls éléments en place : une proportion... de ce volume est constituée par une phase hydrocarbonée qui peut être... soit solide, soit liquide (l'usage du terme pétrole est généralement réservé à ce cas), soit gazeuse* »⁹.

Un gisement de pétrole est donc une structure sédimentaire (contenant du pétrole résultant de la transformation de matières organiques accumulées dans des bassins sédimentaires), poreuse et perméable, et limitée par des couches imperméables.

⁹ « *L'exploitation des gisements d'hydrocarbures* » domaines scientifiques et principes généraux IFP éditions Technip 1974. La rapporteure remercie M. Michel Combarnous pour son aide sur cette question.

L'exploitation d'un gisement d'hydrocarbures est de plus en plus rarement chose aisée. En règle générale, un gisement d'hydrocarbure ne peut être atteint que par un puits. Traditionnellement, l'exploitation comportait deux phases : celle du drainage naturel ; et pour poursuivre l'exploitation, celle que l'on pourrait qualifier d'assistée à l'aide d'un fluide injecté pour faciliter cette deuxième phase de récupération qui peut être non miscible ou miscible avec l'huile. Aujourd'hui, la distinction entre les phases d'exploitation tend à disparaître au profit de la seconde.

Depuis 1973 et le premier choc pétrolier, une évidence quelque peu oubliée jusque là, s'est imposée : les ressources d'hydrocarbures ne sont pas inépuisables, tout au moins à horizon humain¹⁰.

Jusqu'où la science et les techniques permettront-elles de faire reculer les limites de l'exploitation des hydrocarbures ? Telle pourrait être une question essentielle.

Dans un article rédigé pour l'Académie des sciences¹¹, M. Bernard Tissot écrivait que seul un effort considérable et soutenu de recherche scientifique pouvait faire reculer ainsi les limites des réserves conventionnelles à la fois :

- « par la découverte de nouveaux gisements ou la mise en valeur de ressources considérées jusqu'ici comme inexploitable ;
- par l'amélioration du taux de récupération des gisements découverts, ... ou même par une meilleure récupération des gisements déjà exploités ».

2. Le gaz naturel

La consommation et, partant, la production de gaz naturel n'ont cessé de croître depuis quatre décennies. La part de cette ressource ne fait ainsi qu'augmenter dans le bilan énergétique mondial. Cette tendance n'est pas prête visiblement à s'inverser voire à s'infléchir.

La souplesse de l'utilisation du gaz, son caractère « propre » - sa combustion ne produit pas d'intrants lourds (suie ou goudrons) - rendent son usage acceptable par le plus grand nombre. Les réserves techniquement récupérables aujourd'hui sont plus abondantes que celles du pétrole. Une part, cependant notable, de ces réserves (un tiers environ) est constituée de gaz acides ; on y reviendra plus loin.

¹⁰ Contrairement à ce que l'on dit, le pétrole est une ressource renouvelable. Il se forme en permanence dans les bassins sédimentaires. Cependant, les rythmes actuels de son extraction et de sa consommation sont dix mille fois supérieurs à celui de son renouvellement.

¹¹ « *Energies et Climat* » cf. comptes rendus de l'Académie des sciences, série II-tome 333 n°12, décembre 2001, voir particulièrement l'article de M. Bernard Tissot : Quel avenir pour les combustibles fossiles ? Les avancés scientifiques et technologiques permettront-elles la poursuite du développement soutenable avec les énergies carbonées ?

3. Le charbon

La conférence de Kyoto a affirmé, en dépit des émissions de CO₂, que le charbon constituerait la source d'énergie de l'avenir.

Alors que les dernières mines de charbon ont été récemment fermées dans notre pays, mettant ainsi un terme à plusieurs siècles d'exploitation intensive de cette ressource, cette affirmation, lancée de surcroît lors d'une conférence internationale sur le changement climatique, pourrait apparaître comme un paradoxe. Il n'en est rien. En effet, les ressources mondiales de charbon sont plus qu'impressionnantes et présentent l'avantage d'être distribuées d'une manière plus harmonieuse de par le monde que celles des hydrocarbures.

Certains des pays les plus hautement industrialisés recourent à cette ressource dont ils disposent en abondance et surtout de manière facilement exploitable.

Dans la période qui a suivi le choc pétrolier de 1973/1974, le charbon est, de nouveau, apparu comme un combustible aisément substituable au pétrole dans beaucoup de ses usages. Des budgets importants ont, alors, été alloués afin, par exemple, de transformer le charbon en produits liquides ou gazeux, propres et utilisables dans le transport (on se souvient ainsi du programme américain dit « synfuel »).

Les préoccupations environnementales prenant une place de plus en plus importante, au moins dans tous les pays qui acceptent d'agir sur l'effet de serre, l'avenir de cette ressource est conditionné, par la mise en œuvre de techniques destinées à minimiser au maximum les effets nuisibles, tant localement qu'à un niveau plus large, des nuisances résultant d'un surcroît d'utilisation du charbon.

B - LE CHOIX DU NUCLÉAIRE OU COMMENT PALLIER LE MANQUE DE MATIÈRE PREMIÈRE PAR L'OUTIL TECHNOLOGIQUE

Depuis un demi-siècle, l'électronucléaire est un élément important de l'approvisionnement énergétique de nombreux pays.

1. Paysage du nucléaire dans le monde

À ce jour (fin 2005), 441 réacteurs fonctionnent dans le monde, représentant une puissance installée approchant 368 Gwe et assurant 16 % de la production mondiale d'électricité.

Plus de trente pays produisent de l'électricité d'origine nucléaire.

Parmi eux, la France présente une originalité certaine à l'égard du nucléaire civil. Il n'est probablement aucun pays dans lequel la production d'énergie primaire doive autant à l'électricité et il n'est pas de pays (à l'exception de la Lituanie) dont la production d'électricité doive autant à la source nucléaire.

Aujourd'hui notre pays est doté d'un parc de 58 réacteurs d'une capacité totale de plus de 63 Gwe, assurant, selon les années, environ 80 % de la production nationale d'électricité.

À titre de comparaison, les États-Unis comptent 104 réacteurs d'une capacité dépassant 93 Gwe qui assurent environ 20 % de la production totale d'électricité du pays, tandis qu'on recense 54 réacteurs d'une capacité de 44 Gwe produisant 35 % de l'électricité du Japon.

Le parc français est de la deuxième génération et a 27 ans de moyenne d'âge. Initialement prévue pour trente ans, la durée de vie active des réacteurs français est portée à 40, voire pour les derniers mis en route à 50 ans. Dans ces conditions, la plus ancienne centrale (en service aujourd'hui), celle de Fessenheim cesserait sa production en 2017 ; la plus récente : celle de Civeaux, couplée au réseau fin 1999, devrait être démantelée en 2039 (voire 2049).

À l'échelle mondiale, nombre d'études et rapports prospectifs considèrent que l'énergie nucléaire devrait assurer une part importante de la production d'énergie électrique au cours du XXI^e siècle, compte tenu, notamment, de l'importance prise par le changement climatique¹².

Le devenir de la filière est, cependant, sujet à l'acceptation « sociale » du nucléaire et à cet égard, les questions de la gestion des déchets et de la sûreté des installations sont essentielles. Certes, les accidents du nucléaire civil sont rares, fort heureusement. Ils ont eu cependant des conséquences humaines et environnementales graves, introduisant le doute et la crainte sur la sécurité des installations et donc des effets très importants sur le niveau d'acceptation des populations. De plus, si, sans forcer le trait outre mesure, on peut dire qu'il y a eu un « avant » et un « après » Tchernobyl, les événements tout aussi tragiques du 11 septembre 2001 sont venus conforter une appréhension certaine à l'égard de la vulnérabilité des installations dans le cas d'un attentat. L'avenir du nucléaire dépend de la solidité des réponses apportées en ce domaine, de sa compétitivité économique et de l'appréciation de l'état des réserves des autres sources d'énergie.

L'évolution de la sensibilité des populations a conduit les pouvoirs publics dans certains pays à annoncer ou décider d'un moratoire voire d'un arrêt du développement de cette source.

Ainsi, dans l'Union européenne, cinq États sur les treize dotés d'une industrie nucléaire ont décidé d'une telle action : la Suède (en 1980), l'Espagne (1984), les Pays-Bas (1994), l'Allemagne (1999), la Belgique (2002). Parallèlement - et en sens contraire - la Finlande a fait le choix en 2002 de se doter de nouveaux réacteurs nucléaires qu'elle installera à Olkiluoto.

Hors du cadre communautaire, les orientations prises par l'administration républicaine aux États-Unis semblent devoir être à la relance du nucléaire ; le secrétaire d'État américain M. Spencer Abraham lançant, en février 2002, un

¹² Voir par exemple, les travaux du PNUD, du CME, du GIEC, de l'Union européenne... sans omettre, ceux de l'AIE ou encore un récent rapport du MIT, publié par un groupe d'experts pourtant peu favorable au nucléaire, qui envisage pour 2050 une puissance installée de 1 000 Gwe. D'autres études annoncent une puissance installée comprise entre 1 500 et 2 500 Gwe pour cette date.

« *nuclear power 2010* », après l'adoption du nouveau plan national énergétique en 2001¹³ ; une « votation » en Suisse a donné une majorité de voix rejetant la proposition d'arrêt des centrales nucléaires et en Asie (Corée du Sud, Chine, Inde, Taiwan), des centrales sont en construction et des programmes ambitieux sont en cours d'élaboration, sans compter les ambitions récemment réaffirmées de la Russie.

2. Éléments techniques sur la filière

Filière jeune, - à peine cinquante ans - le nucléaire a mis en œuvre plusieurs technologies – le tableau suivant permettra d'en juger.

Tableau 6 : Technologies mises en oeuvre dans la « filière » nucléaire

Filière désignation usuelle	Niveau d'énergie des neutrons	Modérateur	Combustible	Caloporteur	Nombre total d'unités installées/ Nombre de pays	Pays principaux
Eau ordinaire (dite légère) pressurisée (PWR ou REP)	Bas	Eau ordinaire	U enrichi avec ou sans Pu	Eau ordinaire pressurisée	258/25	Japon France Allemagne Suède Corée du Sud États-Unis
Eau ordinaire (dite légère) bouillante (BWR)	-id-	Eau ordinaire	-id-	Eau ordinaire bouillante	91/10	Allemagne États-Unis Finlande Japon
Eau lourde pressurisée (PHWR ou Candu)	-id-	Eau lourde	U naturel	Eau lourde	41/6	Canada
Gaz-graphite (UNGG, ou Magnox, ou AGR)	-id-	graphite	U naturel ou légèrement enrichi	CO ₂ He	32/1	Royaume-Uni France (avant 1970)
Eau ordinaire – graphite (RBMK)	-id-	-id-	U enrichi	Eau ordinaire bouillante	13/3	Russie Ukraine
Rapide (FBR)	haut	Sans	U enrichi et Pu	Sodium fondu	4/4	Inde Russie France (Phenix) Japon

Source : Comité économique et social européen.

¹³ L'initiative « *nuclear power 2010* » s'assigne pour objectif celui de soutenir les technologies avancées des réacteurs tant les réacteurs à eau (*advanced light water reactor*) qu'à gaz (PDWR ou autres).

Comme on peut s'en rendre compte, la filière « eau légère pressurisée » dite PWR ou REP est de très loin la plus répandue. Le parc français repose sur cette technique. C'est aussi le cas de l'Allemagne, tandis que le Japon recourt, de manière presque égale à « l'eau légère pressurisée » et à « l'eau bouillante » (BWR ou RER). Les États-Unis recourent pour une large part à cette dernière technique : environ un tiers du parc américain utilise la technique BWR. Le Royaume-Uni a un parc de technique « gaz graphite », correspondant à un choix ancien.

Le parc français a été bâti, à partir de 1974 d'une manière relativement « standardisée », notamment en raison de l'importance et de l'urgence de la tâche à accomplir¹⁴.

Si la présence de réserves d'uranium sur le territoire est également à l'origine de la décision de 1974, la disponibilité de la matière première ne peut être la condition nécessaire et suffisante pour mettre en route un programme nucléaire. C'est davantage la maîtrise d'une technologie complexe et potentiellement dangereuse qui est déterminante.

La recherche s'est largement développée, parallèlement à la montée en puissance du programme. Après la mise en service de « Rapsodie » à Cadarache, la construction de « Phenix » - centrale à neutrons rapides - a été engagée, démontrant donc dans les années 1960 que le cadre de développement du nucléaire n'était pas figé et que tous les problèmes n'étaient pas résolus, ainsi que l'écrivait Jean Teillac sur les « RNR » (ou plus simplement sur Phenix et Superphenix), dont on connaît les péripéties d'exploitation.

Les recherches engagées, depuis de longues années, ont abouti à la troisième génération de réacteurs nucléaires. L'EPR (réacteur à eau pressurisée) qui représente cette génération III est l'aboutissement de plusieurs démarches, à la fois :

- de nature industrielle : faire converger les modèles allemands et français (dérivés du concept américain) vers un modèle unique, autorisant des économies d'échelles ;
- sur la sûreté de fonctionnement du système, puisque les différentes « autorités de sûreté » ont tiré les conséquences de l'accident de Tchernobyl et ont retenu trois objectifs :
 - réduire la probabilité de fusion du cœur ;
 - éliminer pratiquement les situations accidentelles pouvant aboutir à un relâchement précoce et massif de radioactivité ;
 - permettre, par conception, en cas de fusion du cœur, que le relâchement maximum de radioactivité n'entraîne que des mesures de protection limitées dans le temps et dans l'espace¹⁵.

¹⁴ *Histoire de l'électricité de France*, tome IV sous la direction de H. Morsel. Fayard 1996.

¹⁵ Bertrand Barré, *Tout sur l'énergie nucléaire* – Areva, mars 2003.

- de nature économique, puisque les opérateurs potentiels ont formulé un certain nombre d'exigences technico-économiques de compétitivité, de durabilité (60 ans pour les composants non remplaçables), etc.

Aux dires des experts, l'EPR ne représente pas un véritable saut technologique. Il s'agit donc plutôt d'un réacteur « évolutionnaire » et non révolutionnaire, tout comme ses principaux concurrents qui sont, par exemple l'ABWR américain ou les VVEM russes.

À l'heure où plusieurs pays s'interrogent sur l'opportunité d'une reprise, à plus ou moins grande échelle, de la construction de réacteurs nucléaires, le fait de disposer de l'EPR positionne le constructeur français. On l'a vu lors du choix opéré par la Finlande de recourir à la technique franco-allemande, en se prononçant pour l'EPR, d'autant que les principaux concurrents étrangers ne restent pas « inertes » et que se profile une compétition sur le marché asiatique, en particulier chinois et aux États-Unis.

3. La gestion de l'aval du cycle

Cette gestion combine deux objectifs : le retraitement du combustible afin d'en réutiliser la majeure partie et la recherche d'une solution adéquate pour la partie non réutilisable. Elle constitue un élément déterminant pour la pérennité de la filière et son acceptation. Elle représente, de ce fait, un défi lancé à la recherche surtout en ce qui concerne les déchets.

Notre assemblée ayant rendu un avis récemment sur cette question, nous y renvoyons¹⁶.

III - L'APPORT RELATIF DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

On englobe sous le vocable d'énergies renouvelables, dites souvent « ENR », un ensemble de sources énergétiques dont le développement est inégal, notamment du fait des coûts nécessaires à leur essor, au-delà des problèmes strictement techniques. Elles sont aussi parfois appelées énergies « douces », « nouvelles », voire « naturelles ». Elles s'opposent ou plutôt certains les opposent, par-là, aux énergies dites « fossiles », auxquelles on a ajouté le nucléaire.

Les énergies renouvelables ont pour origine le soleil, l'eau, le bois, la chaleur de la terre, la production agricole, la mer, le vent...

¹⁶ Avis sur le *Projet de loi sur la gestion des matières et des déchets radioactifs*, rapporteur Mme Anne Duthilleul brochure JO n° 2006-03, 20 mars 2006.

Elles ont assuré, pour l'essentiel, le premier développement de l'humanité, avant d'être supplantées pour les sources fossiles (charbon, pétrole, gaz...) qui ont permis l'industrialisation. Ces énergies n'ont, cependant, jamais totalement disparu, bien au contraire et, si elles connaissent un regain d'intérêt, sous des formes parfois sophistiquées, dans les pays les plus hautement industrialisés, elles ont toujours été d'usage sous d'autres latitudes sous leurs formes traditionnelles.

Certaines de ces énergies ont pour vocation première de fournir de la chaleur, d'autres de l'électricité. On assigne, enfin, à certaines une vocation spécifique : celle de carburants. Certaines présentent un intérêt industriel du fait qu'elles sont, pourrait-on dire, dépourvues d'émission de gaz à effet de serre et génèrent peu de déchets. En outre, un recours à de telles énergies permet de préserver des ressources fossiles et/ou d'en faire un usage autre que celui de servir de combustible à un moteur.

A - BRÈVE PRÉSENTATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

1. L'hydraulique

À l'échelle industrielle il s'agit d'une production d'énergie électrique à partir de barrages de taille parfois monumentale. L'hydroélectricité représenterait aujourd'hui près du cinquième de la production mondiale d'électricité. Il s'agit aussi souvent de la « petite », voire de la « mini » hydraulique.

Suivant M. J. E Moncomble¹⁷ on peut dire que l'hydroélectricité possède quelques caractéristiques propres :

- les ressources hydroélectriques sont largement réparties dans le monde et une large part du potentiel encore à mettre en valeur se situe dans les pays en développement : il relève que « ...*la majeure partie du potentiel technique - près de 70 % - de l'hydroélectricité a déjà été réalisée dans les pays industrialisés, mais seulement 10 % l'est dans les pays en développement* » ;
- la technologie existe, est performante et bénéficie de tous les retours d'expérience ;
- l'hydroélectricité contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- elle peut assurer la production d'électricité en pointe (comme en base) ;
- elle présente les coûts d'exploitation les plus faibles, compte tenu d'une durée de vie très longue des investissements, etc.

¹⁷ Jean-Eudes Moncomble, L'hydroélectricité : le point de vue du Conseil mondial de l'énergie ; *Revue de l'énergie* n° 546 mai 2003.

2. La biomasse

Il s'agit de la consommation (par combustion) de bois ou de tous autres éléments. Elle tient une place essentielle dans certaines régions du monde. Le chauffage est le premier poste de la biomasse (on peut classer dans cette rubrique les différents résidus des récoltes qui sont brûlés pour obtenir de la chaleur et de l'électricité). Participant de la biomasse mais nécessitant un apport technique d'envergure, il faut inclure certains biogaz comme le méthane, issu des dégagements gazeux du compostage. Le méthane peut être exploité pour chauffer de petites structures ou pour produire de l'électricité.

3. Les biocarburants

Ils constituent un élément de la filière biomasse et forment une filière industrielle. Il s'agit de carburants produits à partir de matières premières renouvelables d'origine agricole. Il existe deux types de biocarburants : le bioéthanol pour les moteurs à essence (produit à partir de betteraves, blé ou maïs) et l'EMHV (ester méthylique d'huile végétale) pouvant se substituer au fioul ou au gazole (produit à partir d'huile végétale de colza, tournesol, soja, etc.).

4. L'énergie solaire

L'énergie solaire est, par définition, abondante et, à l'échelle humaine inépuisable. Cependant elle est dispersée et intermittente. La question essentielle est alors de capter et de convertir cette énergie.

5. La géothermie

Elle est de longue utilisation : les Romains qui se chauffaient grâce à des sources d'eau chaude à basse température (inférieure à 100°C), avaient déjà recours à cette énergie. De l'utilisation d'eau de surface, les techniques ont permis, par palier, d'atteindre de grandes profondeurs.

6. L'éolien

Enfin l'éolien fait l'objet de beaucoup d'attention. Tous les arguments sont échangés pour ou contre cette forme d'énergie.

Cette énergie est aussi d'utilisation très ancienne. Le vent a été le premier moteur de déplacement d'une charge. Il a permis au commerce « international » de se développer lorsque la première voile fut hissée. Il a aussi permis de moudre le grain de la manière la plus fine qui fût. Cette forme d'énergie n'est donc pas nouvelle, mais elle est irrégulière. Son intermittence constitue une limite difficilement contournable.

7. L'énergie des mers

On ne saurait clore ce trop court aperçu des énergies renouvelables sans faire référence à l'énergie des mers. En France, cette technique est illustrée par l'usine marémotrice de la Rance. L'énergie dégagée par les vagues et les marées est inépuisable.

Ces énergies font l'objet d'une adhésion dans l'opinion publique française (et plus généralement européenne). Si l'on en croit les résultats de l'enquête du Credoc pour l'observatoire de l'énergie en 2004, les Français souhaitent que les pouvoirs publics favorisent ce type d'énergie en priorité. On remarquera, à cet égard, que l'énergie solaire recueille quatre fois plus de suffrages que l'hydraulique (28,5 % contre 7 %) et que la promotion du bois est relativement peu souhaitée (3 %)¹⁸.

B - L'APPORT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES AU BILAN ÉNERGÉTIQUE

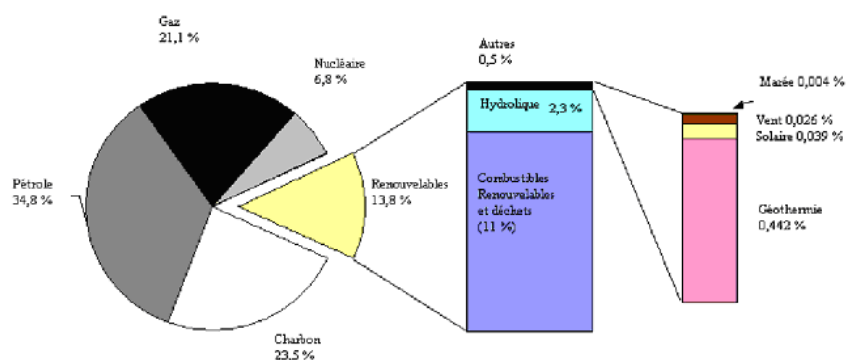
L'apport des énergies renouvelables au bilan énergétique est variable et dépend de leur degré de maturité technique, comme le relève l'OPESCT dans un rapport publié en 2001¹⁹. Lors de son audition par la section des activités productives, de la recherche et de la technologie, M. Olivier Appert faisait observer que les énergies renouvelables entraînent pour 14 % dans le bilan énergétique mondial en 2000, dont 11 % revenaient à la biomasse et à l'utilisation des déchets, 2,3 % revenaient à l'hydroélectricité et... 0,5 % aux autres ressources. La géothermie représenterait 0,4 %, tandis que le solaire participerait pour 0,039 %, l'éolien pour 0,026 %, la force des marées 0,004 %.

Reporté à la France, l'ensemble des énergies renouvelables atteignait 17,5 Mtep pour une production totale d'énergie primaire, en 2005, de 137,6 Mtep, soit 13,8 %. En ce qui concerne la consommation, la part des renouvelables était, toujours en 2005, de 4,5 % des 276,5 Mtep consommés, ce qui reste modeste.

¹⁸ Ajoutons que le gaz recueille pour sa part 12 % des réponses à la question ainsi libellée : « *Selon vous, quelles sont parmi les énergies suivantes, les deux principales que les pouvoirs publics doivent favoriser en France en matière de consommation d'énergie ?* ».

¹⁹ *Rapport sur l'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables*, MM. Claude Birraux, Jean-Yves Le Deaut – OPESCT, 21 novembre 2001.

Schéma 1 : Part des combustibles
dans les réserves mondiales d'énergie primaire en 2000
(en %)



Source : IFP.

La situation est-elle fondamentalement différente dans le reste de l'Union européenne, voire dans les autres pays membres de l'OCDE ?

Globalement, dans l'Union (selon le bilan établi par la Commission européenne) le pourcentage des énergies renouvelables atteignait 6 % des consommations énergétiques au début de notre siècle.

Selon les données présentées (2000) la part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure brute variait de 30,7 % (Suède) à 1,1 % (Royaume-Uni).

Tableau 7 : Part des sources d'énergie renouvelables dans la consommation intérieure brute d'énergie en %

	2000
Autriche	23,2
Belgique	1,3
Danemark	10,6
Finlande	23,9
France	6,7
Allemagne	2,8
Grèce	5
Irlande	1,8
Italie	7
Luxembourg	1,6
Pays-Bas	2,1
Portugal	13
Espagne	5,7
Suède	30,7
Royaume-Uni	1,1
Union européenne	6

Source : Eurostat

En 2003, les énergies renouvelables participaient pour 12,8 % de la production d'électricité de l'Union à 25 (13,8 % pour l'Union à 15), dont 9,3 % (9,9 % à 15) pour l'hydroélectrique (grandes installations essentiellement), la biomasse participait pour 1,9 % (2 % à 15), 1,4 % pour l'éolien (1,6 % à 15). Dans le domaine de la production de chaleur, la biomasse était plus que prépondérante (98,3 % de la production de chaleur renouvelable).

C - L'INTERVENTION COMMUNAUTAIRE

- Un objectif de développement des énergies renouvelables

La décision communautaire de porter à 12 % la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique de l'Union, à l'horizon 2010 a été prise sous l'empire d'un certain nombre de nécessités, avancées par les deux livres (vert et blanc) élaborés par la Commission à la fin de la précédente décennie :

- réduction de la dépendance de l'Union vis-à-vis des importations ;
- accroissement de la sécurité d'approvisionnement ;
- contribution à la réduction du CO₂ et donc réponse aux dispositions du Protocole de Kyoto.

Afin d'arriver à cet objectif global, le montant des investissements (période 1997-2010) devrait être de l'ordre de 95 milliards d'euros.

La Commission attend des retombées économiques importantes du fait de l'utilisation accrue des énergies renouvelables, notamment en terme de débouchés à l'exportation, compte tenu du savoir-faire technique ainsi acquis et des capacités financières de l'Union.

Des retombées favorables en terme d'emplois sont également escomptées (la Commission envisageant, la création de 500 à 900 000 emplois), ainsi qu'une économie annuelle des frais de combustibles de l'équivalent de 3 milliards d'euros à partir de 2010, une réduction des importations de combustibles de 17,4 % et enfin, une réduction de plus de 400 millions de tonnes/an de CO₂ à partir de 2010.

À cet objectif général s'en est ajouté un autre, beaucoup plus centré sur l'électricité.

Une directive, publiée le 27 septembre 2001 (directive n°2001/77 CE) vise à la « *promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité* ». Aux termes de cet instrument, la part d'électricité « renouvelable » consommée dans l'Union doit passer de 14 % à 22 %. Pour la France, la part actuelle : de l'ordre de 15 % (essentiellement grâce à un parc important de barrages) devra atteindre 21 %.

De longs débats ont eu lieu pour savoir si l'objectif fixé était contraignant ou simplement indicatif. La position française est de s'en tenir à un objectif indicatif, arguant que la situation de notre pays n'est pas si « mauvaise », compte tenu de l'apport de l'hydroélectricité.

C'est dans ce contexte que doit se situer l'effort de recherche et développement et d'innovation technique dans le domaine des énergies renouvelables.

D - LES INTERVENTIONS NATIONALES

Le développement des énergies renouvelables ou plutôt de leur part dans le bilan énergétique dépend assez fréquemment, dans les pays industrialisés, de leur « compétitivité » par rapport aux autres énergies. Cette compétitivité est technique, scientifique, économique... Il apparaît d'évidence que face au maillage des énergies les plus utilisées dans nos sociétés avancées, les chances des énergies renouvelables doivent être promues par une intervention « extérieure ». Tel est le cas de l'intervention communautaire, tel est le sens de certaines « interventions » nationales, une fois décidé que les énergies renouvelables doivent participer davantage du « panier énergétique ».

Les énergies renouvelables ont bénéficié depuis 1998 de dispositions destinées à en favoriser le développement.

Ainsi en France, à l'occasion de la loi du 10 février 2000 « *relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité* », les énergies renouvelables ont été évoquées par un soutien aux petites installations sous la forme d'une obligation d'achat... Par ailleurs, biens des contrats de plan État-régions comportent des dispositions visant à la promotion des énergies renouvelables. Enfin, la loi d'orientation sur l'énergie de juillet 2005 contient, elle aussi, des dispositions concernant ces énergies : objectifs dans le domaine de l'électricité « renouvelable », de la chaleur, des biocarburants (cf. ci-après) : mise en place d'un crédit d'impôt sur les équipements d'énergies renouvelables... mesures inscrites aux codes de l'urbanisme et de la construction...

À cet égard, le « plan soleil » 2000/2006 s'inscrit dans un ensemble plus vaste dans lequel on peut ranger le plan national de lutte contre le changement climatique, le programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique... Le programme du plan soleil, mené par l'ADEME se traduit par un certain nombre d'actions : attribution de primes et de financements incitatifs, mise en œuvre d'un dispositif de « professionnalisation » des installations à travers une charte de qualité « Qualisol », la sélection de matériels innovants etc...

Dans un autre ordre d'énergies renouvelables, le cadre législatif français visant les biocarburants doit permettre à cette ressource de croître. Début septembre 2004 un plan national a été présenté qui vise au triplement, d'ici à 2007, de la production des biocarburants.

CHAPITRE II

LES DÉTERMINANTS DE LA CROISSANCE ÉNERGÉTIQUE

L'énergie est l'un des champs les plus importants de la prospective et l'on ne compte plus les travaux de tous organismes ou de chercheurs solitaires sur la question.

Les travaux sont soit directement « énergétiques », soit abordent le thème par une entrée largement « déterminée » pourrait-on dire. Dans le premier cas, les études conduites par exemple, par le Conseil mondial de l'énergie, les agences internationales, la Commission européenne, le Commissariat général du Plan, les Parlements (qu'il s'agisse du Parlement français, mais aussi du Congrès des États-Unis...) les gouvernements (on pense, à titre d'exemple, aux différents livres blancs... des gouvernements américains, britanniques, etc.), les Académies, des entreprises, au premier rang desquelles les compagnies pétrolières, forment une (des) source(s) essentielle(s) pour la réflexion. Encore faudrait-il que cet ensemble soit mieux connu du public afin de l'aider à former son jugement. Au second cas, ressortissent des documents, tels ceux relatifs au changement climatique, lesquels, naturellement, abordent l'énergie comme une cause des évolutions. La somme d'informations, de réflexions, contenue dans ces documents nécessiterait un sort différent de celui qui en est fait, quelle que soit l'appréciation que l'on porte sur les conclusions de ces études.

L'exercice auquel nous entendons nous livrer, ici, n'est pas d'un ordre fondamentalement différent. Il s'agit pour le Conseil économique et social de rappeler quelques-uns des défis auxquels nos sociétés devraient être confrontées dans un avenir plus ou moins proche.

I - CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE, CROISSANCE ÉCONOMIQUE : ÉLÉMENTS DE PROSPECTIVE

Outre le prix de l'énergie et le niveau de développement technologique, la consommation et la production d'énergies dépendent essentiellement de plusieurs facteurs : démographique, la croissance économique, le prix de l'énergie, lesquelles conditionnent étroitement l'évolution des modes de vie.

1. Démographie et croissance économique

Comment expliquer, en effet, la croissance accélérée des consommations enregistrées sur les dernières décennies, sinon qu'en parallèle la population mondiale a crû de manière impressionnante : près de 65 %. Au début de la décennie 1970, la population mondiale approchait 3,7 milliards d'habitants.

Aujourd'hui, on compte plus de 6,1 milliards d'êtres. L'accroissement de la population est, essentiellement, le fait des continents en développement.

Tableau 8 : Évolution de la population mondiale depuis 1970

	1970	2000	%
Monde	3,7 milliards	6,1 milliards	+ 65 %
Afrique	358 millions	796 millions	+ 122 %
Amérique du Nord	232 millions	316 millions	+ 36 %
Amérique latine	285 millions	520 millions	+ 82 %
Asie	2,1 milliards	3,7 milliards	+ 76 %
Europe	656 millions	728 millions	+ 11 %
Océanie	19,5 millions	31 millions	+ 59 %

Source : Nations Unies.

D'ici à 2050, la population mondiale pourrait croître de 50 % passant ainsi de plus de 6 milliards d'êtres à 9,3 milliards. À l'intérieur de cette évolution globale, les experts « onusiens » estiment que les 49 pays les moins avancés de la planète devraient voir leur population presque tripler. Au-delà de 2050, toute la croissance démographique serait le fait des pays en développement ou les moins avancés, alors que la population des pays actuellement développés resterait stable.

L'urbanisation des populations devrait se poursuivre à un rythme soutenu, conduisant à un certain alignement relatif de l'ensemble des pays sur la situation des pays industrialisés. Or, la population européenne, par exemple, est à 80 % urbanisée. Il y a tout lieu de penser que les mégapoles que nous connaissons aujourd'hui vont se multiplier. Ce fait devrait entraîner, à lui seul, une demande d'énergie commerciale accrue.

L'évolution des modes de vie qui commande une demande nouvelle, d'ordre à la fois qualitatif et quantitatif, traduisant la volonté des populations d'accéder partout à plus de bien être ainsi que l'urbanisation des populations, spécialement dans les pays les moins avancés ou en développement, constituent un élément essentiel dans l'évolution des consommations d'énergies. Elles ont augmenté très fortement mais les besoins et les moyens pris pour y répondre sont assez sensiblement différents selon qu'une population est « urbaine » ou « rurale » et selon son niveau de vie.

La croissance démographique et l'urbanisation des pays doivent donc être au cœur de la réflexion.

L'autre facteur déterminant est, bien évidemment, la croissance économique mondiale. On n'a pas vu de croissance économique sans un recours accru à l'énergie.

Ce rapport n'est pas le lieu d'une analyse détaillée des évolutions du taux de croissance mondiale, cependant en pourcentage du produit intérieur brut « mondial », le taux de croissance de la décennie 1970 approchait 4 %, celui de la décennie 1980 dépassait 3 % et celui de la décennie 1990 était de l'ordre de 3,3 %, il est actuellement d'environ 2,5 %. Vient, assez rapidement, alors, en

débat la question de l'intensité énergétique (rapport de la consommation d'énergie au PIB en volume), point sur lequel on reviendra.

Si les incertitudes sont grandes en matière de prévision démographique, elles le sont encore plus en matière de taux de croissance. Dès lors, dans leurs travaux prospectifs, les divers organismes ne « prédisent » pas le taux de croissance mais s'interrogent sur l'avenir de la consommation d'énergie dans l'hypothèse d'un taux de croissance donné qui intègre aussi la croissance démographique. De même, leurs scénarii « techniques », dits de « référence », se présentent-ils à « politique constante ».

2. Différents scénarii, selon les politiques suivies et selon le prix des énergies

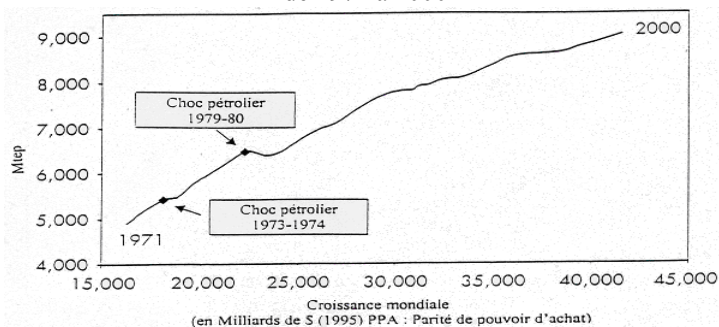
Dans ses travaux²⁰ et selon le prix des différentes énergies, le Conseil mondial de l'énergie retient un taux de croissance pour la période 1990-2020 de +3,3 % (cas d'un scénario de référence dit « de croissance modérée »).

Dans cet ordre d'idées, le travail rendu public en 1995 par l'IIASA, intitulé « prospectives énergétiques mondiales pour 2050 et au-delà », actualisé en 1998, évoquait selon trois scénarii (l'une de développement « rapide », le deuxième de référence, le troisième « environnementaliste ») un taux de croissance allant de 2,7 % à 2,2 % d'ici à 2020 et de 2,6 à 2 % pour la période comprise entre 2020 et 2050. L'IEPE retient pour sa part un taux de croissance de l'ordre de 3 % pour une période allant de 1997 à 2030, tandis que l'Agence internationale de l'énergie (AIE), dans ses « prévisions pour l'énergie mondiale » (édition 2002), tablait sur un taux de croissance de +3 % pour la période allant jusqu'en 2030. Ces différents organismes et organisations sont particulièrement prudents. Cependant, quel que soit le pourcentage retenu, il reste, comme le souligne l'AIE que « depuis 1971, chaque point supplémentaire de croissance économique a produit une augmentation de 0,64 % de la consommation d'énergie primaire. Seuls les chocs pétroliers... et le temps très chaud de 1990 ont altéré cette relation de manière significative ».

Le graphique suivant le démontre.

²⁰ CME, « L'énergie pour le monde de demain » et « Une seule planète pour tous » et « Energy end-use technologies for the 21st century », juillet 2004. Cf aussi, notamment les travaux de l'Institut d'économie et de politique de l'énergie (IEPE) de Grenoble, du Département de l'énergie (DOE) des États-Unis, de l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA), de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), de l'OCDE

Graphique 2 : Demande d'énergie primaire et croissance mondiale de 1971 à 2000

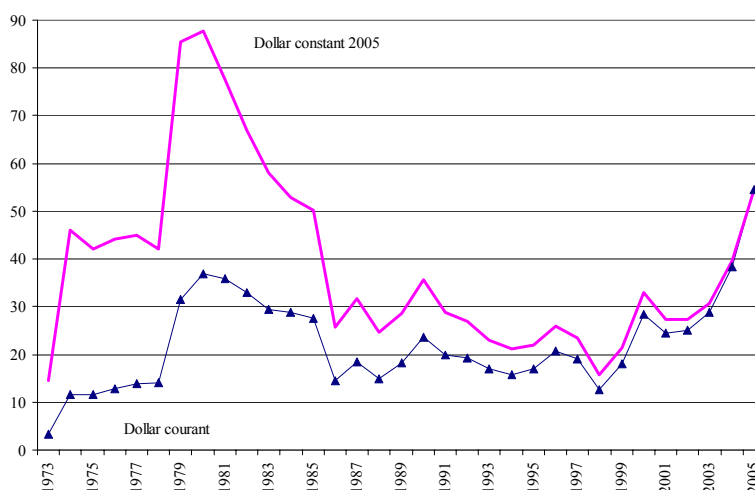


Source : AIE – « World energy outlook » 2002.

Le dernier élément déterminant est le prix des différentes énergies. Certains des produits primaires sont connus pour avoir des prix particulièrement « volatils ». Il en est ainsi de celui des hydrocarbures dont l'évolution dépend de facteurs autant politiques que techniques.

On sait qu'en dollar courant, le prix du baril de pétrole est resté étonnement stable de 1861 jusqu'aux années 1973/1974. Depuis, il connaît les évolutions suivantes.

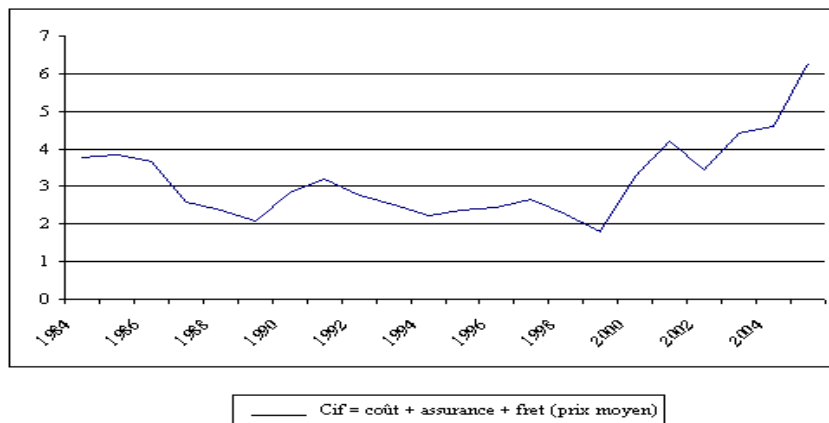
Graphique 3 : Évolution du prix du baril de pétrole en dollars courant et en dollar constant 2005 depuis 1973



Source : British Petroleum / 1973-1983 : arabian light posted at Ras Tanura ; 1984-2005 : Brent Dated / graphique de la mission Insee du CES.

L'évolution des prix du gaz est davantage marquée par les différences régionales et le coût du transport entre pour une part importante.

Graphique 4 : Évolution du prix du gaz naturel dans l'Union européenne (cif) unités en dollars courants



Source : BP. Statistical.

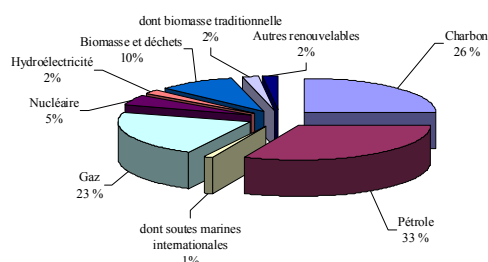
Dans son exercice prospectif 2004, l'AIE prend comme base de travail une montée linéaire du prix du baril de pétrole qui serait de l'ordre de 30 dollars en 2030. De même, elle prend en compte une forte montée du prix du gaz (approchant pour les importations européennes 4 dollars Mbtu). L'agence table sur un rehaussement du coût du charbon (les importations de l'OCDE seraient de 44 dollars la tonne en 2030, contre 35 dollars en 2000). C'est dire que le coût de l'importation d'une tonne de charbon serait, en 2030, égal au montant enregistré en 1995. Il est évident que cette prévision est largement démentie par les évolutions récentes, ce qui tend à relativiser les conclusions de ces travaux. En effet, à la date de rédaction de cette page (juillet 2006), le prix du baril d'Arabian light s'établissait à 76,85 \$ et celui du Brent à 76,69 \$ et avoisine 60 \$ à l'automne.

3. Prévision de la demande en 2030

À l'horizon moyen de 2030, l'AIE envisage, une demande d'énergie dépassant 17 milliards de tep (soit une croissance annuelle de 1,6 % entre 2000 et 2030). Le pétrole représenterait 35 %, le gaz approcherait dans le bilan général le charbon, le nucléaire compterait pour 5 %, l'hydroélectricité resterait stable (2 %), les autres énergies renouvelables représenteraient 4 % de la demande²¹.

²¹ Les pourcentages sont assez sensiblement différents de ceux retenus par la même agence dans sa publication « *Energy to 2050 – scenarios for a sustainable future* » de 2003.

Graphique 5 : Demande mondiale en énergie primaire (en %) en 2030



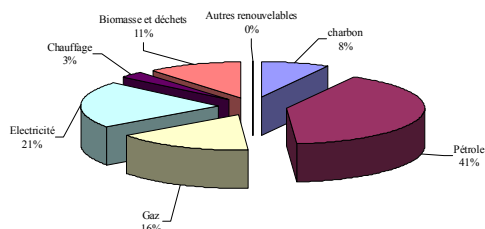
Source : AIE - *World energy outlook 2006*.

La source la plus dynamique serait le gaz avec + 2 % de croissance annuelle.

La répartition des différentes énergies laisse augurer que le pétrole sera principalement consommé par le secteur des transports. Le gaz naturel serait principalement utilisé pour fournir de l'électricité. L'AIE prévoit un développement, sans cesse croissant, des centrales à cycles combinés. Le charbon devrait lui aussi servir à la production d'électricité.

Le niveau de consommation finale dépasserait, en 2030, 11,5 milliards de tep : le pétrole représentant 41 % des consommations, l'électricité plus du cinquième, le gaz environ 16 %, le charbon 8 %.

Graphique 6 : Total de la consommation finale mondiale (en %) en 2030



Source : AIE, *World energy outlook 2006*.

Les transports deviendraient le premier secteur consommateur de pétrole.

La géographie des consommations serait largement modifiée par rapport à la fin du XX^e siècle. Globalement, les pays en développement consommeraient davantage que les pays industrialisés.

L'Amérique du Nord représenterait 21 % de la consommation d'énergie primaire dans le monde. La croissance viendrait très essentiellement des pays en développement et notamment de la Chine et de l'Inde, qui consommeraient 26 % de l'énergie primaire mondiale, contre 17 % pour les États-Unis.

Le tableau suivant permettra d'apprécier les évolutions prévisibles selon l'AIE.

Tableau 9 : Part des consommations d'énergie primaire par région selon l'AIE en %

	2010	2020	2030
Amérique du Nord dont :	27,7	26,-	21
Europe (OCDE)	17,8	16,-	12,7
Pacifique (OCDE)	9,1	8,6	6,5
Economies en transition dont :	11,1	10,6	8,3
Russie	6,6	6,5	5
Economies en développement dont :	34,3	38,7	50,4
Chine	11,8	13,1	19,9
Inde	3,6	4,4	6,5

Source : « *World energy outlook* » 2006, AIE.

On assiste à un déplacement vers de nouveaux marchés. La Chine et l'Inde, deviendraient de très importants importateurs. Les importations chinoises de pétrole seraient équivalentes à celles des États-Unis et la Chine et l'Inde pourraient devenir de gros importateurs de gaz russe. Il est tout aussi envisageable que ces deux États qui compteront probablement 3 milliards d'habitants accroissent leur potentiel productif afin de faire face à une demande intérieure en forte augmentation.

Selon une autre étude de l'Institut français des relations internationales (IFRI), basée sur les travaux de l'IEPE, la consommation de la Chine pourrait dépasser celle de l'Europe de l'Ouest dès 2010 et celle de l'Amérique du Nord vers 2020.

Hors production d'énergie etc. et pertes, la consommation finale mondiale se répartirait, selon l'AIE, en trois tiers : industrie, transports, autres (c'est-à-dire résidentiel/tertiaire et agriculture).

L'industrie aurait recours de manière sensiblement égale à trois sources : pétrole, gaz, électricité, tandis que le charbon serait toujours davantage présent. Les transports feraient quasiment uniquement appel au pétrole comme aujourd'hui. Le tertiaire/résidentiel privilégierait l'électricité (33 %), devant le gaz (20 %).

Par régions (ou zone), les pays de l'OCDE entreraient pour plus de la moitié dans la consommation mondiale des transports (et l'Amérique du Nord pour près de 55 % de la consommation de l'OCDE). L'industrie des pays en développement dépasserait, dès 2030, celle de l'OCDE dans ses consommations d'énergie et le rattrapage de ces zones, pour ce qui est du résidentiel/tertiaire, serait en marche par rapport aux États membres de l'OCDE.

L'examen des évolutions prévisibles d'un pays comme la Chine est instructif. La consommation du secteur industriel de ce pays poursuivrait son rattrapage par rapport à l'Amérique du Nord (elle dépasserait largement la consommation industrielle des États-Unis et du Canada en 2030) et creuserait l'écart qui la sépare déjà des industries de l'Europe (OCDE). Pour les deux autres secteurs l'écart tendrait à se résorber plus lentement.

4. Des prévisions encore plus difficiles à plus longue échéance

L'IIASA avait réalisé pour le Conseil mondial de l'énergie des scénarii pour « 2050 et au-delà²² ». Cet exercice reposait sur trois scénarii principaux (et leur alternative) : le premier dit de « forte croissance » (selon trois variantes) ; le deuxième « moyen » ; le troisième « écologique » (selon deux variantes). Ils se veulent extrêmement contrastés, des divergences s'amorçant à partir de 2020 et s'amplifiant jusqu'en 2050.

Le scénario A, de forte croissance, se caractérise par une amélioration sensible de la productivité et est intensif technologiquement parlant, de même qu'il est gourmand en ressources, la technologie permettant une exploitation accrue et plus systématique des ressources.

Le scénario B repose - comme le notent ses auteurs - sur une vision précautionneuse et pragmatique de la gestion des ressources et il est accessible sans modifications sensibles de l'organisation qui prévaut aujourd'hui.

Le troisième scénario repose sur une vision radicalement alternative des scénarii « A ». Il privilégie une amélioration de l'intensité énergétique, un développement très important des énergies renouvelables (40 % de l'énergie consommée en 2050, et jusqu'à 80 % vers 2100), pour une population dépassant 10 milliards d'êtres en 2050 et 11,7 milliards en 2100. Il suppose la mise en œuvre d'une politique très volontariste dans le domaine de la recherche, notamment en ce qui concerne les émissions de CO₂ : par exemple une taxation de l'ordre de 400 dollars la tonne de carbone émise avec aussi des incitations financières importantes pour les consommateurs afin de modifier leurs habitats.

Le tableau suivant permet d'apprécier les résultats de l'exercice de l'IIASA.

²² IIASA – « *Global energy perspectives to 2050 and beyond* » 1995.

Tableau 10 : Caractéristique des trois scenarii et de leurs variantes en 2050

	A			B	C	
	A1	A2	A3		C1	C2
Production d'énergie primaire en Gtep	25	25	25	20	14	14
Part des différentes sources en %						
Charbon	24	32	9	21	11	10
Pétrole	30	19	18	20	19	18
Gaz	24	22	32	23	27	24
Électricité nucléaire	6	4	11	14	4	12
Renouvelables	16	23	30	22	39	36
Ressources utilisées en Gtep						
Charbon	235	324	180	226	143	141
Pétrole	232	302	284	257	210	210
Gaz	241	247	285	227	210	197
Énergie finale en Gtep	17	17	17	17	17	17
Dont en %						
Solides	16	19	18	23	19	20
Liquides	42	36	33	33	34	34
Électricité	17	18	18	16	18	17
Autres	25	27	31	28	29	29

Sources : IIASA.

Analysant ces scenarii, le groupe « énergie 2010-2020 » du Plan identifiait quatre risques énergétiques majeurs qui leur étaient associés :

- le prélèvement sur les ressources de pétrole : la production cumulée 1990 - 2050 de pétrole dans le scénario A1 serait supérieure aux ressources mondiales de pétrole conventionnel ;
- les émissions de CO₂ pratiquement « intenable » dans le cas du scénario A2 ;
- l'importance du stock des déchets nucléaires dont le volume serait multiplié par 15 en 2050 par rapport à 1990, essentiellement scénario A3, voire dans les scenarii B ou C2 ;
- l'emprise sur le sol, notamment dans le scénario A3.

Pour leur part, les scenarii C supposent plus qu'une inflexion dans les dynamiques de consommation et l'on peut s'interroger sur les moyens à utiliser « sans remettre en cause la croissance et l'amélioration des conditions de vie dans les pays en développement »²³.

²³ M. Patrick Criqui – Les différents horizons de la perspective énergétique mondiale – « *Revue de l'énergie* » n° 509, sept. 1999. Voir également l'article critique de M. Paul Caseau « Énergie, essai de prévision globale (2006-2050) ». « *Commentaire* », Été 2006. L'auteur s'interroge sur les différents scenarii « prospectifs » énergétiques.

II - LA DISPONIBILITÉ PHYSIQUE DES RESSOURCES ET LE COMMERCE MONDIAL DE L'ÉNERGIE

A - DU CÔTÉ DE L'OFFRE, VERS 2030, COMPTE TENU DES ÉVOLUTIONS DE LA DEMANDE

L'évolution prévisible de la demande conduira donc à l'accroissement de la production d'énergie. Les ressources auxquelles il est demandé en priorité l'essentiel de la production ne sont pas infinies et, compte-tenu des prix, sont probablement insuffisamment exploitées. On peut également augurer que, compte-tenu de l'émergence de nouveaux consommateurs mondiaux, la concurrence va s'accroître entre régions de consommation tout autant qu'elle s'exacerbera entre les formes d'énergies requises.

Telles sont quelques-unes des questions qui seront abordées dans ces paragraphes.

1. Une nécessité : produire globalement plus et mieux

Une demande évaluée entre 15 et 25 milliards de tep vers 2050 pour 9,2 milliards de tep en 2001, montre l'ampleur des évolutions prévisibles. Les capacités de production requises dès 2030 pour répondre à une telle demande devront connaître des développements importants et les routes des échanges internationaux seront beaucoup plus encombrées.

2. La notion de « peak oil »

De même qu'il existe, nous l'avons évoqué, une controverse et des ambiguïtés sur le terme de réserves pétrolières, il existe des incertitudes quant à la notion, très largement employée, de « peak oil ».

On rappellera, que le « pic de pétrole » coïncide avec le « moment » où la production ne devrait plus suivre la consommation sur la pente établie actuellement²⁴.

Avec d'autres, notre section estime que ce pic sera plutôt un plateau, probablement ondulé, dont la durée sera incertaine. La croissance de l'écart entre la production et la consommation sera donc, pour certains, non linéaire et aurait comme effet principal des mouvements erratiques (et dépendra réciproquement) du prix de la matière première. Le prix ne pourra que croître, à moyen terme, en l'absence de solution de remplacement, c'est à dire d'un produit de substitution aussi efficace que le pétrole dans tous ses usages. Il est évident, ici comme dans le cas des réserves, que le discours est, par définition, politique tout autant sinon plus que technique.

²⁴ Selon M. Paul Caseau, lors de son audition par la section des activités productives de la recherche et de la technologie.

Dans ces conditions, l'opposition entre les estimations « optimistes » et « pessimistes » est loin d'être épuisée et la question du « *peak oil* » est toujours posée avec acuité. Les pessimistes fixent ce pic à 2015 (c'est-à-dire à... demain), les optimistes à 2035 (c'est-à-dire à... après demain)²⁵.

À l'horizon 2050, le scénario évoqué par l'IIASA notamment, c'est-à-dire la demande excédant très largement l'offre, pourrait alors se réaliser.

Selon l'AIE, la production du Moyen-Orient et de la Russie (ainsi que des autres États issus de l'Union soviétique) devrait répondre à la demande accrue de pétrole et de gaz. De même, l'Afrique, le Venezuela et le Brésil devraient produire davantage ces deux matières premières et toutes les régions du monde - à l'exception de l'Europe - devraient produire toujours davantage de gaz naturel.

La production de pétrole devrait approcher 6 milliards de tonnes en 2030 (soit une croissance annuelle moyenne de + 1,6 % depuis 2000). Une part de plus en plus respectable proviendrait des huiles non conventionnelles (près de 9 % en 2030 ; 1,4 % en 2000), dont un pourcentage non négligeable d'huiles issues de la liquéfaction du gaz²⁶.

On évoquera plus loin l'évolution de la géographie pétrolière. Il apparaît, cependant, à tous les spécialistes que deux éléments sont assez déterminants : la maturité des bassins déjà soumis à l'extraction des huiles ; le montant des investissements à réaliser et leur rentabilité.

Il est évident que de nouvelles découvertes de gisements auront eu lieu et que le recours aux technologies les plus avancées permettra d'améliorer les rendements d'extractions, en exploitant de meilleure manière à la fois les champs pétroliers les plus importants, c'est-à-dire ceux qui le plus souvent sont en exploitation depuis plusieurs décennies et les nouveaux probablement plus restreints.

3. Du charbon en quantité... et plus propre ?

Le cas du charbon et lui aussi particulièrement intéressant. En raison de ses réserves, de leur répartition géographique et des grands besoins énergétiques des pays où il est abondant, le recours à cette source devrait croître sensiblement et assurer aussi le développement de nombreuses économies sur une base nationale (et au plus régionale). Ici aussi, les améliorations techniques dans l'extraction et la transformation devraient permettre une utilisation plus respectueuse de la qualité de l'environnement.

²⁵ La compilation réalisée par « *l'Energy information administration* » américaine des diverses sources « reconnues » du secteur pétrolier donne « une fourchette » de réserves pétrolières comprises entre 1 081 et 1 292 milliards de barils soit entre 35 et 42 ans de consommation au rythme actuel.

²⁶ On entend par « non conventionnelles » les huiles issues des sédiments bitumineux, les sables, les produits dérivés, le charbon liquéfié, les huiles issues de la biomasse et les huiles basées sur le gaz liquéfié.

Néanmoins, la notion de charbon « propre » ne devrait pas être dissociée de la capture et du stockage du CO₂, seuls à même d'éliminer les émissions dues à la combustion du charbon.

4. Une part du gaz en hausse, y compris pour la production électrique

La demande de gaz devrait croître de façon très importante et les ressources être suffisantes, dans les trente années à venir, pour y répondre. Il ne s'agit alors que d'une question de prix pour rendre l'exploitation rentable et le montant du transport de la molécule deviendrait un élément déterminant. L'exercice « prévisionnel » auquel s'est livré l'AIE rappelle que le gaz « non conventionnel » devrait également participer pour répondre à l'accroissement de la demande, particulièrement aux États-Unis (premiers « opérateurs » dans le domaine des gaz non conventionnels). Dans ce cas - comme dans celui du pétrole - une amélioration sensible des techniques d'extraction devrait conduire à une augmentation de la part relative de ce produit dans le bilan général des réserves, dès lors que ces techniques permettraient une baisse du coût d'exploitation.

Quant à la production d'électricité, alors que la demande devrait doubler d'ici à 2030 (par rapport à 2000), les scénarii prédictifs ou prospectifs convergent sur le fait que la production d'électricité sur la base d'un recours accru au gaz devrait être la dominante des prochaines décennies.

Le tableau suivant l'illustre.

Tableau 11 : Prévion de la part relative des diverses sources dans la production d'électricité en %

	2004	2015	2030	2030-2004/an
Production « primaire » d'électricité en Twh dont en %	11 408	24 816	33 750	+ 2,6
Charbon	40	43	44	+ 2,9
Pétrole	7	5	3	- 0,8
Gaz	20	21	23	+ 3,2
Nucléaire	16	13	10	+ 0,7
Hydraulique	16	15	14	+ 2
Biomasse et déchets	1	2	2	+ 5
Autres renouvelables	1	2	5	+ 10

Source : AIE – « *World energy outlook 2006* »

5. En résumé...

À l'horizon 2030, selon le scénario de référence de l'AIE, le gaz se rapprocherait du charbon comme source privilégiée de la production d'électricité. Le pétrole verrait sa part relative (mais non absolue) décroître. Il en irait de même pour le nucléaire et l'hydraulique. Il est évident, alors, que le « cycle combiné » a de beaux jours devant lui.

Selon le scénario de l'AIE, toujours, la baisse de la part relative du nucléaire serait concomitante d'une augmentation, en valeur absolue, de sa production. Cependant, une distribution différente existerait selon les zones géographiques.

B - LA DISPONIBILITÉ PHYSIQUE DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES

1. Une nouvelle géographie de l'énergie ?

Il s'agit, à n'en pas douter, d'une question primordiale, lorsqu'on sait l'importance du concept d'indépendance énergétique pour l'ensemble des pays.

Le paysage évolue sans cesse. Celui qui prévaut aujourd'hui diffère autant de celui des années 1970 que de celui qui pourrait s'esquisser vers 2030, voire au-delà. De plus, les modifications interrégionales sont presque aussi importantes que celles observables ou envisageables au niveau régional.

Les grands traits de la carte mondiale de l'énergie, à l'orée du XXI^e siècle peuvent être ainsi décrites en empruntant beaucoup aux travaux annuels de la British Petroleum pour la présentation des « *Statistical reviews* » de cette compagnie.

2. Des zones de production consolidées et des zones émergentes

En substance, au début des années 2000, le déclin de la Russie en tant que producteur de pétrole (de gaz et de charbon) est « stoppé » et ce pays devrait connaître une croissance dans les années futures : la plus grande part de la production russe se dirigeant vers l'Asie et non plus vers l'Europe. La Mer Caspienne (et donc à la fois les ex-républiques soviétiques d'Asie centrale et la zone du Caucase) constitue un nouveau pôle de production/exportation de pétrole et de gaz vers l'Occident. L'Afrique occidentale représente, dès aujourd'hui, une source importante de production de pétrole du bassin Atlantique, tandis que certains gisements pétroliers de la Mer du Nord commencent à entrer en déclin.

D'autres zones apparaissent aujourd'hui dans la production du gaz : le Canada, Trinidad et Tobago... voire l'Arctique.

Ce tableau des zones émergentes ne doit pas faire oublier que les régions traditionnellement productrices le restent, pour la plupart.

3. Quels futurs possibles ?

Peut-on augurer ce que sera la géographie de l'offre énergétique mondiale en 2030 sinon au-delà ?

Les spécialistes s'accordent volontiers pour évoquer un accroissement de la part du Moyen-Orient et de l'Afrique et aussi de la Russie (et des autres républiques issues de l'URSS). De même voit-on apparaître le Brésil, dans le cas du pétrole conventionnel. Dans le domaine de l'extraction des huiles non conventionnelles, les ressources canadiennes feraient de ce pays un partenaire de

premier rang. Il en irait de même du Venezuela. Comme le souligne l'AIE, la proximité du marché des États-Unis serait pour beaucoup dans ce développement.

Cependant la reconcentration des productions sur l'Asie centrale et le Moyen-Orient serait une donnée assez incontournable à l'horizon 2030.

La production de gaz naturel connaîtrait une évolution géographiquement plus diversifiée. La Russie et les autres républiques issues de l'ex-URSS deviendraient en 2030 la première zone de production de gaz naturel, détrônant l'Amérique du Nord. Le Moyen-Orient de même que l'Asie du Sud-Est, l'Afrique et l'Amérique Latine participeraient activement au développement des productions. Une seconde région verrait sa production décroître : l'Europe. La place des productions « non conventionnelles » devrait croître. L'Amérique du Nord arriverait en tête.

La Chine devrait se tailler la part du lion (45 % de la production mondiale en 2030), si l'on peut dire, dans la production du charbon : celle-ci serait destinée, très essentiellement, à un usage national. Les principaux autres producteurs actuels le resteront : Afrique du Sud, Australie, Amérique du Nord. La géographie de l'énergie continuera à influencer longuement la géopolitique internationale.

C - LES QUESTIONS POSÉES POUR RÉPONDRE À LA DEMANDE

On évoquera seulement quelques questions posées par l'adéquation entre offre et demande d'énergies. De part leur dimension, leur résolution entraînera un effort accru de recherche ou bien a des implications pour la recherche.

1. Rôle des investissements et des infrastructures

Le monde de demain et d'après demain se caractériserait donc par une demande mondiale d'énergie en forte, voire très forte croissance et par une production répondant globalement à cette augmentation.

Cela veut donc dire que l'ensemble des infrastructures, que le commerce (et donc le transport) de l'énergie, seraient portés à une hauteur telle que l'offre rencontrera sans difficulté la demande. Cela veut aussi dire que des investissements massifs auront été réalisés dans l'extraction, la transformation des ressources.

« Les besoins en capitaux qu'exigeront les approvisionnements futurs en énergie... seront visiblement importants » rappelait le CME, en 1993 dans *« l'énergie pour le monde de demain »*. Il ajoutait que si les dépenses en capital avaient très longtemps été orientées vers l'augmentation de capacité pour répondre à une demande croissante, elles commençaient - dans les années 1990 - à être orientées vers l'amélioration du rendement, les économies d'énergie et le respect de l'environnement.

Ces orientations devraient se développer, compte-tenu d'une part de la prise de conscience que certaines réserves ne sont pas infinies et d'autre part de l'importance des risques liés à l'effet de serre.

2. D'énormes besoins d'investissements

L'énergie est l'un des domaines où la durée nécessaire est la plus longue entre la décision d'investissement et les retombées en production. Il s'agit d'une question qu'il est d'autant plus important de prendre à temps, donc maintenant.

L'Agence internationale de l'énergie²⁷ chiffre le montant des investissements à réaliser à la fois pour répondre à l'accroissement de la production et à celui des capacités de stockage/transport etc., pour son « scénario de référence », à plus de 20 000 milliards de dollars d'ici à 2030 dans le monde : c'est-à-dire à 800 milliards de dollars par an. Le montant des investissements cumulés devrait croître pendant les trois décennies, passant de 413 milliards de dollars dans les années 2000 à près de 1 000 milliards de dollars dans les années 2020.

Plus de la moitié des investissements devraient être réalisée dans les pays en développement. Il faudrait investir 1 300 milliards en Inde (mais aussi largement plus de 450 milliards au Brésil). Les investissements nécessaires en Chine seraient très supérieurs à ceux requis pour l'Afrique et le Moyen-Orient réunis. Cela étant, l'AIE prévoit que les investissements en Amérique du Nord seraient de l'ordre de 4 000 milliards de dollars, c'est-à-dire que cette région conservera sa première place. L'ensemble de ces investissements - en dépit d'un volume considérable - ne représenterait que 1 % du PIB mondial. De plus, et en dépit d'une croissance de la demande d'énergie, l'agence estime que la majorité de ces investissements serait uniquement nécessaire au « maintien des niveaux actuels d'approvisionnements ».

Le principal défi, relève l'Agence, résidera dans la construction de nouvelles infrastructures dans les pays en développement surtout et à un moindre degré dans les zones dites en transition. Compte-tenu de la situation économique générale, la demande de capitaux sera faite auprès des économies les plus développées.

Pour mieux faire prendre « conscience » de l'ampleur des besoins, le pic des investissements énergétiques dans ces zones a été atteint en 1997 : 51 milliards de dollars. Pour information, ce pic a été suivi d'une baisse en 1997/1998 et en 1999, le montant des investissements était de moins de 17 milliards de dollars²⁸.

²⁷ *World energy outlook 2006*. Ce travail a été réalisé sur la base du scénario de référence et actualise les données du *World energy investment outlook 2003*. AIE

²⁸ Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'exploitation et de l'extraction pétrolière et gazière.

D'un point de vue technique, la capacité de raffinage de pétrole devrait croître de près de 40 % d'ici à 2030. L'investissement pétrolier devrait atteindre 4 300 milliards de dollars dont près des trois quarts iraient aux activités d'exploration et de développement des pétroles « conventionnels ». Le quart restant irait au raffinage et au transport -, et donc requerra de lourds efforts financiers, trois quarts de l'investissement pétrolier seront consacrés à « *contrer le déclin naturel de la production des puits existants* ». On verra plus loin les questions liées au transport.

Les investissements gaziers représenteraient près de 20 % des investissements totaux (3 900 milliards de dollars, et, une moyenne annuelle de 150 milliards de dollars).

Les activités d'exploration/développement seront en première ligne. Si les économies de l'OCDE interviendront pour la moitié des investissements, le Moyen-Orient et l'Afrique seront présents et les financements seraient de plus en plus le fait du secteur privé (notamment compagnies pétrolières et gazières internationales).

Le secteur du charbon représenterait de l'ordre de 600 milliards de dollars. Plus de 40 % des investissements serait réalisé en Chine, qui représenterait plus que l'OCDE (28 %).

Le secteur de l'électricité absorberait, à lui seul, 60 % des investissements : soit de l'ordre de 11 300 milliards de dollars. 6 500 milliards de dollars seraient investis dans les économies en développement et 4 200 milliards dans les pays de l'OCDE. Les investissements à réaliser en Chine seraient supérieurs de 1 000 milliards de dollars à ceux envisagés aux États-Unis et au Canada. Les investissements à réaliser dans le « reste » de l'Asie dépasseraient ceux de l'Europe (même en y ajoutant la Russie). Au total, les cinq plus importants pays (hors OCDE), c'est-à-dire : Chine, Russie, Inde, Indonésie et Brésil, auront besoin de 40 % des investissements globaux réalisés dans le secteur électrique à l'horizon 2030. On ne peut que partager l'interrogation de l'AIE quant à savoir si les économies en développement seront à même de financer de tels montants et que dire des autres États ou régions ?

La mobilisation de telles ressources nécessiterait, selon l'AIE des aménagements très importants des politiques tarifaires et douanières des pays demandeurs d'investissements étrangers. Des exemples existent déjà de la part de certains producteurs (Venezuela, Arabie saoudite..) en vue de configurer leur législation... à la norme des pays industrialisés.

3. Exigences quantitatives et qualitatives

La première des exigences est de permettre à l'ensemble des habitants de notre planète d'accéder à un service énergétique moderne. Le concept de développement durable en restera au stade du concept s'il n'est pas répondu à cette demande.

Parallèlement, il s'affirme - mais à quel niveau exactement - une demande d'ordre qualitatif émanant des sociétés qui disposent de cet accès. Depuis quelques décennies, le recours à telle ou telle source énergétique fait l'objet d'intenses débats, dans lesquels les arguments échangés ne prennent pas toujours en compte l'ensemble des enjeux.

Concilier ces deux exigences n'est pas aussi aisé qu'il pourrait y paraître et, à titre d'exemple, le sommet de Kyoto n'a pas été exempt d'une certaine ambiguïté dès lors qu'il s'est agi de concilier une demande quantitative parfaitement légitime et une aspiration « qualitative » qui l'était elle-même tout autant. De plus, si tant de nos contemporains n'ont pas encore intégré l'idée que la plupart des ressources fossiles sur lesquelles le recours à une énergie bon marché est basé, sont « finies », les experts, voire les vulgarisateurs, rappellent cette évidence de plus en plus fréquemment, sans pouvoir, naturellement, déterminer avec précision la date à partir de laquelle il ne faudra plus compter avec elles.

Ainsi, se trouve posée la question à la fois des choix techniques, économiques et de l'exercice de la démocratie dans le domaine de l'énergie et donc du rôle des scientifiques, des experts, des citoyens et naturellement des « politiques », puisqu'il faut décider, en dernier ressort, d'une politique énergétique.

Aux choix d'ordre strictement économique - lesquels se doublent de choix stratégiques - s'ajoutent de plus en plus des éléments d'ordre sociétal, parfois passionnels, dès lors qu'il est question de certaines énergies.

4. Importance stratégique de l'énergie : le commerce international de l'énergie et investissements

Rappeler que l'énergie constitue une question stratégique relève de l'évidence. Il n'est de jour qui n'apporte son lot d'informations et de questionnement sur la géostratégie de l'énergie ; qu'on ne fasse référence aux problèmes de l'énergie en relation avec des tensions internationales dont l'issue est, parfois, belliqueuse. De nombreux affrontements ont lieu dont l'origine est à chercher dans la possession de matières premières « énergétiques » ou dans la volonté de maintenir ouverte ou non une route commerciale assurant le transit énergétique.

4.1. Éléments pour une géographie des transports de l'énergie

La géographie de la production et celle de la consommation ne se superposent, à l'évidence, pas. Le commerce et le transport des matières premières énergétiques, se sont ainsi développés tout au long du XX^e siècle, pour atteindre assez rapidement à des échanges internationaux de grande envergure et sur des longues distances.

Le commerce du pétrole - et donc son transport - représente le cas le plus extrême. En effet, l'éloignement des centres de consommation de ceux de la production et l'importance du produit sont tels qu'une géostratégie de la ressource s'est développée, depuis au moins, le premier quart du XX^e siècle.

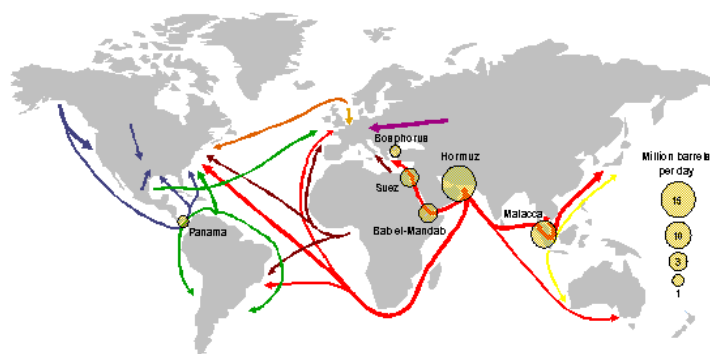
Pour fixer un certain ordre de grandeur, plus de 40 % du pétrole brut produit dans le monde quitte sa zone d'extraction pour rejoindre une région éloignée où il sera raffiné et utilisé. À un commerce interrégional s'ajoute donc des échanges internationaux de grande ampleur.

Si une part, non négligeable de pétrole brut est transporté par oléoducs – c'est-à-dire à partir d'investissements stables, une autre part est l'objet d'un vaste transport maritime.

Le réseau d'oléoducs est loin d'être négligeable : il dépasserait aujourd'hui 600 000 kilomètres. Les plus importants oléoducs se situent dans les États successeurs de l'URSS : on pense aux canalisations transportant le pétrole de son lieu d'extraction (essentiellement l'Asie centrale) vers les ports de la Baltique ou de la Mer noire et la Méditerranée²⁹ ou à partir de ces pays vers, par exemple la Chine et le Japon, parcourant une route finalement assez proche de l'antique route de la soie. Ils se situent également aux États-Unis où il s'est constitué un véritable réseau transportant le brut vers les raffineries de l'intérieur du pays.

Les routes empruntées sont bien connues. Les premières conduisent les hydrocarbures du Golfe Arabo-persique vers l'Amérique du Nord et l'Europe à l'Ouest et vers l'Asie (Japon, Corée du sud, Chine) à l'Est.

Carte 5 : Les principales routes maritimes du pétrole



Source : BP.

²⁹ Cf par exemple, l'oléoduc, inauguré en mai 2005 Bakou-Tbilissi-Ceyhan long de 1 800 km dont le tracé et le parcours répondent essentiellement à des considérations géostratégiques. Les investissements se seront montés à près de 4 milliards de dollars. Il a une capacité maximale de 1 million de barils/jour.

On remarquera que la route du détroit d'Ormuz vers l'Asie ne cesse de voir sa part relative croître et que les détroits Malais dépassent dès aujourd'hui tous les autres en intensité de transit.

Le transit maritime a fait émerger une flotte spécifique : les pétroliers. À l'orée du XXI^e siècle, la flotte mondiale des pétroliers compte de l'ordre de 3 500 unités, réparties entre des navires de fort, voire très fort, tonnages (jusqu'à 500 000 tonnes de jauge) jusqu'à des unités de moins de 50 000 tonnes, assurant ce qu'on pourrait presque assimiler à du cabotage.

Les bateaux emblématiques sont les VLCC (*Very large crude carriers*) dont le tonnage est d'environ 300 000 tonnes. Ils assurent environ un tiers des expéditions de pétrole. Au-dessus, les ULCC (*Ultra large crude carriers*) approchent, pour certains, 500 000 tonnes de charges utiles. Autres navires, très en vue, les « Suez/max » jaugeant entre 125 et 180 000 tonnes, maximum « toléré » pour franchir le canal de Suez³⁰, assurent une très large part des transits, tandis que les « Aframax » d'une jauge de 80 000 tonnes forment une flotte imposante. Enfin, les « *coastal tankers* » sont des pétroliers d'une jauge de 50 000 tonnes.

Au total, cette flotte approcherait une capacité de 280 millions de tonnes.

Il faut rappeler qu'elle est de qualité inégale. Des navires neufs, dotés des derniers perfectionnements techniques, voisinent avec des unités dont la sûreté est loin d'être assurée, surtout parmi les plus petites unités. Il s'agit là d'une source de préoccupation, à propos de laquelle notre assemblée a déjà porté plus d'une fois son attention.

L'importance du transport maritime de pétrole peut, aisément, se mesurer par son poids relatif dans l'ensemble du transport maritime. Selon les années, il représente entre le tiers et la moitié du transport mondial, toutes catégories confondues et toutes distances additionnées.

Le transport international du gaz présente une autre structuration. Il est, on l'évoquera plus loin, plutôt intrarégional, mais évolue vers un marché mondialisé compte tenu du poids des investissements à réaliser pour un transport et une exploitation économiquement rentable. Encore faut-il s'entendre sur le caractère « régional », dès lors, par exemple, qu'il s'agit de faire transiter du gaz russe ou bientôt kazakh vers les bassins industriels de l'Europe de l'Ouest - ce qui représente tout de même, quelques milliers de kilomètres à franchir - ou de la future mise en place d'un gazoduc - d'un coût de 18 milliards de dollars - en construction en Chine devant relier les gisements de gaz du bassin de Tarine dans la province du Xingiang à l'Ouest du pays, à la région de Shanghai à l'Est du pays, soit un ouvrage long de 3 800 km³¹ ou bien les projets de gazoducs

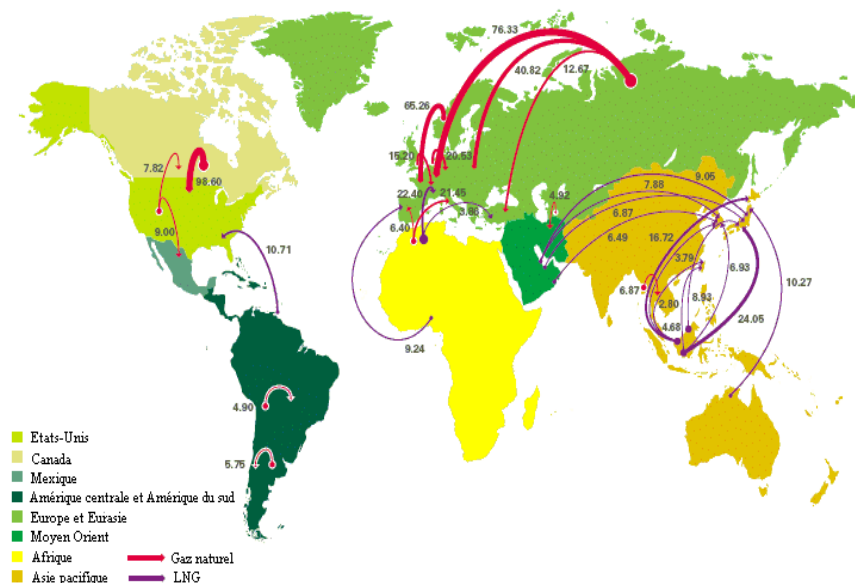
³⁰ Les autorités égyptiennes envisageraient d'accroître le gabarit du canal afin de permettre le passage de pétroliers d'un tonnage plus important.

³¹ David Lagun : The quest of energy to grow – « *Far eastern economic review* », juin 2002.

entre la Russie et la Chine (et éventuellement la Corée du sud) dont l'un aurait 4 000 km de long, depuis Irkoutsk³².

L'importance du maillage des gazoducs ne doit pas occulter le fait qu'une partie importante du gaz, est transportée par bateaux spécialisés. Les 154 méthaniers en service en 2004 devraient voir leur nombre augmenter rapidement dans un avenir proche, justifiant la dynamique du marché du gaz naturel, dont la structuration devrait se rapprocher à terme de celle du pétrole : c'est-à-dire être de plus en plus internationale.

Carte 6 : Les principaux axes du transport du gaz naturel



Source : BP.

Le charbon fait, lui-même, l'objet d'un transport international par mer : de l'Australie vers les pays d'Asie ou l'Europe ; de l'Afrique du sud ou de l'Amérique latine vers l'Europe ; de l'Amérique du Nord vers l'Asie, voire l'Europe ; de la Russie vers l'Asie ou l'Europe.

Si le charbon a été exclu de la liste des produits dangereux par l'Organisation maritime internationale (OMI), il en va différemment du pétrole et du gaz. À cet égard, le livre vert pour la stratégie européenne d'approvisionnement énergétique qu'on évoquera plus en détail relève que le trafic maritime d'hydrocarbures dans les eaux européennes représente de l'ordre

³² Catherine Locatelli : l'enjeu énergétique des relations entre la Chine et la Russie-Caspienne. « *La revue de l'énergie* », janvier-février 2005.

de 800 millions de tonnes par an (70 % au large des côtes atlantiques et de la Mer du Nord, 30 % en Méditerranée).

Ce volume qui ne cesse de croître, tout comme le transit du gaz naturel par gazoducs, impose une sécurité que l'on voudrait maximale. En effet, les accidents ne sont pas rares et conduisent à des catastrophes environnementales souvent majeures : qu'il s'agisse d'accidents le long des côtes européennes – particulièrement françaises ou sur d'autres côtes (Alaska, par exemple...). Notre assemblée s'est, plusieurs fois, intéressée au sujet et nous renvoyons la lecture à ces documents³³. Néanmoins, les efforts en matière de sécurité maritime du transport pétrolier, ont été menés par l'Union européenne, laquelle à la suite du naufrage de « l'Erika » a adopté un certain nombre de textes visant à la modernisation de la flotte des pétroliers notamment par l'élimination des navires les plus anciens et à simple coque. Cependant, l'élimination de nos côtes - comme de celles des États-Unis - de ces navires induit-elle leur disparition totale ? Il est, malheureusement, à craindre qu'une partie d'entre eux continue de parcourir d'autres routes maritimes, exposant d'autres littoraux aux risques d'accidents graves. Les efforts de recherche en matière de sécurité du transport maritime d'hydrocarbures doivent se poursuivre, afin d'assurer la sécurité maximale sur l'ensemble des routes commerciales dans le monde.

4.2. Des échanges annoncés en forte expansion...

Toutes les prévisions montrent que les échanges internationaux d'énergies (ou plutôt des matières premières « énergétiques ») croîtront dans le futur et donc que l'interdépendance énergétique mondiale se renforcera inéluctablement.

À cet égard, l'étude déjà citée de l'IEPE de Grenoble³⁴ conclut, au-delà du renforcement intra régional, au renforcement inter régional, c'est-à-dire à une intensification de la mondialisation des échanges des matières premières énergétiques. À l'horizon 2030, toutes énergies fossiles additionnées, 30 % de la production feraient l'objet d'un échange inter régional. Plus de la moitié du pétrole produit, serait dans ce cas, mais surtout près du quart du gaz naturel (contre 10 % en 2000 par exemple). Le charbon, lui aussi, connaîtrait une hausse de ses exportations lointaines³⁵.

4.3. ...Entraînant d'importants investissements dans le transport

Cette internationalisation des échanges entraînera des investissements conséquents dans le transport des matières premières.

³³ Cf. les avis du Conseil économique et social sur le naufrage de l'Erika, sur le rapport de M. Charles Fiterman.

³⁴ Patrick Criqui, Pierre Noël « *Marchés énergétiques et géopolitique pétrolière* », 1990-2030 op-cit.

³⁵ On notera que les échanges inter régionaux de pétrole devraient connaître leur point le plus haut vers 2020, le taux diminuant ensuite en raison du développement du pétrole « non conventionnel » dans le bilan nord-américain.

Si les coûts d'exploration et de production sont, globalement, identiques en ce qui concerne le pétrole et le gaz, M. Chevalier rappelle, fort opportunément, que le coût du transport les différencie³⁶. Les infrastructures gazières sont beaucoup plus complexes, notamment dans le cas d'un transport maritime : il faut alors dans les ports à la fois des unités de liquéfaction et de gazéification, etc. Au total, le coût du transport du gaz serait de six à sept fois plus élevé que celui du pétrole, pour une même quantité d'énergie.

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que l'AIE envisage que la part du transport dans les investissements gaziers à l'horizon 2030 atteigne 36 % des quelque 3 900 milliards de dollars prévus, considérant qu'à cette date la moitié du commerce inter régional du gaz s'effectuerait sous la forme de GNL.

Dans le domaine pétrolier, les investissements liés directement aux échanges internationaux seraient de l'ordre de moins de 10 % du montant total des investissements (l'AIE les estime à 260 milliards de dollars). Quant au charbon, les investissements nécessaires à l'amélioration des échanges internationaux augmenteraient plus vite que ceux requis pour répondre à l'augmentation globale de cette matière. Cependant, ils ne représenteraient que 12 % de l'ensemble.

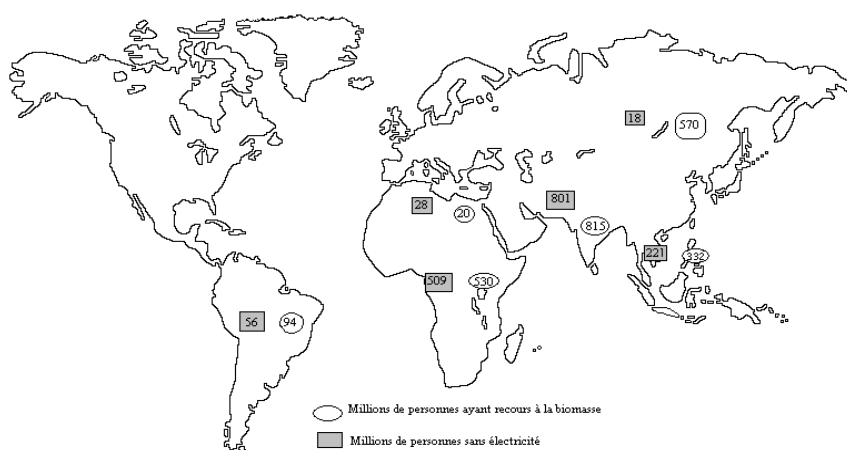
III - DES RÉGIONS DU MONDE RESTENT TOUJOURS EN RETRAIT

La demande d'énergie est globalement satisfaite dans les pays développés. On peut même avancer que, dans de très nombreux pays industrialisés, la sobriété énergétique n'est pas de mise même si la consommation est inégalement répartie. On a affaire souvent à un réel gâchis, du fait, pendant longtemps, d'un prix de l'énergie particulièrement bas. Il en va tout autrement dans de trop nombreuses régions du monde. Dans de nombreux pays en développement, plus d'1,6 milliard d'hommes, vivant dans les villes ou dans les campagnes, n'ont qu'un accès notoirement insuffisant aux sources d'énergies modernes et recourent à la biomasse « domestique », ce qui d'ailleurs relativise beaucoup les statistiques évoquées plus haut.

La carte suivante, présentée par M. Olivier Appert, mérite d'être observée avec attention car elle illustre un défi à relever par le monde entier et probablement d'abord par les pays industrialisés en appui aux pays en développement.

³⁶ Jean-Marie Chevalier – Pétrole et gaz : deux logiques économiques – « *Societal* » n° 42, 4^{ème} trimestre 2003.

Carte 7 : pauvreté en énergie



Source : IFP.

Les difficultés qu'éprouvent les populations à accéder à un bien de première nécessité a comme première conséquence qu'il leur est bien difficile de s'extraire de la spirale de la pauvreté. À cet égard, M. Jean Bergounoux rappelait, lors d'un colloque international³⁷ le cas d'économies subsahariennes « dans lesquelles la collecte du bois pour la cuisson des aliments mobilise, à elle seule, une part tellement importante de l'activité humaine qu'elle annihile toute possibilité de développement ». L'exemple, souligne l'auteur est, certes, caricatural, mais il est flagrant de situations dans lesquelles la difficulté d'accès à l'énergie constitue un frein plus que puissant au développement.

La satisfaction de la demande d'énergie suppose requis un certain nombre de conditions, comme le remarquait, lors du même colloque, M. Jacques Girod³⁸. La première est naturellement celle de l'existence de ressources énergétiques ; la deuxième est celle de l'existence d'infrastructures capables de produire cette « énergie », de la transporter et de la distribuer ; la troisième est l'existence d'équipements permettant d'utiliser cette énergie de manière « individuelle ». On voit donc que la réponse à un besoin « premier » encourt une somme d'investissements souvent très largement hors de portée de nombreux États ou régions du monde.

³⁷ Jean Bergounoux : consommation d'énergie et développement économique. « Le droit à l'énergie » sous la direction de Emile Malet et Michel Paty. Colloque international « Défis et complexité du Troisième millénaire » - mars/avril 1996 – Passages 1996.

³⁸ Jean Girod : le droit à l'énergie dans les politiques de développement. « Le droit à l'énergie » op.cit.

Or, toutes les études le montrent, la demande en énergie va croissant particulièrement dans les régions en développement et comme le souligne le CME le « *défi consiste à assurer aux populations un minimum de services dont l'énergie, leur permettant d'atteindre un niveau de vie décent, au-delà de la survie* » et à plus long terme (d'ici à 2020) le CME définit l'approvisionnement moderne en énergie (pour ces régions) « *comme étant soit la possibilité d'être raccordé, autant que possible, à une fourniture d'électricité fiable et abordable, soit disposer de formes d'énergies modernes et adaptées qui ne soient pas nécessairement livrées par des réseaux mais se présentent comme des systèmes autonomes d'énergie renouvelable ou d'autres formes d'énergie décentralisée. La manière dont l'énergie moderne sera fournie à toutes ces personnes représente pour l'humanité la plus grande chance de mettre en place un système respectueux de l'environnement pour l'ensemble du prochain millénaire.*

Ces services énergétiques ne seront disponibles que si le PIB croît de manière durable. Une telle croissance économique requerra la fourniture de services énergétiques au juste prix, sans que l'on puisse raisonnablement s'attendre à ce que soit rompue la corrélation linéaire, observée jusqu'à présent, entre la croissance du PIB et celle de la demande d'énergie »³⁹.

La préoccupation du CME converge avec celles, par exemple, du Programme des Nations-Unies pour le développement (PNUD) ou de la Banque mondiale, laquelle dans son dernier rapport sur le développement dans le monde (2003)⁴⁰ insiste, en lui consacrant une large partie (on l'a déjà évoqué), sur les dangers du changement climatique, particulièrement dans les régions les plus défavorisées (on pense, entre autres, au Bangladesh...). Cependant, pour ces organisations, la question de l'eau apparaît, à juste titre, comme plus fondamentale encore. Les préoccupations concernant le déboisement arrivent très rapidement sous la plume des auteurs des différents rapports, ce que souligne déjà le CME.

IV - DE L'IMPORTANCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Une question d'importance doit nous retenir car elle est devenue centrale : la prise en compte de l'impact environnemental de l'énergie, tout particulièrement le changement climatique.

A - LA PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Les travaux scientifiques conduits internationalement tendent à démontrer - certes avec prudence mais de façon de plus en plus affirmée - que l'activité humaine a un impact de plus en plus important sur le changement climatique observé.

³⁹ « *L'énergie pour le monde de demain – Le temps de l'action* » déclaration 2000 du CME –2000.

⁴⁰ « *Développement durable dans un monde dynamique. Améliorer les institutions, la croissance et la qualité de vie* » rapport sur le développement dans le Monde 2003 - Banque mondiale - Editions ESKA 2003.

Notre assemblée a consacré plusieurs avis au changement climatique et à ses conséquences⁴¹, nous y renvoyons.

Les causes anthropiques de l'intensification de l'effet de serre sont fondamentales et sont constituées essentiellement par la combustion du carbone fossile (charbon, pétrole), par le déboisement, mais aussi dans le cas du méthane, autre gaz à effet de serre, par le développement du cheptel bovin notamment.

*« Au cours des vingt dernières années, 70 à 90 % des émissions de dioxyde de carbone proviendraient de la combustion des carburants d'origine fossile et entre 10 à 30 % seraient issus du changement d'usage des terres, essentiellement de la déforestation »*⁴².

Tous les travaux relèvent qu'un recours massif aux combustibles fossiles - sous toutes leurs formes - conduit à un accroissement d'émission de gaz à effet de serre.

Toutes les sources d'énergie ne sont pas également émettrices de CO₂. Ainsi, à quantité égale de chaleur produite, le lignite est davantage émetteur que l'anthracite ; le fioul lourd l'est plus que le fioul domestique ; le gaz naturel dégage presque deux fois moins de CO₂ que le lignite et bien sûr, l'électricité produite par une centrale hydraulique ou nucléaire ne dégage pas de gaz à effet de serre.

B - LES CRAINTES D'UNE ACCÉLÉRATION DE L'ÉMISSION DES GAZ À EFFET DE SERRE

L'importance du phénomène des émissions des gaz à effet de serre est telle que les exercices prospectifs relatifs à l'énergie comportent tous, et de plus en plus fournie, une partie spécifique à cette nouvelle « donne ».

À cet égard, les travaux prospectifs de l'Agence internationale de l'énergie font un utile rappel des perspectives d'émission de CO₂. Selon le scénario de référence, ces émissions - de l'ordre de 23 milliards de tonnes en 2000 - dépasseraient 40 milliards de tonnes en 2030, c'est-à-dire qu'elles augmenteraient en 30 ans de plus de 75 %. C'est dire que les objectifs définis par le Protocole de Kyoto ne seraient pas respectés, d'autant que les rejets des pays adhérents de l'OCDE - pays ayant ratifié le Protocole, à l'exception notamment des États-Unis - croîtraient d'un quart au cours des trente années à venir. Au mieux, soulignait le directeur exécutif de l'AIE, peut-on espérer une stabilisation

⁴¹ « *Effet de serre et prospective industrielle française* » avis adopté sur le rapport de M. Jean-Pierre Clapin le 15 octobre 1997 (J.O avis et rapport du Conseil économique et social n°15-1997) et « *Le suivi de l'effet de serre* » avis adopté sur le rapport de M. Jean Gonnard, le 25 octobre 2000 (Mme Frédérique Rastoll rapporteur pour avis – J.O avis et rapport du Conseil économique et social n°12-2000). « *Les enjeux de l'après Kyoto* » avis adopté le 26 avril 2006 sur le rapport de Mme Elyane Bressol – J.O avis et rapport du Conseil économique et social n°2006-07.

⁴² « *L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 à 2100* ». M. Marcel Deneux rapporteur – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

des émissions des pays de l'OCDE, mais pas avant 2030, et ce, sous réserve d'une utilisation intense de tous les instruments à disposition.

C - DES PROJECTIONS INQUIÉTANTES

Les trois décennies à venir verraient, selon l'AIE, se réaliser des perspectives assez sombres.

À l'horizon 2030, le total des émissions du CO₂ des économies en développement dépasserait 21 milliards de tonnes, contre 15 milliards pour l'OCDE.

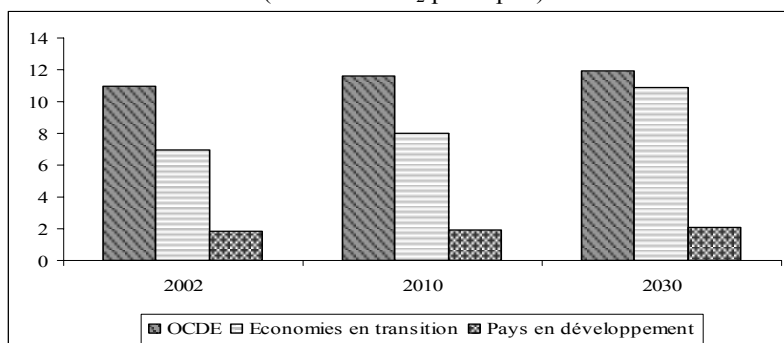
Tableau 12 : Prévisions de progression trentenaire des émissions de CO₂ (millions de tonnes)

	2000	2030	2030/2000
OCDE dont :	12 369	15 495	+ 25 %
Amérique du Nord	6 534	8 528	+ 30,5 %
Europe	3 890	4 651	+ 19,6 %
OCDE Pacifique	1 945	2 316	+ 19,1%
Economies en transition dont :	2 488	3 193	+ 28,4%
Russie	1 492	1 883	+ 26,3 %
Economies en développement dont :	7 782	21 111	+ 171,3 %
Chine	3 052	10 425	+ 241,6 %
Inde	937	2 544	+ 171,5 %
Amérique latine dont :	877	1 551	+ 77,8 %
Brésil	303	551	+ 81,8 %
Moyen-Orient	978	2 460	+ 151,5 %
Afrique	676	1 447	+ 114,1 %
Monde	22 639	40 420	+ 78,5 %

Source : AIE « *World energy outlook* » - 2004 et 2006.

Le paysage futur ainsi dressé et corroboré, à quelques détails près, par toutes les études prospectives, ne laisse pas d'être inquiétant. En effet, comme le relève l'AIE, la relation entre les émissions de CO₂ et la demande d'énergie primaire qui se révélait « favorable » à la seconde sur les trois dernières décennies notamment grâce à l'électricité hydraulique et nucléaire (+ 2,1 %/an de croissance de demande d'énergie / +1,8 % d'émission de CO₂) deviendrait favorable à la première dans les trente années à venir en raison de l'utilisation massive du charbon (+1,8 % par an d'émission de CO₂ / +1,7 % de demande d'énergies). Selon l'AIE en 2004, *per capita*, les émissions seraient, en 2030, de 4,7 tonnes dans le monde (3,8 tonnes en 2000). Cet accroissement serait important en Chine (2,4 tonnes en 2000 ; 4,5 tonnes en 2030), en Inde (0,9 tonne en 2000 ; 1,6 tonne en 2030). Il n'en resterait pas moins qu'avec près de 13 tonnes pour chacun d'eux les habitants des États de l'OCDE seront (ou seraient) encore largement en tête des émetteurs de CO₂.

Graphique 7 : Émissions de CO₂ par région
(tonnes de CO₂ per capita)



Source : AIE - *World energy outlook 2004*.

Toutes les études concordent pour aboutir à la conclusion d'une montée de la part des transports dans le bilan global des émissions, particulièrement dans les pays en développement, mais aussi de celle du secteur produisant de l'électricité du fait, notamment, du « rattrapage » mondial. Rappelons qu'aujourd'hui, plus d'1,6 milliard d'habitants de la planète n'ont pas accès à cette forme d'énergie.

L'origine du surcroît d'émission de CO₂ est claire. L'ensemble des études concorde pour observer qu'il est dû au recours de plus en plus systématique aux sources fossiles : charbon, pétrole et à un degré moindre gaz naturel⁴³.

D - UNE PROGRESSION DE LA PRISE DE CONSCIENCE DEPUIS KYOTO

Il est indiscutable qu'une certaine prise de conscience existe, illustrée par les débats autour du Protocole de Kyoto. Ainsi, à son congrès, tenu à Houston en 1995, le Conseil mondial de l'énergie relevait que le principe de mise en œuvre de mesures de précaution compétitives pour limiter un changement possible du climat mondial était désormais accepté. Encore faut-il souligner les propos tenus par M. Michel Petit, directeur général adjoint de la recherche de l'école Polytechnique et membre du GIEC, retranscrits dans le rapport de l'OPESCT, selon lesquels : « si les pays développés appliquaient les idées des Verts néerlandais, tandis que la Chine, l'Inde et les pays en voie de développement augmentaient leurs émissions de carbone sans prendre de mesures particulières, la température continuerait de monter, son accroissement n'étant réduit que d'environ 15 % par les politiques restrictives menées par les pays développés⁴⁴ ». Cette réflexion marque les limites du Protocole de Kyoto. Ce que notre assemblée a évoqué dernièrement dans son avis sur « *Les enjeux de l'après Kyoto* » et qui légitimait la proposition de politiques mobilisatrices à tous les échelons.

⁴³ Cf. les divers travaux du GIEC, notamment le rapport 2001.

⁴⁴ « L'évaluation... » op.cit terme II – auditions. P. 133/134.

CHAPITRE III

QUELLES RÉPONSES POSSIBLES ?

I - ÉTAT DU DÉBAT ET HORIZON TEMPOREL

Il est peu de domaine dans l'ordre économique à propos duquel le débat est aussi intense que celui sur l'énergie. Il en est ainsi, probablement, parce qu'elle participe de notre bien-être quotidien et qu'elle oscille entre la prescription d'un droit parfois abstrait et des réalités économiques et techniques, des certitudes et des hypothèses scientifiques. Elle contribue très largement à définir une géopolitique (et donc une géostratégie) planétaire et l'accès aux ressources énergétiques participe des problèmes les plus lancinants qui soient.

Les différents échelons auxquels s'élabore le débat induisent, chacun, une vision particulière. L'approche est donc assez substantiellement différente selon que l'énergie est évoquée au niveau national, régional ou mondial ; et à ce dernier niveau selon qu'elle est dans une relation bilatérale ou globale.

A - ÉTAT DU DÉBAT AU NIVEAU NATIONAL

1. Un débat récurrent et intense

Le débat sur l'énergie est lancé depuis longtemps dans notre pays.

Les politiques mises en oeuvre dans les années suivant immédiatement le second conflit mondial avaient pour premier objectif de résorber la pénurie, puis de développer une relative autonomie afin d'assurer la croissance économique de notre pays. Le débat s'est intensément poursuivi après l'ouverture de notre économie à partir du Traité de Rome et de son entrée en vigueur. Il s'est alors, assez logiquement, situé dans le monde relativement fermé des « sachants », des décideurs, par exemple au sein des commissions du Plan ou naturellement au Parlement, dès lors qu'il s'agissait de définir des orientations stratégiques.

Il a pris une nouvelle ampleur dans la première moitié des années 1970, lorsque la crise pétrolière a donné encore plus d'acuité à la recherche d'une certaine indépendance énergétique. Les choix faits à l'époque ont modelé le paysage que nous connaissons aujourd'hui. Ils reposaient sur une triple volonté : diversifier notre approvisionnement (tant en ressources qu'en origines géographiques), développer une source nationale propre, enfin, économiser l'énergie. Si les deux premiers objectifs ont été complètement réalisés, la mise en oeuvre du dernier a été beaucoup plus modeste.

Depuis lors, d'une vue quantitative le débat s'est insensiblement déporté sur des aspects qualitatifs : la recherche de la meilleure compétitivité des énergies entre elles s'est introduite, alors que parallèlement l'appréciation à l'égard des formes elles-mêmes entrainait, assez brutalement, en scène, essentiellement après l'accident de Tchernobyl. La prise de conscience des effets globaux de l'énergie s'est renforcée tout au long de la précédente décennie. Les travaux initiés par les Nations Unies, dans le cadre de l'objectif de développement durable, l'importance prise par l'effet de serre ainsi que la gestion sur de longues, voire sur de très longues années, des déchets nucléaires demeurent des préoccupations majeures, débordant largement le cercle plus ou moins restreint des « décideurs » de tous ordres.

Au même titre que des questions aussi importantes que les applications de la biologie, l'énergie participe du questionnement de nos sociétés.

Si ce questionnement est parfaitement justifié, il nécessite d'être posé avec toute la rationalité nécessaire, en excluant les débats caricaturaux et sans déformer le principe de précaution.

Le débat ne se résume, cependant, pas à cela. De très nombreux travaux de fond ont été et sont menés dans des instances les plus diverses. Parmi celles-ci, le Commissariat général au Plan a réalisé de véritables sommes à caractère prospectif.

Pendant longtemps, ces travaux étaient réalisés dans le cadre de la préparation du Plan. On citera, parmi les plus récents et après avoir fait référence aux travaux des commissions dites « PEON »⁴⁵ (Production électricité d'origine nucléaire) au tournant des années 1960/1970 à titre d'exemple, le rapport « *énergie 2010* » du X^e Plan rédigé sous la présidence de Michel Pecqueur. Le dernier en date de ces documents est le rapport « *Énergie 2010-2020. Les chemins d'une croissance sobre* » élaboré sous la présidence de M. Pierre Boisson, datant de la fin 1998. Ce rapport dont notre assemblée a été saisie en 1998⁴⁶, outre qu'il représente « l'état des lieux », du point de vue national, de cette fin du XX^e siècle, adopte une vision mondiale et temporelle, avec l'atelier « les défis du long terme », assez large pour rester toujours un ouvrage de référence. La pertinence du questionnement est grande, même si il est légitime de ne pas en partager toutes les conclusions. On notera que le centre d'analyse stratégique s'est vu confier par le gouvernement une mission de réflexion sur l'horizon 2050 et a créé une commission énergie, présidée actuellement par M. Jean Syrota.

⁴⁵ Les commissions PEON regroupaient trois grandes composantes : l'administration par le biais des ministères de l'industrie, de l'économie et de l'environnement ; la recherche avec la présence du CEA et l'industrie puisque EDF était partie prenante en qualité de constructeur.

⁴⁶ « *Les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2010-2020* » avis adopté sur le rapport de M. Gabriel Gaudy le 24 février 1999. Avis et rapport du CES n°4 – 1^{er} mars 1999.

2. Le débat public de 2003 et la loi d'orientation de 2005

Parmi les objectifs fixés au « débat national sur l'énergie » lancé en 2003, celui d'associer nos concitoyens à la préparation de la politique énergétique de notre pays pour les « trente prochaines années » est une nouveauté. Plusieurs rencontres ont été organisées dans la capitale et en régions. Un site internet a été ouvert. Des initiatives « partenaires » ont été engagées.

Un rapport a été rendu en septembre 2003 par le comité des sages à Mme Nicole Fontaine, alors ministre⁴⁷. Si le débat a été assez pluraliste, le comité conclut à un désintérêt relatif du grand public et à la méfiance de certains qui en contestaient la forme, le considérant comme « déterminé ». Les sages relèvent, par ailleurs, que « *les questions essentielles de la recherche* » n'ont été que partiellement abordées.

À la suite du débat national, un projet de loi d'orientation de la politique énergétique nationale a été élaboré. Le texte a été adopté le 13 juillet 2005 « *loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique* » :

- contribuer à notre indépendance énergétique et garantir la sécurité d'approvisionnements ;
- mieux préserver la santé humaine et l'environnement en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- assurer un prix compétitif de l'énergie ;
- garantir l'accès de tous les Français à l'énergie et, par-là, la cohésion sociale.

Quatre axes sont définis pour atteindre ces objectifs :

- la maîtrise de la demande d'énergie ;
- la diversification du futur panier énergétique français ;
- l'assurance d'un transport de l'énergie efficace et des capacités de stockage suffisantes ;
- et enfin, le développement de la recherche dans le domaine de l'énergie.

L'article 5 de la loi fixe les objectifs de la recherche, à un horizon relativement proche (2015).

En premier lieu, l'État intensifiera l'effort de recherche tant public que privé et entend soutenir l'effort européen. En deuxième lieu des objectifs sont fixés dans plusieurs domaines :

- efficacité énergétique notamment dans les bâtiments ;
- augmentation de la compétitivité des énergies renouvelables ;
- développement du nucléaire du futur (fusion/fission) ;

⁴⁷ « *Débat national sur les énergies* » rapport du comité des sages : MM. Pierre. Castillon, Mac Lesggy, et Edgar Morin.

- exploitation du potentiel de nouveaux vecteurs de rupture comme l'hydrogène ;
- approfondissement de la recherche sur le stockage de l'énergie.

B - AU SEIN DE L'UNION EUROPÉENNE

La construction européenne doit beaucoup à l'énergie. Elle lui doit, pour partie, sa naissance, le traité CECA signé le 18 avril 1951 fut le premier traité communautaire instituant la communauté européenne du charbon et de l'acier, et il fut suivi de celui sur l'Euratom (abordant déjà le nucléaire civil). Au niveau communautaire, comme au niveau national, le débat est donc engagé depuis assez longtemps et la Commission y a joué un rôle important.

1. Un thème régulier de débats et de travaux

Sans remonter trop avant, on rappellera qu'en parallèle aux travaux du Conseil mondial de l'énergie, la Commission a fait paraître en 1996 un document prospectif par scénarii à l'horizon 2020, accompagnant la publication d'un livre blanc sur la politique énergétique de l'Union et on soulignera l'importance accordée dans ce livre au développement technique et à l'innovation afin de permettre à l'énergie de contribuer au développement durable.

2. Une phase de prise de conscience des enjeux du futur

Dans les années les plus récentes, la Commission a entrepris la rédaction d'un livre vert sur le thème général de la sécurité d'approvisionnement de l'Union ouvrant ainsi un débat inédit sur la politique énergétique européenne.

Se plaçant résolument dans un avenir à trente ans et dans le contexte du 11 septembre, le livre vert a révélé certaines des faiblesses structurelles de l'approvisionnement européen.

Il relevait que si rien n'était entrepris, à l'horizon 2020/2030 l'Union serait dépendante à 70 % de l'extérieur (soit une augmentation de l'ordre de 20 points par rapport à la situation actuelle). S'appuyant sur ce constat il esquissait une stratégie énergétique à long terme, axée sur trois voies :

- un rééquilibrage entre politique d'offre et de demande au bénéfice de cette dernière : des marges de manœuvre étant dans ce domaine des plus prometteuses ;
- un intérêt pour les instruments fiscaux afin d'encourager au changement de comportement de la part des consommateurs ;
- une priorité affirmée à tout ce qui doit permettre à l'Union de remplir ses engagements vis à vis de Kyoto.

Cette vision stratégique explique, en très large partie, les efforts fournis en faveur des énergies renouvelables et nouvelles. Elle explique, également, l'approche de l'Union en ce qui concerne la mise en œuvre d'un système d'échange de droits d'émission des gaz à effet de serre sous la forme d'un

marché de crédits d'émission. Elle explique enfin, sa proposition que la contribution du nucléaire y soit réexaminée.

3. Un débat nourri

Le débat lancé à l'aube du XXI^e siècle dans l'Union européenne a suscité un intérêt certain.

Parmi les derniers éléments, un nouveau livre vert intitulé « *Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable* » a été publié en mars 2006. Se plaçant à l'horizon 2025/2030, la Commission relève l'effort d'investissement à réaliser – de l'ordre de mille milliards d'euros – pour répondre à la demande et remplacer les infrastructures vieillissantes. Craignant une trop forte dépendance de l'Union vis-à-vis de quelques pays producteurs, elle appelle à la diversification des sources et se prononce pour la mise en place d'un « plan européen pour les technologies énergétiques et stratégiques », notamment dans les domaines des biocarburants, de l'hydrogène et des piles à combustibles, du photovoltaïque, du charbon propre. Enfin, poursuivant la réflexion impulsée sur la sécurité d'approvisionnement, la Commission encourage à la mise en place d'une politique énergétique extérieure ; c'est-à-dire à une stratégie tout au moins à moyen terme, sinon à long terme - encourageant à la création d'une « Communauté paneuropéenne de l'énergie »⁴⁸.

4. Les plus récentes décisions communautaires

À l'ensemble du questionnement élaboré par les livres verts, répond un ensemble de dispositions de la Commission.

Une directive sur le développement des énergies renouvelables a été adoptée en 2001. Elle prévoit que les États membres devraient, à l'horizon 2010, produire 22 % de leur consommation d'électricité par le truchement des renouvelables. Dans un autre domaine, celui de l'efficacité, une directive, en date du 5 avril 2006, vise à participer à la sécurité d'approvisionnement de l'Union en promouvant les économies d'énergie.

Au-delà, on doit retenir la proposition du Parlement européen et du Conseil de programme pluriannuel dans le domaine de l'énergie, appelé : « *Énergie intelligente pour l'Europe* ». Ce programme, indépendant des actions de recherche et de développement conduit dans le cadre des Programmes cadre de recherche et de développement technologique⁴⁹ (PCRDT), a pour objet de compléter et d'aider à mettre en œuvre les mesures évoquées plus haut dans le cadre des différentes directives ou autres instruments réglementaires. Il se veut le

⁴⁸ On n'aura garde d'omettre un nouveau livre vert relatif à l'efficacité énergétique « *ou comment consommer mieux avec moins* », récemment publié.

⁴⁹ Le VI^e PCRDT (2002-2006) comporte, naturellement, une dimension « énergie ». Les projets déjà retenus concernent essentiellement les énergies renouvelables et leurs applications industrielles en particulier la biomasse et l'hydrogène. En outre, une « plate-forme » technologique sur le « photovoltaïque » a été mise sur pied. On abordera plus loin (chap. III) l'apport et la structuration des PCRDT.

« garant » de la continuité des programmes ALTENER (promotion des énergies nouvelles et renouvelables), SAVE (amélioration de l'efficacité énergétique et de la gestion de la demande) SYNERGY (coopération avec des pays tiers). Il s'y ajoute deux volets l'un sur les aspects énergétiques des transports et l'autre sur la coopération et l'aide technique aux pays en développement. Un budget de 215 millions d'euros est prévu pour la période 2003-2006. Enfin, une agence européenne pour l'énergie « intelligente » a été créée. Elle a pour mission de gérer l'action communautaire pour le programme « Énergie intelligente », voire pour d'autres programmes concernant les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Cet ensemble constitue-t-il une stratégie européenne suffisante ? On peut en douter, même s'il existe quelques signes encourageants. En l'état actuel du débat, les Nations continuent à agir de manière autonome ; l'exemple du récent accord entre l'Allemagne et la Russie ainsi que le gazoduc de la Baltique n'en sont que les derniers exemples.

C - LE DÉBAT AU NIVEAU INTERNATIONAL : UNE PRISE EN COMPTE INSUFFISANTE FACE À UN DÉFI MAJEUR

Le débat - tout comme la réflexion - est dominé au niveau international par la relation énergie-développement durable, même si chacun des intervenants ne met probablement pas sous ce vocable les mêmes contenus.

On a rappelé rapidement les réflexions et débats conduits par le Conseil mondial de l'énergie. D'autres instances internationales réfléchissent et débattent sur l'énergie. Le programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) a abordé comme moteur d'une croissance économique « équitable » et comme facteur de réduction de la pauvreté. Si au Sommet de Rio, en 1992, l'énergie était restée une question non résolue, il fut décidé - lors de la réunion intergouvernementale « Rio + 5 » - que la Commission du développement durable examinerait cette question, en détail en 2001.

Un travail commun PNUD/CME a été entrepris, intitulé « *Évaluation de l'énergie mondiale : l'énergie et le défi de la durabilité* ». Cette étude a servi de base à la réflexion de la neuvième session de la Commission du développement durable.

Les études menées montrent l'ampleur des défis à relever pour amener les populations pauvres à disposer d'une énergie suffisante pour accompagner et faciliter leur développement. Ainsi, le programme d'exécution de l'agenda 21, adopté par l'assemblée générale des Nations Unies, montrait l'importance de la mobilisation des investissements : investissements annuels, pour les vingt prochaines années, évalués à 100 à 300 milliards de dollars pour résorber le déficit actuel. Face à ces montants nécessaires⁵⁰ les engagements des institutions internationales n'apparaissaient pas capables de répondre à eux seuls : à titre

⁵⁰ Et différents de ceux évoqués plus haut.

d'exemple, ceux de la Banque mondiale pour la période 1995-1998 s'élevaient annuellement à environ 3,5 milliards de dollars.

Une des principales difficultés à dépasser réside dans la « concordance » des changements macro et micro économiques à opérer afin que les populations puissent disposer des ressources énergétiques. Outre les investissements de structure, il faut arriver à mettre en place des mesures de préservation du bois de chauffage, notamment, dans la mesure où la déforestation apparaît comme un risque majeur dans de trop nombreuses zones. Il faut également faciliter, parallèlement, mais est-ce compatible ? L'utilisation de technologies modernes, souvent coûteuses, et leur recours accru aux combustibles fossiles « liquides et gazeux », en particulier dans les zones rurales : ce qui veut dire de pouvoir « amener » cette énergie dans les régions les plus démunies.

Le Sommet de Johannesburg, organisé du 26 août au 4 septembre 2002, soit dix ans après celui de Rio, n'a pas, semble-t-il, tenu ce qu'on pouvait attendre, tout au moins pour ce qui concerne l'énergie. Certes, l'accord final reconnaît que l'accès à l'énergie et à l'eau sont des priorités urgentes de lutte contre la pauvreté, au même titre que la santé et l'éducation. Peut-on réellement se satisfaire de cette affirmation sans en connaître la traduction concrète ? La proposition européenne d'accroître la part des énergies renouvelables dans les bilans énergétiques primaires des pays développés à l'horizon 2010 n'a pu être adoptée par exemple. Or, il s'agissait d'une proposition chiffrée peu contraignante (+2 points).

En septembre 2001, le PNUD a établi un fonds d'affectation spéciale thématique pour l'énergie au service du développement durable. Quatre domaines dits prioritaires ont été eux-mêmes définis :

- le renforcement des cadres nationaux pour appuyer les politiques énergétiques favorables à la réduction de la pauvreté et au développement durable ;
- la promotion des services énergétiques ruraux pour appuyer la croissance et l'équité ;
- la promotion des technologies propres pour le développement durable ;
- l'établissement de l'accès aux investissements pour financer l'énergie durable.

D - QUESTIONNEMENT SUR L'HORIZON TEMPOREL

Alors que l'énergie constitue un moteur essentiel du développement économique et social et que l'évolution économique et sociale nous montre que le monde emploie, années après années, de plus en plus d'énergies, une question lancinante revient toujours.

Comment envisager et préparer l'avenir ? Comment faire pour que la demande légitime de développement et de bien-être social trouve réponse en matière d'énergie, alors que l'on sait que sans politiques anticipatrices, l'offre ne sera capable ni de répondre à la demande ni d'assurer la préservation de l'environnement et des ressources naturelles.

Le premier chapitre de ce rapport a eu pour objet de dresser un bilan, un état de l'existant, de la disponibilité des ressources énergétiques dans le monde et de leur répartition, puisque aussi bien cette disponibilité est physique et géographique. En effet, de quel apport serait une ressource physiquement disponible s'il était impossible, pour de multiples raisons - dont la politique ne serait que la dernière - d'y avoir accès.

Une prospective globale de la demande sur une longue durée relève de la gageure, puisque plusieurs types de besoins - et leur évolution - sont alors en jeu : ceux du développement, notamment, sont assez déterminants, ceux de la mobilité également, ceux de l'électricité également, ceux des modes de vie ne le sont pas moins. Il est tout aussi vrai que l'analyse prospective de la demande aura d'autant plus de crédit qu'elle sera la moins globale possible.

Il n'en demeure pas moins - aussi imparfaite soit-elle - que la conclusion à laquelle on aboutit et que l'on peut résumer ainsi : une assez forte voire une très forte croissance de la demande à l'horizon 2050, marquée par un poids croissant de la part des transports dans l'ensemble, devrait se concrétiser.

Face de cette demande quelle sera l'offre ? et quelle pourrait être sa structure au niveau mondial ?

À l'orée du XXI^e siècle, les hydrocarbures (pétrole et gaz) jouent toujours un rôle essentiel ; le charbon demeure une composante importante ; l'énergie nucléaire a conquis une place non négligeable dans le bilan énergétique des pays les plus développés et l'hydroélectricité tient une place à peu près équivalente. Les énergies nouvelles (dont l'origine est souvent traditionnelle) éprouvent bien des difficultés à s'affirmer, au-delà d'une modeste contribution de démonstration dans les pays hautement industrialisés tandis que le recours non maîtrisé à la biomasse traditionnelle dans les pays les moins avancés contribue à l'accélération de la désertification des terres.

À l'horizon de 2050, quel pourrait être le paysage énergétique : un moindre recours aux hydrocarbures (pétrole), dû à la fois à la contrainte physique, une raréfaction des découvertes, un épuisement relatif de la ressource et au respect des contraintes environnementales ; une place de plus en plus importante accordée au gaz naturel pour quelques décennies ; le charbon demeurant un élément déterminant, voire le devenant davantage si les technologies le font évoluer vers une production propre, en particulier si il y a capture et stockage du CO₂... Une place probablement reconsidérée, pour l'électricité d'origine nucléaire dans certaines régions du monde, un développement des énergies renouvelables jusqu'à un niveau suffisamment important, pour que leur

évolution ne soit plus subordonnée à l'intervention des pouvoirs publics, sous la forme de subventions par exemple...

Les cinquante ans qui nous séparent du terme de notre étude, seront-ils suffisants pour que les habitants de notre planète modifient sensiblement leur mode de consommation et de comportement quant à l'usage des ressources énergétiques ? Cela n'est pas acquis, tout au moins s'il s'agit de sobriété dans la consommation. Pourtant c'est une des clefs évidentes et nécessaires du défi énergétique du futur, et une politique énergétique ne pourra suffire sans la volonté des consommateurs d'avoir des usages plus sobres et celle des producteurs de proposer des biens d'une plus grande efficacité énergétique.

Il revient dans ces conditions aux pouvoirs publics de continuer à mener le débat pour préparer et prendre les décisions et impulsions politiques nécessaires, et au progrès scientifique et technique, à l'innovation et à la recherche de dégager les voies du futur énergétique (ce qu'ils ont fait, d'ailleurs, depuis deux siècles).

À tout prendre, en effet, il revient aux découvertes scientifiques et techniques et à l'innovation de créer les biens et services associant bien-être et usage sobre de l'énergie ; il leur revient également de permettre une durée de vie plus longue au pétrole (conventionnel ou non) ; de même qu'au gaz naturel, en facilitant ses capacités de transfert et donc en internationalisant ses échanges, à l'instar du pétrole ; de rendre le charbon aussi parfaitement compétitif d'un point de vue environnemental autant qu'il l'est par sa disponibilité ; pour l'électricité d'origine nucléaire, d'apporter des réponses durables aux légitimes interrogations des populations quant à la maîtrise de la gestion des déchets et plus généralement quant à la sûreté de la « filière » ; pour les énergies renouvelables, de faire la preuve de leur « compétitivité ».

Le progrès scientifique et technique a largement « scandé » le développement du paysage énergétique mondial. Il ne peut qu'en être de même dans le futur proche à condition que l'effort de recherche l'accompagne.

II - QUEL APPORT DE LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE LA PRODUCTION ?

A - LES ÉNERGIES DITES CLASSIQUES

Il est évident que les efforts faits en matière de recherche, dans les domaines de l'exploration, exploitation... dépendent étroitement des prix atteints par les matières premières recherchées. Le signal prix constitue une variable déterminante du déclenchement des recherches ou des tentatives d'amélioration des taux de récupération des puits, par exemple, dans certains champs pétrolifères.

1. Le Pétrole

1.1. Des améliorations de l'exploration

L'industrie pétrolière a connu des bouleversements considérables dans le domaine technique au cours des trente dernières années et les taux de découvertes des nouveaux gisements ont déjà beaucoup augmenté.

Cette amélioration est due, pour une très large part, aux progrès réalisés dans la connaissance des sous-sols. Les progrès sont donc d'abord venus de la géologie, science à laquelle s'associent de plus en plus fréquemment la géophysique et la géochimie.

Au début de la décennie 1970, par l'application des techniques alors classiques (géologie de surface et sismique classique), on pouvait compter sur une découverte pour dix forages. Le taux était de un pour sept aux environs de 1990 en recourant aux techniques de la géochimie et de la sismique numérique. Aujourd'hui, le taux serait de une découverte pour quatre forages, voire dans quelques régions de une pour trois par le recours à la sismique 3D et à la modélisation de bassins.

L'amélioration et le recours à des modèles numériques simulant différents phénomènes thermiques, géochimiques etc., ont permis de mieux comprendre, notamment, le piégeage des hydrocarbures.

Au début de la décennie 1990, des modèles numériques prédictifs simulant les phénomènes en trois dimensions à l'échelle d'un bassin ont été réalisés. L'interprétation des résultats a connu des progrès sensibles dont une part revient à l'accroissement des capacités de calcul permis par l'informatique. La simulation en laboratoire s'est beaucoup développée.

La généralisation de la technique de la modélisation 3D puis 4D⁵¹ apparaît bien comme une voie d'avenir dont on peut espérer qu'elle apportera et permettra « *une avancée comparable à celle qui est résultée du passage de la sismique 2D à la sismique 3D* » (Bernard Tissot) et donc de relever des défis qui, il y a peu, semblaient insurmontables.

Le développement de ces techniques dépend cependant du rapport entre les prix des hydrocarbures et le coût de ces recherches et des investissements.

1.2. Une hausse à poursuivre des taux de récupération du pétrole

Si des avancées assez considérables ont été réalisées dans l'exploration, il en va de même dans les techniques d'exploitation des gisements, de plus en plus profonds, aujourd'hui jusqu'à -7 000 mètres.

Une donnée chiffrée vaut d'être rappelée. Le taux moyen de récupération des gisements se situe aux environs de 35 % en ce début de XXI^e siècle. Il n'était

⁵¹ La sismique 4D est une technique qui fait intervenir le temps, ainsi la sismique 3D (ou 2D) est répétée au même endroit à intervalles réguliers. Cette répétition de la mesure permet de suivre l'évolution du gisement pendant la production et de l'optimiser.

que de 20 % au début de la décennie 1970, c'est dire si des efforts importants ont été faits. À titre indicatif, une amélioration de 1 % de ce taux de récupération correspondrait à deux années de consommation pétrolière dans le monde.

Selon certains experts un accroissement conduisant à un taux de récupération proche de 50 % est parfaitement envisageable à l'horizon 2020. On resterait, néanmoins, toujours assez loin des taux de récupération du gaz naturel, aujourd'hui supérieurs à 80 %.

Ce pourcentage relativement peu important est dû, pour une large part, à l'existence de cloisons étanches à l'intérieur des gisements. Ces cloisons contrarient l'exploitation qui devrait pouvoir atteindre, théoriquement 80 % des hydrocarbures. La sismique 3 D (voire 4 D) est la seule technique permettant d'identifier les secteurs qui ne sont pas drainés par les forages existants.

Dans tous les cas, pour chaque gisement une stratégie d'exploitation optimale doit désormais être envisagée. On assiste donc à une individualisation de chaque gisement - intégrant tous les nœuds d'exploitation jusqu'aux techniques de récupération assistée.

Le recours à la modélisation numérique permet déjà d'optimiser l'exploitation. Cependant, des progrès dans le domaine géologique sont encore à attendre, particulièrement dans l'examen de la propriété des roches et de leur mouillabilité ce qui a des conséquences importantes dans la récupération du pétrole.

Ce type de recherche, leur poursuite ou leur arrêt, dépend assez naturellement de l'évolution des prix du pétrole. Ainsi, dans son article déjà cité, M. Tissot rappelait que l'application de certaines recherches sur les mécanismes de « mouillabilité » des roches avait été interrompue à la suite du contre-choc pétrolier de 1986 et n'avait pas été reprise depuis.

Les techniques dites de récupération assistée se sont beaucoup améliorées et sont de plus en plus utilisées. L'injection de vapeur ou/et de gaz nuisibles (gaz carbonique, par exemple) a atteint un degré de fiabilité tel qu'elle est utilisée avec succès en Amérique du Nord. L'injection de gaz non nuisible (azote) devrait connaître un regain d'intérêt.

Le forage a, de son côté, bénéficié d'un développement technique indéniable, depuis quelques années. La tendance est aux forages horizontaux, étant entendu que si le coût de tels forages est largement supérieur à celui des forages verticaux, la productivité peut être multipliée par trois. À partir d'un même forage, plusieurs puits sont creusés, une légère courbure étant imprimée à la direction du puits, la partie terminale de ce dernier peut se retrouver à l'horizontale.

Les avantages d'une telle technique sont nombreux. Le drainage n'est plus limité à quelques mètres mais peut atteindre plusieurs kilomètres, dans la mesure où plusieurs puits verticaux étaient « accessoires », le puits horizontal est suffisant, permettant des économies d'échelle très importantes et limitant d'autant les frais d'exploitation.

Les puits à long déport sont un exemple des avancées techniques dans le domaine du forage. Alors qu'on obtient la géométrie exacte des réservoirs avec une marge d'incertitude de l'ordre de quelques mètres, par la prévision des études sismiques, la technique « *des puits horizontaux à long déport (plus de cinq kilomètres de déport horizontal) représentent un atout dans des zones écologiquement sensibles ou habitées et en mer. Ils permettent de restreindre le nombre de plate-formes et même de les supprimer dans certains cas en forant, depuis la côte, des champs situés en mer* »⁵².

1.3. Le développement de l'exploitation en mer

Dans le domaine du forage, le cas particulier de « *l'offshore* » doit être rappelé.

L'extraction du pétrole en mer n'est pas nouvelle. Elle a pris son essor à la fin des années 1970 par l'exploitation d'un gisement (celui de Cognac) dans le Golfe du Mexique. La profondeur atteinte était d'environ 310 mètres : le schéma de production était celui d'une plate-forme fixe.

L'amélioration constante des techniques a permis l'exploitation en mer profonde : au-delà de 1 000 mètres au début de la décennie 1990 (Marlin au large du Brésil) le schéma de production étant alors la plate-forme dite « semi-subsmerisible ». Depuis le milieu de la précédente décennie, le « très profond » est devenu une réalité. Ainsi fin 2002, des profondeurs de plus de 2 000 mètres étaient atteintes dans le Golfe du Mexique où ont été découvertes récemment des réserves récupérables de pétrole et de gaz de 3 à 15 Gbep (milliards de barils équivalent pétrole). Les très grands fonds (- 3 000 mètres) sont envisagés pour un avenir proche, notamment au large de l'Afrique de l'Ouest.

Le préalable à l'exploitation des pétroles profonds en mer est le développement de la recherche en géoscience. À cet égard, l'étude des processus sédimentaires sur les marges océaniques et celle de la formation des hydrocarbures du domaine océanique profond sont fondamentales. Ainsi qu'il est rappelé dans une présentation de l'IFREMER, pour qu'il y ait pétrole, il faut la réunion de trois composants : de la matière organique qui se décompose dans des conditions données de pression et de température et engendre ainsi les hydrocarbures. Cette matière étant enfouie, il faut ensuite que ce pétrole puisse migrer vers la surface, à des profondeurs accessibles. Il faut donc des failles. Enfin, il faut des pièges, c'est-à-dire, des roches poreuses qui s'imbibent de

⁵² « *Notre énergie en partage* », rapport sociétal et environnemental 2003, Total

pétrole, surmontées de couches imperméables formant ainsi des réservoirs. Sédimentologues, tectoniciens, géochimistes travaillent alors de conserve.

D'autres spécialités concourent également aux recherches *offshore*, notamment à l'occasion de phases ultérieures, les spécialistes des matériaux, d'océanométiéorologie, des géophysiciens apportent leurs connaissances.

De nombreux dispositifs sont inventés, par exemple dans le domaine de la sismique. Ainsi, l'IFREMER a mis au point et testé, au large de l'Afrique, une nouvelle sismique à des profondeurs de 4 000 mètres dont l'élément principal est naturellement l'antenne de réception linéaire, chargée d'enregistrer les informations, c'est-à-dire de mesurer les ondes acoustiques réfléchies. Cette antenne ou « flûte », longue de 4 500 mètres et d'un diamètre de 50 mm, est tractée par un navire et des transducteurs électroacoustiques, répartis sur chaque section (ou trace) de la flûte, mesurent l'onde acoustique réfléchi.

D'autres types de sismiques multitraces permettent de travailler sur des zones très restreintes : par exemple la sismique de très haute résolution (fréquences comprises entre 500 et 1 000 Hz) autorise une approche de l'ordre du mètre carré.

L'ensemble de ces techniques devrait permettre d'augmenter la surface sous marine à explorer de l'ordre de... 50 millions de km² : les réserves exploitables d'hydrocarbures pourraient alors être doublées.

Dans le domaine d'un forage en milieu marin, la recherche scientifique et technique poursuit plusieurs autres objectifs ; les uns touchent aux « instruments » eux-mêmes c'est-à-dire les plates-formes, les autres portent sur le comportement en milieu hostile.

La structure des premières plates-formes était en acier et elles étaient fixes. Au fil des avancées techniques, les plates-formes gravitaires, résistant par leur propre poids aux effets extérieurs ont été installées, par exemple, dans la mer du Nord. Puis les plates-formes flexibles sont apparues. Se sont ajoutées les plates-formes semi-submersibles ou à lignes tendues, convenant surtout pour les très grandes profondeurs. Les recherches actuellement menées, notamment par l'IFREMER, ont comme priorité de réduire la masse des systèmes sous-marins et de préserver la sécurité des installations.

Afin de pouvoir traverser l'eau, les différents tubes d'acier reliant la surface au fond de la mer deviennent trop lourds. Ils peuvent atteindre jusqu'à 2 000 tonnes de masse. Des recherches pour permettre de remplacer l'acier par des structures composites en carbone (ou en fibre de verre) si elles aboutissent devraient permettre de diviser la masse par deux. De même, les canalisations subissent, aux profondeurs envisagées, des pressions de plusieurs centaines de bars. On envisage de remplacer les systèmes actuels, peu adaptés, par un tubage expansible dont la plasticité permet d'optimiser la forme en fonction de la profondeur.

La recherche porte également sur la reconnaissance et la maîtrise du phénomène de comportement des fluides à très basse température. Au fond des mers où les températures sont proches de 0°C, les molécules de gaz (par exemple) sont « emprisonnées » dans des molécules d'eau glacée formant des bouchons dans les conduits de pétrole.

1.4. Le pétrole non conventionnel

a) Des réserves en quantité

On regroupe sous cette appellation des sources d'hydrocarbures qui ne sont ni accessibles ni, a fortiori, exploitables avec les méthodes traditionnelles.

On distingue plusieurs catégories d'huiles en fonction de leur densité, de leur viscosité ainsi que de la teneur en métaux lourds, soufre et azote.

Sont ainsi répertoriés :

- les huiles lourdes dont le degré API⁵³ est compris entre 10 et 20 ;
- les huiles extra lourdes, les bitumes et sables asphaltiques dont le degré API est inférieur à 10, correspondant à des poches dans lesquelles le pétrole formé a perdu ses éléments volatiles : les huiles ressemblent alors à une sorte de pâte grasse et collante, voire à un solide ;
- enfin, dernière catégorie, les schistes bitumineux qui désignent un mélange de roches et de kérogène (origine du pétrole) n'ayant pas subi de pyrolyse naturelle.

Ces ressources sont connues depuis longtemps⁵⁴ pour certaines d'entre elles, mais n'étaient pas exploitées compte-tenu, à la fois, d'impossibilités techniques et de conditions économiques empêchant une quelconque rentabilité.

Elles devraient cependant jouer un rôle à l'avenir dans la réponse à une demande en forte croissance. En effet, si leur part reste, aujourd'hui encore, modeste dans le bilan énergétique mondial, ces « huiles » représentent un potentiel énorme. Elles sont susceptibles de permettre un doublement du montant des réserves prouvées de pétrole.

Les volumes sont estimés à 4 700 milliards de barils. La répartition géographique de cette ressource supplémentaire diffère assez considérablement de celle des huiles conventionnelles. Plus de 60 % du pétrole non conventionnel est localisé sur le continent américain (essentiellement Canada 1 700 milliards de barils et Venezuela - bassin de l'Orénoque ; 1 200 milliards de barils) et 1 300 milliards de barils (plus de 27 %) sont localisés en Russie. Le Moyen-Orient, pour sa part ne récolterait « que » 135 milliards de barils. C'est

⁵³ Échelle de densité de l'« *American petroleum institute* ».

⁵⁴ Au XVIIIe siècle un explorateur du grand Nord Canadien remarquait que les Indiens calfeutraient leurs canoës avec du bitume naturel.

dire si la carte traditionnelle des ressources pétrolières se trouve sensiblement modifiée.

Le problème central est de savoir quelle part de la ressource pourra être réellement exploitée.

b) Des conditions techniques, environnementales et financières à leur exploitation

En effet, l'accroissement des réserves d'huiles lourdes et extra lourdes dans le bilan énergétique mondial est inséparable d'une maîtrise concomitante des émissions de gaz. Que servirait-il, effectivement, d'accroître les réserves potentielles si leur utilisation (après leur extraction et leur production) devait engendrer un surcroît excessif d'émission de CO₂ et autres gaz à effet de serre. Ce n'est qu'au prix de la mise au point de techniques performantes de désulfuration et de dénitrification des fumées de combustion des résidus, de techniques de séparation, capture et réinjection du carbone, non énergivores, que les huiles lourdes et extra lourdes apporteront leur part au bilan énergétique mondial du XXI^e siècle.

Cette question est à mettre en relation avec celle de la valorisation des gaz acides et résiduels, point que l'on évoquera dans les paragraphes relatifs au gaz.

Si l'exploitation actuelle est encore modeste et ne représente que 7 % de la production totale mondiale, de nombreux projets sont en cours de finalisation, tandis que d'autres sont en pleine réalisation. Il en est ainsi au Canada, notamment dans la province d'Alberta dans la vallée de l'Athabasca. L'extraction, sur le site de Syncrude, permet de produire l'équivalent de 270 000 barils/jour à partir de l'excavation et du traitement de sables asphaltiques.

Les sables asphaltiques sont composés à 70 % de sable et d'argiles, pour 10 % d'eau et jusqu'à 18 % d'huile. Par l'utilisation des techniques minières traditionnelles, 7 %, seulement, des huiles sont récupérables. Dès lors, des techniques dites *in situ* ont été développées. Il s'agit essentiellement de pomper directement l'huile après l'avoir liquéfiée et séparée des sables par injection de vapeurs dans les couches. Le « *Steam assisted gravity drainage* » est utilisé depuis plusieurs années déjà. Deux autres techniques apparaissent, l'une le « *fireflooding* » s'apparente à la précédente, l'autre l'électrovolatilisation consiste à recourir à l'énergie électrique laquelle (technique à l'air chaud) sépare l'huile du reste du sable et permet ainsi un pompage et donc l'extraction *in situ*.

Compte tenu des développements techniques ainsi réalisés, les coûts d'exploitation ont baissé d'une manière sensible. De vingt dollars le baril on est rendu à 12 voire 8 dollars, ce qui est à comparer, malgré tout, au coût de la production du pétrole conventionnel canadien (de l'ordre de 3 à 5 dollars).

Cependant les techniques traditionnelles comme celle de la vapeur nécessitent de recourir à du gaz naturel dans des proportions importantes : l'énergie dépensée peut atteindre de l'ordre de 15 à 20 % de l'énergie extraite. Les nouvelles techniques, « *fireflooding* » notamment, seront moins énergivores.

Les investissements requis sont importants. À titre d'exemple, les gisements de l'Alberta ont reçu depuis le début de la décennie 1990, plus de 11 milliards de dollars et plus de 20 milliards devraient être encore investis dans la décennie future. Au total, plus de 50 milliards de dollars ont été déjà investis au Canada et près de 20 milliards au Venezuela. Les techniques actuelles restent plutôt coûteuses, puisque l'exploitation de ces sources lourdes est deux fois plus capitalistique que celles des pétroles conventionnels de l'offshore profond, c'est-à-dire des pétroles les plus difficiles à récupérer. Néanmoins, et l'exemple de l'Alberta tend à le démontrer, par le développement des nouvelles techniques, les coûts ne cessent de décroître ; d'autant qu'il faut ajouter la proximité des marchés porteurs de l'Amérique du Nord.

Le recours à ces huiles lourdes, voire très lourdes, n'est pas sans conséquences d'un point de vue environnemental. Tous les spécialistes rappellent que la concentration de CO₂ est très importante (de l'ordre d'un facteur 10 par rapport au pétrole conventionnel).

Dans l'optique, du respect des clauses du Protocole de Kyoto ou en tout cas des principes qu'il contient, il y a lieu de s'interroger, au-delà des crédits d'émissions que certains pays producteurs pourraient se procurer, sur les effets mondiaux d'un recours à une telle source à très grande échelle. Les progrès que constitueraient les techniques de forage à puits horizontaux suffisent-ils à répondre aux craintes émises quant aux émissions de CO₂, sans parler également, des dommages locaux possibles par les énormes tonnages de sol à remuer.

2. Le gaz naturel

Les techniques employées pour rechercher et extraire le gaz sont identiques à celles utilisées pour l'autre hydrocarbure qu'est le pétrole.

Les recherches et les innovations spécifiques ont donc davantage porté sur le transfert/transport du produit, lequel requiert des infrastructures spécifiques et des techniques particulières.

Aujourd'hui, trois quarts des échanges mondiaux de gaz se font via des gazoducs – terrestres ou sous-marins. Cet état de fait explique aisément la nature régionale des échanges gaziers. Le quart restant fait l'objet d'échanges mondiaux. Dans ce cas, le gaz est liquéfié afin de le compacter. Plus le gaz est léger, plus les températures à atteindre pour une liquéfaction sont importantes : par exemple dans le cas du méthane celui-ci doit être maintenu à - 160° C. La recherche sur les matériaux a porté pendant longtemps son effort sur la fabrication d'aciers résistants à cette température. Parallèlement, rappelle

M. Bauquis⁵⁵ de nouveaux procédés de liquéfaction apparaissent, entraînant une division des coûts par deux, permettant la généralisation de la chaîne de liquéfaction ; c'est-à-dire l'ensemble des installations fixes, des navires spécialisés et des terminaux.

À cet égard des innovations parmi les plus importantes ont eu lieu dans la construction des bateaux spécialisés que sont les méthaniers (méthaniers à cuves autoporteuses ou méthaniers à cuves membrane, par lesquelles les réservoirs sont isolés de la coque du navire lui évitant ainsi d'être soumise aux très basses températures).

Des innovations ont aussi porté sur les installations fixes qui comportent à la fois des « outils » de déchargement, de stockage et de « revaporisation » (c'est-à-dire permettent de regazéifier le GNL)⁵⁶...

D'autres recherches sont en cours pour envisager un jour l'extraction des hydrates de gaz, composés à base d'eau (les molécules d'eau sont assemblées en cages : les clathrates) et de méthane. Très absorbants ils se forment dans les sédiments marins ou dans le sous-sol du permafrost. Un centimètre cube d'hydrate de gaz libérerait 164 cm³ de méthane. Les services géologiques américains estiment à quelque 20 milliards de Km³ la quantité de méthane présente dans le sous-sol. Un projet européen « hydrotech » a vu le jour depuis 2001, auquel l'IFREMER participe. Un projet international (« Mallick ») est en œuvre dans les territoires nord canadien, a réussi à recueillir du méthane fin 2003.

Si la part du gaz naturel doit croître de manière aussi importante, un des « mérites » pourrait en revenir à la « cogénération » laquelle présente des avantages à la fois économiques et environnementaux dans les usages industriels où elle est performante et qui peut répondre aux besoins en « base » et « semi base » et qui autorise le développement de la production décentralisée d'électricité. Si cette technique a une très bonne efficacité énergétique, elle n'est pertinente que là où la consommation de chaleur est forte et régulière tout au long de l'année. La cogénération est pourtant portée par une directive européenne⁵⁷, celle-ci considérant que son développement devrait constituer une « priorité communautaire », répondant ainsi à une préoccupation du Parlement européen, et faisant observer que la cogénération est un élément intéressant, participant aux réponses au Protocole de Kyoto. Au-delà de la cogénération, pour les décennies postérieures à 2030 les cycles combinés de gazéification intégrée sont attendus. Avec un rendement moindre, ils ont l'avantage que leurs deux process se cumulent pour produire de l'électricité. À l'horizon 2050, le gaz encore abondant (relativement par rapport au pétrole) et probablement toujours

⁵⁵ Pierre-René et Emmanuelle Bauquis, « *Comprendre l'avenir - pétrole et gaz naturel* » éditions Hirle 2004.

⁵⁶ 1 m³ de GNL donne environ 600 m³ de gaz à l'état « gazeux » et à pression atmosphérique.

⁵⁷ Directive n°2004/8/CE du 11 février 2004 « *concernant la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile* ». Cette directive doit être transposée en droit interne au plus tard le 1^{er} janvier 2010.

meilleur marché que « l'autre » hydrocarbure, devrait s'assurer une place « enviable » dans les bilans énergétiques – particulièrement sous la forme de la cogénération et les cycles combinés.

Il semble que la petite cogénération devrait être privilégiée (tranche de 0 à 12 Mw), sans pour autant faire la « part belle » à la micro cogénération (par des microturbines) dont le marché dans des pays similaires au nôtre, est en régression.

3. Le charbon

Il est plus que probable qu'une partie importante des industries dans le monde continuera à utiliser la filière charbon, parallèlement au gaz naturel et à certaines énergies non renouvelables. Dans cette configuration « industrielle » le coût de combustion est d'autant plus réduit que l'installation est importante. Ces grandes installations devraient alors brûler du charbon selon deux techniques : la combustion sous forme pulvérisée et en lit fluidisé.

Si la filière pulvérisée domine actuellement, les recherches doivent être poursuivies afin d'optimiser la combustion de n'importe quel charbon. Au-delà, souligne un rapport conjoint de l'Académie des sciences et du CADAS de 1997⁵⁸ « l'amélioration des rendements passe par la maîtrise des unités fonctionnant en régime supercritique, c'est-à-dire avec de la vapeur atteignant 600° C sous 270 bars. De telles performances sont accessibles grâce aux progrès réalisés dans le domaine des matériaux... ». La mise au point de techniques permettant l'épuration des fumés serait de nature à faciliter le recours au charbon en grande quantité.

La filière dite de charbon à lit fluidisé consiste en la combustion du charbon à basse température permettant de piéger le SO₂ par ajout de calcaire. De plus les émissions de NO_x sont plus faibles. Si certains pays, dont le nôtre, possèdent des unités expérimentales, en particulier à Gardanne, pour l'instant le rendement en lit fluidisé est plus faible que celui de la filière pulvérisée. Les recherches doivent être poursuivies afin de permettre un recours aux cycles supercritiques pour cette filière.

Au-delà de la combustion que nous venons d'évoquer, l'intérêt se porte sur les cycles combinés intégrés : c'est-à-dire la gazéification du charbon. Elle se porte aussi, mais pour un avenir plus lointain, sur la conversion du charbon essentiellement en carburant. Le CME estimait qu'en 2050, de l'ordre de 500 millions de tonnes de charbon, pourraient être convertis et donc consommés. Les différents chocs pétroliers ont montré l'intérêt de cette technique et des recherches à mener dont l'effet premier devrait être de diminuer les coûts de la conversion. Il semblerait qu'à l'heure présente, seul le Japon mène un effort de recherche significatif dans ce domaine.

⁵⁸ « La recherche scientifique et technique dans le domaine de l'énergie », rapport commun de l'Académie des sciences et du CADAS – juin 1997.

4. Le nucléaire

La demande mondiale d'électricité devrait croître, selon toute vraisemblance, d'ici à 2050 de manière extrêmement importante. Si l'on suit l'agence internationale de l'énergie, le secteur de la production, transmission et distribution d'électricité, absorberait 60 % des investissements totaux requis : de l'ordre de 10 000 milliards de dollars à l'horizon 2030. Le montant des investissements, pour les trente années à venir, serait trois fois supérieures (en termes réels) à ceux réalisés durant les trente dernières années. Une part non négligeable pourrait être investie dans le nucléaire.

La préparation de ce futur impose un approfondissement de la recherche, vers de nouveaux réacteurs, notamment ceux de la quatrième génération.

4.1. La génération IV

La formalisation de l'idée de la génération IV revient au Secrétaire américain de l'énergie M. Spencer Abraham lorsqu'il annonça le 23 juillet 2001 la formation du « *Generation IV International Forum* » (GIF) ayant comme but de constituer un cadre de réflexion et de coopération internationale sur la prochaine génération de réacteurs nucléaires et les nouvelles technologies relatives au cycle du combustible nucléaire.

Dix pays se sont rapidement cooptés : Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Corée du Sud, États-Unis, France, Japon, Royaume-Uni, Suisse. Euratom est le onzième membre, l'Agence internationale de l'énergie atomique, l'OCDE, la Commission européenne participent en tant qu'observateurs aux travaux.

Les travaux du GIF ont porté, dans la première année de l'existence effective du groupement, sur la définition et la fédération de la recherche sur les réacteurs nucléaires du futur, c'est-à-dire sur ceux qui devraient succéder à l'actuelle génération, sans, cependant, la concurrencer. Il s'agit, donc, de promouvoir la recherche pour un horizon de mise en service que l'on peut situer au-delà de 2040/50. Les réacteurs devraient répondre à plusieurs conditions.

La première est de s'inscrire dans une perspective de développement durable, c'est-à-dire qu'ils devront répondre à un souci d'économie des ressources naturelles, produire beaucoup moins de déchets à vie longue, avoir une sécurité renforcée et une rentabilité accrue en étant compétitifs par rapport aux filières gaz ou charbon.

La seconde est de répondre à des applications autres que la production d'électricité, c'est-à-dire avoir une « aptitude » à la cogénération) et à la production d'hydrogène. Ils devront, en outre, répondre à un souci d'économie « générale » - le GIF a fixé un coût d'investissement inférieur à 1 000 dollars/kwe - associé à un temps de construction inférieur à 5 ans et un coût global limité à 2 à 3 cents/kWh.

L'effort international de recherche est d'une ampleur visiblement inusitée. Ainsi, les membres du Forum « génération IV » se sont-ils répartis les voies de recherche selon leur expertise et leur intérêt parmi six systèmes sélectionnés :

- réacteurs rapides à caloporteur sodium ;
- réacteurs à caloporteur alliages de plomb ;
- réacteurs à très haute température ;
- réacteurs à neutrons rapides à caloporteur gaz ;
- réacteurs à eau supercritique ;
- réacteurs à sels fondus.

Pour sa part, la France, représentée dans le « GIF » par le CEA, concentre ses efforts sur les « hautes températures » et « les réacteurs à caloporteur gaz », tout en maintenant son intérêt et son expertise sur les systèmes à neutrons rapides à caloporteur sodium, utilisant l'expérience acquise par le CEA sur les réacteurs à gaz et celle sur Phénix et Superphénix depuis une trentaine d'années.

Les chercheurs français travaillent notamment sur une nouvelle filière : les Réacteurs à sels fondus (RSF) régénérateurs associés au cycle du thorium. La filière du thorium semble prometteuse car elle générerait moins de déchets nucléaires ; d'autre part, les réserves de thorium sont très importantes.

Selon les informations en notre possession, dans le domaine des réacteurs à haute température à neutrons thermiques, un pilote pourrait être mis en service au milieu de la décennie 2011/2020 ; un démonstrateur industriel pourrait se concevoir au milieu de la décennie suivante.

L'hypothèse de l'émergence d'une série à la fin de la décennie 2030 paraîtrait optimiste. Selon le CEA, un calendrier plus rapide n'apparaît pas crédible, dès lors qu'il s'agit là d'une technologie tout à fait nouvelle, voire de rupture.

Pour leur part - d'un point de vue strictement scientifique - les réacteurs à neutrons rapides pourraient voir une série industrielle lancée à l'horizon 2040-2050.

Les deux systèmes que notre pays développe répondent, chacun pour ce qui le concerne, à certaines des prescriptions évoquées : la technologie « haute température » répond aux objectifs de compétitivité par rapport aux meilleures filières gaz ou charbon ainsi qu'aux objectifs de couplage thermique à d'autres activités industrielles que l'électricité ; la technologie à neutrons rapides et du recyclage, permet une économie de la matière première que représente l'uranium, l'utilisation du plutonium et la réduction dans une forte proportion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue.

Les réacteurs de la génération IV supposent assez essentiellement, pour être mis en œuvre, qu'un certain nombre de verrous technologiques soient ouverts. Le rapport de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, déjà évoqué, en a dressé une liste non exhaustive, comme la

capacité des matériaux à résister à des températures de 900°C (voire de 1 650°C en conditions accidentelles) et qui n'existent pas encore. Il en va de même des turbines et de leur fiabilité sur le long terme alors qu'elles devront fonctionner à des températures de 900°C en continu pendant une année complète. De même, on ne sait pas encore réaliser des échangeurs thermiques à 1 000°C (dans le cas des systèmes « à sels fondus »).

Le rapport de l'Office relève également les défis offerts par les combustibles ; lesquels devront être enrichis à des teneurs supérieures aux 5 % d'uranium 235 (qui sont la règle dans les réacteurs à eau pressurisée en service).

Selon le CEA, il faudra « qualifier », pour les cuves des réacteurs en acier « réalisable » et « soudable » en forte épaisseur, des matériaux réfractaires comme certaines céramiques ou des composites à matière céramique, renforcée par du métal, pour la structure du cœur des réacteurs. Certains procédés de fabrication pour ces matériaux futuristes sont résolument eux-mêmes innovants.

4.2. Au-delà : de la fission à fusion

Il s'agit là de la poursuite d'une très vaste ambition et l'idée de reconstituer, de façon contrôlée, la réaction thermonucléaire de fusion des atomes d'hydrogène qui anime le soleil, n'est pas nouvelle.

Jusqu'à présent, parmi les deux réactions utilisées pour produire de l'énergie nucléaire, seule la fission est parvenue à maturité dans le domaine civil.

La réaction par fission se caractérise par la production, à partir d'un noyau lourd (uranium ou plutonium) de deux noyaux de masse intermédiaire.

Au moment de la fission une énergie de l'ordre de 185 MeV est dégagée. Une autre énergie, de l'ordre de 15 MeV, est produite ultérieurement. Au total, la fission « produit » environ 200 MeV. La fission d'un kilogramme d'uranium 235, fournit de l'ordre de l'équivalent de 1 900 tep.

La fusion est l'autre principe de réaction. L'énergie dégagée par la fusion de noyaux très légers, particulièrement les deux isotopes de l'hydrogène que sont le deutérium et le tritium, formant ainsi un noyau d'hélium 4 et libérant ainsi un neutron, est beaucoup plus importante.

La maîtrise de la fusion suppose de concevoir et construire une installation particulière confinant la matière, sous forme de plasma, à une température supérieure à cent millions de degrés centigrades : un « Tokamak » (boîte énergétique de forme torique).

Dans le plasma, la fusion libère de l'énergie ; les matériaux qui entourent le plasma, absorbent les neutrons et accumulent la chaleur à convertir en électricité.

La fusion présente de nombreux avantages. D'une part, le combustible est abondant : en effet, les « éléments » de base que sont le deutérium et le tritium peuvent être extraits de l'eau de mer. En principe, le fonctionnement du réacteur est sûr. Enfin, il est possible de recycler les matériaux constitutifs.

Les travaux sur la fusion ont commencé dès l'aube de l'aventure nucléaire civil : dans les années 1950. Plusieurs Tokamaks ont été construits. Ainsi, le « *Joint European Toruss* » (JET) issu d'une initiative communautaire a-t-il été mis en service en 1975, tandis qu'en France le CEA construisait à Cadarache le réacteur « *Tore-supra* ».

Le projet « *International thermonuclear experimental reactor* » (ITER) est donc un tokamak, devant démontrer la faisabilité de la fusion. Il devrait être suivi d'un réacteur de démonstration/production d'électricité. L'industrialisation du projet n'est pas envisagée avant la fin de la seconde moitié du siècle, voire le début du suivant.

L'idée d'une coopération internationale de cette envergure est née au milieu de la décennie 1980, lorsque l'URSS l'a proposée. Une réponse favorable fut faite en 1986 par les États-Unis, le Japon, l'Europe (à laquelle, le Canada s'est associé), sans omettre l'égide de l'AIEA.

Après une phase d'étude de faisabilité ayant duré plus de dix ans, pour des raisons internes, les États-Unis se sont retirés de l'aventure, laissant les autres États poursuivre les recherches de la meilleure configuration.

Au début 2003, les États-Unis et la Chine ont rejoint le projet. Les derniers développements ont été marqués par un intense débat diplomatique concernant le choix du lieu d'implantation du réacteur expérimental, ainsi que le périmètre des collaborations internationales. Après plus de deux ans de négociations, le site de Cadarache a été choisi pour l'installation du réacteur de recherche (décision du 28 juin 2005).

B - LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Le récent rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques auquel on a déjà fait référence dresse un état des lieux particulièrement complet, à la lumière, notamment, de la position communautaire et de sa focalisation sur la question électrique.

L'office rappelle d'emblée que l'utilité des énergies renouvelables « *ne se résume pas à la production d'électricité, bien au contraire - la production de chaleur... figure parmi les applications où ces énergies sont les plus performantes* »⁵⁹, ce rapport l'a, lui-même, déjà rappelé. Chacune des « filières » doit être analysée, une fois la distinction entre les diverses applications faites, pour ce qui est de sa contribution au bilan énergétique national.

Une approche identique est celle retenue par le rapport sur « *les nouvelles technologies de l'énergie* » élaboré sous la présidence de M. Thierry Chambolle, en 2003. Elle se retrouve également dans les rapports du « Comité des sages » à l'occasion du débat national sur les énergies de 2003.

⁵⁹ Rapport op.cit.

La filière électrique apparaît davantage en devenir et nécessite de résoudre quelques obstacles à la fois techniques et économiques : techniques, comme dans le grand éolien : la course à la puissance unitaire suppose réglée, par exemple, la contrainte en terme de vitesse de rotation du rotor (celui-ci dans certains projets, peut atteindre un diamètre de 110 mètres, voire 125 m (en prototype, pour une dimension de mât de l'ordre de 150 mètres) ; économique, quant au coût d'investissement des appareils et du kWh produit qui n'est pas garanti.

Il en va de même dans la production d'électricité par la biomasse, à quelques exceptions dont le cas de la bagasse dans l'Outre-mer. Le rapport de l'office relève, en effet, qu'il s'agit d'une production économiquement rentable. Ainsi, la centrale thermique du Moule en Guadeloupe produirait le tiers de l'électricité du département à partir de la bagasse et du charbon.

Il apparaît, au contraire, que les techniques déjà employées dans la filière « chaleur » ont apporté des réponses plus que satisfaisantes, qu'il s'agisse de la géothermie basse température et des réseaux de chaleur, du solaire thermique, des pompes à chaleur, sans oublier de la biomasse dont il est dit qu'elle offre un ensemble de perspectives prometteuses.

Malgré cela, le développement de la filière chaleur reste à promouvoir. Le rapport de l'Office met en évidence les succès rencontrés par la géothermie basse température et les réseaux de chaleur. La technique est maîtrisée, les performances économiques sont intéressantes. Il reste à reprendre à la fois la prospection et à réussir le passage à une véritable « industrialisation ».

Le solaire thermique, avec ses deux techniques - le chauffe-eau solaire et le plancher solaire direct - est technologiquement mûr. Il reste, là aussi, à le développer industriellement : ce qu'a fait l'Espagne par une politique volontaire et ce que tente de faire l'ADEME avec le plan « Hélios ».

C'est naturellement dans les bâtiments que ces formes d'énergie sont d'un usage le plus intéressant.

Les recherches sont diversement concernées, selon les énergies.

➤ La petite hydraulique⁶⁰ participe encore modestement à la production mondiale d'électricité : de l'ordre de 1 %. Cependant, son potentiel serait significatif. Ainsi, au cours de la précédente décennie sa production d'électricité a crû plus vite que la production mondiale d'électricité ou que celle de la grande hydraulique. Il s'agit d'une énergie mature, pour laquelle la maîtrise technique est importante. La France compte une certaine avance dans le savoir-faire, issu de plus d'un siècle d'expérience dans les turbines notamment. Or, de nombreux pays en développement, comme la Chine, par exemple, révèlent des potentialités très importantes de développement. À n'en pas douter, sur le territoire national

⁶⁰ Il s'agit d'installations produisant une puissance électrique de quelques kilowatts jusqu'à, en France, un maximum de 12 mégawatts, à partir de chutes de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres... cf. J.L. Richard : Le cas de la petite hydroélectricité, *Revue de l'énergie* (Op-cit).

aussi, la petite hydraulique a un rôle certain à jouer, d'autant que pour la grande hydraulique la plupart des emplacements sont déjà pourvus.

Si la maîtrise de la technologie des turbines est déterminante dans le développement de l'hydraulique, les connaissances hydrologiques le sont tout autant, l'utilisation la plus rationnelle possible et respectueuse de l'environnement des ressources d'un bassin suppose la réunion de plusieurs spécialités : géologique, géographique, etc...

➤ Les biocarburants. Ils constituent un élément de la filière biomasse et forment une filière industrielle. Il s'agit de carburants produits à partir de matières premières renouvelables d'origine agricole. Il existe deux types de biocarburants : le bioéthanol pour les moteurs à essence (produit à partir de betteraves, blé ou maïs) et l'EMHV (ester méthylique d'huile végétale) pouvant se substituer au fioul ou au gazole (produit à partir d'huile végétale de colza, tournesol, soja, etc.).

Les biocarburants peuvent être utilisés très facilement dans les transports et ce de plusieurs façons.

Le bioéthanol est utilisable soit :

- par incorporation directe dans l'essence en faible proportion (entre 5 et 25 % selon la réglementation propre à chaque pays) sans modification des moteurs ;
- par incorporation indirecte sous forme d'ETBE (ethyl tertio butyl ether) ajouté à l'essence. L'ETBE est composé à 49 % de bioéthanol et 51 % de produits pétroliers et son mélange à l'essence ne nécessite aucune modification des moteurs ;
- sous forme de E85 qui est un mélange composé de 85 % d'éthanol et de 15 % d'essence permettant d'alimenter les moteurs de voitures dites flex fuel (FFV pour flex fuel vehicles). Ces véhicules possèdent un moteur fonctionnant indifféremment avec toutes les concentrations d'éthanol comprises entre 0 et 85 %.

L'EMHV peut être incorporé dans le gazole, jusqu'à 30 %, sans modification des moteurs.

➤ L'énergie solaire est, par définition, abondante et, à l'échelle humaine inépuisable. Cependant elle est dispersée et intermittente. La question essentielle est alors de capter et de convertir cette énergie.

On distingue deux, voire trois, voies possibles.

La conversion peut être thermique pour des applications à l'habitat mais pas seulement, (on pense, par exemple à des fours de cuisson solaire ou à la distillation des eaux de mer ou saumâtres), ou thermodynamique, pour la production d'électricité ou le pompage de l'eau...

La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire constitue une autre forme (la deuxième ou la troisième) originale, par photopiles ou par cellules qui transforment la lumière en électricité, qui est stockée soit dans des batteries, soit convertie par un onduleur pour être distribuée sur le réseau.

Une filière se met en place. Il apparaît, cependant, qu'un facteur limitant la faisabilité du système photovoltaïque est l'adéquation entre la qualité d'énergie dont on a besoin et les possibilités de la ressource. En appoint ou ponctuellement il s'agit d'une technique rentable : ainsi, les besoins domestiques liés à un niveau de confort moderne nécessitent des installations de l'ordre du m²⁶¹. Il en va différemment lorsqu'il faut répondre à une demande à forte intensité énergétique. Au-delà, le « solaire photovoltaïque » peut être utilisé et l'est de plus en plus, en injection d'électricité sur un réseau électrique : il s'agit de ce qu'on peut appeler « *l'électricité au fil du soleil* » dont le marché se développe aux États-Unis, au Japon et, principalement en Europe, en Allemagne et en Suisse, d'autant que les prix de revient, pas encore compétitifs baissent régulièrement.

La production de chaleur est directe ou non. Dans ce cas, on utilise une pompe à chaleur qui permet de transférer de l'énergie d'un niveau à basse température à un niveau plus élevé. Ce transfert consomme moins d'énergie que le total restitué par la pompe à chaleur, ce qui permet une économie globale d'énergie « primaire ».

La chaleur provient du régime thermique interne de la Terre qui se traduit par un flux permanent correspondant, en moyenne, à un gradient de 1°C par 30 mètres. Ainsi, à moins 2 000 mètres, la température des couches atteint 60 à 70°C.

➤ La géothermie. L'exploitation des nappes d'eau souterraines chauffées par les roches nécessite des forages doubles : l'un pour puiser cette eau, l'autre pour la réinjecter, une fois utilisée. Cette eau est, très souvent, salée et chargée en sels minéraux et ne peut être rejetée dans le réseau fluvial, au risque de bouleversements environnementaux importants.

De nombreuses solutions techniques ont été recherchées et trouvées, permettant une utilisation proche du seuil de rentabilité de cette énergie, que ce soit à basse température ou à haute énergie.

Dans certains pays dont la situation est favorable - l'Islande, la Nouvelle-Zélande, l'Italie - la géothermie est d'usage industriel. Dans notre pays, comme pour beaucoup d'autres énergies renouvelables, les mouvements erratiques du prix du baril de pétrole et la fiscalité ont eu une influence forte sur l'évolution de la géothermie.

L'exploitation de la ressource a connu un succès certain dans le bassin parisien mais aussi en Alsace.

⁶¹ *Clefs CEA*, n°44 (hiver 2000-2001).

Dans cette dernière région, les roches souterraines fracturées, situées à - 5 000 mètres, atteignant une température de 200°C, sont exploitées. L'eau, transformée en vapeur, est récupérée pour produire de la chaleur et de l'électricité. Cependant, le stade expérimental n'est pas encore dépassé, alors que selon des experts⁶² « l'énergie libérée par un bloc rocheux de 1 km³ permettrait de satisfaire aux besoins annuels de chauffage de 350 000 logements ».

➤ L'éolien. Notre pays a été l'un des premiers dans la période contemporaine où des études systématiques ont été réalisées sur le vent, dans le but d'en établir une exploitation possible comme énergie complémentaire. Ainsi, dès la fin du second conflit mondial, EDF a engagé des recherches importantes. La construction d'aérogénérateurs (c'est-à-dire fabricant de l'électricité) a dépassé le stade du projet. De grandes machines à hélices ont été construites et ont fonctionné dès les années 1960 (par exemple à la station de Nogent-le-Roi entre 1958 et 1963). Comme pour beaucoup des formes d'énergie, le prix du baril de pétrole a pesé sur la poursuite des efforts entrepris. Jusqu'au premier choc pétrolier, il s'est avéré plus rentable de tabler, essentiellement, sur les ressources fossiles pour développer l'économie et améliorer le bien-être des populations.

L'axe de l'éolienne est soit vertical soit horizontal (le plus répandu). L'objectif est de capter à l'aide de pales ou d'hélices l'énergie des masses d'air atmosphériques qui se déplacent des hautes, vers les basses pressions. L'énergie cinétique est alors transformée en énergie mécanique.

Schématiquement, l'énergie éolienne « naturelle » ne se retrouve qu'en partie disponible sur l'axe : il s'agit de l'énergie dite utile. Le rendement de l'éolienne est le rapport entre l'énergie utile et l'énergie éolienne.

Par ailleurs, comme l'énergie récoltée varie très sensiblement avec la vitesse du vent et que la puissance varie avec le cube de la vitesse, si le vent tombe de moitié, la puissance tombe au huitième et devient négligeable.

Afin d'éviter les sautes de vent, se développe de l'éolien offshore, c'est-à-dire que l'idée de placer les appareils dotés de turbines de plus en plus puissantes en pleine mer fait son chemin. Pour beaucoup d'acteurs et d'observateurs du secteur, l'éolien « offshore » est le plus adapté à une croissance durable du marché, ne serait-ce que parce que le vent est à la fois plus fort et, surtout, plus régulier que sur terre.

➤ L'énergie des mers. L'énergie dégagée par les vagues et les marées est inépuisable. Elle a connu un certain succès dans les années soixante et dix, puis a été abandonnée. Elle semble renaître aujourd'hui, notamment depuis que la Commission européenne a lancé un programme de recherche consacré aux énergies marines. Parallèlement, les États-Unis ont un projet d'exploitation du Gulf Stream, mettant en jeu 400 turbines sous-marines d'un diamètre de

⁶² Conseil économique et social d'Alsace, « *Les énergies renouvelables en Alsace : diagnostic et perspectives de développement* », septembre 2003.

30 mètres. Dans le cadre européen, le stade est toujours celui de la recherche. Ainsi parmi les prototypes marémoteurs doit-on citer les « hydroliennes », utilisant l'énergie linéique des courants marins.

C - CAPTURE ET STOCKAGE DU CO₂

La réduction des émissions de gaz à effet de serre constitue un enjeu majeur et aucun des scénarii économiques et donc énergétiques envisagés à l'horizon de 30 à 50 ans voire plus loin, n'est véritablement tenable pour l'humanité si une solution de séquestration du plus répandu d'entre ces gaz - le CO₂- n'est pas trouvée.

Tels étaient, en substance, les propos tenus par M. Olivier Appert lors de son audition par la section ; propos qui sont ceux tenus autant par la communauté scientifique que par les différents décideurs politiques et économiques.

Au demeurant, la séquestration du carbone n'est, naturellement, pas la parade exclusive face aux menaces contenues par un réchauffement climatique. Il s'agit cependant d'un élément important surtout si, comme il y a tout lieu de le penser, le charbon redevient d'actualité.

Les océans constituent le premier puits naturel du carbone. Il est cependant peu concevable de vouloir accroître leur part relative dans la mesure où le résultat pourrait s'avérer particulièrement néfaste pour un milieu à l'équilibre extrêmement fragile ; point particulièrement évoqué par le GIEC dans un rapport spécifique sur le piégeage et le stockage du dioxyde de carbone en 2001⁶³.

Si donc, comme le soulignait M. Appert, le stockage du carbone, après liquéfaction, à de très grandes profondeurs d'eau semble « voué à l'échec » en raison, notamment, de sa faisabilité et de son acceptabilité par l'opinion publique « *compte tenu des précédents refus de stockage en mer de produits chimiques ou de déchets radioactifs* », il existe d'autres possibilités dans les sites géologiques, mais elles comportent encore de nombreuses incertitudes scientifiques et techniques.

Les travaux les plus couramment envisagés, qui font l'objet d'une recherche de plus en plus importante, concernent la séquestration du carbone et son stockage sous la terre.

Ces sites peuvent être des gisements existants : gisements de charbon, de pétrole, de gaz ; des dômes de sels, d'autres formations comme les aquifères profonds...

À cet égard, les formations disponibles, permettent un stockage de CO₂ sont très répandues et, selon les spécialistes, leur capacité correspond à plusieurs décennies d'émissions mondiales. Au total le potentiel des différents « sites » possibles est estimé entre 1 000 et 10 000 Gt (milliards de tonnes) de CO₂. La marge d'incertitude est, on le voit, assez large. Des projets ont déjà vu le jour,

⁶³ Voir également « *Les nouvelles technologies de l'énergie et la séquestration du dioxyde de carbone* » ; Christian Bataille, Claude Birraux, OPECST, mars 2006.

notamment au Canada, en Norvège, aux Pays-Bas, etc. Dans le cas de ce dernier pays, le gouvernement néerlandais a retenu un projet de Gaz de France (projet OMC : offshore injection of CO₂). Le projet vise à séquestrer du CO₂ par 3 500 à 4 000 m de profondeur dans un gisement de Gaz de France production Nederland (PRONED). Après une phase pilote à plein régime près de 500 000 tonnes de CO₂ pourraient être stockés chaque année.

La question essentielle est alors celle de la capture du CO₂.

La capture sera d'autant plus rentable et aisée qu'elle sera opérée auprès d'un point d'émission industriel et concentré : centrale électrique, cimenteries, aciéries...

Diverses techniques pourraient être mises en œuvre pour cette capture : post-combustion, c'est-à-dire le traitement des fumées dans lesquelles les concentrations en CO₂ sont faibles ; la décarbonation précombustion (combustion d'hydrogène produit par vaporefermage et capture du CO₂) et à horizon plus proche l'oxycombustion (combustion à l'oxygène).

Le traitement des fumées post-combustion participe de techniques déjà connues, comme celles du lavage. Le traitement précombustion appliquée, par exemple, à la production d'électricité prévoit de transformer le combustible fossile en hydrogène en isolant au passage le CO₂. Les recherches doivent permettre de réduire les coûts.

La séquestration du CO₂ met en œuvre depuis quelques années un ensemble de réseaux de recherche tant aux États-Unis qu'en Europe et au Japon.

À cet égard, les États-Unis sont à l'origine de quelques initiatives, s'appuyant sur une augmentation du budget du DOE. Une centrale à charbon, dite zéro émission (Futuregen), est annoncée et une initiative internationale « *carbon sequestration leadership forum* » a été lancée.

L'intérêt porté par les États-Unis à cette question n'a pas manqué d'avoir des répercussions dans l'Union et notamment ses industriels qui en sont à réclamer un soutien équivalent. Les deux plus récents PCRD soutenaient des initiatives de recherche dans ce domaine. Il reste à poser la question de l'avenir de la technique de la capture et du stockage de CO₂. On peut suivre l'AIE lorsqu'elle dresse la liste des facteurs dont dépend cet avenir :

- la demande future en énergie ;
- le degré requis de réduction des émissions de CO₂ ;
- l'attractivité de ces technologies par rapport à d'autres options de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

À ces interrogations s'en ajoutent d'autres dont l'AIE s'est également fait l'écho dans un rapport d'évaluation du potentiel des technologies de capture et de stockage du CO₂ d'ici à 2050. On trouvera ci-après quelques interrogations/réflexions, de l'Agence internationale de l'énergie, synthétisées par la DGEMP :

- « du fait des difficultés qui restent à surmonter, les technologies de Capture et stockage du carbone (CSC) ne permettront pas de réductions sensibles des émissions au cours des dix prochaines années ;
- leur application pour du rétrofit d'installations existantes semble improbable, au moins dans un premier temps ;
- les technologies de CSC apparaissent comme des technologies « de transition », dans l'attente de progrès significatifs par exemple dans le domaine des énergies renouvelables ;
- la CSC pourrait cependant jouer un rôle majeur, au plan mondial, dans la période 2025-2050, en permettant de limiter la croissance des émissions ;
- dans les scénarii les plus favorables à la lutte contre l'effet de serre (effort mondial coordonné, à hauteur de 50 dollars par tonne de CO₂), on imagine jusqu'à une dizaine de milliards de tonnes de CO₂ stockées par an, à l'horizon 2050 (à comparer à des émissions mondiales de 70 milliards de tonne par an, à l'horizon 2050, dans le « scénario de référence ») ;
- les investissements de CSC se feraient en majorité dans le secteur de la production électrique ;
- l'investissement additionnel dû à la mise en œuvre de technologies de CSC se chiffre en centaines de milliards d'euros (sur l'ensemble de la période et au niveau mondial), dans les scénarii les plus favorables à la lutte contre l'effet de serre. Il concerne aussi bien des installations fonctionnant au gaz naturel que des installations fonctionnant au charbon ;
- en cas d'efforts moindres, l'application des technologies de CSC se concentre plus sur les centrales au charbon ».

Malgré ces difficultés, l'enjeu de ces travaux est tel que les recherches doivent impérativement se poursuivre, voire s'accélérer.

III - QUEL APPORT DE LA RECHERCHE, POUR UNE UTILISATION FINALE PLUS ÉFFICACE DE L'ÉNERGIE : LE CAS DE LA FRANCE

A - DANS LE DOMAINE DE LA CONSOMMATION

Les comportements individuels de consommation sont déterminés assez essentiellement par les prix. Ceux des États, le sont également, dans une large mesure. D'autres motivations entrent, aussi, en ligne de compte. Ainsi en est-il de la volonté d'assurer son indépendance énergétique ou, du moins, une moindre dépendance et souvent, par là, la compétitivité globale de l'économie ; ainsi en est-il aussi de l'affirmation du concept de développement durable : les

préoccupations intergénérationnelle, sociales et environnementale étant alors présentes. Ces préoccupations ne sont pas alternatives, elles peuvent, au contraire, se cumuler.

1. Des économies d'énergie à la maîtrise de l'énergie.

La politique énergétique développée par la France comme par ses principaux partenaires se caractérise par la recherche perpétuelle du bon « *policy-mix* » ou d'un mixte énergétique permettant d'assurer à la fois l'indépendance nationale et le soutien de l'expansion économique.

2. Jusqu'en 1973 une énergie abondante et bon marché

Durant les années de reconstruction puis de prospérité qui suivirent la seconde guerre mondiale, notre pays s'est progressivement orienté vers le pétrole dans la mesure où cette ressource était peu chère et largement disponible.

Néanmoins le paysage énergétique national du début des années 1950 était encore largement dominé par le charbon, tandis que le gaz poursuivait son expansion avec ses « *usines qui fleurissaient dans les périphéries urbaines* »⁶⁴. Parallèlement les pouvoirs publics avaient décidé la construction d'un nombre important de barrages pour développer l'hydroélectricité comme source locale d'énergie.

Durant cette période, la problématique liée aux économies d'énergie n'était abordée que pour répondre, comme le soulignait en 1952 un rapport du Conseil économique, aux deux impératifs suivants :

- la réduction du déficit de la balance commerciale nationale, dont la plus grande partie provient des importations d'énergie ;
- l'accroissement maximum des ressources énergétiques à moyen terme, compte tenu des possibilités limitées d'investissement.

Cette logique a perduré jusqu'en 1973, date du premier choc pétrolier caractérisé par une hausse brutale et massive du prix du pétrole. La menace d'une pénurie s'est répandue parmi les pays les plus industrialisés, engendrant une gigantesque peur collective. De par sa dépendance énergétique, la France se trouvait alors dans une situation particulièrement difficile en important plus de 70 % de l'énergie (en grande partie du pétrole) nécessaire à son économie.

Face à cette vulnérabilité, les pouvoirs publics se devaient de réagir rapidement. L'idée de développer une énergie d'origine nationale dont ils pourraient conserver, quelles que soient les circonstances géopolitiques, la maîtrise, a orienté les efforts de recherche sur la voie de l'énergie nucléaire civile.

⁶⁴ G. Epstein – *Revue de l'Energie* – n° 509 septembre 1999.

Le « plan Messmer » ne comportait pas uniquement la mise en œuvre d'un programme de production électronucléaire. Il reposait sur deux autres piliers : une diversification des sources d'approvisionnement, une politique vigoureuse d'économie d'énergie.

3. Les politiques d'économie d'énergie

Les dispositions avaient surtout pour objet de mettre fin aux gaspillages les plus criants en privilégiant notamment les actions sur les comportements des consommateurs.

Cette « chasse au gaspi » comprenait également d'autres mesures qui portaient toutes plus ou moins nettement la marque de la situation de la crise qui les a inspirées. On peut citer par exemple la limitation du chauffage des locaux et de la vitesse des véhicules, l'interdiction de l'éclairage nocturne des vitrines et des bureaux, la mise en place d'un système de taxation sur les consommations de fioul lourd, la mise en œuvre d'accords de réduction des consommations d'énergie avec les secteurs industriels les plus consommateurs...

En novembre 1974, le gouvernement se dotait d'un nouvel établissement public, l'Agence pour les économies d'énergie (AEE), dont la mission consistait à envisager de réduire au plus vite la consommation de pétrole et la demande d'énergie.

Cette politique d'économie d'énergie a été poursuivie à la suite du deuxième choc pétrolier (1978-1979), avec l'idée mûrissante que les mesures prises à court ou moyen terme pourraient s'inscrire dans un espace temps beaucoup plus long pour favoriser une utilisation plus rationnelle des ressources énergétiques.

Dès lors, le recours aux énergies renouvelables semblait être pour les pouvoirs publics une solution intéressante face aux différentes crises énergétiques. Le Commissariat à l'énergie solaire (COMES) fut créé pour développer leur utilisation. Mais en raison de technologies encore peu performantes, leur extension se heurta toutefois à de piètres rendements et à des coûts d'exploitation trop élevés.

À la fin des années 1970, l'AEE a vu ses moyens considérablement augmenter notamment pour ses actions destinées au grand public, tout en maintenant un programme d'aide aux investissements dans l'industrie, les collectivités et le tertiaire.

En 1981, à la suite du changement politique et compte tenu des enseignements issus du second choc pétrolier, une nouvelle politique dite de « maîtrise de l'énergie » et non plus « d'économie d'énergie » fut engagée, les actions qui en découlèrent ne se résument pas à un simple changement de vocabulaire.

4. La nécessaire maîtrise de l'énergie

Après 1981, il s'agissait de dépasser la notion traditionnelle d'économie d'énergie afin de mettre en œuvre une politique globale visant à coordonner les efforts de substitution d'énergie, de meilleure utilisation des énergies traditionnelles et de développement des énergies renouvelables. Ce passage du concept d'économie à celui de maîtrise fut consacré par le plan d'indépendance stratégique adopté en octobre 1981 et confirmé deux ans plus tard par les choix du 9^{ème} plan.

Il devenait donc évident que l'énergie serait à plus ou moins long terme, un bien rare et cher dont la consommation ne cesserait de croître (malgré la conjonction des politiques d'économie et de maîtrise de l'énergie), en raison d'une augmentation constante de la demande et de son effet de levier sur la croissance économique. Il était devenu nécessaire d'engager une politique à plus long terme d'adaptation de l'économie française à ce nouveau contexte.

Pour mettre en œuvre cette politique, une nouvelle structure fut créée : l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME) qui regroupait l'AEE, le COMES mais également deux autres organismes : la mission chaleur et le comité géothermie.

Les techniques liées à l'utilisation de la chaleur se sont particulièrement développées au début des années 1980.

De même pour la géothermie, énergie renouvelable « attrayante » par son caractère respectueux de l'environnement et sa disponibilité pour deux grandes filières énergétiques : la production de chaleur et la production d'électricité. Malgré ses avantages, son exploitation resta relativement marginale dans l'Hexagone.

À partir de 1986, les effets conjugués du contre-choc pétrolier et de la baisse du cours du dollar, ont eu comme conséquences d'entraîner une baisse très sensible des prix du pétrole. L'absence de modération caractérise alors la consommation d'énergie. Dès lors, la politique de maîtrise de l'énergie n'apparaît plus comme une priorité nationale, si bien que les crédits de l'État consacrés à cette politique furent réduits de manière conséquente. Seuls une veille scientifique dans le domaine, le soutien à quelques programmes de recherche et développement, et certaines actions d'aide au conseil des entreprises, sont maintenus.

5. La montée en puissance des préoccupations environnementales...

Dès la fin des années 1980, de nombreux pays ont constaté au niveau local une dégradation de la qualité de leur environnement due, par exemple, à certaines industries (chimie pour les pluies acides) ou à des phénomènes de pollution urbaine de plus en plus mal ressentis par les populations. Les études scientifiques menées ont démontré que l'énergie avait une part importante de responsabilité dans les pollutions constatées. La problématique de l'effet de serre en est la parfaite illustration.

La combustion d'énergie fossile émet des gaz, dont la concentration dans l'atmosphère aggrave le phénomène de l'effet de serre c'est-à-dire la rétention de l'énergie calorifique envoyée au sol par le soleil. Cette altération atmosphérique touche par conséquent toute la planète - y compris les zones les plus reculées - et serait vraisemblablement à l'origine d'un réchauffement climatique anormalement élevé et rapide.

a) Au niveau international avec la lutte contre le réchauffement climatique

En 1987, la Commission des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (*World Commission on Environment and Development*, WCED) publiait le « Rapport Brundtland », du nom de sa présidente, Gro Harlem Brundland, intitulé « *Our Common Future* ».

Ce rapport constatait que les problèmes environnementaux les plus graves à l'échelle de la planète sont essentiellement dus à la grande pauvreté qui prévaut dans le Sud et aux modes de consommation et de production non durables pratiqués dans le Nord. Il recommandait une stratégie qui permette de conjuguer développement et environnement. Ce processus de « *sustainable development* », traduit par la suite par « développement durable » se définit comme « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins* ».

En 1989, le Rapport Brundtland a fait l'objet d'un débat à l'assemblée générale des Nations Unies, qui a, en conséquence, décidé d'organiser une conférence internationale sur l'environnement et le développement.

Lors de la conférence de Rio en 1992, s'est tenu le sommet de la Terre, lequel reste aujourd'hui un événement majeur en matière de politique de maîtrise de l'énergie. Aux côtés de 153 pays, la France signa la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique dont l'entrée en vigueur était prévue pour 1994. Cette Convention constitue le premier moment d'un régime international de coordination des actions en vue de « prévoir, prévenir ou atténuer les causes du changement climatique et d'en limiter les effets néfastes ».

À la même période, la *World Meteorological Organisation*⁶⁵ et le programme pour l'environnement des Nations Unies⁶⁶ mettaient en place le Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIEC), dont le rôle est de rassembler et d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique, d'étudier ses différentes conséquences et de regarder différentes options de réduction des

⁶⁵ L'organisation météorologique mondiale est une organisation internationale qui compte 187 pays membres. Etablie en 1950, cette organisation est devenue l'agence spécialisée des Nations Unies pour toutes les questions relatives à la météorologie (climatologie, hydrologie, géophysique...).

⁶⁶ Le programme pour l'environnement des Nations Unies a pour mission d'encourager le partenariat dans le domaine de l'environnement pour inciter, informer et soutenir les nations et les peuples qui souhaitent préserver leur qualité de vie et celle des futures générations.

émissions de gaz à effet de serre. Le GIEC n'est donc pas un laboratoire de recherche, mais un organisme au sein duquel sont expertisés et synthétisés les travaux de recherche menés dans les laboratoires du monde entier.

Ensuite, la troisième réunion de la conférence des parties à la convention de Rio constitue une étape capitale du processus avec la signature du Protocole de Kyoto en décembre 1997, évoqué précédemment, mis en route récemment.

On sait que l'étape suivante sera capitale après 2012, échéance finale des engagements de Kyoto, pour mettre en œuvre des objectifs et des mesures plus ambitieuses dans la lutte contre le réchauffement.

b) au niveau national par la relance d'une politique d'efficacité énergétique

En avril 1990, le gouvernement a élaboré un plan national pour l'environnement qui sert de fondement à une politique écologique ambitieuse. Pour la mise en application de ce plan, une nouvelle structure fut créée par décret du 26 juillet 1991 : l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), reprenant la suite de l'AFME. Cet établissement public industriel et commercial, le principal outil des pouvoirs publics pour mener des actions de R&D, d'intervention et de sensibilisation pour la réduction des consommations ; la diffusion des énergies renouvelables ; la prévention, la valorisation et le traitement des déchets ; le développement de modes de transports propres et économes ; la réduction des émissions atmosphériques de sources fixes.

À la suite du sommet de Rio, la France a décidé de mettre en place une Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), chargée de coordonner l'action de notre pays dans sa lutte contre les émissions de gaz à effet de serre tant sur le plan national que dans les instances européennes et internationales. Après un premier programme national d'action défini en 1993 conforme à l'objectif prévu dans la convention cadre des Nations Unies, la MIES se voit confier en 1999 un Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC).

Entre 2008 et 2012, pour respecter ses engagements internationaux, la France ne doit pas émettre plus de 144 millions de tonnes équivalent carbone (Mt eqC) par an. Or l'évolution de ses émissions montre que celles-ci pourraient atteindre 160 Mt eqC en 2010. C'est pourquoi le gouvernement a choisi de calibrer le PNLCC, lors de sa préparation, de manière à remplir l'objectif de Kyoto sans avoir recours, en principe, aux mécanismes de flexibilité.

En 2001, le PNLCC a été renforcé par un Programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique (PNAEE) dont le plan d'action concerne le transport, l'habitat et l'appareil productif (industrie/entreprise). Parmi les mesures les plus importantes, on peut citer le développement des plans de déplacements urbains, les actions favorisant l'achat de véhicules propres, la promotion du fret ferroviaire... La qualité thermique de l'habitat doit également être améliorée aussi bien pour les constructions neuves que pour les rénovations.

Le recours aux énergies renouvelables telles que l'électricité éolienne doit être accélérée. Enfin pour les entreprises le programme prévoit la mise en place d'outils financiers à fort effet de levier : le Fonds de garantie des investissements de maîtrise de l'énergie (FOGIME) et le Fonds d'investissements de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (FIDEME).

Le bilan 2002 du PNLCC a montré que la très légère réduction des émissions de gaz à effet de serre en 2001 par rapport à 1990 dissimulait une grande disparité dans la mise en œuvre des mesures et l'évolution des différents secteurs. Aussi, la MIES a été chargée par le Premier ministre de coordonner en 2003 l'élaboration d'un plan d'action renforcé : le Plan climat 2004.

Désormais, les activités de recherche dans les domaines de l'efficacité énergétique et de la maîtrise de l'énergie ne peuvent être menées sans tenir compte du triptyque suivant : l'accès du plus grand nombre à l'énergie ; une raréfaction inéluctable des énergies d'origines fossiles (à plus ou moins, long terme suivant l'état des réserves) ; et une meilleure protection de l'environnement.

B - UNE BAISSÉ DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE PAR L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

On rappellera que « l'efficacité énergétique consiste à optimiser le service rendu par la consommation d'une même quantité d'énergie », alors que l'indicateur de l'intensité énergétique sert à mesurer la capacité d'un pays ou d'un secteur d'activité à utiliser rationnellement l'énergie.

La recherche de la performance optimale dans l'utilisation finale de l'énergie permet de réduire la quantité de ressources énergétiques, de limiter les pollutions engendrées et d'atténuer le coût économique. L'énergie non consommée restera toujours la moins polluante et a fortiori la plus économique.

Seule la mise en œuvre d'actions économiquement rentables pour réduire les consommations d'énergie peut aboutir à des économies substantielles d'énergie, mesurables par l'indicateur de l'intensité énergétique. Ces actions sont de deux ordres, d'une part celles visant à modifier les comportements, comme par exemple ne pas éclairer ou chauffer une pièce inoccupée et d'autre part celles destinées à améliorer par la voie technologique les rendements tout au long de la chaîne énergétique : extraction, transformation, combustion, transport, utilisation.

1. Des options technologiques et comportementales pour favoriser la sobriété énergétique

Les économies d'énergie réalisées en France entre 1973 et 1999 se sont élevées à environ 30 Mtep/an. Le progrès technique et un changement du comportement, ajoutés à une modification de la structure de notre économie, accentuant sa tertiarisation, les ont rendues possibles, après le premier choc pétrolier.

On constate cependant que les économies d'origine technologique sont plus difficiles à obtenir - en raison des efforts de R&D à accomplir - mais irréversibles, alors que les économies d'origine comportementale sont plus « volatiles » en raison de multiples facteurs comme le prix de l'énergie...

Les évolutions de nos sociétés vers une économie sobre en carbone sont techniquement possibles mais supposent de profondes mutations des comportements et modes de vie. Comme le précise M. François Moisan⁶⁷: « *Les coûts d'adaptation de nos technologies, eux-mêmes, dépendront de l'acceptabilité sociale des techniques et de l'évolution des systèmes de valeur de la société. Il est donc impératif que les citoyens soient progressivement partie prenante des objectifs qui répondent aux défis technologiques et environnementaux du long terme* ».

Il faut donc sensibiliser le public à la nécessité d'adopter des modes de consommation plus économes en énergie, par des campagnes de communication et l'insertion de la problématique énergétique dans les programmes scolaires. D'autres mesures complémentaires peuvent « enfoncer le clou » par leur caractère incitatif. On peut citer, par exemple, les mesures fiscales qui proposent des réductions d'impôts pour les travaux d'isolation visant à économiser de l'énergie, le dispositif de certificats d'économie d'énergie prévu dans les secteurs résidentiel et tertiaire...

Les campagnes de communication et de sensibilisation ne semblent cependant pas suffisantes, puisque la tendance actuelle est marquée par une hausse croissante des consommations unitaires correspondant à des niveaux de satisfaction des besoins et un bien-être, plus élevés. Par exemple dans l'habitat, les exigences de confort font que la durée de chauffage est plus longue avec une température plus élevée en hiver, tandis qu'en été le besoin de fraîcheur a fait littéralement « s'envoler » le marché de la climatisation dont les impacts environnementaux sont loin d'être négligeables.

Cette tendance à la hausse des consommations est confirmée par les scénarii tendanciels élaborés par l'AIE puisque à l'horizon 2030 se dessine une croissance forte des consommations d'énergie et par conséquent des émissions de CO₂, si rien n'était fait dans l'intervalle.

2. L'évolution sectorielle de l'efficacité énergétique en France

2.1. Le secteur industriel

Le secteur de l'industrie a généré depuis le premier choc pétrolier les économies d'énergie les plus importantes. Hors production d'énergie la part de ce secteur n'a cessé de décroître : de 27 % dans les années 1970, jusqu'à 14 % de la consommation corrigée du climat en 2001, soit 38,3 Mtep.

⁶⁷ Dans un article paru dans *La revue de l'énergie* n°549 de septembre 2003.

Cette baisse s'explique par l'efficacité de la réglementation mise en place imposant par exemple des rendements minimaux aux chaudières industrielles... ainsi que par les moyens incitatifs développés sous la forme d'aides à la décision (diagnostics énergétiques), d'instruments financiers tels que le FOGIME... l'application de mesures fiscales favorisant les investissements destinés à économiser l'énergie.

Cette tendance est à poursuivre avec la mise en application des engagements de Kyoto et le mécanisme des permis négociables, ainsi que par les engagements volontaires que les industriels ont souhaité prendre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cependant ces engagements seront toujours confrontés à la nécessité de ne pas aboutir à une décroissance des rendements, notamment dans un contexte de mondialisation et de concurrence internationale très forte.

2.2. Le secteur résidentiel tertiaire

La consommation totale de ce vaste secteur résidentiel relève pour les 2/3 des bâtiments d'habitation, le reste concerne le tertiaire professionnel c'est-à-dire les bureaux, les commerces... Ce secteur a peu progressé depuis les années 1970, restant stable autour de 40 % de la consommation, corrigée du climat. La première explication est la très grande inertie du secteur dont le taux de renouvellement est de 1 % par an seulement.

Bien que sa consommation énergétique finale augmente chaque année, l'amélioration de son efficacité énergétique est significative depuis 1997, en atteignant une baisse annuelle moyenne de 1 %. Cela s'explique en grande partie par la prise de conscience des ménages de la nécessité de maîtriser les consommations énergétiques.

Les réglementations en imposant des rendements minimaux et un affichage des performances énergétiques pour la plupart des appareils domestiques (chaudières, lampes, réfrigérateurs...), ont également joué un rôle important dans cette baisse.

À plus ou moins long terme des performances plus importantes sont attendues notamment avec la nouvelle réglementation thermique sur les bâtiments neufs et les actions incitatives engagées par l'ADEME et l'ANAH.

On se reportera avec intérêt aux récentes préconisations du Conseil économique et social ⁶⁸ sur cette question.

⁶⁸ Cf l'avis sur « *Les politiques de l'urbanisme et de l'habitat face aux changements climatiques* », adopté par le Conseil économique et social le 26 avril 2006 sur le rapport présenté par M. Paul. de Viguierie, 2006, op.cit.

2.3. Le secteur des transports

Il s'agit actuellement du secteur le plus préoccupant en terme d'efficacité et de consommation énergétique. Les politiques visant à faciliter les déplacements individuels et à favoriser l'habitat dispersé conduisent à la détérioration de l'intensité énergétique.

Malgré les progrès techniques réalisés (consommation, émissions...) pour répondre à une réglementation de plus en plus stricte, la part des transports dans les consommations énergétiques n'a cessé de croître depuis les années 1970, pour atteindre, en 2001, 50 Mtep environ, dont 98 % de produits pétroliers. La répartition par mode de transport, établit que le transport routier représente 78 % de la consommation totale d'énergie du secteur, contre 11 % pour le transport aérien, 6 % pour les transports maritimes et fluviaux et 5 % pour les transports ferroviaires et urbains.

Entre 1989 et 1999 l'intensité énergétique du secteur a augmenté de 3,2 % et la consommation de produits pétroliers s'est accrue de 91 % entre 1973 et 2001. L'augmentation du prix du carburant depuis 2003 explique en partie une baisse de la consommation d'environ 0,8 % par an. Une amélioration significative ne peut être attendue à court terme, malgré la relance de la politique de maîtrise de l'énergie et l'ensemble des moyens mis en œuvre par les pouvoirs publics : loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, PNAEE... Comme le précise, un récent avis de notre assemblée⁶⁹, une mutation profonde des transports est à engager.

Cependant, de réelles améliorations peuvent être espérées grâce notamment à l'effort d'information des consommateurs lors de l'achat de véhicules neufs sur la consommation de carburant (cf. Plan climat) et par la promotion de véhicules propres sur le marché (véhicules électriques, hybrides...).

L'intensité énergétique est calculée par le rapport entre la consommation totale d'énergie et le PIB pour une année donnée. Le résultat exprime la quantité d'énergie nécessaire à une économie pour produire une unité de valeur ajoutée. Les pays industrialisés connaissent une forte baisse de leur intensité énergétique qui exprime les effets du progrès technique, selon Pierre Villa⁷⁰. On peut aussi remarquer qu'elle représente les efforts économiques et financiers d'investissements ou d'organisation et les différents choix effectués pour le recours à telle ou telle source d'énergie.

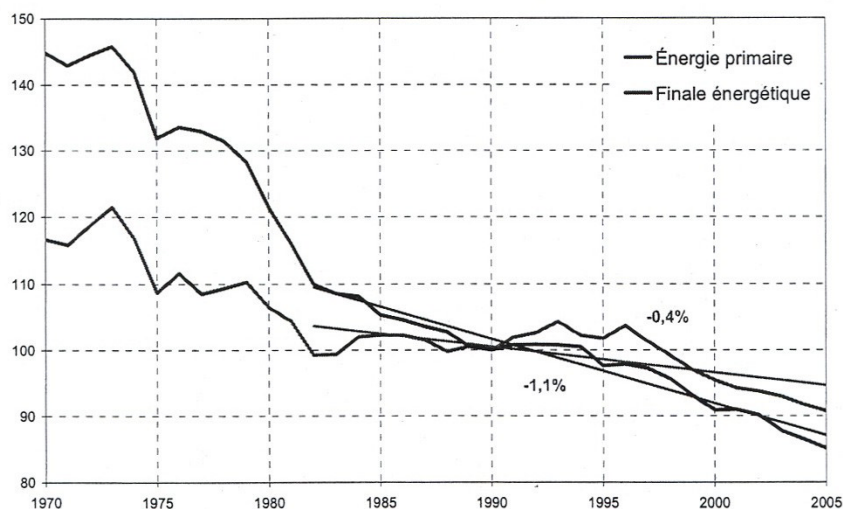
Selon les sources de l'Observatoire de l'énergie, la comparaison des intensités énergétiques primaires et des consommations par habitant place la France au niveau de ses partenaires européens, avec une tendance, sur les trente dernières années, à une certaine sobriété.

⁶⁹ « *Les enjeux de l'après-Kyoto* » Op. Cit

⁷⁰ Pierre Villa – Évolution sur longue période de l'intensité énergétique « *Économie internationale* » n° 82 – 2^{ème} trim. 2000

L'évolution de l'intensité énergétique permet donc de caractériser l'évolution d'un pays à plus ou moins bien utiliser l'énergie pour se développer. Elle permet de rendre compte aussi des choix de spécialisation des économies puisqu'elle dépend de la nature du PIB⁷¹, mais aussi du rapport entre la demande fiscale des ménages et la demande intermédiaire des entreprises⁷². Ainsi sur ces trente dernières années, la baisse moyenne de l'intensité en France a été de 1 % par an, soit une diminution globale de 35 % entre 1973 et 2001.

Graphique 8 : Intensité énergétique primaire et finale, avec leurs taux de croissance annuels moyens sur 1982-2005 (en indice base 100 en 1990)



Source : ministère de l'Industrie

Dès lors, l'objectif d'une baisse annuelle de 2 % à l'horizon 2015 prévu par la loi d'orientation sur l'énergie, peut être considéré comme très ambitieux, sachant qu'entre 1973 et 1982, période au cours de laquelle l'intensité énergétique a le plus fortement décliné dans notre pays, le rythme annuel moyen n'était que de 1,7 %.

C - LA RECHERCHE AU SERVICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Atteindre les objectifs ambitieux de diminution mondiale des émissions de gaz à effet de serre, ne peut être que le résultat d'une combinaison de technologies qui d'une part optimisent le recours aux différentes ressources

⁷¹ Selon une étude du CME, les services exigent sept fois moins d'énergie par unité de valeur ajoutée que l'industrie, cf. « *Efficacité énergétique : panorama mondial 2004* ».

⁷² Pierre Villa – Evolution sur longue période de l'intensité énergétique, op. cit.

(bouquet énergétique) et d'autre part favorisent l'efficacité énergétique dans les usages finaux.

Le développement des Nouvelles technologies de l'énergie (NTE) ne dépend pas seulement des efforts consacrés à la recherche, une série de mécanismes, réglementations, traités internationaux, mesures fiscales... doit être mise en place, ayant un caractère incitatif auprès des secteurs économiques les plus consommateurs d'énergie.

1. Le rôle majeur de la R&D pour une meilleure efficacité énergétique dans les usages finaux

Même si les avancées technologiques ne peuvent répondre seules aux problèmes énergétiques du futur, elles doivent faire l'objet d'un effort soutenu de R&D et se conjuguer avec la mise en oeuvre d'une politique de maîtrise de l'énergie encourageant notamment au changement des comportements individuels et/ou collectifs.

D'un point de vue humain et financier, la R&D en Europe a tout à fait les moyens de rivaliser avec celles des États-Unis et du Japon. Cependant l'articulation entre les recherches nationales et celles effectuées dans le cadre des Programmes communautaires de recherche et développement technologique (PCRDT), est encore insuffisante.

Dans un contexte de recul des budgets nationaux, les programmes communautaires sont trop souvent sollicités comme des compléments financiers de programmes nationaux, et non comme l'outil permettant de mener en commun de grands programmes prioritaires.

Malgré la tentative du 6^{ème} PCRDT de lancer des projets intégrés pour atteindre la taille critique nécessaire, les investissements de l'Union européenne paraissent encore trop dispersés.

Une comparaison entre les efforts consentis par l'Union européenne d'une part et les États-Unis et le Japon d'autre part, dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie par secteur de recherche⁷³ est difficile en l'état actuel des données disponibles : les dépenses engagées par l'Union européenne et les États membres n'ont jusqu'à maintenant pas fait l'objet d'une consolidation accessible.

L'objectif crucial pour l'Union européenne est de parvenir, dans le cadre du futur PCRDT, à une meilleure cohérence et efficacité de l'effort consenti. Les réseaux d'excellence qui se développeront au sein du futur Espace européen de la recherche devraient servir de base à des plate-formes technologiques capables de focaliser les actions et les ressources de chaque acteur européen.

⁷³ Il s'agit bien entendu des trois principaux secteurs (bâtiment, industrie, transport) qui doivent concentrer l'essentiel des efforts de recherche notamment en terme d'efficacité énergétique.

Comme le souligne à juste titre le rapport sur les « *Nouvelles technologies de l'énergie* » rédigé sous la présidence de M. Thierry Chambolle et dont le rapporteur était Mme Florence Méaux l'Europe ne dispose ni d'un DOE⁷⁴ de type américain ni d'un MITI⁷⁵ de type japonais, si bien qu'il est très difficile d'avoir les visions, les politiques et l'efficacité correspondantes. De même, l'effort public français de R&D dans les technologies de l'énergie est substantiel, mais ne prend pas suffisamment en compte dans son organisation et ses moyens, l'impératif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Parallèlement, l'engagement des entreprises françaises dans ces technologies doit être consolidé pour mieux tenir compte de ces impératifs nouveaux.

La France n'a quant à elle pas les moyens de se positionner sur l'ensemble des pistes technologiques, elle doit donc faire des choix déterminés par :

- les moyens techniques et le temps nécessaires pour maîtriser une technologie ;
- le délai d'introduction sur le marché ;
- la possibilité de déploiement industriel ;
- et l'attente d'un retour proportionné à l'effort de recherche engagé.

Pour se maintenir dans le peloton de tête des pays innovants, la France doit s'appuyer sur les points forts de sa recherche et de son appareil industriel. Elle a aussi à envisager de développer quelques domaines jusqu'ici sous-estimés mais qui se révèlent très importants pour demain. Dans le domaine de l'énergie, cet appareil lui permet d'occuper une position de premier plan aussi bien dans la production (par exemple électronucléaire...) que dans celui des usages dans les secteurs de l'automobile, du bâtiment et des matériaux.

Notre pays dispose donc des atouts scientifiques, technologiques et industriels pour s'engager dans une recherche plus active afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans les usages finals des secteurs des transports, de l'habitat tertiaire et de l'industrie.

Toutefois, rares sont les technologies qui ne gagneront pas à être développées dans le cadre d'un partenariat européen voire international et/ou associant la recherche publique et la recherche privée.

⁷⁴ *The department of energy* (DOE) développe des programmes de R&D en sciences physiques et sciences de la matière pour le développement des énergies nouvelles et la préservation des ressources naturelles. Il développe également des programmes de sécurité nationale en gérant les essais nucléaires...

⁷⁵ Le ministère de l'Économie, de l'industrie et du commerce (*The Ministry of Economy, Trade and Industry*) tient une place prépondérante au sein des institutions publiques japonaises. Ce ministère entretient des relations très fortes avec les plus grandes industries et universités du Japon lui conférant ainsi une grande puissance dans les politiques de R&D...

2. La maturité technologique

D'un point de vue technique, il est tout à fait légitime d'espérer que des progrès sensibles soient obtenus dans le domaine de l'efficacité énergétique. La recherche permettra par exemple d'améliorer le rendement des moteurs à combustion interne ou la qualité isolante des matériaux utilisés pour l'habitat. Cependant la question des délais de pénétration de ces nouvelles technologies au sein de la société est cruciale.

Les auteurs du rapport sur les « *Nouvelles technologies de l'énergie* », se sont livrés à un exercice de classification fondé sur le degré de maturité des pistes technologiques envisagées. Trois catégories de technologie sont ainsi obtenues et permettent une vision temporelle de leur délai de pénétration et de viabilité économique.

Le véhicule électrique ou la décarbonation des procédés de l'industrie lourde, sont classés dans la catégorie des technologies de rupture, c'est-à-dire une option technologique qui est encore au stade de la recherche fondamentale et dont la réussite n'est pas garantie quels que soient les moyens mis en œuvre. La maturité de développement est ainsi estimée aux alentours de 2050.

Une technologie comme le bâtiment « zéro énergie » avec couplage solaire-géothermie, est classée dans la catégorie des technologies de « discontinuité » (2015-2025) dans la mesure où la viabilité économique de cette option technologique est prouvée. Elle pourrait donc s'introduire sur des marchés de niche, mais nécessite encore des développements et une meilleure pénétration pour atteindre des réductions de coûts et une généralisation.

Enfin, les techniques comme l'injection directe, la turbo-suralimentation... qui visent à réduire la consommation des moteurs à combustion interne, sont classées dans les technologies « incrémentales ». Cela signifie qu'elles ont atteint un stade de développement technologique avancé et viable commercialement mais qu'elles ne sont pas encore assez répandues sur le marché.

Globalement, l'inertie technologique induit une diffusion échelonnée des nouvelles technologies de l'énergie pendant tout le XXI^e siècle. Pour des pays développés comme la France, une pénétration significative de solutions nouvelles dans des secteurs comme le bâtiment ou les transports nécessite au minimum plusieurs dizaines d'années. La mise en place des infrastructures et des équipements lourds, la formation des opérateurs, particulièrement en maintenance exigent également des efforts de longue durée.

Dans l'article précité⁷⁶, M. Moisan, estime, sur la base des études menées par l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS)⁷⁷, qu'une nouvelle technologie mettra environ 15 ans pour pénétrer l'ensemble des gammes de véhicules neufs et vingt ans de plus pour pénétrer l'ensemble du parc.

Dans les autres secteurs, M. Moisan relève également que les taux de remplacement des équipements sont relativement faibles par rapport au parc total installé. Cela est particulièrement vrai pour le secteur du bâtiment et notamment pour le logement résidentiel où le parc ne se renouvelle qu'au rythme de 1 % par an dans notre pays.

D - COMPÉTITIVITÉ DES ENTREPRISES ET MAÎTRISE DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE

Le secteur industriel a connu de fortes mutations structurelles et technologiques dont la combinaison avec les politiques de maîtrise de l'énergie ont eu des effets tangibles sur la consommation finale énergétique. Des marges de manœuvre sont encore et toujours accessibles tout en étant plus limitées et surtout, probablement, d'un coût de plus en plus important.

1. La consommation énergétique dans le secteur industriel

D'après le bilan énergétique de l'Observatoire de l'énergie, la consommation finale d'énergie de l'industrie a diminué de 20 % sur les trente dernières années, ce qui est d'autant plus remarquable que le PIB a continué de croître sur cette même période. La consommation est ainsi passée de 48 Mtep en 1973 à 38.3 Mtep en 2001.

En 1973, les produits pétroliers à usage énergétique représentaient 50 % de la consommation totale d'énergie de l'industrie, aujourd'hui cette part est retombée à 19 %. Cette éviction du pétrole s'est faite au profit du gaz et de l'électricité dont les parts de marché représentent respectivement 29 % et 31 %. Les combustibles minéraux solides ont également perdu des parts de marché - perte surtout due au déclin du charbon dans la sidérurgie - et ne représentent plus que 16 % contre 25 % en 1973.

Face à la croissance soutenue de la consommation des autres secteurs de l'économie et en particulier des transports, la part du secteur industriel dans la consommation totale d'énergie est passée de 36 à 24 % entre 1973 et le début du XXI^e siècle. Depuis 1990, l'industrie présente la particularité d'être le seul secteur dont les émissions de gaz à effet de serre ont aussi diminué soit 22 % du total national en 1999.

⁷⁶ *La revue de l'énergie*. Op.cit..

⁷⁷ L'INRETS est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), placé sous la double tutelle du ministère de la recherche et du ministère chargé des transports.

Concernant l'intensité énergétique de l'industrie, les chiffres sont encore plus spectaculaires puisque hors sidérurgie elle a baissé de 39 % et celle de la sidérurgie de 76,3 %. Ce niveau d'intensité est l'un des meilleurs sur le plan européen.

Cette baisse s'explique en partie par des changements dans la structure de la production industrielle. On constate en effet une croissance de l'activité des branches moins intensive au détriment des industries fortement consommatrices. L'autre partie de l'évolution de l'intensité reflète les efforts effectués en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique des industriels.

2. Une consommation finale d'énergie par branche industrielle très concentrée

En 1999, 42 % de l'énergie utilisée dans l'industrie hors industrie agricole et alimentaire (IAA) est consommée par 0,3 % des établissements. Depuis les années 1970, la consommation de la sidérurgie a été divisée par deux, contre une baisse nettement moins sensible pour le reste de l'industrie.

D'une façon générale, il faut différencier dans l'analyse des consommations d'énergie, les industries grandes consommatrices d'énergie des industries légères pour lesquelles le paramètre énergie est souvent moins déterminant en terme de coût. De 1986 à 2001, ces dernières ont augmenté de 20 % leurs consommations énergétiques et que les IGCE représentaient environ 70 % du total des énergies consommées dans l'industrie.

Comme on peut le constater, la production de chimie de base est la plus consommatrice en énergie, les procédés exigent de nombreuses étapes de séparation, coûteuses en énergie et peuvent consommer des combustibles énergétiques comme matières premières. Développer des procédés énergétiquement performants dans ce secteur est possible, sur la base d'une étude menée par l'ADEME, les efforts sont à orienter sur quatre postes (que l'on retrouve dans la plupart des IGCE) : le fonctionnement mécanique (groupe froid, moteurs électriques...), la séparation de produits (filtration, séparation de solvants...), la génération de vapeur (centrale vapeur, chauffage de produits...) et le conditionnement des locaux (éclairage haute efficacité...).

3. Les moyens mis en œuvre pour maîtriser les consommations d'énergie dans l'industrie

En 1998, le gouvernement a décidé de relancer la politique de maîtrise de l'énergie en élaborant de nouvelles réglementations destinées à améliorer les performances énergétiques du secteur industriel.

Parallèlement des moyens incitatifs ont été mis en place pour les secteurs fortement consommateurs d'énergie et soumis à la concurrence internationale. Ces mesures d'aide sont essentiellement portées par l'ADEME. Elles incluent des :

- aides à la décision par pré-diagnostics et diagnostics pour une utilisation rationnelle de l'énergie dans les entreprises... ;
- aides au financement d'opérations de démonstration exemplaires : il s'agit d'application en vraie grandeur de nouvelles techniques innovantes et performantes pour démontrer la faisabilité technique et économique d'une technologie ;
- aides à la mise au point de nouvelles modalités de financement des investissements performants et innovants : soutien des programmes de R&D afin d'aider l'émergence de nouvelles techniques... ;
- outils financiers liés à l'utilisation rationnelle de l'énergie : le FOGIME (fonds de garantie des investissements de maîtrise d'énergie), est destiné à encourager les investissements des PME dans ce domaine, le FIDEME (fonds d'investissement pour la maîtrise de l'énergie) est un financement qui se substitue partiellement à celui des promoteurs du projet et des établissements de crédit à travers une intervention en quasi fonds propres.

Les missions de l'ADEME ne se limitent pas à l'attribution de ces différentes aides. Son rôle est essentiel pour obtenir une meilleure connaissance sur les consommations d'énergie des différents secteurs industriels et comme on le verra pour concentrer les efforts sur les gisements d'économies d'énergie encore accessibles.

4. Les marges de manœuvre et les orientations dans le domaine de l'industrie

La volonté d'améliorer l'efficacité énergétique sera d'autant plus forte que les coûts de l'énergie seront importants dans les coûts de revient finaux et sur la marge bénéficiaire. La rationalité des acteurs appartenant aux IGCE a donc été le meilleur ressort pour les économies d'énergie, la maîtrise des consommations étant liée à la part prise par l'énergie dans le prix de revient des produits.

La plupart des secteurs d'activité des IGCE (ciment, acier...) sont très exposés à la concurrence internationale, avec des prix des produits fixés sur un marché mondial. La problématique réside dans le choix des investissements à réaliser pour améliorer l'efficacité énergétique et dont l'impact à court terme sur la compétitivité des entreprises reste limité. En revanche, sur le moyen et long terme ces investissements devraient permettre aux IGCE d'une part de relativiser leur sensibilité aux variations des prix des ressources énergétiques et d'autre part de développer grâce aux efforts de R&D des avantages concurrentiels.

4.1. Les marges de manœuvre existantes

À la suite d'une étude menée en 2001 par le CEREN⁷⁸ en liaison avec l'ADEME, on s'est rendu compte que le potentiel de gisements d'économie d'énergie encore accessibles dans l'industrie était relativement important, même si les efforts du secteur industriel en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique sont notables.

Cette étude a évalué le potentiel technique d'économies d'énergie maximum restant en 1999 à 12 Mtep soit environ 23 % de la consommation énergétique actuelle de l'industrie. Les deux tiers de ce gisement pourraient être atteints par la mise en œuvre de techniques économes au niveau des process, le tiers restant au niveau des actions plus transversales (transmission de fluides caloporteurs, production de froid, chauffage et éclairage des locaux, moteurs...).

La cogénération est un facteur de compétitivité pour les entreprises présentant des besoins de vapeur importants (industrie chimique, papetière, sucrière, automobile...). En conjuguant une production de vapeur à une production d'électricité, soit auto-consommée, soit vendue au réseau, la cogénération réduit leur facture énergétique et leurs émissions polluantes, diminue la sensibilité aux évolutions des coûts énergétiques et assure le secours électrique en cas d'incidents sur le réseau public.

4.2. Les orientations possibles

Pour inciter les industriels à réaliser des investissements en faveur d'une meilleure efficacité énergétique sans pour autant nuire à leur compétitivité plusieurs pistes ont été et peuvent être actuellement poursuivies :

- l'harmonisation au niveau communautaire de la taxation des produits énergétiques et de l'électricité par la fixation de taux minima pour les différents types, permettrait notamment de mettre fin aux avantages concurrentiels liés à la différence de fiscalité entre les États membres ;
- une internationalisation progressive des coûts environnementaux liés à l'utilisation de l'énergie. Il s'agit notamment de poursuivre la mise en œuvre du Protocole de Kyoto qui orientent les industriels vers des investissements plus sobres en énergie et en carbone et les incitent par divers mécanismes à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre.

E - NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE DANS LES TRANSPORTS ROUTIERS

On examinera les nouvelles technologies développées dans le transport routier dont les activités de R&D publiques et privées très réactives, font espérer des innovations foisonnantes et prometteuses.

⁷⁸ Le Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN) est un groupement d'intérêt économique regroupant EDF, GDF, Charbonnages de France et l'ADEME. Ses études ne sont malheureusement pas rendues publiques.

La croissance rapide du trafic routier (automobile et camion) observée dans les pays développés, son extension prévisible dans les dix années à venir dans les futurs pays industrialisés comme la Chine, l'Inde ou le Brésil, puis dans les pays moins avancés, vont créer une situation intenable aussi bien en termes de ressources énergétiques que d'émission de Gaz à effet de serre (GES).

De nombreux leviers doivent donc être activés pour placer l'automobile et plus généralement le transport routier dans un cadre de développement durable. Parmi ceux-ci les innovations et les progrès techniques sont conduits à jouer un rôle majeur, particulièrement pour les systèmes de motorisation. Les efforts de R&D effectués dans ce domaine ont pour objectif d'améliorer les rendements des moteurs dans toutes les conditions d'utilisation des véhicules. À titre d'exemple récent, une des voies d'amélioration repose sur le concept d'éco-suralimentation (downsizing) c'est-à-dire la réduction de la cylindrée du moteur (donc sa taille et son poids), en conservant un niveau de performance équivalent à un moteur de plus forte cylindrée au moyen de la technique de la suralimentation (= turbo compresseur) afin de diminuer substantiellement les pertes énergétiques du moteur et la consommation moyenne. En couplage avec d'autres technologies telles que le système « stop&start » développé par PSA, les systèmes de distribution variable, d'injection directe du carburant..., les gains en terme de rendement ont été conséquents : une baisse de la consommation moyenne des voitures a été réalisée entre 1990 et 2005, passant de 8,2 l pour 100 km à 6,9 l.

1. Réduire les nuisances du transport routier

Dans les pays développés, les transports routiers sont responsables d'environ 30 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone (12 à 15 % au niveau mondial). Une diminution de ces émissions passe par une réduction des consommations énergétiques du secteur résultant de compromis complexes entre d'une part, les caractéristiques des véhicules et d'autre part, le comportement des utilisateurs.

Les contraintes actuelles en terme de sécurité et de réduction des émissions ainsi que l'évolution de la demande des clients en agrément de conduite et confort entraînent un accroissement de poids et de consommation électrique qui ne vont pas dans le sens d'une économie d'énergie. Autrefois réservée aux véhicules hauts de gamme, la généralisation de la climatisation dans les véhicules neufs entraîne en moyenne un surplus de consommation de 1 litre de carburant pour 100 kilomètres.

De plus, la majorité de nos contemporains aspire incontestablement à une plus grande liberté de déplacement. L'automobile répond à ce besoin, pour la satisfaction duquel il n'existe pas vraiment d'alternative aussi souple. Une voiture n'est plus un concentré de technologies dédiées à rouler de plus en plus vite, mais un « espace à vivre »⁷⁹ dans lequel les exigences de sécurité, de

⁷⁹ Il s'agit de l'expression utilisée récemment par un grand constructeur français pour vanter les mérites de ses modèles dans les spots publicitaires.

confort, de performances et de préservation de l'environnement sont de plus en plus élevées.

Outre les constructeurs, les pouvoirs publics ont également à faire face, en plus des nuisances environnementales, aux problèmes de sécurité (réduction des coûts humains, sociaux et économiques des accidents) et de qualité de vie (bruit...) occasionnés par les systèmes de transport routier.

C'est dans ce cadre que l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (l'INRETS), a été créé par décret interministériel du 18 septembre 1985. Sa mission consiste à effectuer ou évaluer toutes les recherches et tous les développements technologiques consacrés à l'amélioration pour la collectivité, des systèmes et moyens de transports et de circulation du point de vue technique, économique et social.

Les expertises ainsi réalisées s'appuient sur les nouvelles technologies et les nouveaux modes d'aménagement favorisant l'intégration des différentes dimensions, sécuritaires et environnementales, en vue d'une mobilité durable.

2. Réduire la pollution locale due à l'automobile

Actuellement la quasi-totalité des automobiles, sont équipées de moteurs thermiques alimentés avec des carburants liquides (essence ou gazole) issus de la transformation du pétrole. La combustion de ces hydrocarbures génère un certain nombre de polluants émis à l'échappement des moteurs.

Ces polluants font l'objet depuis plusieurs années d'une réglementation comme par exemple le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx), les hydrocarbures imbrûlés (HC) et les particules de suie. Leurs nuisances environnementales s'exercent d'abord à l'échelle locale et plus particulièrement urbaine.

Les polluants dits primaires (ceux issus directement du pot d'échappement) sont très denses dans les zones de circulation difficile, le cas le plus critique étant celui des rues « canyon » c'est-à-dire mal ventilées et bordées d'immeubles qui bloquent la dispersion des polluants atmosphériques.

Ces polluants peuvent, conjugués à certaines conditions atmosphériques (fort ensoleillement et peu de vent), être à l'origine d'une pollution dite secondaire provoquée par une transformation chimique dans l'atmosphère. Tel est, par exemple, le cas de l'ozone produit par des réactions chimiques complexes, activées par le rayonnement solaire et faisant intervenir globalement les Nox et les hydrocarbures imbrûlés.

L'ozone est la cause de la plupart des pics de pollution estivaux qui se manifestent en général au voisinage des grandes agglomérations.

C'est pourquoi la réglementation anti-pollution automobile a adopté des cycles de conduite caractéristiques d'une circulation urbaine et périurbaine pour l'homologation des véhicules (démarrage à froid pour de courtes distances, vitesse moyenne de 32 km/h pour le parc automobile européen...).

Outre l'application de la réglementation, la réduction des émissions de polluants au niveau local a aussi été obtenue par des développements technologiques propres aux carburants - généralisation de l'essence sans plomb, diminution des teneurs en soufre... - à la systématisation en Europe des pots catalytiques pour les véhicules à essence en 1993, l'apparition des filtres à particule pour les moteurs diesels... D'importants progrès technologiques peuvent encore améliorer significativement le traitement et la réduction des émissions de polluants.

Parallèlement aux normes anti-pollution, les pouvoirs publics prennent de plus en plus d'initiatives pour limiter la place de l'automobile en centre ville. Ces politiques de restriction de la circulation, voire de péage urbain, commencent à exister mais elles sont au départ peu populaires, nécessitent le plus souvent des investissements lourds comme la construction de parkings à la périphérie, et dépendent d'une offre de transport en commun renforcée...

3. Les évolutions technologiques pour une meilleure efficacité énergétique dans les transports routiers

Depuis les années 1970, les normes anti-pollution ont connu des degrés successifs de sévérité principalement en Europe et aux États-Unis. Sous l'impulsion des pouvoirs publics, les limites d'émissions ont été réduites par un facteur 10 à 100 en quelques décennies. Ces objectifs ambitieux ont été atteints grâce aux progrès remarquables réalisés dans le domaine de la technologie.

La réduction des consommations intrinsèques des véhicules routiers est obtenue par des actions sur différentes parties du véhicule que sont principalement la masse, la résistance au roulement, l'aérodynamique et le rendement de la chaîne de traction.

Comme il n'est pas envisageable de revenir en arrière sur tous les acquis réalisés en termes de sécurité, d'habitabilité et de confort – qui jusqu'ici ont alourdi les véhicules -, la réduction du poids des automobiles passe par des calculs de structure encore plus élaborés et par l'utilisation de matériaux légers. La puissance de calcul désormais disponible au moment de la conception permet de ne mettre que la quantité de matière nécessaire à l'endroit voulu pour garantir la résistance avec le poids minimum.

Les tôles à très haute limite élastique permettent également de diminuer les épaisseurs tout en conservant la rigidité. Les matériaux légers comme les alliages d'aluminium sont de plus en plus utilisés. L'usage de matériaux polymères s'étend lui aussi à des pièces « travaillantes »...

La chasse aux frottements fait aussi partie des sources d'amélioration continues du rendement des automobiles. Les manufacturiers de pneumatiques ont travaillé à la réduction de la résistance au roulement et ont obtenu des avancées significatives grâce notamment aux évolutions de structure des carcasses et des mélanges de gomme. Le travail sur l'aérodynamique est également un gisement de progrès : l'affleurement des vitres, l'ancrage des

rétroviseurs sont autant de détails qui permettent d'influer sur le coefficient de pénétration dans l'air. Cependant, les véhicules à assise haute (4x4, monospace...) qui connaissent actuellement un fort succès commercial y compris en milieu urbain ont un profil qui ne permet pas d'obtenir un (Cx) coefficient de pénétration dans l'air très performant. L'amélioration du rendement de la chaîne de traction demeure un vecteur important pour une meilleure efficacité énergétique. C'est pourquoi, des efforts de R&D considérables sont entrepris dans ce domaine depuis de nombreuses années par les bureaux d'études des constructeurs automobiles et les laboratoires de recherche mondiaux. Les progrès les plus importants sont obtenus dans les domaines suivants :

- les systèmes de post-traitement catalytique des polluants⁸⁰ ;
- le pilotage électronique de la plupart des paramètres de contrôle du moteur : injection, allumage et alimentation en air ;
- l'injection du carburant comme par exemple l'injection directe haute pression ;
- les systèmes carburant-combustion-dépollution.

Les recherches se concentrent donc sur les nouveaux carburants et l'adaptation interactive « combustion-carburant », avec la recherche de motorisation dédiée (DME, gaz naturel...) et une orientation vers les carburants « renouvelables ».

Le DME ou Diméthyléther est un carburant de substitution au gazole, normalement obtenu à partir du gaz naturel. Comme le GPL, c'est un gaz, mais il a la propriété de se liquéfier sous une pression de quelques atmosphères. Doté d'un très bon rendement, il a de surcroît une combustion plus propre que celle du gazole. Cet atout est, cependant, diminué de par la pollution produite lors de sa production (à la raffinerie, à partir du gaz naturel). Plusieurs constructeurs de poids lourds travaillent actuellement à développer l'usage de ce carburant, mais aucun pays n'a lancé de programme politique pour en promouvoir la consommation de quelque façon que ce soit.

Concernant le gaz naturel, essentiellement composé de méthane, il s'agit du moins polluant de tous les carburants pouvant se substituer à l'essence. Il est plus propre que le GPL car il produit moins d'oxydes d'azote et il est aussi moins dangereux, car plus difficile à enflammer, mais le méthane étant un important gaz à effet de serre, toute déperdition à la production ou lors de la distribution est plus néfaste que tout autre carburant. Tout véhicule peut être converti pour fonctionner au gaz naturel, la transformation est comparable à celle effectuée pour le GPL. Actuellement, près de 400 000 véhicules ont adopté ce carburant en Europe.

⁸⁰ La catalyse dite « 3 voies » permet par exemple l'élimination simultanée des Nox, CO et HC avec plus de 99 % d'efficacité lorsque le catalyseur est chaud. Le problème demeure que les émissions sont plus importantes lorsque le moteur est froid entraînant l'activation du starter automatique.

Dans les années 1970 et 1980, le GPL (gaz de pétrole liquide)⁸¹ a été très en vogue aux Pays-Bas, en Belgique et en Italie, jusqu'à ce que l'on découvre la supériorité du gaz naturel. En France, le parc installé de distributeur de GPL est conséquent, mais son développement n'est cependant pas ce qu'il aurait pu être, du fait notamment de l'interdiction de la bicarburation au début des années 1980. Ce n'est qu'en 1993 qu'une incitation conséquente, par une baisse de la fiscalité, a vraiment permis l'essor de ce carburant. En attendant les piles à combustible, il est avantageux de rouler au GPL, significativement moins polluant que l'essence et encrassant beaucoup moins le moteur puisqu'il n'y dépose pas de calamine.

L'utilisation de biocarburants et autres carburants renouvelables dans les transports est principalement promue par la directive n° 2003/30 du 8 mai 2003, qui vise à remplacer le gazole et l'essence par des carburants produits à partir de la biomasse, c'est à dire de « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, de la sylviculture..., ainsi que de la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux* ». Son dispositif incitatif consiste à fixer des objectifs que « *les États membres devraient veiller* » à atteindre soit 2 % de la quantité totale d'essence et de gazole mise en vente pour le 31 décembre 2005 et 5,75 % pour le 31 décembre 2010.

Dans un avis rendu en 2004⁸², le Conseil économique et social, précisait que : « *Les États-Unis, ainsi que le Brésil, bénéficient d'une antériorité de près de vingt ans, ce qui est considérable dans le lancement des filières biocarburants (éthanol) par rapport à l'Union européenne. C'est en effet, après le premier choc pétrolier de 1974, que ces deux pays ont lancé la production d'éthanol-carburant, à partir du maïs pour les États-Unis et de la canne à sucre pour le Brésil, dans le but de réduire leur dépendance vis-à-vis du pétrole.*

Ce n'est qu'après 1992 et la mise en œuvre du gel des terres (jachère obligatoire) que ces filières ont démarré en France, puis dans d'autres pays européens, la France ayant été la première à développer une filière biodiesel à partir d'huiles de colza.

Du fait de cette antériorité et de l'importance de leur marché intérieur, des gains de productivité très importants ont été réalisés par ces deux pays, qui sont devenus les deux principaux producteurs mondiaux d'éthanol, avec respectivement 120 millions d'hectolitres pour le Brésil et 106 millions d'hectolitres pour les États-Unis ».

⁸¹ Le GPL est composé théoriquement à parts égales de butane et de propane, ces proportions, varient selon les saisons (on augmente la proportion de butane quand il fait chaud).

⁸² Avis du Conseil économique et social, du 18 mai 2004, « *les débouchés non alimentaires des produits agricoles : un enjeu pour la France et l'Union européenne* », sur le rapport de M. Jean-Claude Pasty (JO avis et rapport du CES n°12, année 2004).

La politique basée sur le double volet réglementaire et progrès technologique porte ses fruits. Au cours de la dernière décennie les rejets de polluants atmosphériques liés à l'automobile ont diminué et les projections effectuées dans le cadre du programme européen « Auto Oil⁸³ » confirment cette tendance pour les prochaines années.

Le rythme de baisse des émissions est essentiellement contrôlé par les facteurs suivants : dans un sens, la mise en œuvre d'une réglementation plus sévère accompagnant les progrès techniques et le taux de renouvellement du parc de véhicules (la durée de vie moyenne d'une automobile est supérieure à 13 ans en France) ; et à l'inverse, l'accroissement simultané du parc de véhicules automobiles européens et du trafic routier.

Favoriser le renouvellement du parc automobile est essentielle, cette action contribuerait à réduire substantiellement les émissions de gaz à effet de serre. L'âge moyen du parc automobile en France est de huit ans. Actuellement, près d'un véhicule sur cinq, date des années 1985-1992 et n'est soumis à aucune norme européenne stricte (la majorité de ces véhicules n'a pas de pots catalytiques...). Il faudra attendre 2010 pour qu'ils aient quasiment tous disparu.

À l'horizon 2010, 10 % du parc automobile français devrait dater des années 1993-1996 (norme Euro 1), 17 % des années 1997-2000 (norme Euro 2), 35 % des années 2001-2005 (norme Euro 3) et 38 % des années 2006-2010 (norme Euro 4). Lorsque l'ensemble du parc automobile sera conforme à la norme Euro 4 (= commercialisée après janvier 2006), les réductions d'émissions de polluants seront de l'ordre de 70 % pour les NOX, de 86 % pour les COV, de 82 % pour les CO et de 79 % pour les particules. Cependant, si les émissions de la plupart des polluants atmosphériques d'origine automobile ont globalement tendance à diminuer, celles relatives au CO₂ ne baissent pas suffisamment. Il n'existe pas de solutions techniques réalistes pour éliminer ce gaz de la ligne d'échappement. La croissance de ses émissions s'explique par la conjugaison de plusieurs facteurs dont l'accroissement du parc, l'augmentation du trafic routier et celle du poids moyen des véhicules. Réduire la consommation unitaire de carburant de façon drastique est donc impératif.

Ainsi, un accord volontaire de réduction de ces émissions a été conclu entre l'Union européenne et l'Association des constructeurs automobiles européens (ACEA) qui vise la diminution de 25 % en 2008 du niveau constaté en 1995 (soit 140g/km contre 186 g/km) et prévoit une étape supplémentaire en 2012 avec – 35 % (soit 120g/km). La moyenne des constructeurs français se situait en 2003 à 148,5g/ km, en comparaison, alors que le taux des véhicules particuliers est de 205g/km aux États-Unis.

⁸³ Les programmes Auto-oil I et Auto-oil II, lancés en 1992 et en 1997, sont élaborés dans un cadre tripartite par la Commission européenne, les pétroliers (Europia) et les constructeurs automobiles (Acea). Ils sont à l'origine des directives sur la qualité des carburants et sur les émissions des voitures particulières.

Les nouvelles motorisations devront donc allier les avantages du moteur thermique - souplesse d'utilisation, approvisionnement facile, autonomie suffisante, fiabilité éprouvée - sans engendrer les nuisances qui lui sont propres.

Pour répondre à ce cahier des charges, seules les motorisations dites « non conventionnelles » pourront remettre en cause les systèmes de motorisation actuels avec l'apparition de nouveaux moteurs ou systèmes de conversion d'énergie.

4. Les nouvelles motorisations possibles

4.1. Les innovations actuelles

Aujourd'hui, tous les constructeurs automobiles proposent un catalogue d'innovations destinées à amoindrir les nuisances liées à l'automobile. La préservation de l'environnement constitue alors un axe majeur de recherche pour les laboratoires. À court terme une amélioration sensible du rendement des motorisations thermiques essence ou diesel est probable. À long terme, de nouvelles motorisations sont attendues comme par exemple le moteur à hydrogène.

En dehors des nouvelles motorisations ou sources d'énergie, de nombreuses innovations sont en cours d'élaboration. On peut citer par exemple, les tests effectués actuellement par plusieurs constructeurs sur des systèmes permettant de réguler pour le conducteur la vitesse du véhicule afin de passer le plus grand nombre de feux au vert, calculer la bonne distance de sécurité, maintenir le véhicule à vitesse constante sur route... L'objectif est de favoriser la fluidité du trafic, d'assurer une vitesse maîtrisée... avec une consommation moindre et une meilleure qualité de l'air.

Certains constructeurs japonais, comme Toyota, parviennent déjà à commercialiser un véhicule pour particuliers à motorisation hybride. Le modèle le plus abouti étant la *Prius Hybrid Sinergy drive*⁸⁴ qui sélectionne constamment la source d'énergie (essence ou électricité) la plus rentable en fonction du type de déplacement. Le groupe PSA a également mis au point une motorisation hybride fonctionnant au diesel ou à l'électricité. La phase suivante sera celle de l'hybride connectable.

La problématique environnementale est aussi prise en compte pendant toute la durée de vie du véhicule. Outre le recours à des matériaux faciles à recycler, les constructeurs s'engagent à développer des usines de fabrication propres et respectueuses de l'environnement (réutilisation des déchets de production...). Lors de la destruction du véhicule, des usines de fabrication en

⁸⁴ La Prius utilise un moteur essence et un moteur électrique en synergie pour propulser la voiture. Le moteur électrique tire son énergie d'un générateur lui-même entraîné par le moteur thermique ou lors du freinage puisque l'énergie cinétique est convertie en électricité qui permet de recharger les batteries via un processus baptisé freinage à récupération.

série de produits recyclés à partir de véhicules hors d'usage commencent à voir le jour.

Ce système de management de l'environnement s'applique de plus en plus au sein de l'industrie et pas uniquement dans la production automobile. Il s'agit, par ailleurs, d'un argument commercial auquel les consommateurs sont de plus en plus sensibles, puisque nombreuses sont les marques qui communiquent sur l'idée d'une consommation durable, respectueuse de l'environnement et d'une certaine éthique.

En dehors des constructeurs privés, des initiatives publiques existent en France pour mener à bien des programmes de recherche, d'expérimentation et d'innovation dans les transports terrestres. À l'instar de l'INRETS on peut ainsi citer le Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT) initié et conduit par les ministères chargés de la recherche, des transports, de l'environnement et de l'industrie, l'ADEME et l'Agence nationale de valorisation de la recherche (ANVAR).

Ce programme est destiné à stimuler la coopération entre secteurs public et privé, pour favoriser l'émergence de systèmes de transport économiquement et socialement plus efficaces, plus sûrs, plus économes en énergie, et finalement mieux respectueux de l'homme et de l'environnement.

Depuis 1990, le PREDIT a déjà conduit trois programmes, le dernier en date a débuté en 2002 et s'achèvera en 2006. Il est marqué par un effort accentué pour les transports de marchandises et les questions énergétiques et environnementales, ainsi que par une diversification des recherches sur la sécurité.

4.2. La motricité électrique/l'énergie électrique

La motricité hybride « thermique-électrique », en fonctionnement partiel ou totalement électrique, apparaît comme l'une des voies permettant d'optimiser la demande énergétique pour la plupart des véhicules circulant à temps complet ou partiel en zones urbaines et péri-urbaines.

Vu la multiplicité des solutions potentielles en terme d'architecture de véhicules, il apparaît favorable d'orienter les actions de recherche sur :

- Les développements électriques, électroniques et de logiciels qui seront intégrés à bord des véhicules. Ils permettront à terme de remplacer les principaux composants mécaniques et hydrauliques (direction, freinage, suspension...) et de rendre tous les modules de la voiture plus « intelligents » grâce notamment au couplage des fonctions par l'électronique (procédé *X by wire*...). La voiture deviendra communicante⁸⁵ et les services associés pourront se développer : télédiagnostic, visioconférence, navigation avancée et vision de nuit...

⁸⁵ Cf. avis du Conseil économique et social paru au JO du 4 février 2004, intitulé « *L'acte productif dans la société du des savoirs et de l'immatériel* » sur le rapport de M. Hubert Bouchet, dans

- L'identification des besoins propres aux transports de marchandises, de particuliers, collectifs ; aux flottes captives... en tenant compte des contraintes telles que les normes actuelles et futures, le bruit, les émissions...

L'utilisation grandissante et optimisée de l'énergie électrique à bord des véhicules conduit à développer, dès maintenant au niveau industriel, des composants électroniques de puissance dotés d'une compétitivité élevée sur les plans techniques et économiques, ainsi qu'en termes de durée de vie et de coût.

On constate aussi que le nombre croissant de fonctions utilisant l'énergie électrique est le vecteur de développement des véhicules hybrides. Ces nouvelles voitures présentent à ce titre un double intérêt. D'une part elles ne fonctionnent pas sur la base d'un groupe électrogène- les deux types d'énergie se recombinent au niveau de la transmission mécanique aux roues- et d'autre part l'autonomie et l'agrément de conduite sont comparables à une voiture à motorisation thermique. En outre le fonctionnement dans certaines zones en mode électrique sans émissions, est comparable à celui d'un véhicule à motricité exclusivement électrique, mais sans ses inconvénients.

En effet, le véhicule tout électrique aurait pu également être un bon candidat au regard des fonctionnalités précédemment décrites, cependant l'état des connaissances technologiques ne permet pas un stockage d'énergie électrique beaucoup plus performant que celui des batteries au lithium⁸⁶.

Si les batteries au plomb semblent faire partie de la préhistoire du véhicule électrique, il a fallu attendre 1985 pour voir utilisée la batterie Nickel-cadmium deux fois plus puissante que le plomb (55-60 Wh/k), mais aussi trois fois plus chère (600 €/kWh contre 200 € pour le plomb). Placées sous le capot ou dans le coffre, elles augmentent le poids du véhicule de plus de 200 kilos.

En 1997, a commencé une production pilote de batteries nickel-hydrure de métal qui ont une puissance de 65 à 70 Wh/k, ce qui, à poids égal, donne une autonomie supérieure de 30 %, soit 120 km. La batterie au lithium-ion qui recèle 120-140 Wh/k, soit deux fois plus de puissance que le nickel-hydrure de métal, ce qui portera l'autonomie du véhicule à 200 km, constitue la génération suivante. Le coût de revient du lithium-ion n'est en outre que de 150 €/kWh.

Malgré l'usage de batteries au lithium, l'autonomie encore très limitée des véhicules électriques semble incompatible avec des utilisations très larges de ce type de propulsion, sauf dans des véhicules hybrides. De plus, en terme de bilan global CO₂, seule l'utilisation de l'électricité d'origine nucléaire permettrait de diminuer très fortement les émissions.

lequel les apports de la voiture communicante sont abordés dans le cadre de l'évolution des moyens de transport moderne.

⁸⁶ Pour fonctionner, le moteur d'un véhicule électrique comporte une batterie stockant l'énergie, un moteur à courant continu avec un système de contrôle et un chargeur de batteries.

F - LES SYNERGIES DE RECHERCHE POUR TRANSPORTER GRÂCE À L'HYDROGÈNE

À chaque flambée du cours du pétrole, une question revient d'actualité. Pourquoi la pile à combustible alimentée par l'hydrogène, reste-t-elle toujours un projet en développement considéré par certains comme utopique ?

En fait ce générateur d'électricité - les piles à combustible sont des éléments électrochimiques qui convertissent l'énergie chimique contenue dans un carburant directement en énergie électrique, sans combustion, avec un rendement élevé et de faibles émissions de GES - est sur le point de pénétrer notre vie quotidienne pour des applications parfois inattendues (téléphonie mobile...) ou plus lointaines, les automobiles étant encore au stade de prototypes.

1. La pile à combustible (PAC)

La pile à combustible est envisagée dans trois grands domaines d'applications :

- le stationnaire : production d'électricité décentralisée ou de chaleur par co-génération ;
- le portable : alimentation de téléphones mobiles, micro-ordinateurs, outillage... ;
- le transport : propulsion de véhicules sans émission de polluant.

Le carburant utilisé pour faire fonctionner la pile peut être d'origines diverses : de l'hydrogène, mais aussi du gaz naturel, du méthanol, de l'essence ou du bioéthanol, qui sont convertis en hydrogène dans un réformeur, mais qui entraînent une émission de CO₂.

2. L'hydrogène : vecteur d'énergie propre

De tous les carburants utilisables par la PAC, seul l'hydrogène ne produit pas d'émission de CO₂ lors de sa combustion. C'est pourquoi les recherches visant à l'utiliser comme carburant génèrent des analyses techniques et économiques extensives sur les moyens de production, de transport, de stockage, de distribution et d'utilisation.

L'explosion des recherches est depuis peu mondiale et assortie de budgets colossaux. Elle donne lieu à des accords de coopération internationale dont le dernier en date, l'IPHE (cf. ci-après), a vu le jour en 2003, à la suite d'une proposition américaine de coopération mondiale pour accélérer l'entrée dans « l'économie de l'hydrogène ».

Bien que représentant 98 % de la masse de l'univers, l'hydrogène n'existe pas sur la terre sous sa forme simple, mais seulement sous une forme combinée à d'autres éléments, principalement l'eau et les hydrocarbures dont il faut l'extraire.

Aujourd'hui, sa production n'est ni thermodynamiquement efficace, ni rentable, ni écologique pour un usage énergétique. Il est actuellement principalement produit à partir d'hydrocarbures pour l'usage de la sidérurgie, de la chimie et de l'industrie spatiale et à un coût par unité d'énergie, deux fois supérieures à celui des hydrocarbures de départ.

L'hydrogène peut être produit à partir d'une multitude de sources et par des procédés divers : gaz, éthanol, eau par électrolyse ou par dissociation thermo-chimique, biomasse par pyrolyse ou fermentation biochimique...

Cependant aucune filière n'est totalement exempte d'émissions de CO₂, notamment celles partant des hydrocarbures. La seule voie n'utilisant pas de produits carbonés est celle de l'eau, mais pour être écologique, elle doit utiliser une énergie elle-même « verte » pour fournir l'énergie électrique ou thermique nécessaire pour casser la liaison moléculaire de l'eau.

Outre les difficultés liées à la production de l'hydrogène, son utilisation comme vecteur d'énergie se révèle complexe à plusieurs points de vue :

- sa dangerosité intrinsèque liée à son caractère explosif au contact de l'air (oxygène) et de source de chaleur. Des travaux approfondis sur les questions de sécurité sont lancés comme par exemple le programme « *Hysafe* » qui regroupe une quarantaine d'industriels et de centres de recherche⁸⁷ ;
- la médiocrité de son pouvoir énergétique volumique (1/3 de celui du gaz naturel) qui handicape son transport sous forme de gaz comprimé par canalisation : son transport est environ trois fois plus cher que le gaz et 15 fois plus cher que le pétrole, par unité d'énergie ;
- la complexité engendrée par la création d'un réseau de distribution d'hydrogène.

3. L'hydrogène comme carburant pour les automobiles

Les automobiles à PAC ne dépasseront pas le stade du prototype avant une bonne décennie, tandis que la question du réseau de distribution de carburant pour les alimenter reste encore actuellement en suspens.

Les enjeux restent importants avant que la PAC puisse être envisagée à grande échelle dans les véhicules. Il faudra en particulier :

- réduire le coût des composants qui est actuellement d'un ordre de grandeur trop élevé, une réduction importante de la masse de platine déposée sur la membrane de la pile doit notamment être réalisée ;
- améliorer le rendement effectif des piles à membrane polymère ;

⁸⁷ Dans le cadre de ce programme, le CEA qui préside déjà le comité français de l'ISO pour les techniques de l'hydrogène, exploite une expérience découlant de ses travaux sur la sécurité des centrales nucléaires.

- définir un moyen de stockage de l'hydrogène à bord du véhicule qui soit à la fois économique et sûr ;
- définir et réaliser les infrastructures de distribution au véhicule en toute sécurité et dans un temps acceptable, soit sous forme de gaz comprimé à 350 ou 700 bars soit sous forme liquéfiée à - 253 °C ;
- définir les mesures et règles de sécurité relatives à la conception des véhicules.

3.1. Une mobilisation générale des constructeurs automobiles

Une mise au point définitive de la technologie PAC se heurte au problème de très grande pureté que son cœur exige : de l'hydrogène et de l'oxygène purs à près de 100 %. Pour une telle qualité deux choix sont possibles : le produire sur place, en amont du cœur de la pile ; créer une infrastructure capable de le fournir avec le degré de pureté nécessaire.

Cette exigence de pureté impose une filtration de l'air bien plus poussée que pour un moteur thermique. On imagine alors aisément que la cohabitation inéluctable entre les véhicules à PAC et ceux à moteur thermique laissant derrière eux divers gaz (CO₂ et hydrocarbures imbrûlés notamment) nuisibles à la pureté de l'air, sera d'autant plus délicate.

En revanche, ce problème ne se pose plus lorsque les moteurs thermiques à combustion interne sont techniquement dédiés à l'hydrogène⁸⁸. Les difficultés qui se posent alors sont proches de celles rencontrées par les moteurs à essence avec l'inconvénient d'une baisse importante du couple et de la puissance spécifique d'environ 40 à 50 %, qui peut être rétablie par la turbo-suralimentation.

Des voitures à moteur classique pouvant consommer de l'essence ou de l'hydrogène roulent déjà, réglant à la fois la question d'un réseau de distribution d'hydrogène carburant suffisamment dense et celle de la pureté de l'hydrogène.

Plusieurs constructeurs expérimentent des modèles fonctionnant de cette façon ou des véhicules à motorisation hybride dont le moteur thermique consomme de l'hydrogène.

Cette solution est souvent envisagée comme une étape intermédiaire vers la PAC puisqu'elle permet de commencer la validation de toute la filière hydrogène sans la nécessité de produire un grand nombre de véhicules équipés de ce convertisseur.

La PAC peut également trouver sa place comme générateur auxiliaire à bord des automobiles et des avions. Sous cette forme, la génération électrique atteindra un niveau de sécurité qui permettra d'éliminer les systèmes hydrauliques. Par ce gain de poids, l'énergie prélevée par les systèmes sur les

⁸⁸ La synthèse de combustible liquide à partir d'hydrogène légèrement recarboné permettrait d'utiliser les circuits et moyens techniques de transport et distribution actuels.

moteurs sera réduite d'où une baisse significative de la consommation de carburant.

Boeing a déjà retenu cette solution pour son futur 7X7 et BMW devrait commercialiser en 2007 des véhicules équipés d'une PAC qui remplacera la génération électrique classique par alternateur entraîné par le moteur. Débarrassé de cette surcharge, le moteur devrait voir sa consommation diminuer d'environ 20 %. Renault s'est associé à la firme bavaroise dans ce programme et proposera cette technologie sur un modèle haut de gamme dans le courant de l'année 2007.

3.2. Le développement du réseau H2

Pour industrialiser massivement la construction de véhicules PAC, il est nécessaire de développer un réseau de distribution d'hydrogène suffisant pour satisfaire la demande. Les spécialistes, au premier rang desquels les pétroliers, ont commencé à se mobiliser sur les investissements à réaliser. Outre l'aspect financier, d'autres questions restent en suspens comme par exemple les possibles réactions hostiles des futurs riverains de stations services offrant de l'hydrogène.

Selon une étude menée par « Général Motors », la distribution d'hydrogène atteindra sa taille critique lorsqu'elle touchera 70 % de la population des pays ayant les plus forts taux de motorisation.

Or pour atteindre cet objectif, il faudrait un réseau de 11 700 stations services, pour les États-Unis, 14 000 pour le Canada et le Mexique, autant pour l'Europe et 4000 pour le Japon.

Sur la base d'un million de dollars pour chaque installation, cette projection aboutirait à ce que les pays du G8 dégagent entre 25 et 26 milliards d'euros de fonds pour réaliser les investissements nécessaires. De plus, cette estimation ne prend pas en compte les investissements industriels, également très lourds, pour produire et distribuer l'hydrogène carburant.

4. L'hydrogène parviendra-t-il à réconcilier transport et développement durable ?

L'IPHE⁸⁹ s'est constitué avec l'ambition que l'hydrogène soit à l'origine d'une véritable rupture technologique qui entraînerait l'une des plus grandes révolutions de l'humanité. L'hydrogène serait alors la meilleure source énergétique pour satisfaire les besoins croissants de mobilité, générés par une société mondialisée et en développement durable.

⁸⁹ Le DOE participe au lancement du Partenariat international pour l'économie d'hydrogène (IPHE). Le secrétaire américain à l'Énergie, M. Spencer Abraham, la commission européenne et 14 représentants de différentes nations (Australie, Brésil, Canada, Chine, France, Allemagne, Inde, Italie, Japon, Corée, Norvège, Russie, Grande Bretagne, États-Unis) ont signé un accord établissant l'IPHE. Ce partenariat va favoriser l'organisation, l'évaluation et la coordination de la recherche multinationale sur l'hydrogène ainsi que le développement et déploiement des technologies de l'hydrogène. Cette signature fait suite à l'appel lancé par S. Abraham, le 28 avril 2003 à Paris, pour la création de l'IPHE.

Pour y parvenir, les membres de l'IPHE tentent de concentrer les moyens nécessaires au niveau international pour résoudre les multiples problèmes qui empêchent encore d'exploiter l'hydrogène comme le vecteur d'énergie le plus efficace notamment pour l'automobile.

Le gouvernement américain soutient cette démarche puisqu'il vient de débloquer en avril 2004 une subvention de 350 millions de dollars pour financer la recherche sur les voitures à hydrogène. Le secteur privé devrait y ajouter 285 millions de dollars pendant les cinq prochaines années.

Dans cette perspective le premier constructeur mondial d'automobiles consacre environ 25 % du montant total de la recherche du groupe, pour la R&D des véhicules à PAC au détriment notamment des véhicules hybrides. Sa stratégie commerciale dans le domaine n'en est pas moins ambitieuse : démarcher la Chine pour promouvoir ses voitures à PAC à la place des automobiles à essence.

Selon les estimations du groupe, le potentiel énorme que représente le marché chinois pourrait générer assez de ventes pour rentabiliser cette nouvelle technologie, avec un début de commercialisation prévu en 2010. Après cette date, ces véhicules pourraient être mis sur le marché dans trois autres zones (les États-Unis, le Japon et l'Europe) et générer plus de 10 millions de vente dans les 10 années qui suivront les premiers bénéfices.

Face à un tel potentiel, chaque industriel affine sa stratégie de développement pour parvenir à une production commerciale de véhicules à PAC à l'horizon 2015-2020. Des véhicules de démonstration de toutes marques roulent déjà avec des choix diversifiés de formes de carburant - hydrogène comprimé ou liquide ou issu de reformage embarqué ou fixé sur hydrures - et de motorisation : à combustion interne ou PAC à génération électrique.

G - LE « RÉSIDENTIEL/TERTIAIRE »

1. Un secteur diffus et très consommateur

Les bâtiments (résidentiels, tertiaire) représentent, aujourd'hui, 43 % de la consommation française, on l'a dit plus haut, et de l'ordre du quart des émissions de gaz à effet de serre. La croissance de cette consommation est, de plus, plus rapide que celle des autres secteurs.

Dans le vaste secteur du résidentiel/tertiaire on compte plus de 29 millions de logements, dont l'essentiel est, rappelle l'ADEME⁹⁰, constitué de résidences principales (plus de 80 %). La part des habitations individuelles est toujours majoritaire : 53 % contre 47 % de logements collectifs. Le tertiaire, pour sa part compte 800 millions de m² à éclairer, à chauffer, etc.

⁹⁰ ADEME – « Pour une politique ambitieuse de maîtrise des consommations d'énergie » - Le secteur résidentiel et tertiaire – Sd. Cf également le « livre blanc sur les énergies » du 7 novembre 2003.

Près de deux tiers du parc de logements a été construit avant 1975, date d'entrée en application de la première réglementation relative à l'efficacité énergétique. Ce pourcentage montre assez clairement qu'il existe des marges de gains d'efficacité et d'économie dans ce secteur.

Le volume annuel des constructions neuves est de l'ordre de 1 % du parc : c'est-à-dire qu'il se construit une moyenne de 300 000 logements par an. À ce rythme et à celui des réhabilitations/remplacements, une mise à niveau du parc construit avant 1975 ne serait pas achevée avant 2050.

À une forte demande de logements à satisfaire, on constate que la demande croissante de confort, la taille moyenne des logements collectifs en augmentation, celle de la maison individuelle aussi, l'urbanisation et son développement concourent à la croissance des consommations d'énergie.

On a évoqué, précédemment aussi, la répartition de la consommation finale d'énergie des logements, laquelle a beaucoup évolué depuis le premier choc pétrolier au profit de l'électricité et du gaz naturel et aux dépens du charbon et (dans une moindre mesure) du fioul tandis que la part du bois reste à peu près stable sur la période 1975-2003 (environ 18 %).

On a également dit que le chauffage représentait la part la plus importante de la consommation totale des logements : de l'ordre de 75 %. Cependant, compte tenu des diverses réglementations mises en œuvre depuis 1975, la part de la consommation d'énergie pour cette application spécifique tend à régresser.

Selon le CEREN, la consommation unitaire moyenne de chauffage (sur l'ensemble du parc de résidences principales) est passée de 323 kWh/m² an en 1973 à 180 kWh/m² an en 2000, en grande partie grâce à cette réglementation.

L'amélioration du confort a conduit à un accroissement de la part de l'électricité dans les logements. Ainsi, à titre d'exemple, la multiplication des produits « bruns » a entraîné une hausse de la consommation d'électricité de 18 kWh/logement en 1973 à 321 kWh/logement à la fin du XX^e siècle, soit une multiplication par... 18, en 25 ans⁹¹.

La demande d'amélioration du confort est, légitime. Si donc la multiplication des appareils est et sera une marque de notre société, les économies sont alors à rechercher dans la sobriété individuelle de ces mêmes appareils ; ce qui est le cas.

Il est cependant évident que l'ensemble de la réglementation thermique mise en œuvre depuis 1975 vise essentiellement le chauffage et surtout l'isolation des logements beaucoup plus que la consommation d'électricité. Or, celle-ci a augmenté fortement et, parfois, de manière pour le moins surprenante.

⁹¹ Un téléviseur consomme, par an, 150 Kwh, un réfrigérateur de l'ordre de 400 Kwh, l'éclairage moyen annuel approche 500 Kwh, tandis qu'un congélateur consomme 600 Kwh/an et un four électrique 1 100 Kwh.

Ainsi, la veille des appareils représente de l'ordre de 15 % de leur consommation totale. Selon l'ADEME, cette consommation, rapportée à l'ensemble du pays, équivaldrait au quart de la production d'une centrale nucléaire ou représenterait la consommation annuelle de Nice et de Lyon réunies !

2. Une réglementation thermique en constante évolution

Elle est très variée, se concrétisant tout d'abord par un traitement différencié entre les logements et le tertiaire : les exigences étant pour les premiers plus élevés que pour le second.

À l'égard des logements, des incitations aux travaux et maîtrise de l'énergie dans les bâtiments existants, sous forme tout d'abord de déductions fiscales puis, depuis septembre 1999 d'une baisse du taux de TVA, de primes versées par l'ANAH ou de primes PALULOS ont constitué un premier train de mesures. Le classement des réseaux de chaleur (par décret de mai 1999) rendant obligatoire le raccordement des immeubles neufs constitue un deuxième élément.

De nouvelles mesures ont été prises d'une part dans le bâtiment neuf et dans l'existant. Il s'agit d'une nouvelle réglementation thermique pour le neuf, entrée en vigueur en juin 2001, devant conduire à une réduction des consommations de chauffage de 15 % dans le résidentiel et de 40 % pour le tertiaire et intégrant la consommation due à la climatisation en 2003.

Instituée dans et par le PNLCC, cette nouvelle réglementation thermique devrait connaître, d'ici à 2020, trois renforcements quinquennaux permettant de réduire toujours d'avantage, les émissions de gaz à effet de serre. Le principe de cette révision est inscrit dans la directive européenne de décembre 2002 sur « la performance énergétique du bâtiment », texte essentiel en la matière⁹².

Dans le domaine des bâtiments existants qui devraient encore entrer pour 90 % de la consommation d'énergie du secteur en 2010, les processus restent tout d'abord de l'ordre des aides fiscales : TGAP énergie, donnant au bois une réelle compétitivité ; baisse de la TVA. Des Opérations programmées d'amélioration thermique des bâtiments (OPATB), lancées par les collectivités locales devraient mobiliser des moyens financiers importants autour de programmes biennaux ou quinquennaux de rénovations de bâtiments résidentiels. Des engagements volontaires dans le cadre d'une « charte pour le renouvellement du parc existant » sont également prévus.

⁹² Cette directive devait être transposée en droit interne avant le 4 janvier 2006. Elle repose sur cinq principes :

- a) la définition d'un cadre général de performance énergétique intégrée des bâtiments ;
- b) l'application d'exigences minimales en matière de performance énergétique appliquées aux bâtiments neufs ;
- c) l'application d'exigences minimales appliquées aux bâtiments existants de grande taille lorsqu'ils font l'objet d'une rénovation : fixation de normes minimales par les États ;
- d) la certification de la performance énergétique des bâtiments ;
- e) une inspection régulière des chaudières et de la climatisation.

Si pour des raisons économiques autant que techniques, des progrès sont enregistrés dans le résidentiel, il en irait autrement dans le tertiaire. Ainsi, les travaux statistiques préparatoires au débat sur l'énergie de 2003/4 s'accordent pour conclure que les économies d'énergie sont peu importantes sur la précédente décennie. Cependant, cette « deséconomie » résulte essentiellement d'un recours accru aux équipements de bureautique au sens large du terme, à la climatisation et à une substitution de l'électricité à tous autres modes de chauffage. Il s'agit donc des effets de la modernisation de la production (au sens large du terme). Les évolutions tendanciennes futures ne feraient qu'amplifier le phénomène.

3. Une recherche programmée

Depuis début 2002, des recherches sont menées dans le cadre du programme « Préparer le bâtiment à l'horizon 2010 » (PREBAT) mis en œuvre par l'ADEME et le PUCA (Plan urbanisme, construction et architecture). Le PREBAT devait voir le jour en 2005. Tenant compte du « Plan climat 2004 » notamment, mais aussi des dispositions à venir du futur texte d'orientation sur l'énergie, le PREBAT doit viser autant les bâtiments à construire que l'existant avec pour objectif la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre en 2050.

Le PREBAT a comme objectif, si l'on peut dire, d'être au secteur des bâtiments ce que le PREDIT est aux transports : c'est-à-dire un programme de recherche collaboratif à un horizon temporel suffisant pour réaliser une réelle avancée.

Il devrait, de plus, permettre la mise en synergie des efforts déjà engagés comme ceux réalisés dans le cadre de la Fondation « bâtiment-énergie »⁹³ dont l'objectif est de parvenir à la rénovation des bâtiments anciens peu contributifs à l'effet de serre et à la construction de bâtiments neufs à énergie positive (cf. infra).

4. Quelques réalisations

La situation que l'on vient d'évoquer, très rapidement, pour notre pays vaut également pour l'ensemble de l'Europe. Sachant que le tertiaire/résidentiel participe - au niveau de l'Union - pour 40 % de la consommation totale d'énergie finale, de nombreuses recherches ont été menées afin de réduire cette consommation.

À titre d'exemple, une étude réalisée pour le compte de l'association européenne des producteurs d'isolants thermiques (EURIMA) a chiffré l'impact potentiel de l'isolation thermique dans l'habitat européen : sachant que le parc n'est pas plus cohérent à l'échelle de l'Union qu'il ne l'est en France et que le climat est assez sensiblement différent entre la Suède et la Grèce, ce qui est une évidence.

⁹³ Fondation mise en œuvre par ARCELOR, Lafarge, EDF et Gaz de France.

Cette étude chiffre à 42 % l'économie de consommation réalisable en améliorant l'isolation thermique des bâtiments existants : soit sur la base des consommations de 2002, 1 192 Twh/an.

Les réductions d'émissions de CO₂ seraient aussi très importantes, dès lors que l'effort de réhabilitation des bâtiments anciens serait mené activement et que les normes en vigueur seraient appliquées dans le neuf. On notera que, par exemple, la pose de fenêtres efficaces permettrait une réduction d'émission de CO₂ équivalant au cinquième des réductions totales de ce gaz.

Si l'utilisation de techniques et de matériaux existants se développe, la recherche s'approfondit sur l'utilisation de matériaux spécifiques et sur l'avancement du concept de « bâtiment à énergie positive ». Un article de la revue « *Les Futuribles* »⁹⁴, après d'autres, vient opportunément apporter un éclairage sur la mutation possible de nos lieux d'habitations en des lieux de production d'énergie décentralisée, recourant, en l'espèce, à l'ensemble des énergies renouvelables. Comme le souligne les auteurs de cet article « *le bâtiment assure ses propres besoins et l'énergie non consommée est restituée sur le réseau qui devient une immense coopérative de production* ».

Des exemples existent déjà en Allemagne ou en Suisse. Cela étant, l'équilibre doit être obtenu à la fois pour la chaleur (production/consommation) et pour l'électricité ce qui apparaît plus difficile.

S'il peut être relativement facile, compte tenu des moyens techniques actuels, de réduire de façon spectaculaire la consommation de chaleur par l'utilisation de capteurs solaires, le problème est tout autre en ce qui concerne l'électricité. Il s'agit alors d'ajouter plutôt, par petites touches, des éléments de sobriété comme par exemple pour l'éclairage avec les lampes LCD (*liquid crystal display*) ou par l'utilisation des « capteurs de lumière naturelle pour pièces aveugles ».

L'énergie requise pour ces bâtiments nécessiterait un développement et pour certains éléments un retour en grâce : des pompes à chaleur associées ou non à la géothermie superficielle ; des tuiles photovoltaïques ; de nouveaux types de vitrages (double, triple vitrages) avec création de vide entre les vitres ou avec injection de gaz rares (argon, krypton) afin de renforcer l'isolation thermique ; des vitrages anti-solaire ou capturant la chaleur sans la rediffuser ; des vitrages avec photopiles les transformant en capteurs solaires...

Une fois la consommation d'électricité réduite, il apparaît assez aisé de produire cette énergie de façon décentralisée. C'est ici qu'apparaît, à nouveau, la pile à combustible à partir de l'hydrogène qui pourrait s'appliquer à la production d'énergie stationnaire (c'est-à-dire dans un autre domaine que le transport). Si, pour l'instant cette filière en est à l'état de projet, on peut augurer que dans une décennie, il en sera autrement.

⁹⁴ Alain Maugard, Jean-Christophe Visier, Daniel Quenard – Le bâtiment à énergie positive – « *Les Futuribles* » n° 304, janvier 2005.

Au-delà, il s'agit de concevoir une nouvelle architecture, baptisée architecture bioclimatique, rompant avec une certaine tradition « d'aisance énergétique » qui caractérise la période contemporaine. Cependant en revenir à un bâtiment dans lequel on est protégé du soleil et où on utilise la fraîcheur de la nuit pour le refroidir n'est-ce pas revenir à une architecture traditionnelle ? Après tout, a-t-on jamais vu, dans les pays les plus chauds et les plus ensoleillés, des habitations traditionnelles dotées de baies vitrées et, de surcroît, orientées au midi ?

IV - QUEL FUTUR ÉNERGÉTIQUE ?

A - SOBRIÉTÉ, EFFICACITÉ, ÉCONOMIES D'ÉNERGIES

Depuis de nombreuses années, le débat aborde un ensemble de questions en matière d'énergie, lesquelles nous renvoient à une politique d'économie sous laquelle tous ne mettent pas la même chose.

À cet égard, le premier choc pétrolier a agi, tout au moins dans certains pays, comme un révélateur puisqu'un élément essentiel, par exemple, des politiques mises en œuvre à l'époque envisageait les économies d'énergie comme élément constitutif. Les années les plus récentes sont également marquées du sceau des économies à réaliser.

Le livre vert sur l'efficacité énergétique rédigé par la Commission évoque pour l'Union européenne un potentiel de 20 % d'économie de consommation à l'horizon 2020 par la mise en œuvre complète de mesures déjà existantes et décidées au niveau communautaire dans des secteurs aussi différents que le bâtiment, l'appareillage domestique, la production de chaleur ou les transports et par la mise en place de nouvelles mesures, dans les transports mais aussi dans l'industrie.

Parallèlement près d'un tiers du budget fédéral de la recherche dans le domaine de l'énergie doit être consacré aux États-Unis aux techniques d'économies d'énergie.

En France, la loi d'orientation de juillet 2005 évoque un objectif, pour 2015, de 2 % l'an de réduction de l'intensité énergétique dans notre pays ; objectif porté à 2,5% l'an d'ici à 2030. De même, la loi instaure les « certificats d'économies d'énergie »

Ainsi que le rappelle le rapport de l'OPECST « *Les nouvelles technologies de l'énergie* » de mars 2006, « en raison de leur connotation malthusienne ou régressive, on leurs (les économies) préfère souvent la notion d'efficacité énergétique »

Cette efficacité est à l'ordre du jour.

Selon le Conseil mondial de l'énergie dans son dernier rapport sur le sujet, quasiment tous les pays membres de l'OCDE ainsi qu'un nombre croissant d'autres États ont mis en œuvre des politiques d'efficacité énergétique avec des résultats variés, il est vrai.

Néanmoins, selon l'étude du CME, au niveau mondial l'intensité énergétique primaire a décliné tendanciellement de près de 1,5 % l'an entre 1990 et 2002, entraînant de fortes économies (de l'ordre de 20 % de la consommation totale). Cette intensité aurait baissé de 1,4 % en Amérique du Nord, de 0,9 % en Europe occidentale et de près de 6 % en Chine, soit note le CME, « *une réduction environ 4 fois plus rapide que la moyenne mondiale* ».

L'amélioration de l'intensité a plusieurs explications. En premier lieu, une économie qui se tertiarise connaît une amélioration quasi mécanique, dans la mesure, par exemple, où les services exigent sept fois moins d'énergie par unité de valeur ajoutée que l'industrie. Cela étant, dans les économies membres de l'OCDE, la transition de l'industrie vers les services est déjà largement engagée et n'explique pas entièrement l'amélioration constatée. Il en va de même pour un État comme la Chine qui poursuit sa phase d'industrialisation à marche forcée. Il faut alors penser que le recours à l'innovation, aux nouvelles techniques de production voire d'organisation du travail, entre pour beaucoup dans cette amélioration constatée.

De manière fort intéressante, l'étude du CME attire l'attention sur l'amélioration de l'efficacité énergétique (et de l'intensité) dans d'autres secteurs que l'industrie et les services ; en premier lieu les transports qui connaissent une amélioration avec les limites que l'on connaît et qui ont été analysées par notre assemblée récemment dans son avis sur le secteur automobile. En effet, alors que les nouveaux modèles sont de plus en plus « sobres », l'augmentation du parc total mondial annule sensiblement les progrès « individuels ». Il en va de même dans le domaine des transports aériens. Les avions sont de plus en plus sobres, cependant, l'accroissement du trafic est tel que les économies réalisées à l'unité sont annulées par le développement des rotations. Or, tous les experts (cf. notamment les travaux de l'OACI et le rapport spécial du GIEC en date de 1999 sur l'aviation et l'atmosphère planétaire) tablent sur une croissance du nombre des voyages et des passagers allant de +2 % à +4,7 % l'an d'ici à 2050. La croissance envisagée des consommations de carburants se situerait nettement en deçà de ces pourcentages car d'importants programmes de recherche à la fois sur les motorisations et sur les carburants, eux-mêmes, sont engagés.

Beaucoup plus préoccupante est, selon le CME, l'évolution de la consommation d'électricité dans le monde, compte tenu de l'utilisation de ressources fossiles comme mode de production nous l'avons nous-mêmes dit à plusieurs reprises dans ce rapport. La consommation des ménages, notamment, croît dans le monde entier de manière cependant variée selon les régions, certaines ayant mis en place des politiques visant à améliorer l'efficacité

énergétique des appareils électriques par exemple, labels, normes ... lesquelles se seraient avérées efficaces. Notre assemblée a fait ainsi référence à cette question particulière dans son récent avis sur les enjeux de l'après Kyoto, nous y renvoyons pour plus de détail.

L'un des éléments constitutifs du programme européen « *Save* », le projet « *Odyssee* », constitue une approche originale et microéconomique autant que macro de l'encouragement à l'efficacité énergétique. Il s'agit pour quinze des membres de l'Union (et probablement dans un futur proche pour l'ensemble des vingt sept) de produire des indicateurs d'efficacité dans différents secteurs à un niveau détaillé d'usages. Il n'est, dès lors, pas étonnant de retrouver dans la liste des indicateurs prioritaires, au coté de l'industrie ou de la production d'électricité, des indicateurs relatifs aux services, au transport, au logement, à un niveau très individuel. Lorsqu'on sait que par exemple, l'éclairage engloutit presque un tiers de l'énergie consommée dans un bâtiment, on conviendra que l'amélioration de l'efficacité des lampes constitue un véritable défi. À cet égard, et notre assemblée s'était déjà fait l'écho de cette question dans son avis sur les enjeux de l'après Kyoto, on ne peut qu'approuver la Commission dans son livre vert sur l'énergie intelligente, lorsqu'elle propose que des mesures soient prises pour « *endiguer la dérive de la consommation électrique en mode de veille* ». Cette fonction peut représenter, d'après Bruxelles, jusqu'à 7% de la consommation d'électricité des foyers.

On distingue aisément, au travers de ces deux exemples « extrêmes », le transport aérien et la veille des appareils électriques, qu'une sobriété certaine couvre l'ensemble du spectre énergétique et qu'il n'est pas de « petite politique » en la matière, si l'on accepte l'idée qu'une gestion rationnelle de la ressource énergétique concerne chacun d'entre nous à tous les niveaux

B - QUEL MIXTE ET À QUELLE DATE ? FOCUS SUR DEUX ÉNERGIES DOMINANTES

Il est couramment admis qu'aucune source d'énergie n'est totalement satisfaisante. Il est tout aussi couramment admis qu'aucune source ne saurait être écartée, compte tenu des enjeux des besoins futurs.

Quel pourrait être, alors, le meilleur mixte énergétique possible, étant entendu qu'un nombre appréciable de paramètres sont à prendre en compte. Ainsi la disponibilité physique plus ou moins importante des ressources, locales ou le niveau de développement ou de maturité de tels ou tels modes ou sources de production et le degré d'acceptabilité des énergies, le coût total de telle ou telle filière, etc. et, bien sûr, la recherche de la sécurité des approvisionnements énergétiques constituent autant d'éléments à prendre en compte. De même, le degré d'importance portée sur l'appréciation des effets du changement climatique et les moyens d'y porter remède représente une dimension dont la part devrait croître dès lors qu'il s'agira de faire le choix du « mixte » énergétique.

À cet égard, on ne peut mieux résumer la problématique de la place relative des énergies dans un mixte économiquement viable et socialement acceptable que ne le fait l'Académie des sciences dans une récente livraison⁹⁵ lorsqu'elle écrit que : « *la part de chaque énergie à une époque donnée dépendra de la possibilité de tirer le meilleur profit des sources déjà largement exploitées, pour limiter leur épuisement et les émissions de gaz à effet de serre, de la possibilité de mettre réellement en œuvre les autres sources à un niveau pouvant assurer les relèves nécessaires et de l'ampleur des économies d'énergie dans les divers domaines d'utilisation* », à laquelle il faut ajouter l'incidence des prix respectifs des différentes énergies. Cette assertion est vraie autant pour le mixte mondial, européen et national ; étant entendu que deux questions fondamentales se posent à chacun : comment produire de l'électricité commerciale ; comment répondre aux défis du transport ?

Aujourd'hui encore, dans le monde, 90 % de l'énergie consommée commercialement est d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon).

Le développement de nos sociétés industrialisées a reposé, pendant près de deux siècles, sur une source presque unique : le charbon dont la disponibilité géographique était telle qu'elle a autorisé des croissances largement nationales. Il n'était au XIX^e siècle, tout au moins dans ses premières décennies, nul besoin de développer un vaste commerce international de cette ressource. Le pétrole, s'est adjoint à cette première source, modifiant sensiblement le paysage énergétique, créant un marché international puisque les zones de production ne coïncidaient pas avec les zones de consommation et, surtout, offrant de nouvelles perspectives de développement. Flexible, cette ressource autorisa la mobilité individuelle des personnes et des biens. Aujourd'hui, le pétrole entre pour 95 % des consommations d'énergie du secteur des transports⁹⁶.

L'électricité est à l'origine de la deuxième révolution industrielle. L'offre d'électricité, produite à partir de sources fossiles ou de l'hydraulique s'est rapidement diversifiée, au fur et à mesure que l'on découvrait de nouveaux usages et qu'elle faisait preuve de toutes ses « vertus », de propreté, de confort, etc.

De son avènement, comme élément essentiel d'un mode de vie moderne, date aussi le développement d'une industrie de réseau à grande échelle doublant en quelque sorte, l'archétype du réseau moderne que représentait le chemin de fer et en préfigurant d'autres. Il est indéniable, à cet égard, que parmi les témoins historiques de la période moderne et contemporaine, le réseau doit être apprécié à sa juste valeur, marquant ainsi, par sa multiplication, la période industrielle et post-industrielle.

⁹⁵ Bernard Tissot, et alii – *Perspectives énergétiques* – Académies des sciences – DNBR, tome III, 2005.

⁹⁶ Pierre-René Bauquis – *Quelles énergies pour les transports du XXI^e siècle ?*

La production d'énergie électrique fut, pour certains pays dépourvus de ressources minières, le tremplin idéal pour accéder à une phase d'industrialisation importante ou pour en accélérer le mouvement. L'exemple peut-être le plus remarquable de cet état de fait est, à coup sûr, la Suisse.

À ces ressources, d'autres sources sont venues s'adjoindre, tendant à permettre une utilisation toujours plus flexible de l'énergie, tandis que la puissance produite et distribuée se renforçait, pour aboutir à l'état actuel toujours marqué, en dépit de ces apports par la prééminence – tout au moins dans les pays industrialisés – du pétrole et de l'électricité, à côté du charbon pour certains pays.

Il est difficile d'augurer – à moyen terme – qu'en dépit des difficultés et incertitudes géostratégiques, les énergies fossiles, au premier rang desquelles on classera le pétrole, puissent être remplacées aisément, particulièrement dans certains usages vitaux comme le transport, notamment, individuel. Néanmoins, les biocarburants doivent être développés dans les véhicules, dès aujourd'hui et les recherches se poursuivre. L'électricité, pour sa part, est aussi pratiquement irremplaçable – à moins d'accepter de faire un très large pas en arrière. On imagine assez mal une société décidant d'un retour, par exemple, à la... lampe à pétrole, voire, à huile.

On peut donc, aujourd'hui, à leur propos, évoquer le concept d'énergies dominantes, entendues comme structurantes pour le marché, à la fois en termes de disponibilité, de qualité, de... prix. Elles s'imposent dans « l'ordre du mérite » des énergies (c'est-à-dire en terme de coût complet en tenant compte de la totalité des externalités).

C'est à cette aune, ordre de mérite et en tenant compte de la raréfaction des sources fossiles dans un avenir plus ou moins proche et des méthodes permettant de produire de l'électricité, qu'il faut envisager la place des différentes sources ou ressources, dans un contexte probable de tension sur la demande due, à la fois, à l'entrée sur le marché mondial de nouveaux « compétiteurs »/clients, et au maintien de politiques dispendieuses dans certaines économies (États-Unis notamment) d'une part, et de préoccupations liées au changement climatique, dont l'appréhension devrait être toujours plus importante, d'autre part.

À ces contraintes, d'un ordre mondial, s'en s'ajoutent d'autres d'un ordre plus national. Elles sont connues dans notre pays, depuis le « Plan Messmer » qui était chargé d'y apporter une réponse. Il s'agit de diversifier les sources d'approvisionnement - contraintes que l'Union européenne a repris pour elle - de créer une source d'énergie nationale de production d'électricité, de maîtriser les consommations, afin d'assurer un maximum d'indépendance énergétique. Comment dès lors, envisager le mixte énergétique du futur alors que les prévisions de consommation à 2050 se situent aux environs de 15 à 20 Gtep (10 actuellement en comptant les sources non commerciales) et que les sources fossiles pourraient fournir de l'ordre de 12 Gtep et que la contrainte carbone sera encore plus présente ? Ces différentes contraintes ou objectifs imposent, pour

qu'il y soit répondu, un effort accru d'innovation et donc de recherche, même si à cette condition doivent s'en ajouter d'autres comme très certainement une évolution dans nos attitudes vis-à-vis de l'énergie. Au demeurant, il s'agit pour nos sociétés d'investir dans des technologies toujours plus efficaces qui se révéleront autant d'éléments promouvant la modernité.

On mesurera alors les défis qui sont posés sur la base de quelques exemples mêlant énergies et usages.

1. Pétrole et transport

Qu'il s'agisse d'un pic ou d'un plateau, qu'il se place vers 2020 ou vers 2030, que des découvertes viennent en reporter tant soit peu la date, la question du « peak oil » ne saurait être éludée. Comme le souligne l'Académie des technologies, « ...le début de la baisse (de la production pétrolière) ou son anticipation, sera un signal fort pour le réarrangement du mix énergétique et l'urgence du remplacement du pétrole naturel ».

La réussite de la substitution de cette ressource, particulièrement dans les transports, devrait s'imposer d'ici au terme fixé à ce rapport (2050) comme une évidence. Dans ces conditions, biocarburants, gaz, électricité, hydrogène devraient activement participer au nouveau mixte dans le secteur vital de la mobilité des personnes et des biens.

Dans le même temps, les autres secteurs de l'activité devraient voir la part relative du pétrole baisser, afin de laisser aux transports une part encore conséquente du pétrole consommé. En effet, au niveau international, la question essentielle réside bien dans la faculté de répondre à l'accroissement des besoins du secteur des transports en carburant.

La question a été abordée à de multiples reprises dans de nombreuses études. Toutes laissent entrevoir tout d'abord que les transports compteront pour une part de plus en plus importante en matière de consommation énergétique tout au long du XXI^e siècle⁹⁷.

Une part notable de cet état de fait devrait être due au rattrapage de pays en développement rapide actuellement, comme la Chine et l'Inde⁹⁸.

⁹⁷ cf notamment Jean-Pierre Orfeuil. « Peut-on réguler les consommations d'énergie des transports ? et Pierre-René Bauquis. « Un point de vue sur les besoins et les approvisionnements en énergie à l'horizon 2050 ». « *Revue de l'énergie* » n°509 – sept.1999. Pierre-René Bauquis – « *Quelles énergies pour les transports au XXI^e siècle ?* » 2005.

⁹⁸ J. Allain – le casse tête de l'État chinois : encourager la consommation automobile en décourageant la consommation d'énergie – *La Revue de l'Energie* n°563, janvier/février 2005. L'auteur rappelle, par exemple, qu'il s'est vendu autant de voitures particulières en Chine en 2003 qu'en France et qu'à l'horizon 2010, on envisage un parc automobile dans ce pays compris entre 28 et 36 millions de véhicules individuels, sans compter les autres types : camions, cars.... Cependant même ce niveau atteint, le taux de motorisation du pays resterait encore dix fois inférieures à celui de l'Europe.

Si, la part des transports dans l'ensemble des consommations d'énergies se maintient à son niveau actuel dans le monde : 20 % et si cette consommation se monte, en 2050, comme il est évoqué par l'IIASA dans son scénario B, à 20 Gtep, ce seul secteur réclamerait 4 Gtep et si la part de pétrole restait identique comme source à ce qu'elle représente aujourd'hui (soit 95 % en 2000), il faudrait alors consacrer la quasi totalité du pétrole produit aux transports... ce qui semble assez difficile dès lors que le « *peak oil* » aurait eu lieu.

Il est donc hors de question de poursuivre simplement sur la pente actuelle, compte tenu de la valeur économique du pétrole en tant que matière première dans de nombreux secteurs de l'activité industrielle, lesquels entreraient probablement en concurrence avec les transports pour son utilisation ultime.

Selon M. Bauquis le pétrole pourrait n'assurer que 50 à 60 % des carburants des transports à cet horizon : donc, de l'ordre de 2 à 2,5 Gtep. D'autres hydrocarbures, dont les huiles de schistes pourraient fournir un apport. Cependant, on pourrait enregistrer un « déficit » de près de 1 Gtep en 2050 qui « *serait à combler par d'autres sources d'énergies, même après avoir intégré... un fort impact du progrès technique et des législations visant aux réductions des consommations des véhicules* ».

La question alors posée est bien de connaître ou de déterminer qu'elles sources pourraient fournir cette Gtep manquante ? Les hydrocarbures de synthèse et ou de nouvelles sources : hydrogène, électricité auront-ils la capacité de remplir cette mission complètement ou partiellement et en quelle proportion pour chacune ? Nul ne le sait. L'on peut simplement augurer qu'un mixte énergétique transport aura été mis en place et qu'en dépit de ses qualités de flexibilité, le pétrole ne règnera plus quasiment sans partage dans le secteur des transports, ne serait-ce que du fait de sa raréfaction même relative.

2. L'électricité

L'électricité est devenue aussi fondamentale que le pétrole. En effet, le monde contemporain ne se distingue réellement du continuum de la modernisation que par le développement et les usages de ces deux sources. Le pétrole a autorisé l'individualisation de la mobilité des personnes et des biens, dès lors qu'il a servi de carburant à l'automobile individuelle, libérant ainsi les hommes. L'électricité est à l'origine de multiples avancées dans tous les domaines : ceux de la vie professionnelle, de la production (par exemple en réduisant largement les nuisances de tous ordres) ; ceux de la vie quotidienne en permettant à ses utilisateurs de négliger - pour la première fois dans l'histoire de l'humanité - le rythme de la journée, basé sur celui de la lumière naturelle - et, tout autant, d'améliorer la vie domestique de tous, jusque et y compris dans le domaine de la santé et de l'hygiène et de démultiplier l'énergie des hommes par une source d'énergie disponible et facile à utiliser.

Il fait peu de doutes que l'électricité, non seulement, maintiendra sa part, mais devrait la voir croître ; la demande dans les pays en développement autant que dans les économies post industrielles devrait croître. On imagine mal le contraire.

La question qui est, alors, posée est celle de la source primaire à partir de laquelle elle sera produite ? Sources fossiles : charbon, gaz, pétrole ; énergie nucléaire ; sources dites renouvelables ; nouvelles sources ?

À l'horizon 2030, l'OCDE estime qu'un tiers de l'électricité produite (et consommée) par les pays de l'OCDE aura pour origine le charbon et que près de 30 % aura pour origine le gaz.

Dans les « économies en transition » le gaz devrait représenter 54 % des sources d'électricité, devant le charbon (16 %) et « l'hydraulique » (15 %). Dans les « pays en développement », le charbon participerait pour 47 % à la production d'électricité et le gaz pour 26 %, devançaient « l'hydroélectricité » (16 %).

Il reviendrait donc au gaz, de permettre le maintien et le développement de l'électricité et selon l'AIE, la part du gaz triplerait d'ici 2030 (par rapport à 2002) dans la production mondiale d'électricité, permettant le développement de cette source, notamment, en Afrique et en Amérique latine. La question des réserves disponibles de gaz se poserait alors très rapidement.

À l'horizon 2050, (et probablement déjà avant), la réponse est qu'aucune source primaire ne saurait être ignorée tellement la demande sera importante. On voit donc que les efforts de recherche doivent être impérativement menés dans tous les secteurs de l'énergie. Une très large part de notre avenir est engagé dans cette recherche car le coût de la non recherche sera d'un poids plus important que le montant des investissements à réaliser, comme le démontre amplement un récent rapport⁹⁹ de la commission européenne et comme le souligne le commissaire européen chargé de la science et de la recherche, M. Janez Polocnik.

⁹⁹ Energy futures : the role of research and technological development (2006).

CONCLUSION

Lors de son audition devant la section des activités productives, de la recherche et de la technologie, M. Olivier Appert rappelait que de nombreux défis étaient à relever. Il en listait au moins de trois ordres : géopolitiques et financiers par le montant des investissements que la communauté internationale aurait à réaliser dans les cinquante années à venir pour assurer un développement nécessaire ; environnementaux par la prise en compte et la lutte contre le changement climatique, et enfin sociétaux et démographiques afin de faire reculer la pauvreté particulièrement dans les régions les plus déshérités.

Le rapport montre que des recherches et innovations multiples sont possibles, déjà en cours ou envisageables. Elles touchent tous les domaines tant de la production d'énergie que de celle de biens d'équipement et de la consommation. Elles doivent permettre d'améliorer l'efficacité énergétique et découpler encore davantage croissance économique et consommation d'énergie.

Le rapport, volontairement, n'en tire pas de prévisions : cela serait illusoire, tant, aujourd'hui, les incertitudes sont nombreuses. Il est donc nécessaire de laisser ouvertes toutes les portes à la fois aux perfectionnements des technologies existantes et aux ruptures technologiques recherchées.

Surtout, il décrit l'ampleur des défis qui nous sont posés, que nous avons rappelé plus haut et qui remettent en question notre modèle énergétique. On ne peut durablement continuer sur le mode actuel. Des informations contenues dans ce rapport, la conclusion est que dorénavant la question se place nécessairement dans le cadre de l'objectif du développement durable. Il nous faut bâtir un futur énergétique qui à la fois respecte l'environnement au niveau du climat et de la préservation des ressources, qui soit socialement bénéfique pour une population en croissance et économiquement soutenable. L'état d'esprit doit être celui de la recherche de l'innovation performante. C'est, en même temps qu'une nécessité économique, une question d'éthique pour répondre au sous-développement et à l'exclusion, au gaspillage des ressources et à la pollution.

Si les recherches et la diffusion de technologies innovantes sont indispensables car fondamentales, elles ne pourront suffire à réussir un objectif aussi exigeant : la maîtrise de l'énergie est un élément indispensable. Il ne s'agit pas de rationner mais de consommer moins d'énergie tout en produisant et vivant mieux. Le « négawatt », c'est-à-dire l'énergie non consommée, est un de nos alliés : le rapport en montre les technologies et les recherches possibles.

Les citoyens comme les entreprises seront d'autant plus encouragés si les États donnent l'exemple par des politiques plus ambitieuses. En effet, à tous niveaux et dès maintenant, l'orchestration a besoin d'être forte, de conjuguer court et long terme, d'assurer des arbitrages complexes, de mettre en œuvre des solutions diversifiées, de jouer de tous les instruments disponibles... par l'élaboration et le renforcement de politiques énergétiques, au niveau national et européen comme par des négociations d'accords internationaux et par la mise en jeu de tous les acteurs.

Il est de la responsabilité des générations actuelles que de transmettre à ses successeurs une planète en capacité d'assurer leurs besoins énergétiques de façon durable.

BIBLIOGRAPHIE

L'énergie constitue un champ particulièrement privilégié d'études. Les ouvrages sur la question sont très nombreux, voire, innombrables.

- Pour ce rapport on a consulté les collections des revues suivantes :
 - « *Revue de l'énergie* » ;
 - « *Énergie Plus* » ;
 - « *Problèmes économiques* » ;
 - « *Les Futuribles* » ;
 - « *Energies* » - Total ;
 - « *BP. Statistical review of world energy* » ;
 - « *Le courrier des pays de l'Est* » ;
 - « *Le pétrole et le gaz arabe* » ;
 - « *Géoéconomie* » ;
 - « *Réalités industrielles* » (Annales des mines)
 - *Lettre de l'ADEME* ;
 - *Les défis du CEA* ;
- Assemblée nationale
 - N. Kosciusko-Morizet, *Changement climatique : le défi majeur – rapport de la mission d'information de l'Assemblée nationale présidée par M. J.Y Le Déaut – rapport n°3021 – avril 2006* ;
 - A. Schneider, *L'après pétrole en Europe – rapport n°2839 AN – février 2006* ;
 - A. Marleix, *Biocarburants : un moyen efficace mais encore onéreux de respecter nos engagements écologiques internationaux – rapport n°1622 - mai 2004.*
- Sénat
 - J. Kergueris, C. Saunier, *La hausse des prix du pétrole : une fatalité ou le retour du politique ? - rapport n°105 – 2005/2006* ;
 - C. Belot, J.C Juilhard, *Énergies renouvelables et développement local - rapport n°436, juin 2006* ;
 - J. Valade, H. Revol, *La politique énergétique de la France, passion ou raison ? – rapport n°439 – 1998* ;
 - S. Lepeltier, *Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : quels instruments économiques – rapport n° 346 – 1998* ;
 - A. de Montesquiou, *L'énergie nucléaire en Europe : union ou confusion ? – rapport n°320-2000* ;

- G. Larcher, H. Revol, *Énergie : quelle politique française pour la prochaine législative ?* – rapport n°79 – 2002/03.
- Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
 - C. Bataille, C. Birraux, *Les nouvelles technologies de l'énergie et la séquestration du dioxyde de carbone : aspects scientifiques et techniques* - doc. 2965 AN/254 Sénat 2006 ;
 - C. Bataille, C. Birraux, *La durée de vie des centrales nucléaires et les nouveaux types de réacteurs* » doc. 832 AN/290 Sénat – 2003 ;
 - C. Cabal, C. Gatignol, *La voiture du futur : moins polluante et plus économe* - doc. 2757 AN/125 Sénat 2005 ;
 - P. Lafitte, C. Saunier, *Les apports de la science et de la technologie au développement durable - Tome I – Changement climatique et transition énergétique : dépasser la crise* - doc. 9197 AN/426 Sénat 2006 ;
- M. Deneux, *L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leur causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100* - doc. 3603 AN/224 Sénat - 2002.
- Commissariat général du Plan
 - *Énergie 2010-2020, Les chemins de la croissance sobre*, 1998 sous la direction de P. Boisson ;
 - *Énergie 2010-2020 – rapport de l'atelier : Le contexte international* ; O. Appert
 - *Énergie 2010-2020 – rapport de l'atelier : Les défis du long terme*, B. Dessus ;
 - *Énergie 2010-2020 – rapport de l'atelier : Trois scénarii énergétiques pour la France*, F. Moisan ;
- ADEME
 - *Pour une politique ambitieuse de maîtrise des consommations d'énergie* ;
 - *Quelles perspectives pour les énergies renouvelables en France pour 2010 et au-delà ?* - août 2003 ;
 - *Les enjeux de long terme de la maîtrise de l'énergie* - 2002
- Débat national sur les énergies
 - P. Castillon, M. L. Lesgy, E. Morin, *Rapport du Comité des sages remis à N. Fontaine, ministre déléguée à l'industrie* – septembre 2003 ;
 - Livre blanc sur les énergies – novembre 2003 ;
 - J. Boson, *Une stratégie énergétique pour la France* – octobre 2003 ;

- MIES
 - *Que serait une société sobre en carbone ?* – novembre 2002.
- Académie des technologies
 - *Prospective sur l'énergie au XXI^e siècle* - rapport coordonné par M. G. Ruelle – mars 2004.
- Académie des sciences
 - *Perspectives énergétiques* – B. Tissot et alli – 2005
 - *Énergie et climat* – Actes de la conférence débat du 23 avril 2001 – C.R. de l'Académie des Sciences - Série 2 tome 333 n°12 – décembre 2001
- Shell
 - *Exploring the future – Energy needs, choices and possibilities - Scenarios to 2050* –2001
- Suez
 - *Les énergies renouvelables* – 2004
 - *L'énergie, un enjeu pour l'Europe*
- CDF
 - *Les techniques de combustion propre du charbon* - Sept. 2005
- PNUD
 - Rapport annuel sur le développement humain 2005.
- Commission européenne
 - « *Action on climate change post 2012* » ;
 - « *Energy in Europe – European energy to 2020 a scenario approach* » 1996;
 - « *Eurobarometres* »
 - « *Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable* » 2006-11-08 « *L'efficacité énergétique ou comment consommer mieux avec moins* » 2005 ;
 - « *Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique* » 2000 ;
 - « *World energy, technology and climate policy outlook 2030* » 2003;
 - « *Energy futures the role of research and technological development* » 2006.

- OCDE/AIE
 - « *Perspectives des technologies de l'énergie : scenarii et stratégies à l'horizon 2050* » 2006 ;
 - « *Energy, technologies at the cutting edge* » 2005 ;
 - Rapports annuels « *World energy outlook* » ;
 - « *Energy to 2050 scenarios for a sustainable future* » 2004 ;
 - « *Key world energy instrument outlook 2003* ».
- EDF
 - « *Énergie nucléaire : le nouveau débat mondial* » 2004 ;
 - Rapports annuels.
- CEA
 - « *Les enjeux des systèmes nucléaires du futur : pour un nucléaire durable* » ;
 - « *L'énergie nucléaire du futur : quelles recherches pour quels objectifs* » 2005 ;
 - Rapports annuels
- DGEMP
 - « *Coûts de référence de la production électrique* » 2004 ;
 - « *Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique* » 2002 ;
 - Rapports annuels de la DGEMP.
- IFRI
 - « *Les caractéristiques du commerce énergétique mondial au 21^{ème} siècle* » 2003DTI ;
 - « *Notre avenir énergétique - créer une économie sobre en carbone* » 2003.
- CME
 - « *World energy in 2006* »;
 - « *Réflexions sur la dynamique des marchés du pétrole et du gaz naturel - déclaration 2004 du CME* » ;
 - « *Le futur rôle de l'énergie nucléaire en Europe* » 2005 ;
 - « *Energy efficiency : a worldwide review* » 2004;
 - « *L'énergie pour le monde de demain : le temps de l'action* » 2000 ;
 - « *Une seule planète pour tous* » 2003 ;
 - « *Global energy perspectives to 2050 and beyond* » rapport 1995 sous la direction de N. Nakicenovic;

- « *Energy end-use technologies for the 21st century* » 2004;
- « *Drivers of energy scene* » 2003 ;
- « *Sustainable global energy development; the case of coal* » 2004 ;
- « *Energy market reform 2004* ».
- Ouvrages et articles divers
 - T. Chambolle, F. Meaux, « *Nouvelles technologies de l'énergie* » - 2003.
 - P. Bauquis – *Quelles énergies pour les transports du XXI siècle ?*
 - P.R. Bauquis – E. Bauquis – *Pétrole et gaz naturel* –Ed. Hirle 2004
 - A. Berger, « *Kyoto, où en est l'Europe* », J.C Louvain – 2004 ;
 - P. Criqui, P. Noel, « *Marchés énergétiques et géopolitique pétrolière* », 1990-2030, IEPE Grenoble - septembre 1998 ;
 - J.M Chevalier, « *Pétrole et gaz : deux logiques économiques* » - « *Sociétal* » n° 42 -2003 ;
 - C. Acket, P. Bucher, « *France : perspectives énergétiques pour 2050* », SFENGR 21 - novembre 2004 ;
 - C. de Boissieu, Rapport du groupe de travail « *Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre ou la France à l'horizon 2050* » ;
 - M. Combarnous, A. Prieur, « *Les consommations d'énergie dans le monde : une méthode robuste de prévision de leur évolution à moyen terme ; premières conséquences* » - septembre. 2003 ;
 - B. Dessus « *Énergie, un défi planétaire* » 1996 ;
 - J.L. Belin, H. Nifenecker, C. Stephan « *L'énergie dans le monde : bilan et perspectives* » SFP 2001 ;
 - Y. Cochet « *Stratégie et moyen de développement de l'efficacité énergétique et des sources d'énergies renouvelables en France* » rapport au Premier ministre septembre. 2002 ;
 - P. Terzian « *Gaz naturel : disponibilités, contraintes et dépendances à l'horizon 2010-2020* » Petrostratégies - Octobre. 1996 ;
 - M. Claverie, D.Clément, C.Giraud « *Les perspectives technologiques des filières non nucléaires* » - Juillet 2000 ;
 - P. Girard, Y. Maignac « *Le parc nucléaire actuel* » mission d'évaluation économique de la filière nucléaire - mai 2000 ;
 - C. Villeneuve. « *La séquestration du carbone* » ;
 - J. M. Chevalier. « *Les grandes batailles de l'énergie* » - 2004 ;
 - World business council for sustainable development « *Growth, development and energy demand* » - 2004.

- Les sites internet
 - <http://www.iea.org>
 - <http://www.worldenergy.org>
 - <http://www.energy.gov>
 - <http://www.energy.gov> (DOE)

Liste des personnalités rencontrées

M. Joël PEDESSAC	Directeur général comité français du butane et du propane
Mme Marielle SOUBEYRAN	Responsables des relations extérieures du comité français du butane et du propane
M. Charles MATTENET	Directeur stratégie croissance exploration et production Total
M. Alain MAUGARD	Président du Centre scientifique et technique du bâtiment
M. Olivier ALEXANDRE	Directeur recherche raffinage et marketing Total
M. Bernard TISSOT	Membre de l'Académie des Sciences
M. Jean-Paul ROLLIN	Directeur études et projet SNET
M. Dominique MAILLARD	Directeur général direction générale de l'énergie et des matières premières
M. Marc FLORETTE	Directeur de la Recherche Gaz de France
M. Hervé CASTERMANN	Directeur d'objectifs clients direction de la recherche Gaz de France
M. Michel COMBARNOUS	Professeur à l'ENSEA de Bordeaux
Mme Anna FALANGA	Directeur des nouvelles technologies de l'énergie CEA
M. François MOISAN	Directeur exécutif de la stratégie et de la recherche ADEME
M. Philippe GEIGER	Chargé de la sous-direction des approvisionnements en hydrocarbures DGEMP
Mme Martine CHOQUERT	Chargée de mission techniques nouvelles DGEMP
Mme Catherine DAMELON	Chargée de mission de l'observatoire de l'énergie DGEMP
M. Jean-Eudes MONCOMBLE	CME
M. Patrice BERNARD	Directeur du développement et de l'innovation nucléaire CEA
M. Yves BAMBERGER	Directeur recherche et développement EDF
M. Christian BRODHAG	Délégué interministériel au développement durable
M. Claude GIRARD	Conseiller technique au cabinet du ministre de la Recherche
M. Antoine Tristan MOCILNIKAR	Conseiller expert dans l'économie des filières énergétiques MEDD
M. Jacques REPUSSARD	Directeur général de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
M. Kurt E. Yeager	President and chief executive officer Electric Power Research institute

Table des sigles

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEE	Agence pour les économies d'énergie
AEI	Agence internationale de l'énergie
AFME	Agence française pour la maîtrise de l'énergie
Alterner	Programme européen « alternative energy » (énergies renouvelables)
ANAH	Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat
API	American petroleum institute
BWR	Boiling water reactor
CADAS	Comité d'application de l'Académie des sciences
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEREN	Centre d'études et de recherches technologiques sur l'énergie
COMES	Commissariat à l'énergie solaire
CME	Conseil mondial de l'énergie
DOE	Department of energy
DGEMP	Direction générale de l'énergie et des matières premières
ENR	Energies renouvelables
EPR	European pressurised reactor (réacteur pressurisé européen)
FIDEME	Fonds d'investissement pour la maîtrise de l'énergie
FOGIME	Fonds de garantie des investissements de maîtrise d'énergie
GES	Gaz à effet de serre
GIEC/IPIC	Groupe d'expertise internationale sur l'évolution du climat (international panel on climate change)
GIF	Forum international pour la « génération 4 »
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
IEPE	Institut d'économie et politique de l'énergie
IASA	International institute for applied systems analysis
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IGCE	Industries grosses consommatrices d'énergie
INRETS	Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité
LCD	Liquid crystal display
MIES	Mission interministérielle de l'effet de serre
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OMI	Organisation maritime internationale
OPATB	Opération programmée d'amélioration thermique des bâtiments
OPESCT	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
PCRD	Programme communautaire de recherche et de développement
PEON	Commission production de l'électricité d'origine nucléaire
PNAEE	Programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique
PNLCC	Plan national de lutte contre le changement climatique
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement
Prebat	Programme de recherche sur l'énergie dans le bâtiment
PUCA	Plan urbanisme construction et architecture
PWR	Pressurized water reactor (réacteur à eau pressurisée)
RBMK	Reactor bolschoi mashchnost kalani (réacteur à forte puissance à canaux)

REP	Réacteur à eau pressurisée
Save	<i>Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency</i>
	Programme européen visant à promouvoir l'efficacité énergétique
ULCC	Ultra large crude carrier
VLCC	Very large crude carrier

Unités de valeur

1 baril	= 158,984 litres
1 tonne pétrole	= 7,33 barils
KW/kWh	= 10^3
Méga M	= 10^6 – mégawatt (MW)
Giga G	= 10^9 – gigawatt (GW)
Téra T	= 10^{12} – térawatt (TW)

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Répartition géographique de la production de pétrole en %.....	7
Tableau 2 : Production française d'énergie primaire (Mtep).....	17
Tableau 3 : Importation de quelques produits en Mtep	17
Tableau 4 : Consommation française d'énergie par sources en Mtep (et en %) ..	18
Tableau 5 : Répartition sectorielle des consommations d'énergie en %	19
Tableau 6 : Technologies mises en oeuvre dans la « filière » nucléaire.....	24
Tableau 7 : Part des sources d'énergie renouvelables dans la consommation intérieure brute d'énergie en %.....	30
Tableau 8 : Évolution de la population mondiale depuis 1970.....	34
Tableau 9 : Part des consommations d'énergie primaire par région selon l'AIE en %.....	39
Tableau 10 : Caractéristique des trois scénarios et de leurs variantes en 2050 ...	41
Tableau 11 : Prévision de la part relative des diverses sources dans la production d'électricité en %	44
Tableau 12 : Prévisions de progression trentenaire des émissions de CO ₂ (millions de tonnes).....	58
Graphique 1 : Répartition des réserves de pétrole et de gaz par zone géographique	12
Graphique 2 : Demande d'énergie primaire et croissance mondiale de 1971 à 2000.....	36
Graphique 3 : Évolution du prix du baril de pétrole en dollars courant et en dollar constant 2005 depuis 1973.....	36
Graphique 4 : Évolution du prix du gaz naturel dans l'Union européenne (cif) unités en dollars courants.....	37
Graphique 5 : Demande mondiale en énergie primaire (en Mtep) en 2030.....	38
Graphique 6 : Total de la consommation finale mondiale (en Mtep) en 2030	38
Graphique 7 : Émissions de CO ₂ par région (tonnes de CO ₂ per capita)	59
Graphique 8 : Intensité énergétique primaire et finale, avec leurs taux de croissance annuels moyens sur 1982-2005 (en indice base 100 en 1990)	99

Carte 1 : Réserves de pétrole dans le monde en 2005 (en Gtep)	13
Carte 2 : Réserves de gaz naturel dans le monde à la fin 2005 (en milliards de m ³).....	14
Carte 3 : Réserves de charbon dans le monde à la fin 2005 (en milliards de tonnes).....	15
Carte 4 : Ressources mondiales en uranium estimées au 1er janvier 2001	16
Carte 5 : Les principales routes maritimes du pétrole	50
Carte 6 : Les principaux axes du transport du gaz naturel.....	52
Carte 7 : pauvreté en énergie	55
Schéma 1 : Part des combustibles dans les réserves mondiales d'énergie primaire en 2000 (en %).....	30

Le monde s'oriente-t-il vers un avenir énergétique durable ? La poursuite des tendances actuelles laisse penser que non.

Le Conseil économique et social se plaçant à l'horizon 2050 dresse le panorama du mixte énergétique raisonné et équilibré qui devrait prévaloir à cette date. Aucune source d'énergie ne peut être exclue *a priori*. Les recherches doivent être activement poursuivies dans tous les domaines. Mais, au-delà des espoirs portés par la technique, il s'agira pour nos sociétés de modifier sensiblement leur rapport à l'énergie.