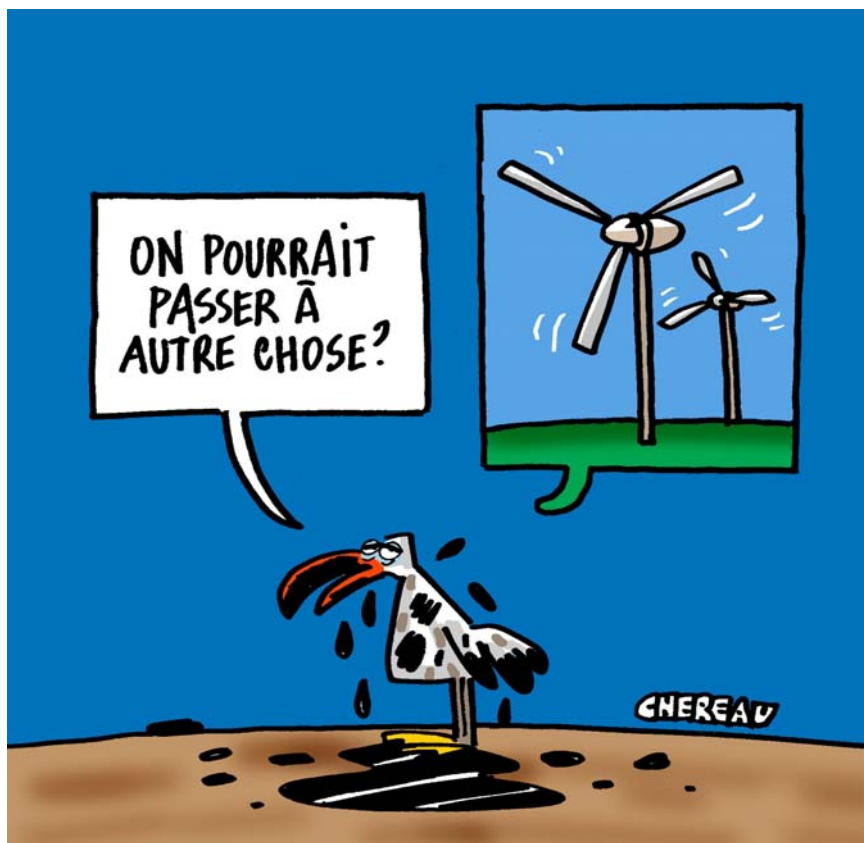


# Science & *D*écision

## Energie :

production, consommation, où en est-on ?



<http://www.science-decision.fr>



## Energie : production, consommation, où en est-on ?

*Aucun pays n'est aujourd'hui autonome sur le plan énergétique, qu'il s'agisse de la maîtrise des sources d'énergie ou des techniques de production et de transformation. Le marché de l'énergie reflète l'équilibre stratégique et économique international.*

*Un état peut privilégier certaines sources d'énergie. Ainsi, pour répondre au premier choc pétrolier (1973-1974) la France s'est engagée dans la production d'électricité d'origine nucléaire. Celle-ci représente aujourd'hui 78 % de la consommation nationale d'électricité.*

*Mais quelles que soient les volontés politiques, les évolutions sont difficiles. Ainsi, le pétrole fournit actuellement 98 % de l'énergie consommée pour les transports. Utiliser une autre source d'énergie pour les voitures n'aurait de résultats significatifs qu'après le renouvellement de la plus grande partie du parc (seize années sont nécessaires au renouvellement de 90 % du parc).*

*Il est possible de tirer avantage localement de certaines sources d'énergie qui restent marginales au niveau national. La chaleur libérée par l'incinération des déchets ménagers peut par exemple être récupérée au profit du chauffage urbain ou des industries locales.*

*L'optimisation de la consommation est un enjeu essentiel de la politique énergétique nationale et mondiale, sur laquelle des interventions sont possibles à l'échelon local. Elle fait l'objet d'un autre dossier intitulé « Les économies d'énergie : choix ou nécessité ? »*

<http://www.science-decision.fr>



<b>L'énergie.....</b>	<b>5</b>
Que recouvre le mot énergie ? .....	5
Quel est le lien entre puissance et énergie ?.....	5
Que sont les énergies fossiles ?.....	5
Qu'est-ce que l'énergie géothermique ? .....	6
Que sont les énergies renouvelables ?.....	6
Qu'est-ce que l'énergie nucléaire ?.....	6
Quelle est la durée de vie d'une centrale nucléaire ? .....	7
Comment utiliser l'énergie éolienne ? .....	7
Comment utiliser les biocarburants ?.....	7
<b>La mesure de la consommation d'énergie.....</b>	<b>8</b>
Comment exprime-t-on une quantité d'énergie ?.....	8
Les différentes sources d'énergie sont-elles interchangeables ? .....	8
Comment peut-on comparer la quantité d'énergie contenue dans différentes sources ?.....	8
Pourquoi les statistiques mentionnent-elles souvent la notion « d'équivalent pétrole » ? .....	8
La production d'énergie consomme-t-elle beaucoup d'énergie ? .....	9
Comment peut-on prévoir l'évolution de la consommation d'énergie ?.....	9
<b>La production et consommation d'énergie dans le monde .....</b>	<b>9</b>
Où se trouvent les réserves d'énergie fossile ? .....	9
Quelle est la part des énergies fossiles dans la consommation mondiale d'énergie ?.....	10
Comment le pétrole est-il transporté ? Quel est le coût du transport ?.....	10
Quelle est la part de l'énergie consommée sous forme d'électricité ? .....	10
Où sont les réserves d'uranium ? Qui utilise l'énergie nucléaire ? .....	10
Quelle est l'importance de l'hydroélectricité ? Qui y a recours ? .....	11
Existe-t-il des régions du monde sous-alimentées en énergie ? .....	11
La consommation d'énergie d'un pays est-elle liée à sa richesse ? .....	11
Quels sont les problèmes énergétiques propres aux pays les plus pauvres ? .....	11
<b>L'avenir des modes de productions d'électricité.....</b>	<b>12</b>
Comment l'électricité est-elle produite ? Comment est-elle transportée ?.....	12
Quelle est l'importance relative des différents modes de production d'électricité ?.....	12
L'Europe est-elle présente sur le marché des centrales à charbon « propres » ?.....	13
Quel est l'avenir des centrales à gaz ? .....	13
Quel est l'avenir de l'électricité nucléaire ?.....	13
Quel est l'avenir de l'électricité éolienne ?.....	14
Quel est l'avenir des piles à combustible et de la filière hydrogène ?.....	14
Quel est l'avenir de la production directe d'électricité à partir de l'énergie solaire ?.....	15
Quel est l'avenir de l'énergie des océans ? .....	15
<b>L'approvisionnement énergétique.....</b>	<b>15</b>
Sécurité d'approvisionnement et indépendance énergétique sont-ils synonymes ? .....	15
Comment est estimée l'indépendance énergétique ?.....	15
Quels sont les risques qui pèsent sur l'approvisionnement énergétique ?.....	16
Que faire pour garantir un approvisionnement régulier en énergie et des prix stables ?.....	16
Qu'est-ce qui détermine le prix de l'énergie ? .....	17
Comment est déterminé le prix de base du pétrole ? L'approvisionnement est-il garanti ?.....	17
Le marché du gaz suit-il les mêmes règles que celui du pétrole ? .....	17
Comment des pannes d'électricité peuvent-elles toucher des territoires étendus et durer des heures ? .....	18
Peut-on stocker l'électricité ?.....	18
Peut-on enfouir les lignes électriques ?.....	18
<b>L'énergie en France.....</b>	<b>19</b>
Quelle est la consommation d'énergie en France ?.....	19
Quelle est l'évolution attendue de la consommation d'énergie en France ? .....	19
Qui consomme quoi en France ?.....	19

Quelles sont les taxes sur l'énergie en France ? .....	20
A quoi est utilisé le produit des taxes spécifiques sur l'énergie ? .....	20
Les déchets ménagers et le biogaz représentent-ils une source d'énergie importante ? .....	20
La production d'électricité à partir de l'incinération des déchets est-elle rentable ? .....	20
Le bois est-il une source d'énergie importante en France ? .....	21
<b>Le gaz et électricité en France .....</b>	<b>21</b>
Quel est le rôle du service public de l'électricité et du gaz ? .....	21
Qu'appelle-t-on la dérégulation de la fourniture d'électricité et de gaz ? .....	21
Quel est le rôle de l'Etat après la dérégulation de l'électricité et du gaz ? .....	22
La dérégulation au niveau européen peut-elle mettre en danger le service public français ? .....	22
La dérégulation bénéficie-t-elle au consommateur final ? .....	22
Quelles sont les démarches à effectuer pour devenir producteur d'électricité ? .....	22
Quelle est la réglementation pour la production d'électricité éolienne ? .....	23
Qu'appelle-t-on l'obligation d'achat pour l'électricité ? .....	23
<b>Energie et Environnement .....</b>	<b>23</b>
Pourquoi dit-on que la consommation d'énergie augmente l'effet de serre ? .....	23
Que sont les écotaxes ? .....	24
Que sont les systèmes d'échange de quotas d'émissions ou permis négociables d'émission ? .....	24
Quels sont les déchets produits par les différentes sources d'énergie ? .....	24
Que faire du combustible nucléaire usé ? .....	25
Comment est garanti le bon fonctionnement des centrales nucléaires ? .....	25
Les performances des centrales à charbon peuvent-elles être améliorées ? .....	25
Quels sont les problèmes engendrés par les barrages hydrauliques ? .....	26
Quels sont les problèmes engendrés par les éoliennes ? .....	26
<b>Références .....</b>	<b>27</b>

# L'énergie

## **Que recouvre le mot énergie ?**

L'énergie est difficile à définir simplement autrement qu'à travers ses effets et ses variations : chauffer l'eau, faire avancer un vélo ou une voiture, etc. Son étude est à la base de la physique. Les physiciens ont construit au fil des siècles des systèmes de mesures adaptés aux différentes formes d'énergie (chaleur, mouvement, électromagnétisme, etc.). Celles-ci peuvent se transformer les unes dans les autres : par exemple, l'énergie chimique de nos cellules est transformée dans nos muscles en énergie mécanique qui produit un mouvement.

L'homme utilise l'énergie sous forme de chaleur, de lumière ou de mouvement. La maîtrise de l'énergie est donc le moteur de l'activité humaine. L'homme doit la stocker, la transporter, ce que certaines formes d'énergie permettent mieux que d'autres. Pour ces raisons, il peut être conduit à transformer l'énergie. La découverte de l'électricité a ainsi constitué une révolution : toutes les formes connues d'énergie peuvent être transformées en énergie électrique. L'électricité peut ensuite être elle-même facilement transportée puis transformée en mouvement (moteur par exemple) ou en chaleur (radiateur par exemple) pour l'utilisateur final.

La quantité totale d'énergie ne varie pas quand l'énergie change de forme, mais une partie de l'énergie se transforme en chaleur et est le plus souvent perdue pour l'utilisateur. Le rendement d'une transformation est le pourcentage de l'énergie restant disponible pour l'utilisateur. Ce rendement est de 38 % pour une centrale électrique thermique, de 20 % pour un moteur de voiture et de 10 % pour une centrale électrique géothermique. Le rendement d'une opération de transformation dépend de la source d'énergie et des progrès techniques permettant l'amélioration des procédés industriels de cette transformation. Elle est limitée par des caractéristiques physiques non modifiables en l'état actuel des connaissances.

L'unité utilisée par les physiciens pour mesurer l'énergie est le joule (J). Les économistes utilisent plutôt la tonne d'équivalent pétrole (tep), les médecins nutritionnistes la calorie (cal).

([68] pp. 6-7, pp. 15-16, [95] pp. 157-173)

## **Quel est le lien entre puissance et énergie ?**

Puissance n'est pas synonyme d'énergie. La puissance fait intervenir un facteur supplémentaire qui est la durée pendant laquelle une quantité donnée d'énergie est consommée. L'unité de puissance est le watt (W) et correspond à une consommation d'énergie de 1 joule en une seconde. On emploie couramment les multiples suivants : 1 kW = 1000 W, 1 MW = 1 million de W.

A partir d'une même quantité d'énergie peuvent être produites des puissances de niveaux très différents :

- L'énergie nécessaire pour gravir une pente donnée est toujours la même, en revanche, la puissance à fournir augmente avec la vitesse. Plus on monte vite, plus on développe une grande puissance.
- Quarante litres d'essence contiennent une quantité d'énergie de 500 kWh (kilo watt heure). Si ces 40 litres sont consommés en 5 heures par une voiture, la puissance développée par la voiture est de 100 kW (kilo watt). S'ils sont brûlés en 10 secondes, la puissance dégagée est alors de 180 000 kW.

([68] p. 7, pp. 13-14, [95] p. 172)

## **Que sont les énergies fossiles ?**

Le charbon (houille, lignite, tourbe), le pétrole et le gaz naturel sont les énergies fossiles. Ils proviennent de la transformation de la biomasse (arbres, plantes, animaux, micro-organismes) enfouie depuis plusieurs milliers ou millions d'années. Lors de la combustion des énergies fossiles, l'énergie solaire qui a permis la croissance de la biomasse (à partir de l'eau, du gaz carbonique - CO<sub>2</sub> - et de l'azote de l'air) est restituée sous forme de chaleur tandis que du CO<sub>2</sub> (gaz à effet de serre) est libéré dans l'atmosphère.

Ces énergies fossiles ne sont pas renouvelables. Au rythme actuel de leur consommation, le temps nécessaire à leur reconstitution dépasse largement le temps nécessaire aux hommes pour utiliser totalement les stocks existants.

([99])

### **Qu'est-ce que l'énergie géothermique ?**

L'énergie géothermique est la chaleur fournie par la Terre. Elle provient principalement de la désintégration des éléments radioactifs naturellement présents dans les roches du sous-sol. A la surface de la Terre, cette énergie est en moyenne 10 000 fois plus faible que l'énergie fournie par le soleil. L'énergie géothermique n'est donc utilisable que dans des zones particulières où elle s'est accumulée.

L'énergie géothermique est récupérée sous forme d'eau chaude (sources thermales, puits artésiens, geysers). Son utilisation la plus répandue est le chauffage (habitations, serres, etc.) efficace avec de l'eau à température modérée (à partir de 15 ou 20° C). Le chauffage par géothermie est utilisé par exemple en région parisienne et en région bordelaise.

La production d'électricité par géothermie demande une eau beaucoup plus chaude (plus de 150° C). Elle ne se rencontre qu'au voisinage des zones volcaniques actives (en Guadeloupe ou en Islande par exemple).

L'énergie géothermique n'est pas une énergie renouvelable. Lorsqu'ils sont exploités, les gisements d'eau chaude se tarissent ou se refroidissent.

([1] p. 26, p. 37, p. 39, p. 46, pp. 49-52)

### **Que sont les énergies renouvelables ?**

Une énergie est dite renouvelable quand, sur une centaine d'années, on n'en consomme pas plus que la nature n'en produit. Le caractère renouvelable ou non d'une source d'énergie dépend de la rapidité avec laquelle elle est utilisée.

La plupart des énergies renouvelables proviennent directement ou indirectement du soleil :

- Energie solaire. Elle est utilisée directement par les chauffe-eau solaires (panneaux solaires) et les piles solaires.
- Energie hydraulique. Cette énergie provient essentiellement du passage de l'eau à travers les barrages. Elle est issue du cycle de l'eau : le soleil provoque l'évaporation de l'eau qui se condense pour former les nuages. La pluie libérée par ceux-ci contribue à la création des cours d'eau qui à leur tour alimentent les barrages. La puissance des centrales hydroélectriques dépend de la vitesse de l'eau et de son débit. L'énergie des marées est une forme d'énergie hydraulique mise à profit dans les usines marémotrices.
- Energie éolienne. Elle utilise la force du vent. Celui-ci est dû à des différences de pressions atmosphériques locales qui résultent de différences d'échauffement de l'air par le soleil.
- Energie de la biomasse (arbres, plantes, animaux, micro-organismes). Elle provient de sa combustion. L'énergie solaire permet la croissance de la biomasse à partir de l'eau, du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de l'azote de l'air. Lors de la combustion de la biomasse (biocarburants compris) ou des déchets organiques qui en sont issus, l'énergie solaire est restituée sous forme de chaleur et le CO<sub>2</sub> libéré dans l'atmosphère.

([17], [19], [28] p. 54, [66] pp. 39-43, [68] p. 18, [82], [94])

### **Qu'est-ce que l'énergie nucléaire ?**

L'énergie nucléaire est l'énergie liant les constituants du noyau d'un atome. L'éclatement (fission nucléaire) de certains atomes lourds comme l'uranium ou le plutonium en atomes plus petits libère de la chaleur. Dans les centrales nucléaires, cette chaleur est utilisée pour produire de l'électricité. C'est la source d'énergie la plus concentrée utilisable actuellement. L'énergie nucléaire n'est pas issue de la matière organique. Elle ne produit pas de gaz à effet de serre (gaz carbonique, etc.). En revanche, elle génère des déchets radioactifs.

En France, l'énergie nucléaire produit 400 milliards de kWh d'électricité par an (78 % de l'électricité produite).

L'énergie nucléaire peut aussi être produite par fusion d'atomes légers. L'énergie solaire provient d'une telle réaction de fusion au cœur du soleil. Des recherches sont en cours pour produire de l'électricité à partir de ce processus.

([68] pp. 13-14, [84] pp. 42-43, [85] p. 29)



### **Quelle est la durée de vie d'une centrale nucléaire ?**

Initialement, les centrales devaient fonctionner pendant 30 ans. Un examen régulier des centrales existantes montre qu'elles peuvent fonctionner sans risque pendant 60 ans. Malgré tout, 104 réacteurs ont été arrêtés dans le monde entre 1950 et 2003, dont onze en France (pour mémoire, EDF exploite actuellement 58 réacteurs d'une puissance unitaire d'environ 1000 MW sur 19 sites). Il s'agit de réacteurs qui avaient atteint la fin de leur durée de vie prévue ou dont le coût de production d'électricité était notablement plus élevé que celui des réacteurs modernes.

Les grands opérateurs nucléaires, dont EDF, ont engagé des programmes de démantèlement à une échelle industrielle. Ce sont des opérations très complexes. En effet, si 75 % des déchets sont des gravats ordinaires, les matériaux situés près du réacteur sont devenus radioactifs au cours du fonctionnement de la centrale (de l'ordre de 20 000 tonnes de matériaux radioactifs, dont 500 tonnes de matériaux très radioactifs).

Le coût de démantèlement est estimé à 15 % du coût de construction d'une centrale neuve. En France, les pouvoirs publics ont prévu qu'EDF provisionne les montants nécessaires et répercute ce coût sur le prix de l'électricité. La longue durée nécessaire aux travaux (environ 25 ans) rend cependant difficile l'évaluation précise des coûts et donc l'adéquation des financements prévus.

([70] pp. 63-71, [96], [104] p. 18, [106] pp. 35-38, [119] pp. 9-10, [133] p. 161, pp. 177-181)

### **Comment utiliser l'énergie éolienne ?**

L'énergie éolienne est l'énergie du vent. Elle est utilisée aujourd'hui pour produire de l'électricité. Une éolienne fonctionne avec un vent soufflant entre 20 km/h (force 4 sur l'échelle de Beaufort) et 90 km/h (force 9).

La puissance fournie varie considérablement en fonction de la vitesse du vent : actuellement, la plupart des éoliennes industrielles peuvent produire 750 kW avec un vent de 54 km/h mais leur puissance n'est que de 28 kW quand le vent souffle à 18 km/h. En raison des variations de la vitesse des vents, la puissance moyenne annuelle d'une éolienne atteint au mieux le quart de sa puissance potentielle.

L'expérience allemande a montré qu'à l'échelle d'un pays, la production totale d'électricité éolienne pouvait varier de 30 % en une heure, entraînant des sautes de puissance de un à deux mille MW (soit la puissance de un ou deux réacteurs nucléaires). En raison de ces sautes de puissance, l'électricité éolienne ne peut venir qu'en complément d'autres sources d'électricité. Il faut pour cela un réseau de distribution robuste et, dans la mesure du possible, la possibilité de stocker l'énergie.

Le Danemark (fournisseur d'électricité éolienne) et la Norvège (où 69 % de l'électricité est hydroélectrique) ont prévu une combinaison exemplaire. En période de vents forts, l'électricité éolienne en excès serait acheminée vers les barrages de Norvège et utilisée pour pomper l'eau et la remonter en amont des barrages. En période de vents faibles, l'ouverture des vannes des barrages restituerait rapidement l'énergie stockée et de l'électricité serait acheminée vers le Danemark.

([13] pp. 15-16, [26], [58] pp. 48-50, [61] p. 1047, [85] p. 29, [87] p. 13, [111])

### **Comment utiliser les biocarburants ?**

Les biocarburants sont des produits de l'agriculture pouvant se substituer à l'essence, au gazole ou au fioul domestique. Ils sont utilisés purs ou mélangés aux produits pétroliers. Il existe trois grands types de biocarburants : l'alcool, l'ETBE (éthyl-tertiobutyl éther) et les EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales).

L'alcool est fabriqué à partir du sucre (betterave en France, canne à sucre au Brésil) ou de l'amidon (maïs aux Etats-Unis, blé en France). Il peut remplacer l'essence.

L'ETBE est un produit dérivé de l'alcool. Il offre l'avantage de se mélanger plus facilement à l'essence que l'alcool.

Les EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales) appelés aussi biodiesel sont principalement tirés d'huiles de colza. Ils remplacent le gazole et le fioul.

L'incorporation au carburant traditionnel de faibles quantités de biocarburant (15 % pour l'alcool ou l'ETBE, 5 % pour les EMVH) ne modifie pas le fonctionnement des moteurs. Tous les biocarburants peuvent aussi être utilisés purs dans des véhicules ordinaires, mais ceci nécessite un réglage spécifique du moteur.

Bien que le prix de revient de l'alcool ait baissé de 50 % en vingt ans, il est encore quatre fois plus élevé que celui de l'essence.

([12] pp. 9-10, [23] pp. 18-19, pp. 22-23, p. 25, pp. 27-28, p. 30)

## La mesure de la consommation d'énergie

### **Comment exprime-t-on une quantité d'énergie ?**

Les unités de mesure de l'énergie sont très nombreuses. Elles ont varié au cours du temps et leur définition est souvent liée au type d'énergie qu'elles mesurent. Aujourd'hui, bien que l'unité de mesure officielle soit le joule (J), d'autres unités sont, par habitude, utilisées : par exemple la kilocalorie (kcal) pour l'énergie contenue dans un repas, le kilowatt-heure (kWh) pour la consommation d'électricité domestique.

Les différents systèmes d'unités sont liés par des équivalences qui permettent d'effectuer les conversions : par exemple, 1 kWh = 3 600 000 joules = 860 kcal. Les Anglo-saxons utilisent aussi le British thermal unit ou Btu (1 kWh = 3413 Btu).

L'unité couramment utilisée dans les statistiques énergétiques est la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole brut (ou tep pour tonne équivalent pétrole) : 1 tep = 11 700 kWh. Une tonne de pétrole équivaut à 7,33 barils (1 baril = 159 litres).

([68] pp. 6-7, [84] pp. 8, p. 10-11, [95] pp. 171-172)

### **Les différentes sources d'énergie sont-elles interchangeables ?**

Sur un plan physique ou technologique, les différentes sources d'énergie peuvent en général produire les mêmes effets. Cependant, elles ne sont pas équivalentes au regard des impératifs commerciaux (coûts d'approvisionnement), géographiques (accès aux réseaux de transport de l'énergie) ou politiques (sécurité d'approvisionnement énergétique, émission de gaz à effet de serre, etc.).

Toutes les sources d'énergie permettent de produire de l'électricité. Le prix de revient du kWh est aujourd'hui toujours plus élevé pour les énergies renouvelables, sauf pour l'hydroélectricité. La compétitivité des énergies renouvelables dépend en partie de la façon dont est calculé le prix de l'énergie. Actuellement, il ne prend pas en compte les conséquences pour l'environnement (impact sur l'effet de serre, etc.) ou la santé (pollution de l'air, etc.).

Le pétrole est actuellement la principale source d'énergie dans les transports. En Europe, 98 % des transports fonctionnent à partir du pétrole (ce qui représente deux tiers du pétrole consommé). En raison du poids de l'héritage historique et des contraintes économiques, les autres sources d'énergie (biocarburant, voiture électrique) risquent de rester marginales dans les vingt ans à venir. Le Japon, les Etats-Unis et l'Europe mènent d'intenses recherches pour raccourcir ce délai. Elles portent principalement sur l'utilisation de l'hydrogène comme alternative au pétrole. Cependant, la diffusion de nouvelles technologies est longue dans ce secteur. Dans les années 1990, la durée nécessaire au renouvellement de 90 % du parc automobile était d'environ 16 années en France.

([48] pp. 16-17, [66] p. 17, pp. 25-26, pp. 41-43, [90] p. 11, [116] p. 28)

### **Comment peut-on comparer la quantité d'énergie contenue dans différentes sources ?**

Pour comparer différentes sources d'énergie, l'usage est de comparer la quantité de chaleur (quantité maximale d'énergie) produite par la combustion complète d'une quantité donnée de chacune d'elles : une tonne de pétrole fournit 42 milliards de joules, une tonne de charbon 29,3 milliards, une tonne de gaz naturel liquide 46 milliards. Bien qu'il n'y ait pas à proprement parler de combustion, cette équivalence est aussi utilisée pour l'électricité (1 000 kWh d'électricité équivaut à 3,6 milliards de joules) et pour les matières radioactives (la radioactivité contenue dans 1 kg d'uranium naturel dégage 360 milliards de joules dans une centrale nucléaire).

([84] p. 10)

### **Pourquoi les statistiques mentionnent-elles souvent la notion « d'équivalent pétrole » ?**

Pour faciliter les comparaisons économiques, l'unité de mesure couramment utilisée est la tonne d'équivalent pétrole ou tep. C'est la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole (42 milliards de joules). La combustion complète de 0,697 tonne de pétrole dégage autant de chaleur que celle d'une tonne de charbon, et celle de 1,096 tonne de pétrole autant que la combustion complète d'une tonne de gaz naturel.

([84] p. 10)

**La production d'énergie consomme-t-elle beaucoup d'énergie ?**

Oui. Dans un pays comme la France, l'énergie utilisable par le consommateur final (particulier, collectivité locale, entreprise) ne représente qu'un peu plus de 60 % de l'énergie consommée au total (appelée aussi consommation brute). Le reste est perdu au cours de la transformation de l'énergie en une forme utilisable pour les activités humaines (chaleur perdue par les centrales électriques, fonctionnement des raffineries, etc.) ou lors de son transport. La part de la consommation finale dans la consommation brute varie selon le mode d'approvisionnement en énergie des pays.

([69], [88], [112] p. 5)

**Comment peut-on prévoir l'évolution de la consommation d'énergie ?**

Pour anticiper les variations de la consommation d'énergie, il est nécessaire de faire des hypothèses sur l'évolution des paramètres susceptibles de l'influencer : démographie, niveau et type d'industrialisation, nouvelles réglementations (par exemple limitation de l'émission de gaz à effet de serre), progrès technologiques, modifications des modes de vie, etc.

Les experts travaillent à partir d'hypothèses qui diffèrent selon les scénarios. Les divers scénarios conduisent parfois à des écarts très importants des prévisions. L'objectif est de fixer une fourchette dans laquelle se situera l'évolution réelle. Par exemple, l'estimation de la consommation mondiale d'énergie dans trente ans varie du simple au double suivant qu'on envisage un modèle économique peu gourmand en énergie ou au contraire une économie très consommatrice, comme l'était l'industrie du XIX<sup>e</sup> siècle et de la première moitié du XX<sup>e</sup>.

Toutefois, les prévisions s'accordent sur le fait que les pays d'Asie (principalement la Chine et l'Inde) contribueront de façon prépondérante à l'augmentation de la consommation mondiale d'énergie. La consommation de la Chine devrait dépasser celle de l'Europe en 2010 et celle de l'Amérique du Nord en 2020. Les pays industrialisés, qui aujourd'hui consomment plus de la moitié de l'énergie mondiale, compteraient pour moins d'un tiers en 2030.

Beaucoup d'experts estimaient que la demande accrue d'énergie allait s'accompagner d'une hausse des prix du pétrole et du gaz. La hausse est déjà sensible en 2005, on en ignore encore l'ampleur et la durée.

([15] pp. 6-7, [27] pp. 7-11, [67] p. 9, [72] p. 214, pp. 222-223, pp. 233-234, [98] pp. 7-8)

## La production et consommation d'énergie dans le monde

**Où se trouvent les réserves d'énergie fossile ?**

Les réserves d'énergie fossile sont concentrées dans quelques régions du monde. L'Europe n'en possède qu'une faible part :

- Le pétrole se trouve principalement Moyen-Orient (65,4 %). L'ex-Union soviétique, l'Afrique et le Venezuela possèdent chacun 7,4 % des réserves mondiales, les Etats-Unis 2,9 % et l'Europe 1,9 %.
- Le gaz naturel concerne le Moyen-Orient (36 %), l'ex-Union Soviétique (35,5 %), l'Afrique (7,6 %), l'Europe (3,7 %), les Etats-Unis (3,3 %).
- Les réserves de charbon sont concentrées aux Etats-Unis (25,4 %), dans l'ex-Union soviétique (23,4 %), en Europe (12,7 %), en Chine (11,6 %), en Inde (8,6 %).

Au rythme de consommation et dans les conditions d'exploitation actuelles, les réserves officielles de pétrole du Moyen-Orient sont suffisantes pour assurer 80 années de production. Le niveau des réserves officielles dépend entre autre des progrès technologiques et de la découverte de nouveaux gisements. Ceci explique l'augmentation des réserves officielles entre 1982 et 2002 en dépit d'un accroissement de la consommation mondiale.

Les réserves mondiales de charbon exploitables actuellement sont quatre à cinq fois plus importantes que celles de gaz naturel ou de pétrole. Ces réserves sont exploitables lorsque les coûts de production sont compatibles avec les prix du marché.

([85] pp. 48-49, [101] p. 4, p. 9, p. 20, p. 25, p. 30, Appendices, [128] pp. 6-9)

**Quelle est la part des énergies fossiles dans la consommation mondiale d'énergie ?**

Le pétrole fournit 37 % de l'énergie consommée dans le monde, 43 % en Europe (où il représente 98 % de l'énergie consommée par les transports).

Le gaz fournit 24 % de l'énergie consommée dans le monde et en Europe. Cette part s'élève à 54 % dans l'ex-Union soviétique.

Le charbon fournit 25 % de l'énergie consommée dans le monde. Le charbon fournit 66 % de l'énergie consommée en Chine et 56 % de celle qui est consommée en Inde. La consommation de charbon augmente beaucoup plus vite en Chine que dans le reste du monde (27,9 % d'augmentation entre 2001 et 2002, contre 0,6 % d'augmentation en moyenne dans le reste du monde).

([101] pp. 4-19, pp. 20-29, p. 33, p. 38, [112] p. 5)

**Comment le pétrole est-il transporté ? Quel est le coût du transport ?**

Les échanges internationaux se font par mer (62 %) ou par oléoduc (38 %). Le transport compte peu dans le prix du brut (5 à 10 % du prix total). C'est d'ailleurs un frein aux investissements qui permettraient d'améliorer les infrastructures et de répondre aux exigences de sécurité (notamment pour les navires).

Le pétrole représente la moitié du transport maritime de fret. Les détroits forment des goulots d'étranglement dans l'approvisionnement mondial de pétrole (30 % des échanges internationaux passent par le détroit d'Ormuz, le trafic est limité à sept pétroliers géants par jour en hiver dans le Bosphore, etc.). Le transport maritime entraîne un risque de pollution (dégazages, marées noires).

Les grands oléoducs amènent le pétrole jusqu'aux ports d'embarquement. La construction des oléoducs est la pièce maîtresse du désenclavement des champs pétroliers continentaux. Elle nécessite un accord des pays traversés, des grands groupes pétroliers et des institutions financières internationales. La construction du réseau d'oléoducs qui désenclave le bassin de la mer Caspienne illustre la complexité de la tâche.

Le transport du pétrole consomme de l'énergie, en quantité variable selon les modalités utilisées. Cette consommation est mesurée en considérant l'énergie nécessaire pour transporter une tonne de pétrole sur un kilomètre. Les oléoducs sont la solution la plus économe en énergie : ils consomment de 2,5 à 6 fois moins d'énergie que le transport par wagon et de 12,5 à 34 fois moins que le transport par camion. Les bateaux ont une consommation intermédiaire entre l'oléoduc et la voie ferrée. Les économies d'énergie augmentent avec la taille des bateaux, d'où la tendance actuelle à utiliser des supertankers.

([35] pp. 2-3, [77], [92] pp. 65-69, [125], [126] pp. 16-17, [127] p. 2, pp. 9-10, [137])

**Quelle est la part de l'énergie consommée sous forme d'électricité ?**

L'électricité représente, selon les pays, de 30 % à 40 % de l'énergie consommée. Ces proportions ne devraient pas varier notablement dans les quinze prochaines années. La part la plus élevée est observée dans les pays industrialisés.

L'énergie électrique est obtenue par la transformation d'une autre source d'énergie (énergie fossile, énergie nucléaire ou énergie renouvelable).

L'évaluation de la part de l'électricité dans la consommation totale nécessite d'exprimer les kWh d'électricité en tonnes d'équivalent pétrole (quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole). Cette opération préalable explique que l'évaluation chiffrée de la part de l'électricité peut varier selon les sources d'information car elles n'utilisent pas toutes la même convention pour effectuer la conversion.

([98] p. 137, p. 181, [101] p. 34, p. 36, [112] p. 31)

**Où sont les réserves d'uranium ? Qui utilise l'énergie nucléaire ?**

Les réserves de minerai d'uranium exploitées actuellement sont dispersées dans de nombreux pays (29 % dans l'ex-Union soviétique, 20 % en Australie, 18 % en Amérique du Nord et 17 % en Afrique). Il est probable que de nombreux gisements restent à découvrir.

La durée de vie des réserves est difficile à préciser car la consommation d'uranium dépendra en grande partie de l'évolution technique des centrales nucléaires. La consommation de minerai peut être notablement diminuée en retraitant le combustible après son utilisation dans les centrales. En effet, 96 % du combustible usé est constitué d'éléments qui peuvent encore fournir de l'énergie. On obtient ainsi le MOX (pour Mixed Oxydes), qui peut remplacer en partie le combustible initial. Dans tous les cas, les réserves sont largement suffisantes pour plus

d'un siècle. Le prix du combustible ne représente que 10 à 20 % du coût du kWh fourni par une centrale nucléaire.

L'Europe et l'ex-Union soviétique produisent 46 % de l'énergie nucléaire mondiale, l'Amérique du Nord 33,6 %. L'énergie nucléaire fournit 8 % de l'énergie consommée aux Etats-Unis, 14 % en Europe et 38 % en France (et 78 % de l'électricité). En Asie, l'énergie nucléaire est utilisée principalement au Japon (14 % de l'énergie consommée), en Corée du Sud (13 %) et à Taiwan (10 %). Elle fournit 1,4 % de l'énergie consommée en Inde, 0,9 % au Pakistan, 0,6 % en Chine, 2,4 % en Argentine et 1,9 % au Brésil.

([8] pp. 72-73, [24] pp. 8-12, [101] p. 34, p. 38, [104] p. 5)

### **Quelle est l'importance de l'hydroélectricité ? Qui y a recours ?**

L'hydroélectricité représente 16 % de la production mondiale d'électricité et 6 % de la production totale d'énergie. La part de l'hydroélectricité dans la production totale d'énergie atteint 25 % en Amérique du Sud (elle produit 21 % de l'énergie hydroélectrique mondiale). La part de l'hydroélectricité dépasse 30 % au Brésil, au Pérou, en Suède, en Islande et atteint 69 % en Norvège. L'hydroélectricité est la deuxième source d'électricité en France.

Environ 95 % de l'énergie hydroélectrique mondiale provient de grandes installations (puissance supérieure à 10 MW). En France, il existe une centaine de centrales de puissance supérieure à 50 MW et près de 3 000 de puissance inférieure à 1 MW. Les premières assurent les deux-tiers de la production d'hydroélectricité. Pour mémoire, un réacteur nucléaire typique du parc EDF a une puissance d'environ 1 000 MW.

La politique européenne vise à promouvoir la construction de très petites structures car elles sont peu polluantes et s'inscrivent dans une logique de développement durable.

([58] p. 11, [101] p. 36, p. 38, [118] pp. 18-19)

### **Existe-t-il des régions du monde sous-alimentées en énergie ?**

Oui. Environ un tiers de la population mondiale n'a pas accès à des services de base nécessitant l'électricité (éclairage, réfrigération, téléphone, radio, télévision) mais aussi cuisine et chauffage à partir des énergies fossiles (gaz, charbon, fioul). Ces deux milliards de personnes sont essentiellement concentrées dans les zones périurbaines d'Afrique, d'Amérique centrale et du Sud et d'Asie.

Les inégalités sont particulièrement marquées pour l'électricité. La consommation totale d'électricité rapportée au nombre d'habitants est en moyenne dix fois plus faible dans les pays en émergence que dans les pays industrialisés (vingt fois plus faible en Inde). Moins de 10 % de la population africaine subsaharienne a accès à l'électricité.

([67] p. 3, p. 8, [72] pp. 226-227, [101] p. 40)

### **La consommation d'énergie d'un pays est-elle liée à sa richesse ?**

La production de richesses (matières premières, biens de consommation, services, etc.) consomme de l'énergie. Cependant, cette consommation dépend beaucoup du niveau et du mode d'industrialisation. En 2001, l'Amérique du Nord, l'Europe de l'Ouest et le Japon ont produit 77 % de la richesse mondiale et ont consommé 52 % de l'énergie mondiale. L'ex-Union soviétique et les pays de l'Est, caractérisés par une industrie gourmande en énergie, ont produit 3 % de la richesse mondiale et consommé 13 % de l'énergie mondiale tandis que les pays abordant l'industrialisation après une période essentiellement agricole (principalement ceux d'Asie et notamment la Chine) ont produit 20 % de la richesse et consommé 35 % de l'énergie.

([15] pp. 6-7, [27] pp. 7-11, [72] pp. 233-234, [98] pp. 7-8)

### **Quels sont les problèmes énergétiques propres aux pays les plus pauvres ?**

Les équipements des pays pauvres n'étant pas aussi performants que ceux des pays industrialisés, une bonne partie de l'énergie achetée par ces pays est dépensée en pure perte. Le poids économique de ce gaspillage est d'autant plus important que beaucoup de ces pays consacrent à l'achat d'énergie près de la moitié des revenus de leurs exportations.

Il existe un cercle vicieux entre pauvreté et consommation d'énergie :

- Les sources traditionnelles (bois de chauffage, charbon de bois, résidus agricoles, déjections animales) fournissent en moyenne 30 % de l'énergie des pays en développement (et jusqu'à 80 % en Afrique)

subsaharienne). Faute d'autres possibilités, ces sources traditionnelles sont surexploitées (la consommation dépasse la production locale).

- Les équipements des pays les plus pauvres sont très gourmands en énergie. Par exemple, la consommation des voitures et des camions a diminué de 30 % ces vingt dernières années grâce aux progrès réalisés en matière de conception des moteurs modernes, mais le parc automobile des pays pauvres comporte peu de véhicules neufs. De même, le rendement énergétique de leurs installations industrielles est en moyenne trois fois plus faible que celui des pays industrialisés.
- Les entreprises doivent souvent disposer de leur propre générateur d'électricité pour pallier les insuffisances des centres de production et des réseaux de distribution. Ceci représente un quart de l'investissement des petites entreprises dans ces pays.

([11] pp. 2-3, [41] p. 22, [67] p. 4, p. 10, p. 12, p. 18)

## L'avenir des modes de productions d'électricité

### **Comment l'électricité est-elle produite ? Comment est-elle transportée ?**

L'électricité est généralement produite par un alternateur entraîné par une turbine. La turbine tourne sous l'effet de la combustion d'un gaz (turbines à gaz), d'un jet de vapeur d'eau très chaude (centrales électriques thermiques et nucléaires), d'un courant d'eau (centrales hydroélectriques) ou du vent (éoliennes).

Dans les piles ordinaires comme dans les piles à combustible et les accumulateurs électriques (batteries), ce sont des réactions chimiques qui produisent l'électricité.

L'électricité est transportée par des câbles. Une partie de l'énergie électrique est perdue au cours de son transport (2 à 10 % selon l'ancienneté et les performances des installations). La façon la moins coûteuse de minimiser les pertes sur des grandes distances est d'augmenter la tension. C'est pour cela que les lignes qui connectent les régions entre elles (et qui constituent l'armature du réseau de distribution entre les pays européens) véhiculent l'énergie électrique sous une tension de 400 000 V (400 kV). Elles sont portées par des pylônes d'une cinquantaine de mètres de hauteur.

Des transformateurs abaissent ensuite la tension (90 kV ou 63 kV) à proximité des grands utilisateurs (grande industrie, réseau ferré, centres de distribution de l'électricité). Enfin, l'électricité est fournie en moyenne tension (20 ou 15 kV) aux villes, hôpitaux, grandes surfaces, usines, etc. et en basse tension (380, 220 ou 110 V selon les pays) aux artisans, petits commerçants, particuliers, etc.

Chaque point du réseau est connecté à plusieurs centrales. Cette structure permet d'absorber les fluctuations locales de la consommation tout en maintenant constante la production des centrales. Cette organisation est nécessaire car il n'est pas possible de moduler en moins de quelques heures les capacités de production d'une centrale (sauf pour les centrales hydroélectriques).

([16], [18], [21], [22], [25] p. 119, p. 125, [40] p. 3, [49] p. 40, [55], [74] p. 3, [80], [135])

### **Quelle est l'importance relative des différents modes de production d'électricité ?**

En 2000, 39 % de l'électricité mondiale était produite par des centrales au charbon, 17 % par des centrales hydroélectriques, 17 % par des centrales nucléaires, 17 % par des centrales au gaz, 8 % par des centrales à fioul et 2 % par d'autres sources d'énergie (éolienne, géothermique, etc.).

Le rendement des centrales électriques dépend avant tout de l'efficacité des turbines ; les turbines à gaz ont un rendement plus élevé que les turbines à vapeur d'eau. En outre, les gaz de combustion à la sortie de la turbine à gaz sont utilisés pour produire de la vapeur d'eau qui entraîne une seconde turbine : on parle alors de cycle combiné.

Le rendement des centrales à gaz est de 20 % pour les centrales de faible puissance (de quelques dizaines à quelques centaines de kW) mais atteint 55 % pour les centrales équipées d'un dispositif permettant d'effectuer un cycle combiné. Il est voisin de 40 % pour les centrales à charbon et les centrales nucléaires performantes. Le rendement global de l'installation peut être amélioré si la vapeur d'eau est utilisée pour le chauffage industriel après son passage dans la turbine (on parle de cogénération). Il atteint alors 85 %.

Le rendement des piles à combustible peut atteindre 60 %. Elles produisent de l'électricité à partir de la recombinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air.

([16], [18], [21], [22], [25] p. 119, p. 125, [74] p. 3, [135])

### **L'Europe est-elle présente sur le marché des centrales à charbon « propres » ?**

L'Europe (principalement l'Allemagne) et les Etats-Unis sont les principaux constructeurs de centrales à charbon faiblement polluantes (dites propres). Six entreprises se partagent 90 % du marché mondial, l'une d'elles (américaine) en possède près de la moitié.

Actuellement, les pays acheteurs sont également les pays constructeurs. Le marché des centrales « propres » est limité aux pays industrialisés. Un marché potentiel considérable reste à conquérir dans les pays ayant massivement recours aux centrales à charbon comme la Chine et l'Inde. L'exportation des centrales « propres » vers ces pays se heurte à plusieurs obstacles :

- Les réglementations des pays émergents sur les émissions polluantes, moins strictes que dans les pays industrialisés, ne nécessitent pas d'équipements très performants.
- Le prix de l'énergie est faible localement et ne contrebalance pas le surcoût des équipements très performants.
- Les pays émergents donnent la priorité à l'acquisition de technologies nouvelles alors que les fabricants de centrales « propres » souhaitent exporter des équipements « clés en mains ».

([11] pp. 30-31, pp. 35-39, [30] p. 43, [32] D19-D36, [38], [43] pp. 24-27, [67] pp. 17-18, p. 20)

### **Quel est l'avenir des centrales à gaz ?**

La construction de centrales électriques à gaz est en plein essor dans le monde entier. Chaque année, environ 400 centrales à gaz produisant chacune plus d'une centaine de MW sont construites dans le monde. Les experts prévoient qu'il se vendra plus de 18 000 turbines pour des centrales à gaz dans les dix prochaines années.

Ces chiffres n'incluent pas la fabrication de centrales de faible puissance (de quelques dizaines à quelques centaines de kW) destinées à une production autonome d'électricité par de petites structures (entreprises, hôpitaux, centres commerciaux, etc.) ou des particuliers. En 1999 plus de 10 000 centrales de faible puissance étaient installées en Europe, mais seulement une dizaine en France. Le marché de cette variante moderne des groupes électrogènes devrait connaître une croissance rapide dans les dix prochaines années.

L'Europe et les Etats-Unis sont les principaux producteurs de centrales à gaz. Sept entreprises se partagent plus de 80 % du marché mondial, l'une d'elles (américaine) en possédant plus de 40 %.

Actuellement, les centrales à gaz produisent l'électricité au même prix que le nucléaire. Mais le financement est différent : les deux tiers des coûts sont occasionnés par la construction de la centrale dans le nucléaire alors qu'ils proviennent de l'achat du combustible dans une centrale à gaz, ce qui fait qu'ils sont étalés dans le temps.

Les centrales à gaz présentent l'inconvénient de produire des gaz à effet de serre et d'avoir un coût de production qui dépend très fortement du prix des combustibles. Ainsi, une des causes majeures de la faillite du système de production d'électricité en Californie en 2000 a été l'explosion du coût de production de l'électricité causée par une importante augmentation du prix du gaz.

([9] pp.1-2, [11] pp. 2-3, [25] pp. 119-124, [49] pp. 15-17, [104] p. 11)

### **Quel est l'avenir de l'électricité nucléaire ?**

La production mondiale d'électricité nucléaire est relativement stationnaire depuis plusieurs années. Au 1er janvier 2004, 439 réacteurs destinés à la production commerciale d'électricité étaient en service dans le monde et 31 en construction, dont 18 en Asie et 10 en ex-URSS.

Actuellement le marché des centrales nucléaires est localisé principalement en Asie (Chine, Inde, Corée du Sud, Japon). La construction de centrales pourrait reprendre en France à partir de 2015 si le renouvellement du parc existant est étalé sur vingt ans. La construction de nombreuses centrales nucléaires est envisagée aux Etats-Unis d'ici 2020, mais les projets butent encore sur l'importance des investissements privés et des aides publiques nécessaires. La capacité de financement des états joue un rôle décisif car l'investissement représente deux-tiers du coût de l'électricité nucléaire.

Jusqu'en 2020-2030, les nouvelles centrales bénéficieront d'améliorations en matière de sûreté et d'efficacité, tout en restant globalement sur les modèles actuels. C'est par exemple le cas de l'EPR (*European Pressurized Reactor*) qui est en cours de construction en Finlande (la construction d'un EPR est programmé en France). Au-

delà, les centrales feront probablement appel à d'autres technologies. Grâce au changement de technologie, le combustible nucléaire sera exploité beaucoup plus complètement, le recyclage facilité et la production de déchets par là-même réduite.

Cinq groupes industriels dominent le marché des centrales nucléaires. Avec AREVA, la France possède le premier groupe mondial pour la construction et la maintenance des chaudières nucléaires (41 % du marché mondial) et pour la fourniture de combustible nucléaire (41 % du marché mondial pour les réacteurs à eau pressurisée et 22 % pour les réacteurs à eau bouillante).

([37] pp. 12-13, pp. 53-55, [86], [104] p. 11, pp. 17-20, pp. 24-25, p. 27, [117], [119] pp. 10-11, pp. 56-67, [130], [131], [142])

### **Quel est l'avenir de l'électricité éolienne ?**

L'électricité éolienne représente moins de 1 % de l'électricité mondiale. Elle est utilisée principalement en Europe (74 % de la puissance mondiale installée en 2003), aux Etats-Unis (17 %) et en Asie (8 %, dont 70 % en Inde).

Le marché connaît une croissance voisine de 25 % par an. Il repose sur un soutien important des pouvoirs publics (avantages fiscaux, obligation d'achat imposée aux opérateurs, etc.). L'Europe représentait 70 % du marché en 2003. Elle était suivie de l'Amérique du Nord (23 %) et de l'Asie (6 %). Neuf des dix plus grands constructeurs d'éoliennes sont européens (Allemagne, Danemark, Espagne) et représentent 92 % des parts de marché.

La capacité de production d'électricité éolienne installée en Europe était de 29 000 MW en 2003. L'objectif est de la doubler d'ici 2010 et de réaliser 15 % de la production en mer. Dans le cadre de cette politique, la France devrait créer d'ici là une capacité de production de 7000 MW, dont près de la moitié en mer.

L'avenir de l'électricité éolienne passe par une implantation en mer, à une dizaine de kilomètres au large des côtes. L'intérêt est la plus grande stabilité des vents et l'impact réduit sur les paysages. Le surcoût de 20 à 50 % lors de l'installation devrait être compensé par une production d'électricité plus élevée. Le Danemark est à la pointe des expériences en ce domaine. Il possédait en 2003 les trois quarts de la puissance éolienne offshore installée en Europe (il n'y a pas d'éoliennes offshore dans le reste du monde).

([58] pp. 48-50, [74] pp. 2-3, [76] p. 11, [87] pp. 3-4, p. 9, pp. 12-13, [89], [120] p. 56, p. 60, p. 62, pp. 64-68, [138])

### **Quel est l'avenir des piles à combustible et de la filière hydrogène ?**

Les piles à combustible permettent de produire de l'électricité en combinant de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air. Ce sont les seules sources d'énergie électrique à la fois mobiles et puissantes. Combiné à l'utilisation de piles à combustible, l'hydrogène devrait à moyen ou long terme remplacer le pétrole dans les transports. Dans un tout autre domaine, ces piles devraient augmenter considérablement l'autonomie de petits appareils portables (ordinateurs, téléphones, etc.).

Les Etats-Unis, le Japon et le Canada sont les pays les plus avancés dans la recherche et la production industrielle de piles à combustible. L'Europe a engagé un programme de recherche important pour combler son retard. Il existe des prototypes de piles à combustible pour des installations fixes de moyenne puissance. Cependant, le passage à une échelle industrielle n'est pas attendu avant 2010. Les Japonais et les Américains envisagent de commercialiser des voitures à pile à combustible à partir de 2010 et de généraliser l'utilisation de l'hydrogène comme carburant à partir de 2020 ou 2030.

L'hydrogène consommé par les piles à combustible est produit par décomposition du gaz naturel ou de biocarburants sous l'effet de la chaleur, ou par la décomposition de l'eau sous l'effet d'un courant électrique. Bien que la deuxième solution soit actuellement plus coûteuse, elle devrait prédominer à terme car elle peut fournir de l'hydrogène en quantité industrielle sans émission de gaz à effet de serre.

En plus des piles à combustible et de la production d'hydrogène, la filière hydrogène nécessite un réseau de distribution spécifique allant jusqu'au consommateur final. La création de ce réseau soulève des problèmes qui sont plus réglementaires que techniques. Ils devraient être résolus vers 2010. Un premier réseau de stations-services devrait être opérationnel en 2010 au Japon et en Amérique du Nord.

([38], [45] pp. 76-88, [54] pp. 38-39, pp. 92-103, [71], [75] pp. 1-2, [102] p. 8, [132] pp. 31-48, pp. 52-54, pp. 104-105)



### **Quel est l'avenir de la production directe d'électricité à partir de l'énergie solaire ?**

L'énergie solaire est utilisée sous forme d'électricité ou de chaleur (chauffage des habitations, eau chaude). Son importance dans la production mondiale d'énergie est très faible. Elle est difficile à mesurer avec précision car les installations sont dispersées et de petite taille. L'électricité solaire représentait en 2002 environ 0,01 % de la production d'électricité des pays industrialisés. C'est un secteur en forte croissance (28 % par an depuis 1990 et 37 % par an depuis 2002).

L'énergie solaire peut produire de l'électricité en concentrant le rayonnement solaire jusqu'à obtenir une température équivalente à celle qui est utilisée dans une centrale électrique. Le système a besoin d'un ciel sans nuage pour fonctionner correctement. Les Etats-Unis possèdent 94 % de la puissance installée, l'Australie 5,5 % et le Canada 0,5 %. Ce système produit actuellement la moitié de l'électricité solaire. Il pourrait être concurrencé dans l'avenir par l'électricité photovoltaïque.

L'électricité photovoltaïque résulte de la transformation directe du rayonnement solaire par des photopiles. Le système donne de bons résultats dans les pays compris entre l'équateur et le 45e parallèle. Les photopiles n'ont pas de concurrents pour produire quelques kWh par jour là où il n'existe pas de réseau de distribution électrique. Des difficultés techniques surgissent lorsque les demandes sont plus importantes. En Europe, 85 % des photopiles sont reliées au réseau électrique. Cette situation s'explique par un soutien important des pouvoirs publics passant notamment par une obligation d'achat par les opérateurs (0,50 €/kWh en Allemagne, de 0,15 à 0,30 €/kWh en France).

Le premier producteur de photopile est le Japon (48 % de la production) suivi par l'Europe (25 %, dont 57 % en Allemagne, 28 % en Espagne et 9 % France) et les Etats-Unis (14 %). L'Allemagne représente 71 % du marché européen.

([73] pp.2-3, [100] pp. vi, pp. 14-15, p. 28, pp. 46-47, pp. 74-75, [109] p. 14, p. 23, [122] p. 70, pp. 75-76, pp. 82-83, [132] pp. 112-115)

### **Quel est l'avenir de l'énergie des océans ?**

En 2002, l'énergie des océans a fourni 0,009 % de la production totale d'électricité des pays industrialisés (0,02 % de la production d'électricité en Europe). La France est le principal producteur avec l'usine marémotrice de la Rance (63 %), suivie du Canada (37 %). Le recours à l'énergie des océans s'est développé depuis 1990 à un rythme faible (0,7 % par an en moyenne).

Cependant, outre l'énergie marémotrice, les océans recèlent diverses sources d'énergie susceptibles d'être transformées en électricité (courants, houle, puissance des vagues, différence de température entre la surface et la profondeur, etc.).

([73] p. 3, [100] p. 28, pp. 46-47, pp. 74-75, p. 90, p. 105)

## **L'approvisionnement énergétique**

### **Sécurité d'approvisionnement et indépendance énergétique sont-ils synonymes ?**

Non. La sécurité d'approvisionnement désigne une continuité dans la fourniture des différentes sources d'énergie en quantités suffisantes pour répondre à la demande des consommateurs, à des prix relativement stables. La sécurité d'approvisionnement est particulièrement importante pour les secteurs tributaires d'une source prédominante (par exemple le pétrole pour les transports).

L'indépendance énergétique d'un pays est la part d'énergie primaire produite par ce pays, ou par une entreprise de ce pays (pour les statistiques, un produit est français si l'entreprise est française, même quand la production a lieu à l'étranger). Les statistiques distinguent l'énergie primaire (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.) de l'énergie finale, résultat de transformations (essence, chauffage urbain, etc.). Pour l'électricité, il a été convenu arbitrairement que l'énergie primaire était celle qui n'était pas produite par les centrales électriques thermiques fonctionnant au charbon, au gaz ou au pétrole. Il s'agit essentiellement de l'électricité des centrales nucléaires et des centrales hydroélectriques.

([84] p. 10, [101] p. 34, p. 36, [112] pp. 31-32)

### **Comment est estimée l'indépendance énergétique ?**

L'indépendance énergétique d'un pays est étroitement liée à la contribution des différentes sources d'énergie dans la consommation nationale. Pour mesurer la contribution des différentes sources d'énergie à la

consommation totale, il est nécessaire de les exprimer dans la même unité. Pour les comparaisons économiques, c'est la tep ou tonne d'équivalent pétrole (quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole) qui est utilisée. Or pour effectuer la conversion des kilowatt-heure d'électricité en tep, il existe plusieurs conventions ayant chacune leur logique. Elles diffèrent dans la façon de prendre en compte le rendement des modes de production de l'électricité. Ceci explique que le niveau d'indépendance énergétique varie selon l'origine des statistiques.

L'estimation de l'indépendance énergétique de la France est comprise entre 30 % et 50 % suivant la convention utilisée. Les statistiques énergétiques françaises sont établies depuis 2002 selon la convention de l'Agence internationale de l'énergie. L'indépendance énergétique française est évaluée à 50 %. L'indépendance énergétique apparaît d'autant plus grande que le rendement des centrales électriques est faible : plus grande indépendance en apparence si l'électricité est produite par des centrales nucléaires (rendement de 33 % par convention) que si elle est produite par des centrales hydroélectriques (rendement de 100 % par convention).

([84] p. 10, [101] p. 34, p. 36, [112] p. 5, pp. 31-32)

### **Quels sont les risques qui pèsent sur l'approvisionnement énergétique ?**

La sécurité d'approvisionnement suppose une continuité d'accès aux sources d'énergie et une relative stabilité des prix.

Une source d'énergie peut être rendue provisoirement indisponible en cas de :

- Catastrophe naturelle (en France, la tempête de décembre 1999 a coupé en de nombreux endroits le réseau électrique ; la sécheresse consécutive à la canicule de l'été 2003 a fait peser des menaces sur le fonctionnement des centrales électriques en raison du manque de l'eau nécessaire à leur refroidissement, etc.),
- Conflit (attentat contre les réseaux de distribution, embargo, prix, etc.),
- Crise sociale (blocage des dépôts de pétrole par les camionneurs, des transports de matériel radioactif par des militants antinucléaires, etc.).

([34] p. 18, [48] pp. 68-69, [56])

### **Que faire pour garantir un approvisionnement régulier en énergie et des prix stables ?**

Garantir un approvisionnement régulier et des prix stables sont les deux facettes de la sécurité de l'approvisionnement en énergie. Veiller à cette sécurité est au cœur de la politique énergétique. Elle consiste à :

- Développer des filières ou des sources énergétiques locales limitant la dépendance par rapport aux importations. En 1973, la France produisait 24 % de l'énergie qu'elle consommait et le nucléaire fournissait 8 % de l'électricité. En réponse au premier choc pétrolier (1973-1974), la France a décidé de développer l'énergie nucléaire. En 2002, elle a produit un peu plus de 50 % de l'énergie qu'elle a consommé car 78 % de l'électricité provient de centrales nucléaires installées en France.
- Diversifier les fournisseurs. La France importe 41 % de son pétrole du Proche-Orient (Europe : 32 %), 15 % d'Afrique (Europe : 25 %), 35 % de Mer du Nord et 9 % d'ex-Union soviétique (43 %). La Mer du Nord fournit 33 % du gaz consommé en France (et 41 % en Europe), l'ex-Union soviétique 29 % (Europe : 33 %), l'Algérie 25 % et les Pays-Bas 13 %.
- Constituer des stocks. Des accords internationaux imposent aux pays industrialisés le maintien de stocks correspondant à au moins trois mois de consommation pour les produits pétroliers et le gaz. Les armées disposent de leurs propres réserves. En cas de besoin, le stock des Etats-Unis peut fournir l'équivalent de la moitié de la production de l'Arabie saoudite pendant trois mois avant de commencer à décliner. Il fournirait encore l'équivalent du quart de la production saoudienne au bout de cinq mois.
- Utiliser plus rationnellement l'énergie pour en limiter la consommation.

Comme les Etats, les gros consommateurs peuvent, à leur échelle, diversifier leurs fournisseurs et choisir des équipements utilisant plusieurs sources d'énergie.

([34] pp. 20-21, p. 36, [36], [85] p. 22, [90] pp. 6-9, [91], [126] pp. 13-15)

**Qu'est-ce qui détermine le prix de l'énergie ?**

Le prix de l'énergie se compose d'un prix de base et de taxes diverses (en général nettement moins élevées pour les industries que pour les ménages) dont la TVA.

Le prix de base est calculé à partir des coûts de production et des frais de transport. Les différences sont faibles d'un pays à l'autre pour les produits pétroliers alors qu'elles peuvent être importantes pour l'électricité et le gaz. Par exemple, le prix de base de l'électricité est quatre fois plus élevé au Japon qu'en Norvège.

Les taxes varient énormément d'un pays à l'autre : l'électricité destinée aux ménages est 15 fois plus taxée en Norvège ou au Danemark qu'au Luxembourg, au Portugal ou aux Etats-Unis ; l'essence est 8 fois plus taxée au Royaume-Uni qu'aux Etats-Unis. D'une façon générale, les carburants sont lourdement taxés dans la plupart des pays.

Par rapport à l'ensemble des pays industrialisés, le prix payé par le consommateur final en France est dans la moyenne pour l'électricité destinée aux ménages, l'essence sans plomb, le diesel destiné aux transports, le fioul et le gaz. L'électricité destinée à l'industrie est particulièrement bon marché en France.

([39], [57] p. 43, p. 52)

**Comment est déterminé le prix de base du pétrole ? L'approvisionnement est-il garanti ?**

Actuellement, le prix du pétrole brut est uniquement régi par le niveau de la production et de la demande. L'équilibre entre offre et demande est un équilibre mondial qui détermine un prix mondial car le pétrole se transporte sur de longues distances à faible coût. Des différences de prix entre les marchés locaux sont résorbées très rapidement. Une diminution de la production de n'importe quel pays pétrolier se traduit par une hausse du prix mondial qui touche tous les consommateurs, qu'ils se fournissent ou non dans ce pays. Lorsque le prix est élevé, la production de pétrole devient rentable dans de nombreux pays qui entrent alors en concurrence. Les pays du Golfe Persique sont les seuls à pouvoir produire du pétrole bon marché.

On peut considérer que l'Arabie saoudite contribue fortement à la sécurité énergétique internationale. En effet, elle maintient une capacité considérable d'excès de production qui peut être rendue rapidement disponible en cas de grave perturbation dans un autre pays. Toutefois, c'est la diversification de l'offre géographique qui garantit au quotidien la sécurité de l'approvisionnement. Les pays du Golfe Persique fournissent environ 30 % de la production mondiale et leur part reste stable depuis dix ans.

La pérennité du système passe par une augmentation des capacités de production dans le bassin de la mer Caspienne, en Russie, en Afrique de l'Ouest, en Amérique du Nord et du Sud. La politique actuelle est d'une part la création et l'extension de cadres juridiques et institutionnels sécurisant les investissements, d'autre part la construction de grandes infrastructures de transport (par exemple des pipelines pour exporter le pétrole du bassin de la mer Caspienne).

La sécurité des approvisionnements repose aussi sur les besoins en devise des pays exportateurs.

([44], [83] p. 13, [125], [126] pp. 2-5, pp. 9-12)

**Le marché du gaz suit-il les mêmes règles que celui du pétrole ?**

Actuellement non. Le marché n'est pas mondial. D'une part, les échanges internationaux se font principalement par gazoducs. D'autre part, le transport du gaz coûte de cinq à dix fois plus cher que celui du pétrole. Ces facteurs favorisent la consommation au voisinage des zones de production. Par exemple l'Algérie est le principal fournisseur de l'Espagne et de l'Italie alors que la Norvège et la Russie approvisionnent la partie Nord de l'Europe. L'éloignement des zones de production est à l'origine des importantes différences de prix que l'on observe dans le monde.

La situation devrait évoluer dans les vingt ans à venir car la consommation de gaz augmente rapidement dans de nombreux pays. Le besoin de garantir la sécurité de l'approvisionnement du gaz devrait conduire à une diversification des sources, grâce notamment à la croissance du transport maritime. Les échanges internationaux de gaz suivront alors le même type de règles que le marché actuel du pétrole.

([121], [128] pp. 13-18)

### **Comment des pannes d'électricité peuvent-elles toucher des territoires étendus et durer des heures ?**

L'Amérique du Nord et l'Europe (Angleterre, Suisse, Italie en 2003) ont connu ces dernières années des pannes qui ont privé d'électricité des territoires étendus. En France, comme dans les autres pays européens, un incident majeur conduisant à la mise hors tension d'une grande partie du territoire se produit en moyenne tous les dix ans. La plus grosse panne d'EDF remonte au 19 décembre 1978, elle avait privé 75 % du territoire d'électricité pendant plusieurs heures.

L'arrêt des centrales électriques est la conséquence d'une surconsommation (vague de froid inhabituelle, etc.) ou de la rupture accidentelle d'une ligne du réseau de distribution (givre, foudre, tempête, contact avec la végétation). Dans tous les cas la demande d'électricité dépasse localement la capacité de production. Si la surcharge est forte, la centrale est rapidement déconnectée pour éviter de graves dysfonctionnements. La demande est répartie sur les autres centrales qui doivent alors compenser le manque de production. Si la surcharge est trop forte pour être compensée, on assiste à une déconnexion en chaîne des centrales qui aboutit à une panne géante. Le redémarrage des installations après une panne est un processus délicat qui prend plusieurs heures. C'est pourquoi les pannes durent longtemps lorsqu'elles touchent beaucoup de centrales.

La solution la plus sûre est de sur-dimensionner les capacités de production et le réseau de transport de l'électricité. Elle a un coût puisqu'elle nécessite des investissements supplémentaires pour une utilisation peu fréquente. La décision de supporter ces surcoûts est de nature stratégique ; elle met en balance les surcoûts avec la probabilité des pannes et leurs conséquences économiques et sociales. Ces dernières sont importantes car la vie économique s'interrompt totalement lors d'une panne d'électricité. Ainsi, le coût de la panne géante d'août 2003 aux Etats-Unis les a convaincus de la nécessité de moderniser leur réseau.

([65] p. 23, p. 27, pp. 29-31, pp. 65-66, p. 69, p. 84, pp. 163-165, pp. 183-189, p. 205, [123] p. 1, pp. 3-4, pp. 17-21, pp. 117-125)

### **Peut-on stocker l'électricité ?**

L'électricité ne peut pas être stockée. Elle peut être convertie en une autre forme d'énergie qui permet le stockage (remplissage des barrages, batterie, hydrogène des piles à combustible, etc.) et pourra se reconvertir à nouveau facilement en électricité :

- Dans les barrages hydroélectriques, des pompes électriques sont utilisées pour remonter de l'eau en amont des barrages. Quand cette eau est libérée et passe dans les turbines des usines hydroélectriques, l'énergie électrique utilisée pour le pompage est restituée. Cette forme de stockage est actuellement la seule applicable à l'échelle industrielle.
- Les accumulateurs électriques ou « batteries » stockent l'énergie électrique sous forme d'énergie chimique et la restituent à la demande. Leur capacité est cependant très limitée. Les recherches actuelles visent à mettre au point des dispositifs capables de stocker une grande quantité d'énergie sous un faible volume et un faible poids.

Un inconvénient des conversions d'énergie tient à la perte d'une partie de l'énergie sous forme de chaleur à chaque opération de conversion.

([20], [58] p. 11, [63])

### **Peut-on enfouir les lignes électriques ?**

L'enfouissement des lignes répond à deux préoccupations : la préservation du paysage et la protection des lignes contre les intempéries (tempête de 1999 par exemple). En France, plus de 2 000 kilomètres de lignes haute tension sont souterraines.

Les lignes à 225 000 V (225 kV), 90 et 63 kV qui apportent l'électricité aux gros utilisateurs (SNCF, grands centres industriels, centres de distribution) se prêtent bien à l'enfouissement. Les lignes souterraines et les lignes aériennes ont dans ce cas un coût voisin. En revanche, pour les lignes à 400 kV (armature du réseau européen des gros centres de production d'électricité), l'installation de lignes souterraines coûte dix à quinze fois plus cher que celle de lignes aériennes. En outre, les lignes souterraines nécessitant des installations de contrôle au sol occupent beaucoup de place. Ceci explique qu'il n'existe en Europe que 100 km (moins de 3 km en France) de lignes souterraines à 400 kV contre 110 000 km de lignes aériennes.

([53] p. 58, p. 61, pp. 69-72, [81] pp. 2-5, [139])

## L'énergie en France

### **Quelle est la consommation d'énergie en France ?**

La réponse à cette question est en partie arbitraire car elle nécessite au préalable de convertir la consommation d'électricité en une consommation équivalente de pétrole. Or différentes conventions peuvent a priori être utilisées pour effectuer cette conversion. La convention adoptée par l'Agence internationale de l'énergie tient compte du rendement théorique de chacun des modes de production d'électricité.

La France a consommé en 2002 l'équivalent de 275 millions de tonnes de pétrole (275 Mtep). La consommation par habitant est dans la moyenne européenne (l'équivalent de 4,3 tonnes de pétrole par an). Elle représente 7 % des dépenses des ménages.

L'électricité fournit 41 % de l'énergie consommée en France, le pétrole 34 %, le gaz 15 %, le charbon 5 % et les énergies renouvelables autres que celles qui servent à la production d'électricité 5 % (récupération de la chaleur produite par les incinérateurs de déchets ménagers, etc.).

Les énergies renouvelables consommées en France (y compris pour faire de l'électricité) sont équivalentes à 19 millions de tonnes de pétrole. Le bois et les déchets de bois en représentent 49 %, l'énergie hydraulique 36 %, l'incinération des déchets 10 % et les biocarburants 2 %. L'énergie éolienne entre dans les 3 % restants.

([60] p. 837, [85] p. 14, [93], [112] p. 5, p. 24)

### **Quelle est l'évolution attendue de la consommation d'énergie en France ?**

L'évolution de la consommation d'énergie en France à l'horizon 2020 a été évaluée selon trois scénarios : aucune intervention de l'Etat sur le marché de l'énergie ; forte intervention de l'Etat pour assurer l'indépendance énergétique à travers une priorité au nucléaire ; respect du protocole de Kyoto, défense de l'environnement et diminution de la consommation grâce une utilisation beaucoup plus efficace de l'énergie consommée.

En 2020, le taux prévu d'augmentation de la consommation d'énergie par rapport à 2000, est de 30 % selon le premier scénario, de 20 % selon le deuxième scénario et nul selon le troisième scénario. Ces différences reflètent les écarts entre les scénarios pour l'augmentation de la consommation dans le secteur des transports : augmentation de 60 % dans le premier scénario, de 40 % dans le deuxième et de 15 % dans le troisième.

Bien que la consommation totale varie notablement, l'importance relative des différentes sources d'énergie est pratiquement la même dans les trois scénarios.

([27] pp. 7-11, [67] p. 9, [72] p. 214, pp. 222-223)

### **Qui consomme quoi en France ?**

La consommation d'énergie par habitant varie selon les régions. En 1997, la consommation la plus faible est observée en Corse (- 34 % par rapport à la moyenne nationale), suivie du Languedoc-Roussillon (- 23 %) et de l'Ile-de-France (- 20 %). La Haute-Normandie (+ 29 %), le Nord-Pas-de-Calais (+ 34 %) et la Lorraine (+ 40 %) sont les régions qui consomment le plus car elles hébergent des industries fortes consommatrices d'énergie.

La consommation est découpée en grands secteurs : le secteur « résidentiel et tertiaire » qui représentait en 2002 43 % de l'énergie consommée en France, les transports (31 %), l'industrie (24 %) et l'agriculture (2 %). Le secteur « résidentiel et tertiaire » est composé des logements (deux tiers de la consommation d'énergie de ce secteur), des bureaux, des commerces, des équipements collectifs, etc.

L'électricité est principalement utilisée par le secteur « résidentiel et tertiaire » (62 % de la consommation électrique totale) et l'industrie (35 %), loin devant les transports (3 %) et l'agriculture (1 %).

84 % du pétrole consommé en France est utilisé comme source d'énergie, le reste servant de matière première dans l'industrie chimique. Il est principalement utilisé par les transports (65 % du total), loin devant le secteur « résidentiel et tertiaire » (22 %), l'industrie (9 %) et l'agriculture (3 %).

94 % du gaz consommé en France est utilisé comme source d'énergie, les 6 pour cent restant étant utilisés comme matière première dans l'industrie chimique. Il est principalement utilisé par le secteur « résidentiel et tertiaire » (62 %) et l'industrie (37 %), les transports et l'agriculture ne représentant que moins de 1 %. Le gaz est aussi utilisé pour produire de l'électricité (9 % de la consommation totale de gaz).

Le charbon est utilisé dans l'industrie (52 %) et les centrales thermiques (43 %), le secteur « résidentiel et tertiaire » ne représentant que 5 % de la consommation totale.

([2], [60] p. 857, [85] p. 14, [93], [112] p. 5, p. 11, p. 18, p. 21)

### **Quelles sont les taxes sur l'énergie en France ?**

L'énergie est soumise à deux types de fiscalité, l'une s'appliquant à tous les secteurs économiques (TVA, impôt sur les sociétés, etc.) et l'autre, spécifique, appelée « fiscalité énergétique » :

- Produits pétroliers et gaz naturel utilisé comme carburant : TIPP (taxe intérieure sur les produits pétroliers) et taxe IFP (Institut français du pétrole),
- Gaz naturel à usage industriel : TICGN (taxe intérieure sur la consommation de gaz naturel) et taxe IFP.
- Electricité : huit taxes.

Les carburants sont les plus taxés puis viennent l'électricité à usage domestique et le gaz à usage industriel. Les recettes de la TIPP et la TICGN dépassent celles de l'impôt sur le revenu.

([46] pp. 3-8, p. 17, [79])

### **A quoi est utilisé le produit des taxes spécifiques sur l'énergie ?**

En règle générale, les taxes sur l'énergie sont collectées au profit du budget général de l'Etat. Les taxes peuvent aussi alimenter le budget des collectivités territoriales. Ainsi, il existe une taxe locale sur l'électricité versée aux communes et aux départements. Certaines taxes peuvent être dédiées à des opérations ponctuelles : par exemple, l'électricité est soumise à une « taxe hydroélectrique » qui a contribué successivement au financement des voies navigables, du TGV et des autoroutes.

Différents objectifs peuvent conduire à une exonération des taxes. Par exemple, l'exonération partielle ou totale de la TIPP et de la TICGN dans certains secteurs peut favoriser la protection de l'environnement (transports publics en commun ; cogénération : production conjointe d'électricité et de chauffage, etc.) ou soutenir une activité économique (transport routier, ramassage de déchets ménagers, etc.).

([46] pp. 3-8, p. 17, [79])

### **Les déchets ménagers et le biogaz représentent-ils une source d'énergie importante ?**

En 1999, il y avait en France 33 usines d'incinération de déchets ménagers pour une puissance maximale de 250 MW et cinq sites de production de biogaz pour une puissance maximale de 8 MW.

En 2000, en France, l'incinération des déchets ménagers et du biogaz a produit 1,9 milliard de kWh, soit moins de 3 % de la production hydroélectrique et moins de 0,4 % de la consommation totale d'électricité. Les déchets ménagers fournissent autant d'énergie que le bois et les déchets de bois et 25 fois plus que les éoliennes.

Bien que l'énergie produite ne représente qu'une faible part de l'énergie consommée en France, l'incinération des déchets ménagers et du biogaz présente plusieurs intérêts, notamment à l'échelon local :

- Production locale de chaleur à bon marché (chauffage urbain, industries). Cependant, comme la chaleur se transporte mal, les incinérateurs doivent être placés à proximité des utilisateurs, ce qui pose les problèmes d'acceptabilité habituels avec les installations de traitement des déchets.
- Limitation de l'accumulation des déchets.
- Contribution à la limitation de la production de gaz à effet de serre, en se substituant aux combustibles fossiles.

([28] p. 2, p. 31, [58] p. 9, p. 12, pp. 27-28, [82])

### **La production d'électricité à partir de l'incinération des déchets est-elle rentable ?**

La production de l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'installation d'incinération est économiquement intéressante. En revanche, la vente des excédents d'électricité au prix du marché (environ 0,045 €/par kWh) n'est pas financièrement intéressante. Des subventions permettent, dans certains cas, de compenser le surcoût de l'électricité provenant de la valorisation des déchets organiques.

([10] pp. 89-91, p. 93, p. 103, p. 108, [28] pp. 12-13, pp. 21-29, p. 31, p. 92, [82])

### **Le bois est-il une source d'énergie importante en France ?**

Non. Le bois de chauffage fournit autant d'énergie que l'incinération des déchets ménagers. La consommation de bois (chauffage individuel ou collectif) est concentrée sur les mois d'hiver. Du point de vue de la politique nationale de l'énergie, le chauffage au bois présente un intérêt particulier s'il se substitue au chauffage électrique au moment des pointes de consommation (principalement le soir entre 18 et 21 heures). Dans ce cas, le recours au bois est susceptible d'autoriser une diminution de la puissance des centrales électriques (dont une partie n'est utilisée que lors des pics de consommation) et de limiter le suréquipement.

([3] pp. 29-30, [52], [58] p. 9, p. 43)

## **Le gaz et électricité en France**

### **Quel est le rôle du service public de l'électricité et du gaz ?**

Le service public joue trois rôles principaux. Il garantit l'approvisionnement en électricité sur l'ensemble du territoire. Il est un outil de la politique énergétique de la France (sécurité d'approvisionnement, préservation de l'environnement, etc.). Il concourt à la cohésion sociale en protégeant les droits des consommateurs les plus vulnérables.

Le tarif de l'électricité est unique sur l'ensemble du territoire (régions d'outre-mer comprises). Les très gros consommateurs (hôpital, hypermarché de plus de 10 000 m<sup>2</sup>, etc.) sont néanmoins autorisés à négocier leurs tarifs. En revanche, la sécurité d'approvisionnement varie selon les régions. D'abord parce que plus de 60 % des pannes sont dues à la foudre et 22 % au givre et à la neige – des événements dont la fréquence dépend fortement des régions. Ensuite car le débit du réseau de transport et de distribution est trop faible dans certaines régions (Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Bretagne et probablement à moyen terme Ile-de-France).

La loi n'impose pas un accès universel au gaz, ni un tarif unique de vente. Les inégalités reflètent principalement les différences de coûts de raccordement au réseau de distribution. Les très gros consommateurs de gaz (environ 450 sites industriels en France) peuvent choisir librement leur fournisseur et négocier leur tarif.

Le coût des activités relevant spécifiquement du service public a été évalué à 1300 millions d'euro par an en 2002, soit environ 3 % de la facture d'un particulier. Les principales dépenses correspondent à l'obligation d'achat en faveur de l'électricité produite par cogénération (production conjointe d'électricité et de chaleur) ou à partir des énergies renouvelables (respectivement 57 % et 14 % du total). Les surcoûts de production pour la Corse et les régions d'outre-mer comptent pour 29 %. Les tarifs « sociaux » pour les consommateurs les plus vulnérables n'entrent pas dans ce calcul.

([58] p. 3, p. 66, pp. 72-74, [60] pp. 1007-1008, [83] p. 11-12, [103], [105] p. 4, p. 7, [113])

### **Qu'appelle-t-on la dérégulation de la fourniture d'électricité et de gaz ?**

La dérégulation (ou déréglementation) correspond à une stricte séparation des métiers de la filière, depuis la production d'électricité ou de gaz jusqu'au service au client final. Elle distingue des parties où plusieurs entreprises peuvent être en concurrence (la production d'énergie ou le service au client final) et d'autres où le monopole est inévitable (le transport de l'énergie).

L'objectif de la dérégulation est d'ouvrir le marché européen de l'électricité et du gaz à toutes les entreprises quelle que soit leur localisation en Europe. C'est l'application à l'énergie du principe de la libre circulation des personnes et des biens inscrit dans tous les traités européens depuis le Traité de Rome.

Les directives imposent une séparation, au minimum comptable, entre les activités correspondant à un monopole (tout ce qui tourne autour du réseau de transport) et les autres. Elles n'imposent pas la privatisation des entreprises publiques. Les entreprises ayant le monopole du transport de l'énergie sont surveillées afin d'éviter qu'elles abusent de leur position. Le contrôle est exercé par une autorité indépendante de régulation.

La France est le pays le moins avancé dans l'application des directives européennes, tant pour le gaz que pour l'électricité.

([83] pp. 3-4, [97] pp. 3-10, p. 12, [143])

### **Quel est le rôle de l'Etat après la dérégulation de l'électricité et du gaz ?**

Le gouvernement garantit le bon fonctionnement du service public en contrôlant les entreprises qui assurent la production, la commercialisation et le transport de l'énergie. Il est en partie responsable de la politique de recherche et d'innovation dans le domaine des technologies de l'énergie.

La loi donne à l'Etat la responsabilité de programmer les investissements de production en équilibrant sur plusieurs années la répartition entre les énergies primaires utilisées, les techniques de production et la répartition géographique des installations. L'objectif est d'atteindre un équilibre durable entre l'offre et la demande, tout en assurant une diversification suffisante des modes de production et le respect des objectifs environnementaux.

Lorsque les capacités de production dépassent les objectifs de la programmation nationale, l'Etat peut décider d'interrompre la délivrance d'autorisation pour la production d'électricité. Il peut suspendre le dispositif d'obligation d'achat de certaines sources d'électricité. Inversement, l'Etat peut recourir à des appels d'offres pour stimuler les investissements dans certains secteurs lorsque les initiatives spontanées ne suffisent pas à remplir les objectifs.

Dans le cas des produits pétroliers (essence, gaz naturel, carburant pour les avions, fioul lourd pour les centrales thermiques, etc.), les sociétés pétrolières et Gaz de France sont tenus de constituer un stock correspondant à 3 mois et demi de consommation. L'existence des stocks est régulièrement contrôlée par l'administration.

([34] pp. 20-21, [37] pp. 25-26, [58] pp. 2-3, [113], [136])

### **La dérégulation au niveau européen peut-elle mettre en danger le service public français ?**

En théorie non. En effet, une série de directives européennes sur le marché intérieur de l'énergie étend à toute l'Europe l'obligation d'assurer un service public pour le gaz et l'électricité, tel que nous le connaissons en France, en garantissant notamment la protection des droits des consommateurs les plus vulnérables.

Une taxe d'accès au réseau finance les charges liées au fonctionnement du service public.

([107])

### **La dérégulation bénéficie-t-elle au consommateur final ?**

La dérégulation s'inscrit dans un courant de pensées qui considère que la concurrence fait baisser les coûts et les prix et accélère le progrès technique et l'innovation. A terme, il s'agit de mettre fin aux monopoles nationaux des opérateurs historiques en permettant aux entreprises et aux particuliers de choisir librement leur fournisseur en Europe. Pour cela, les réseaux de transport et de distribution sont gérés impartialement dans chaque pays par une structure indépendante des opérateurs (RTE « Réseau de Transport d'Electricité » pour la France). Elle garantit un tarif unique quelles que soient les distances de transport et les difficultés d'approvisionnement.

En réalité aujourd'hui, le marché du gaz et de l'électricité reflète encore un consensus entre opérateurs historiques qui peut facilement conduire à une manipulation des prix (les exemples sont nombreux aux Etats-Unis). De toute façon, les interconnexions entre Etats sont insuffisantes pour permettre une réelle liberté d'accès à l'ensemble des fournisseurs. Pendant la période 1998-2001, 20 % environ des consommateurs autorisés à faire jouer la concurrence ont changé de fournisseurs.

Le marché de l'électricité diffère d'un marché concurrentiel classique car l'électricité n'est pas un bien stockable. La demande, donc potentiellement le prix, varie en quelques minutes, sans que le consommateur en soit informé en temps réel. Il n'est pas possible d'identifier l'origine de l'électricité consommée à un endroit donné.

Une partie des Etats-Unis, la Chine et l'Inde conservent un monopole public de la production d'électricité et n'envisagent pas sa dérégulation complète, bien que des acteurs privés interviennent. Le monopole public présente l'avantage de la simplicité. Les tarifs reflètent les coûts réels, ils sont simplement plus élevés si le mode de production adopté entraîne des surcoûts.

([57] p. 9, p. 11, [83] p. 4, [97] pp. 3-10, p. 12, [103], [104] pp. 2-3, [124] pp. 1-4, pp. 10-11, [143])

### **Quelles sont les démarches à effectuer pour devenir producteur d'électricité ?**

Suivant la puissance de l'installation, le producteur d'électricité doit faire une déclaration ou déposer une demande d'autorisation auprès du ministère de l'Industrie. Il doit aussi, le plus souvent, réaliser une notice d'impact ou une étude d'impact afin d'obtenir un permis de construire.

Indépendamment, il doit faire une demande de raccordement auprès du gestionnaire du réseau électrique.



Si le producteur souhaite bénéficier de l'obligation d'achat pour l'électricité qu'il produit, il doit en faire la demande auprès du préfet (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement – DRIRE) et auprès du distributeur d'électricité (en général EDF).

([59], [110] p. 11, pp. 21-22, pp.26-27)

### **Quelle est la réglementation pour la production d'électricité éolienne ?**

La loi du 3 janvier 2003 fixe le cadre juridique pour les questions d'urbanisme, d'évaluation environnementale et de participation du public liées aux installations d'éoliennes. Localement, c'est le préfet qui délivre les autorisations si l'électricité est vendue et le maire si elle est destinée à l'autoconsommation (dans ce cas, le préfet peut néanmoins exiger la réalisation d'une étude d'impact).

Les projets de parc éoliens doivent faire l'objet d'une évaluation environnementale (une étude d'impact si la puissance est supérieure à 2,5 MW, une notice d'impact dans l'autre cas). Un permis de construire est exigé pour toute installation éolienne d'au moins douze mètres de haut. Le préfet (ou le maire pour un projet d'autoconsommation) organise obligatoirement une enquête publique pour les projets ayant une puissance supérieure à 2,5 MW. L'information sur l'enquête publique peut être étendue à toutes les communes où les impacts environnementaux sont décelables.

Le gestionnaire du réseau instruit les demandes de raccordement au réseau électrique. Il vérifie que les installations sont aux normes.

Si la capacité de production d'un site dépasse 4,5 MW, l'autorisation d'exploiter est délivrée par le ministre de l'Industrie. Autrement, l'installation est soumise à une simple déclaration.

Enfin, dans le cadre de la loi du 2 juillet 2003, les régions sont incitées à mettre en place un schéma régional pour l'électricité éolienne.

([110] pp. 2-3)

### **Qu'appelle-t-on l'obligation d'achat pour l'électricité ?**

La loi du 10 février 2000 prévoit une obligation d'achat par EDF ou un autre distributeur de l'électricité produite à partir d'installations :

- Valorisant des déchets ménagers ou visant à alimenter un réseau de chaleur,
- Utilisant des énergies renouvelables ou mettant en oeuvre des techniques ayant un fort rendement comme la cogénération (production conjointe d'électricité et de chaleur), à condition que la puissance maximale du site de production ne dépasse pas 12 MW.

Le prix de vente est fixé par le ministère de l'économie et des finances. Cette obligation d'achat à un prix supérieur au marché est une subvention aux énergies renouvelables payée par le consommateur d'électricité.

([108])

## **Energie et Environnement**

### **Pourquoi dit-on que la consommation d'énergie augmente l'effet de serre ?**

L'atmosphère contient des gaz retenant la chaleur sur la Terre, appelés « gaz à effet de serre » : vapeur d'eau, gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), méthane, etc. Les activités humaines n'ont pas un impact direct sur la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère, mais entraînent une émission de CO<sub>2</sub> importante. La combustion de la matière organique (biomasse, déchets de la biomasse, énergie fossile) libère du CO<sub>2</sub>. C'est un problème spécifique, de nature globale (diffusion dans l'atmosphère des gaz à effet de serre) auquel le protocole de Kyoto tente d'apporter une réponse.

L'utilisation de la biomasse (arbres, plantes, animaux, micro-organismes, déchets organiques) comme source d'énergie n'augmente pas la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère car, sur une centaine d'années, la quantité de CO<sub>2</sub> produite ne dépasse pas celle qui est absorbée dans le même temps par les plantes et les océans. En revanche, la consommation massive d'énergie fossile (charbon, pétrole, gaz naturel) a libéré en quelques années du CO<sub>2</sub> accumulé durant plusieurs millénaires. Cette utilisation a ainsi introduit un excès de CO<sub>2</sub> qui n'a pas encore trouvé sa place dans le cycle de la matière organique et a contribué à l'augmentation de l'effet de serre.

([17], [28] p. 54, [50], [82])

### **Que sont les écotaxes ?**

Les écotaxes sont des mesures fiscales ayant pour objectif de maintenir à un niveau acceptable un usage affectant l'environnement. Jusqu'à un certain seuil, la pollution est tolérée, à partir d'un second seuil, elle est interdite. Entre ces deux seuils fixés par les pouvoirs publics l'activité polluante donne lieu au paiement d'une écotaxe par le responsable (personne, entreprise). L'écotaxe a un effet si son montant dépasse le coût des mesures à prendre pour limiter les émissions polluantes.

L'Europe s'appuie souvent sur les écotaxes pour modifier les comportements affectant l'environnement. Une directive européenne généralise le recours aux écotaxes pour les produits énergétiques et l'électricité. Elle impose un niveau minimal de taxation. Elle prévoit cependant des exonérations ou réductions de niveau de taxation, par exemple pour préserver la compétitivité de certains secteurs économiques européens (transport maritime ou aérien par exemple).

En France, la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) a été étendue à la consommation d'énergie par les entreprises afin de les inciter à réduire l'émission de CO<sub>2</sub>. La TGAP sur l'énergie ne concerne que les très gros consommateurs (environ 1 % des entreprises).

([4] pp. 9-10, p. 15, pp. 21-23, [5] pp. 88-89, p. 113, pp. 128-133, [31], [42] pp. 9-13, [48] p. 16, [58] p. 26, [115])

### **Que sont les systèmes d'échange de quotas d'émissions ou permis négociables d'émission ?**

Les systèmes d'échange de quotas d'émission (ou permis négociables d'émission) sont un outil de régulation des émissions de substances nuisibles pour l'environnement. Les pouvoirs publics responsables d'une zone géographique fixent le volume total d'émission maximal pour certaines substances et en attribuent une part à chaque exploitant d'une installation. Un exploitant qui émet moins que permis revend la part d'émission qu'il n'a pas utilisée à un exploitant qui émet plus. Le coût de la transaction suit la loi de l'offre et de la demande. En général, les exploitants améliorent leurs installations lorsque la vente des permis d'émission contrebalance les investissements.

A la fin des années 1970, le système a été utilisé avec succès aux Etats-Unis pour réduire la pollution de l'air par l'oxyde de soufre émis par les centrales thermiques. Une quantité maximale d'émission d'oxyde de soufre était définie à l'échelon national, puis répartie entre les centrales. La quantité autorisée baissait au fil des années. Le système était complété par un contrôle strict des émissions pour s'assurer du respect des engagements de chacun.

L'objectif du Protocole de Kyoto est de mettre en place d'ici 2008 un système équivalent pour les émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Le problème est compliqué par l'absence d'une autorité internationale suffisamment forte pour sanctionner les défaillances et par la difficulté d'organiser mondialement les échanges.

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, l'Europe s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 8 % par rapport au niveau de 1990. L'objectif devra être atteint entre 2008 et 2012. Un système d'échange de quotas d'émission est mis en place. Il prévoit un dispositif de contrôle et des sanctions.

([4] pp. 9-10, p. 15, pp. 21-23, [5] pp. 88-89, p. 113, pp. 128-133, [14], [31], [42] pp. 9-13, [48] p. 16, [58] p. 26, [62] L130/1-L130/20, [114])

### **Quels sont les déchets produits par les différentes sources d'énergie ?**

La consommation d'énergies fossiles augmente la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. La pollution est mesurée habituellement en tonne de carbone émise pour une consommation d'énergie équivalente à une tonne de pétrole brut (1 tonne de carbone/tep ou tC/tep équivaut à 3,7 tonnes de CO<sub>2</sub>/tep). Le plus polluant est le charbon (1,1 à 1,2 tC/tep) suivi du pétrole (0,8 à 0,9 tC/tep) et du gaz naturel (0,6 à 0,7 tC/tep).

Les énergies fossiles produisent d'autres gaz polluants (dérivés du soufre et de l'azote) éliminés plus ou moins efficacement au moment de leur émission. L'amortissement des coûts de purification est plus facile dans les grandes installations. Les centrales thermiques sont la première source de pollution pour les gaz dérivés du soufre et les transports routiers pour les gaz dérivés de l'azote.

Les centrales thermiques produisent des cendres, ainsi que du mâchefer dans le cas des incinérateurs de déchets ménagers (environ trois millions de tonnes par an en France). La quantité de cendres et de mâchefer dépend de plusieurs paramètres, dont la composition du combustible et l'efficacité du système de dépollution des fumées. Les cendres sont enfouies dans des décharges. Près de 70 % du mâchefer est utilisé pour les travaux publics.

En France les centrales nucléaires produisent chaque année 50 000 tonnes de déchets radioactifs (20 000 m<sup>3</sup>). 90 % sont faiblement radioactifs et ont une durée de vie inférieure à 30 ans et 9,5 % sont moyennement radioactifs avec une longue durée de vie. Les problèmes majeurs viennent des 0,5 % qui resteront très fortement radioactifs pendant des dizaines de milliers d'années. Ils sont conditionnés sous forme vitrifiée (200 m<sup>3</sup> par an). Pour mémoire, les hôpitaux et l'industrie produisent chaque année 5 000 tonnes de déchets radioactifs ayant une durée de vie inférieure à 30 ans.

([7] p. 16, [32] p. D34, [33], [46] p. 8, [84] pp. 42-43, [29] pp. 73-81)

### **Que faire du combustible nucléaire usé ?**

Le combustible nucléaire usé ne peut pas être stocké en surface dans des blocs de béton comme on le fait pour les déchets radioactifs à faible durée de vie. D'abord, il restera très fortement radioactif pendant des milliers d'années. Ensuite, l'uranium s'est transformé en partie en plutonium qui peut être utilisé à son tour comme source d'énergie. En France le combustible nucléaire usé est retraité pour en extraire le plutonium et pour réduire le plus possible le volume des déchets les plus radioactifs. Ces derniers sont vitrifiés, c'est-à-dire qu'ils sont incorporés à du verre puis coulés dans des conteneurs en acier qui sont entreposés à La Hague.

Des solutions techniques pour la gestion des déchets à longue durée de vie doivent être présentées au Parlement en 2006 (loi de 1991). Le problème est de stocker les déchets de façon à ne faire courir aucun risque tout en les laissant facilement accessible pour le jour où les progrès techniques permettront d'exploiter l'énergie qu'ils contiennent. Les recherches ont porté sur le retraitement, l'entreposage réversible en surface ou à faible profondeur et le stockage (réversible ou non) en profondeur.

Les travaux sur le retraitement ont pour objectif de concentrer la radioactivité dans le plus petit volume possible et de diminuer la durée de vie des déchets en transformant (transmutant) certains d'entre eux en éléments radioactifs à vie courte.

L'entreposage exploite le fait que les rayonnements produits par les éléments radioactifs sont arrêtés par quelques mètres de matière (eau, béton, sol...). Les déchets vitrifiés doivent refroidir plusieurs dizaines d'années avant de pouvoir être stockés en profondeur. Par contre, il ne devrait pas y avoir de problème de place ensuite.

Pour mémoire, Gaz de France stocke 11 milliards de m<sup>3</sup> de gaz en profondeur, dans des zones étanches du sous-sol.

([29] pp. 73-81, [47] p. 1, pp. 8-10, [51] pp. 5-7, [78], [84] pp. 42-43, p. 45, [130], [131], [136], [140])

### **Comment est garanti le bon fonctionnement des centrales nucléaires ?**

En Europe et aux Etats-Unis, le bon fonctionnement des centrales nucléaires repose sur des organisations administratives différentes mais fondées toutes deux sur l'indépendance entre l'entité de sûreté et les exploitants. Une collaboration internationale active entre les autorités de sûreté des différents pays exploitant des centrales nucléaires permet de développer des échanges de bonnes pratiques. Elle contribue à l'élaboration des réglementations de sûreté dans les pays qui désirent accéder au nucléaire à des fins pacifiques.

En France, la sûreté des centrales nucléaires est assurée par un dispositif comprenant une autorité de sûreté nucléaire : la DGSNR (Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection). Les exploitants sont responsables de la sûreté des installations (EDF pour les centrales électriques, le Commissariat à l'énergie atomique pour les réacteurs nucléaires utilisés à des fins de recherche). La DGSNR est responsable de l'élaboration des règlements et peut procéder à des inspections dans les installations. Elle bénéficie de l'appui technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, organisme public dédié).

En complément, des mesures sont prévues pour corriger les incidents de fonctionnement et en limiter les conséquences pour les personnes et l'environnement. Les incidents font systématiquement l'objet de déclarations à l'attention du public. Leur gravité est classée selon une échelle standard internationale (échelle INES) comme celle des séismes l'est selon l'échelle de Richter.

([8] p. 131, pp. 133-136, pp. 140-145, [141])

### **Les performances des centrales à charbon peuvent-elles être améliorées ?**

Les travaux en cours laissent espérer que les nouvelles centrales émettront deux fois moins de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) que les centrales actuelles n'en produisent en moyenne dans le monde et moins de gaz polluants (soufre, etc.). Grâce à un traitement efficace des fumées, les centrales modernes devraient également pouvoir utiliser des

charbons de mauvaise qualité (riches en soufre, produisant beaucoup de cendres, etc.) tout en conservant d'excellentes performances.

([32] D19-D36, [43] pp. 24-27, [67] p. 20)

### **Quels sont les problèmes engendrés par les barrages hydrauliques ?**

Les barrages hydrauliques répondent à plusieurs objectifs, dont la régulation des cours d'eau et la lutte contre les inondations. Ils peuvent tous être utilisés pour produire de l'électricité. Les petits barrages, en dehors de la phase de construction, ont un impact modeste et localisé sur l'environnement. La plupart des problèmes (impact sur les poissons, conflits avec les autres utilisateurs de l'eau, etc.) peuvent être résolus en prenant quelques mesures simples, comme le défrichage du réservoir avant l'inondation pour éviter le pourrissement des végétaux.

En revanche, la construction d'un très grand barrage est un chantier gigantesque qui modifie en profondeur l'environnement et la vie locale (déplacement de population, etc.). Les impacts ultérieurs dépendent énormément du site et du modèle de barrage. La plus mauvaise situation est celle où la zone inondée par le barrage est immense et peu profonde.

([6], [58] p. 11, [129], [134])

### **Quels sont les problèmes engendrés par les éoliennes ?**

Les inconvénients des éoliennes tiennent :

- A la surface occupée au sol. Dans le cas d'installations terrestres, il faut éloigner les éoliennes de plusieurs centaines de mètres des habitations et prévoir une surface de cinq hectares par éolienne. Un champ d'éoliennes capable de produire un milliard de kWh par an occuperait une surface de 65 km<sup>2</sup> alors qu'une centrale thermique ou une centrale nucléaire de puissance équivalente occupent moins de 1 km<sup>2</sup>.
- Au bruit.
- A l'esthétique. Il faut tenir compte de l'impact sur le paysage de champs d'éoliennes comportant plusieurs dizaines de machines de près de 100 mètres de hauteur.
- Au danger pour les oiseaux. Les éoliennes modernes tournent lentement et ne semblent pas particulièrement dangereuses pour les oiseaux pour peu qu'elles ne soient pas installées sur le trajet des migrations.
- Aux interférences électromagnétiques (radio, télévision, téléphone portable, etc.).

([6], [26], [64], [87] p. 10, p. 13, [138])

## Références

*Dans la mesure du possible, Science & Décision facilite l'accès aux textes de référence utilisés pour construire ses dossiers.*

*Lorsque ces documents sont en accès libre, un lien hypertexte est établi entre le site de Science & Décision et le site d'origine des documents.*

*Lorsque l'accès aux documents est payant, il faut alors s'adresser aux revues concernées. Ceci étant, de nombreux documents sont disponibles dans les bibliothèques universitaires et dans les bibliothèques publiques. Pour savoir dans quelle bibliothèque le document qui vous intéresse est consultable, vous pouvez interroger la base de données SUDOC (système universitaire de documentation) à l'adresse suivante : <http://corail.sudoc.abes.fr/>. Cette base est mise en place par l'agence bibliographique de l'enseignement supérieur (établissement public placé sous la tutelle du ministère chargé de l'enseignement supérieur).*

- [1] Jean-Michel COUDERT, Florence JAUDIN. La géothermie du geyser au radiateur. Trésors de la Terre. Editions du BRGM. 1989. ISBN 2-7159-0471-1.
- [2] La consommation énergétique finale par habitant en 1997 dans les régions françaises. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/regions/habitant.htm>
- [3] Cabinet Olivier SIDLER. Projet ECODROM. Etude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle. Janvier 1998. Commission européenne – ADEME. <http://perso.club-internet.fr/sidler/Ecodrome.pdf>
- [4] Alain LIPIETZ. Economie politique des écotaxes. In Fiscalité de l'environnement. Conseil d'analyse économique. 1998. <http://www.cae.gouv.fr/rapports/8.htm>
- [5] Olivier GODARD, Claude HENRY. Les instruments des politiques internationales de l'environnement : la prévention du risque climatique et les mécanismes de permis négociables. In Fiscalité de l'environnement. Conseil d'analyse économique. 1998. <http://www.cae.gouv.fr/rapports/8.htm>
- [6] Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables – Chapitre 4. Agence internationale de l'énergie. 1998. ISBN: 92-64-16183-X <http://www.iea.org/pubs/studies/files/benign/full/00-bene.htm>
- [7] Analyse des caractéristiques des émissions liées au trafic routier en Ile-de-France pour l'année 1998 – chapitre 3. AIRPARIF. <http://www.airparif.asso.fr/airparif/pdf/Pers3.pdf>
- [8] Marie-Hélène LABBE. Le nucléaire à la croisée des chemins. Institut français des relations internationales. La Documentation française. 1999. ISBN 2-11-004422-5. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/df/presse/archives2000/nucleaire.shtml>
- [9] Market-based Advanced Coal Power Systems – Final report. U.S. Department of Energy. Office of Fossil Energy. May 1999. [http://www.fe.doe.gov/programs/powersystems/publications/marketbasedsystems/marketbased\\_systems\\_report.pdf](http://www.fe.doe.gov/programs/powersystems/publications/marketbasedsystems/marketbased_systems_report.pdf)
- [10] Gérard MIQUEL. Les nouvelles techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals. Rapport 415. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Juin 1999. [http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415\\_mono.html](http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415_mono.html)
- [11] YUNHUI Jin, XUE Liu. Clean Coal Technology Acquisition: Present Situation, Obstacles, Opportunities and Strategies for China. The Working Group on Trade and Environment. The Third Meeting of the Second Phase of CCICED. August 1999. <http://www.iisd.org/pdf/cleancoaltgsm.pdf>
- [12] Philippe DESMARESCAUX. Situation et perspectives de développement des productions agricoles à usage non-alimentaire. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/994000296/0000.pdf>
- [13] Henrik STIESDAL. The wind turbine: components and operation. Bonus Info 1998 Newsletter. Bonus Energy A/S. Automne 1999. <http://www.windmission.dk/workshop/BonusTurbine.pdf>
- [14] History of the clean air act. American meteorological society. 1999. <http://www.ametsoc.org/sloan/cleanair/index.html>

- [15] Pierre-Noël GIRAUD. Un scénario énergétique tendanciel pour la France à l'horizon 2020. Centre d'économie industrielle. Ecole nationale supérieure des Mines de Paris. Janvier 2000. [http://www.cerna.ensmp.fr/Documents/PNG\\_AnnalesEnergie.pdf](http://www.cerna.ensmp.fr/Documents/PNG_AnnalesEnergie.pdf)
- [16] Paul CHAMBADAL. Turbines à vapeur. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [17] Jean-Claude DUPLESSY. Cycles géochimiques. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [18] Jean FABRY. Turbines à gaz. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [19] Jean GOGUEL et Jacques VARET. Géothermie. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [20] Francis LICHTENBERGER. Electricité – réseaux électriques. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [21] Jack ROBERT. Générateurs d'énergie électrique. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [22] Raymond VIC. Piles et accumulateurs. © 2000 Encyclopædia Universalis France S.A. DVD Version 6.
- [23] François GUILLAUME. Rapport d'information déposé par la délégation de l'Assemblée nationale pour l'union européenne sur les biocarburants dans l'Union européenne. FRANCE. Assemblée nationale. Délégation pour l'Union européenne. 4 mai 2000. <http://www.assemblee-nationale.fr/europe/rap-info/i2361.pdf>
- [24] Jean BERGERON, Jean-Paul SCHAPIRA, Alain SIMON, Jean-Baptiste THOMAS. La prospective technologique de la filière nucléaire. Mission d'évaluation économique de la filière nucléaire. Juin 2000. ISBN 2-11-091889-6. [http://bibliographienationale.bnf.fr/Livres/CuM\\_01.H/cadre62-7.html](http://bibliographienationale.bnf.fr/Livres/CuM_01.H/cadre62-7.html)
- [25] Jean-Michel CHARPIN, Benjamin DESSUS, René PELLAT. Étude économique prospective de la filière électrique nucléaire. Rapport au Premier ministre. Mission d'évaluation économique de la filière nucléaire. Juin 2000. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pdf/rapport-charpin.pdf>
- [26] Wind power and the environment. Energy Center of Wisconsin. 2000. <http://www.ecw.org/prod/433-3.pdf>
- [27] Quelles technologies face aux défis énergétiques du nouveau siècle ? Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie. Organisation internationale de la Francophonie. Liaison Energie – Francophonie, n° 48-49. 2000. <http://www.iepf.org/docs/lef/lef48,49.pdf>
- [28] Henri PREVOT. La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du Conseil général des mines. Juillet 2000. <http://www.environnement.gouv.fr/telch/2001-t3/010731-rapport-prevot-dechets-energie.pdf>
- [29] J. LOCHARD, C. SCHIEBER, T. SCHNEIDER, P. CROUAIL, J. DEGRANGE, A. LE DARS. La gestion du risque associé aux déchets radioactifs à haute activité et à vie longue. Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire. Rapport n° 268. Août 2000. <http://www.cepn.asso.fr/pdf/Rapport/R268.pdf>
- [30] Jim WATSON, Liu XUE, Geoffrey OLDHAM, Gordon MACKERRON, Steve THOMAS. International Perspectives on Clean Coal Technology Transfer to China. Final Report to the Working Group on Trade and Environment, CCICED. August 2000. [http://www.iisd.org/pdf/cctt\\_final\\_report\\_aug00.pdf](http://www.iisd.org/pdf/cctt_final_report_aug00.pdf)
- [31] Extension de la taxe générale sur les activités polluantes aux consommations intermédiaires d'énergie des entreprises. Ministère de l'écologie et du développement durable. 4 octobre 2000. <http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRGAD/fiscalite/2k1004-extensiontgap.htm>
- [32] Jean-Pierre PAUWELS, Jean-Marie STREYDIO. Commission AMPERE. Rapport principal. Chapitre 3 – technologies charbon. Secrétaire d'Etat à l'énergie et au développement durable. Ministère de l'économie belge. Octobre 2000. [http://mineco.fgov.be/energy/index\\_fr.htm](http://mineco.fgov.be/energy/index_fr.htm)
- [33] Les installations de traitements des déchets ménagers et assimilés en 2000. ADEME. [http://www.ademe.fr/collectivites/Dechets-new/Mots-chiffres/Documents/ITOM2000/UIOM3\\_ValoSousProduitsFonctionnement.pdf](http://www.ademe.fr/collectivites/Dechets-new/Mots-chiffres/Documents/ITOM2000/UIOM3_ValoSousProduitsFonctionnement.pdf)

- [34] La sécurité d'approvisionnement en énergie. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Energie & matières premières, n° 15, 1er trimestre 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/publi/pdf/ldg15.pdf>
- [35] L. D. MAXIM. Energy requirements and conservation potential. In Environment report for Trans-Alaska pipeline system right-of-way. February 2001. [http://tapseis.anl.gov/documents/docs/Section\\_4\\_9\\_May2.pdf](http://tapseis.anl.gov/documents/docs/Section_4_9_May2.pdf)
- [36] Sécurité d'approvisionnement et indépendance énergétique. 28ième Forum d'Iéna. 8 février 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/politiqu/iena.htm>
- [37] Rapport annuel de la Direction générale de l'énergie et des matières premières. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Mars 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/publi/pdf/rap01.pdf>
- [38] Forest Wheeler and Clean Coal Technology. Innovative technologies for efficient, effective and cleaner energy. 4 may 2001.
- [39] Comparaison des prix de l'énergie dans différents pays de l'OCDE. Office fédéral de l'énergie. 11 mai 2001. [http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/energiepolitik/BasInfo3\\_f\\_vergleich\\_energiepreise.pdf](http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/energiepolitik/BasInfo3_f_vergleich_energiepreise.pdf)
- [40] Réseau de transport d'électricité – Une première année d'existence riche de succès et de promesses. RTE Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité. 14 mai 2001. [http://www.rte-france.com/hm/fr/actu/telecharge/bilan\\_rte.pdf](http://www.rte-france.com/hm/fr/actu/telecharge/bilan_rte.pdf)
- [41] Saving oil and reducing CO<sub>2</sub> emissions in transport. – options and strategies. International Energy Agency. OCDE. 2001. <http://www.iea.org/public/studies/savingoil.htm>
- [42] Environmentally related taxes in OECD countries – Issues and strategies. OCDE. 2001. <http://www1.oecd.org/publications/e-book/9701101e.pdf>
- [43] Fostering the use of clean coal technologies. The Carnot Program. Commission européenne. 2001. [http://europa.eu.int/comm/energy/coal/fostering\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/coal/fostering_en.pdf)
- [44] Le marché pétrolier. Direction de la Prévision. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Juin 2001. <http://www.finances.gouv.fr/Prevision/nci/nci0106/mpet.pdf>
- [45] Robert GALLEY, Claude GATIGNOL. Rapport sur les perspectives offertes par la technologie de la pile à combustible. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 28 juin 2001. <http://www.assemblee-nat.fr/legislatures/11/pdf/rap-oecst/r3216.pdf>
- [46] Hugo HANNE. La fiscalité de l'énergie. Energie & matières premières. Observatoire de l'énergie. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Juillet 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/politiqu/pdf/fiscalit.pdf>
- [47] Le retraitement – recyclage et le transport des matières nucléaires en France. Direction générale de l'énergie et des matières premières. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Juillet 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pdf/retrai-transp.pdf>
- [48] Livre vert. Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique. Commission européenne. 2001. ISBN 92-894-0320-9. [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/doc-principal/pubfinal\\_fr.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/doc-principal/pubfinal_fr.pdf)
- [49] Causes and lessons of the California electricity crisis. Congressional Budget Office. Congress of the United States. September 2001. <ftp://ftp.cbo.gov/30xx/doc3062/CaliforniaEnergy.pdf>
- [50] Marc JAVOY. Volcanisme et pollution naturelle. In Les progrès de la peur : clonage, CO<sub>2</sub>, nucléaire, Internet. Nayla Farouki ed.. Editions Le Pommier. Septembre 2001. ISBN 2.7465.0010.8.
- [51] Recherches sur les déchets nucléaires : résultats et perspectives. CEA. 2 octobre 2001. <http://www.cea.fr/fr/presse/dossiers/dechets.pdf>
- [52] La valorisation énergétique du bois en France. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 4 décembre 2001. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/boisenergie.html>
- [53] Christian KERT. Rapport sur l'apport de nouvelles technologies dans l'enfouissement des lignes électriques à haute et très haute tension. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport n° 3477. 19 décembre 2001. [http://www.assemblee-nat.fr/legislatures/11/pdf/rap-oecst/lignes\\_elect/i3477.pdf](http://www.assemblee-nat.fr/legislatures/11/pdf/rap-oecst/lignes_elect/i3477.pdf)

- [54] Fuel cell market prospects and intervention strategies. Final report. Imperial college centre for energy policy and technology – United Nations Environment programme. January 2002.  
[http://www.uneptie.org/energy/act/tp/docs/FinalReport\\_FCStrategy.pdf](http://www.uneptie.org/energy/act/tp/docs/FinalReport_FCStrategy.pdf)
- [55] Transport final energy by mode. European Environment Agency. Janvier 2002.  
[http://themes.eea.eu.int/Sectors\\_and\\_activities/transport/indicators/consequences/transport\\_consumption/TERM\\_2002\\_01\\_EU\\_Energy\\_consumption.pdf](http://themes.eea.eu.int/Sectors_and_activities/transport/indicators/consequences/transport_consumption/TERM_2002_01_EU_Energy_consumption.pdf)
- [56] Catherine MERCIER-SUISSA. Pétrole : la malédiction caucasienne. ANDESE, groupe de travail énergie. Vie & sciences économiques, n°159-160, hiver 2001-2002.  
<http://www.andese.org/groupe/energie/Petrole%20la%20malediction%20caucasienne.PDF>
- [57] Henri REVOL. Rapport d'information sur le colloque « Le marché européen de l'énergie : enjeux et conséquences de l'ouverture ». Rapport d'information n° 305. 2002. <http://www.senat.fr/rap/r01-305/r01-3051.pdf>
- [58] Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique. Rapport au Parlement. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 29 janvier 2002.  
[http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/pdf/ppi\\_2002.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/pdf/ppi_2002.pdf)
- [59] Mémento des démarches à effectuer par un nouveau producteur d'électricité souhaitant bénéficier de l'obligation d'achat. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Mars 2002.  
[http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/textes/se\\_demarche.html](http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/textes/se_demarche.html)
- [60] Schéma de services collectifs de l'énergie. DATAR. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Avril 2002. [http://www.industrie.gouv.fr/cgi-bin/industrie/f\\_nrj023.pl?bandeau=/energie/politiqu/be\\_polit.htm&gauche=/energie/politiqu/me\\_polit.htm&droit e=/energie/politiqu/pdf/SSCE081100.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/cgi-bin/industrie/f_nrj023.pl?bandeau=/energie/politiqu/be_polit.htm&gauche=/energie/politiqu/me_polit.htm&droit e=/energie/politiqu/pdf/SSCE081100.pdf)
- [61] Schéma de services collectifs de l'énergie – cartes. DATAR. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Avril 2002. [http://www.industrie.gouv.fr/cgi-bin/industrie/f\\_nrj023.pl?bandeau=/energie/politiqu/be\\_polit.htm&gauche=/energie/politiqu/me\\_polit.htm&droit e=/energie/politiqu/pdf/SSCE-2002-2.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/cgi-bin/industrie/f_nrj023.pl?bandeau=/energie/politiqu/be_polit.htm&gauche=/energie/politiqu/me_polit.htm&droit e=/energie/politiqu/pdf/SSCE-2002-2.pdf)
- [62] Décision no 2002/358/CE du Conseil du 25 avril 2002 relative à l'approbation, au nom de la Communauté européenne, du protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'exécution conjointe des engagements qui en découlent. Journal officiel des Communautés européennes L. 130 du 15 mai 2002. <http://europa.eu.int/cgi-bin/eur-lex/udl.pl?REQUEST=Seek-Deliver&COLLECTION=oj&SERVICE=eurlex&LANGUAGE=fr&DOCID=20021130p0001>
- [63] Clefs CEA, n°44, numéro spécial ENERGIES. Mai 2002.  
<http://www.cea.fr/fr/Publications/Clefs44/sommaire.html>
- [64] Circulaire du 3 mai 2002 relative à la rationalisation et simplification des procédures applicables aux producteurs d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. <http://www.environnement.gouv.fr/infoprat/bulletin-officiel/bo-200206/A0060036.htm>
- [65] RTE Mémento sûreté. 2002. [http://www.rte-france.com/hm/fr/qui/telecharge/memento\\_surete.pdf](http://www.rte-france.com/hm/fr/qui/telecharge/memento_surete.pdf)
- [66] Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply. Technical document. Commission européenne. Juin 2002. [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/doc-technique/doctechlv-en.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/doc-technique/doctechlv-en.pdf)
- [67] La coopération énergétique avec les pays en développement. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen. 17 juillet 2002.  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/home/doc/com2002\\_408\\_fr.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/home/doc/com2002_408_fr.pdf)
- [68] Des sources naturelles aux enjeux de la production – n° 4 L'énergie. CEA. Septembre 2002.
- [69] Power Technology Data Book. 2002. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. National Renewable Energy Laboratory. DOE. <http://analysis.nrel.gov/databook2002/tables.asp?chapter=3&table=22>
- [70] Sûreté des centrales et des déchets nucléaires – éléments de débats. Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaires. 24 octobre 2002. <http://www.asn.gouv.fr/CSSIN/suretedf.pdf>
- [71] Benjamin DESSUS. La voiture à hydrogène. La Recherche. Octobre 2002.  
<http://www.larecherche.fr/data/357/03570681.html>



- [72] Les caractéristiques du commerce énergétique mondial au XXI<sup>ème</sup> siècle in Le commerce international au XXI<sup>ème</sup> siècle. IFRIT. Octobre 2002. [http://europa.eu.int/comm/trade/issues/newround/eu\\_wto/docs/ifrit.pdf](http://europa.eu.int/comm/trade/issues/newround/eu_wto/docs/ifrit.pdf)
- [73] Renewable energy... into the mainstream. IEA renewable energy working party. October 2002. International Energy Agency. [http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/2003/Renew\\_main.pdf](http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/2003/Renew_main.pdf)
- [74] Renewables in global energy supplies. International Energy Agency. November 2002. <http://www.iea.org/leaflet.pdf>
- [75] National Hydrogen Energy Roadmap. Department of Energy. November 2002. [http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/national\\_h2\\_roadmap.pdf](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/national_h2_roadmap.pdf)
- [76] Consommation d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable. Rapport fait en application de l'article 3 de la directive 2001/77/CE du 27/09/2001. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 15 novembre 2002. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/rapp-art3.pdf>
- [77] I-Maritime consultancy: logistical connectivity through pipeline network. December 2002 [http://www.imaritime.com/resources/research/monitor/Archives/Dec2000/dec2000\\_pipeline.htm](http://www.imaritime.com/resources/research/monitor/Archives/Dec2000/dec2000_pipeline.htm)
- [78] Alain LIOURE. Les stratégies possibles d'entreposage ou de stockage. Les clés du CEA n° 46. <http://www.cea.fr/fr/Publications/Clefs46/clefs46fr-pdf/18-strategies.pdf>
- [79] Généralité sur la fiscalité des produits pétroliers. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 1er janvier 2003. <http://www.douane.gouv.fr/finc.asp?page=entreprised1263.htm&cusnum=757>
- [80] Les chemins de l'électricité. RTE. Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité. Janvier 2003. [http://www.rte-france.com/htm/fr/envirnm/telecharge/les\\_chemins\\_de\\_l\\_electricite.pdf](http://www.rte-france.com/htm/fr/envirnm/telecharge/les_chemins_de_l_electricite.pdf)
- [81] ESTO position on use of underground cables to develop european 400 kV networks. ESTO. 31 January 2003. [http://www.etso-net.org/media/download/ESTO\\_POSITION\\_ON\\_UNDERGROUND\\_CABLES.pdf](http://www.etso-net.org/media/download/ESTO_POSITION_ON_UNDERGROUND_CABLES.pdf)
- [82] Gestion des déchets organiques et des boues : un choix local. Dossier Science & Décision. Février 2003. <http://www.science-decision.net/cgi-bin/topic.php?topic=BUR>
- [83] Jean-Marie CHEVALIER. La France peut-elle encore définir une politique énergétique nationale ? Futurible n° 284. Février 2003. <http://www.dauphine.fr/cgemp/Publications/Articles/ChevalierPolitiqueEnergetique.pdf>
- [84] Informations utiles – Energy Handbook. Edition 2003. CEA. <http://www.cea.fr/fr/institutions/pdf/InfosUtiles2003.pdf>
- [85] Mémento sur l'énergie – Energy Data Book. Edition 2003. CEA. <http://www.cea.fr/fr/institutions/pdf/Memento2003.pdf>
- [86] Jean-Marie CHEVALIER. La difficile question du financement du nucléaire. Mines – Revue des ingénieurs. Janvier-février 2003. <http://www.dauphine.fr/cgemp/Publications/Articles/ChevalierNucleaire.pdf>
- [87] Production d'électricité par énergie éolienne : situation dans le monde et programme EOLE 2005. 2003. <http://retd.edf.fr/futur/mois/eole.pdf>
- [88] Australia Energy demand – Energy losses. EPA. 25 mars 2003. <http://www.epa.nsw.gov.au/soe/97/ch5/6.htm>
- [89] Arrêté du 7 mars 2003 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité. Journal officiel de la république française. 18 mars 2003. <http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=INDI0300871A>
- [90] Bilan provisoire de la France pour 2002. Direction générale de l'énergie et des matières premières. Observatoire de l'économie de l'énergie et des matières premières. Observatoire de l'énergie. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 28 mars 2003. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/pdf/bilan2002.pdf>
- [91] Gaz naturel en France : les principaux résultats en 2002. Direction générale de l'énergie et des matières premières. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Avril 2003. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se\\_gaz.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_gaz.htm)

- [92] Sander HANSEN. Pipeline Politics; The struggle for control of the Eurasian energy resources. CIEP. Avril 2003. [http://www.clingendael.nl/publications/2003/20030400\\_ciep\\_paper\\_hansen.pdf](http://www.clingendael.nl/publications/2003/20030400_ciep_paper_hansen.pdf)
- [93] Statistiques énergétiques France. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Energie & matières premières. Avril 2003. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/pdf/depliant.pdf>
- [94] Plan Soleil 2000-2006. Avril 2003 : premier bilan national. ADEME. <http://www.ademe.fr/htdocs/presentation/aidefinanciere/plansoleil/Documents/bilanps.pdf>
- [95] Claude ALLEGRE. Un peu de science pour tout le monde. Editions Fayard. 2003. ISBN 2-213-6149-70
- [96] Gilles ZASK. La déconstruction des centrales nucléaires. Revue des Ingénieurs, mars-avril 2003, p. 7-9. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pdf\\_deconstruction.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pdf_deconstruction.pdf)
- [97] Deuxième rapport d'étalonnage sur la mise en oeuvre du marché intérieur du gaz et de l'électricité. Document de travail des services de la Commission. Commission des communautés européennes. 7 avril 2003. [http://europa.eu.int/comm/energy/electricity/benchmarking/doc/2/sec\\_2003\\_448\\_fr.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/electricity/benchmarking/doc/2/sec_2003_448_fr.pdf)
- [98] International energy outlook 2003. Energy administration information. Department of Energy. May 2003. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>
- [99] Alain-Yves HUC. Le pétrole des profondeurs océaniques. Pour la Science, 307, 44-53. Mai 2003.
- [100] Renewables information 2003. IEA statistics. International Energy Agency. [http://www.solarpaces.org/2003\\_Renewables\\_Information.pdf](http://www.solarpaces.org/2003_Renewables_Information.pdf)
- [101] BP Statistical review of world energy. June 2003. [http://www.bp.com/downloads/1612/statistical\\_review.pdf](http://www.bp.com/downloads/1612/statistical_review.pdf)
- [102] Hydrogen Energy and Fuel Cells: A Vision for our Future. Commission européenne. Juin 2003. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hydrogen\\_summary\\_report.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hydrogen_summary_report.pdf)
- [103] Alain JEMAIN. Electricité, faites jouer la concurrence ! L'Usine Nouvelle, n° 2877, juin 2003, p. 68-71
- [104] Pierre ZALESKI, Sophie MERITET. L'énergie nucléaire face à la déréglementation des marchés d'électricité. Revue de l'énergie, Juin 2003, n° 543. <http://www.dauphine.fr/cgemp/Publications/Articles/ZaleskiMeritetNucleaire.pdf>
- [105] J. M. TESSERON. Bilan 2002 de la sûreté du système électrique français. Mission Audit Sûreté. RTE Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité. 7 juillet 2003. [http://www.rte-france.com/hm/fr/vie/telecharge/bilan\\_surete\\_2002\\_externes.pdf](http://www.rte-france.com/hm/fr/vie/telecharge/bilan_surete_2002_externes.pdf)
- [106] Le démantèlement des installations nucléaires : le nouveau panorama. Contrôle n° 152. Autorité de sûreté nucléaire. 11 juillet 2003. <http://www.asn.gouv.fr/publications/dossiers/c152/controle152.asp>
- [107] Directive 2003/55/CE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2003 concernant des règles communes pour le marché intérieur du gaz naturel et abrogeant la directive 98/30/CE. Journal officiel de l'Union européenne. 15 juillet 2003. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/gaz/pdf/dir\\_26\\_juin\\_03.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/energie/gaz/pdf/dir_26_juin_03.pdf)
- [108] L'obligation et les tarifs d'achat de l'électricité. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 5 septembre 2003. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/se\\_ele\\_a5.html](http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/se_ele_a5.html)
- [109] Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2002. Photovoltaic power systems programme. Report IEA-PVPS T1-12 : 2003. International Energy Agency. [http://www.oja-services.nl/iea-pvps/products/download/rep1\\_12.pdf](http://www.oja-services.nl/iea-pvps/products/download/rep1_12.pdf)
- [110] Promotion de l'énergie éolienne terrestre. Instructions détaillées des ministres de l'écologie et du développement durable, de l'équipement et de l'industrie. 10 septembre 2003. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/circ\\_eol\\_10\\_09\\_03.pdf](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/circ_eol_10_09_03.pdf)
- [111] Patrick HUBERT. L'énergie éolienne en France et les nouvelles problématiques de l'énergie. Fin/Enviro. Septembre 2003. <http://www.finaenviro.com/ArticleRevuePonts03viii26.html>
- [112] L'énergie en France – repères. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. Edition 2003. <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/pdf/reperes.pdf>

- [113] La nouvelle législation sur les marchés énergétiques. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie. 7 octobre 2003. [http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/textes/legisl\\_marches.html](http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/textes/legisl_marches.html)
- [114] Directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 2003 établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil. <http://europa.eu.int/cgi-bin/eur-lex/udl.pl?REQUEST=Seek-Deliver&COLLECTION=oj&SERVICE=all&LANGUAGE=fr&DOCID=20031275p0032>
- [115] Directive 2003/96/CE du Conseil du 27 octobre 2003 restructurant le cadre communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité. <http://europa.eu.int/cgi-bin/eur-lex/udl.pl?REQUEST=Seek-Deliver&LANGUAGE=fr&SERVICE=eurlex&COLLECTION=oj&DOCID=20031283p00510070.pdf>
- [116] Systèmes dynamiques et contrôle. Rythme de renouvellement d'un parc automobile. 30 octobre 2003. [http://cermics.enpc.fr/scilab\\_new/site/Projets/parc\\_auto.pdf](http://cermics.enpc.fr/scilab_new/site/Projets/parc_auto.pdf)
- [117] OLKILUOTO 3 a turnkey EPR project (European Pressurized water Reactor). 18 December 2003. <http://www.areva.com/servlet/BlobProvider?blobcol=urluploadedfile&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=Downloads&blobwhere=1078343903338&filename=Finlande+GB%2C0.pdf&csblobid=1033582133999>
- [118] Le baromètre européen 2003 des énergies renouvelables. Chiffres 2002, 3e Bilan. Décembre 2003. Eurobserv'ER. [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan3.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan3.pdf)
- [119] Les centrales nucléaires dans le monde – situation au 31-12-2003. Edition 2004. CEA. <http://www.cea.fr/fr/Publications/trilogie/Elecnucl2004.pdf>
- [120] Le baromètre de l'éolien 2003. Février 2004. Eurobserv'ER. [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/eufores/baro159.asp](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/eufores/baro159.asp)
- [121] Natural gas supply for the EU in the short to medium term. CIEP Clingendael Institute. March 2004. [http://www.clingendael.nl/publications/2004/20040300\\_ciep\\_paper.pdf](http://www.clingendael.nl/publications/2004/20040300_ciep_paper.pdf)
- [122] Le baromètre du photovoltaïque. Avril 2004. Eurobserv'ER. [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/eufores/baro160.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/eufores/baro160.pdf)
- [123] Groupe de travail Etats-Unis – Canada sur la panne de courant. Rapport final sur la panne du 14 août 2003 dans le Nord-Est des Etats-Unis et au Canada. Causes et recommandations. Avril 2004. [http://www.nrcan-ncan.gc.ca/media/docs/final/finalrep\\_f.htm](http://www.nrcan-ncan.gc.ca/media/docs/final/finalrep_f.htm)
- [124] Sophie MERITET. L'émergence de pouvoir de marché dans les marchés électriques : le cas des Etats-Unis. Problèmes Economiques, La documentation française. n°2.852, 2004. <http://www.dauphine.fr/cgemp/Publications/Articles/articlePouvoirde marche ProblemesEco%20sophie.pdf>
- [125] Alan LARSON. La géopolitique du pétrole et du gaz naturel. Département d'Etat des Etats-Unis. Mai 2004. <http://usinfo.state.gov/journals/ites/0504/ijef/frlar.htm>
- [126] Pierre NOEL. Les Etats Unis et la sécurité pétrolière mondiale. Institut français des relations internationales. Centre français sur les Etats-Unis. Juillet 2004. [http://www.ifri.org/files/CFE/PN\\_US\\_SecuritePetroliere.pdf](http://www.ifri.org/files/CFE/PN_US_SecuritePetroliere.pdf)
- [127] John M. ROBERTS. Bosphorus Bypasses. Third Annual Conference on the Geopolitics of Energy. Florence, 8-9 July 2004. <http://www.iue.it/RSCAS/Research/Mediterranean/Energy2004.shtml>
- [128] Giacomo LUCIANI. Background Paper. Third Annual Conference on the Geopolitics of Energy. Florence, 8-9 July 2004. <http://www.iue.it/RSCAS/Research/Mediterranean/Energy/Background%20Paper%20-%20Luciani%20-%20for%20web.doc>
- [129] Energie hydroélectrique – incidences environnementales et mesures évitables. Technologies & Applications. Ressources naturelles Canada. 2 septembre 2004. [http://www.canren.gc.ca/tech\\_appl/index\\_f.asp?CaId=4&PgID=321](http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?CaId=4&PgID=321)
- [130] J.-M. LOISEAUX. Energie nucléaire d'ici 2050. Programme Energie du CNRS. 2004. [http://ipnweb.in2p3.fr/~sfp/pdf\\_docs/talks/Loiseaux\\_SFP\\_IPN052004.pdf](http://ipnweb.in2p3.fr/~sfp/pdf_docs/talks/Loiseaux_SFP_IPN052004.pdf)

- [131] J.-M. LOISEAUX. L'énergie nucléaire d'ici 2050 - Une réflexion et des recommandations d'un groupe de scientifiques du CNRS dans le cadre du Programme Energie du CNRS. 2004.  
<http://ipnweb.in2p3.fr/~pacs/documents/gat11-rapport-total-final.pdf>
- [132] Clefs CEA, n° 50/51, numéro spécial L'hydrogène, les nouvelles technologies de l'énergie. Hiver 2004-2005. <http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs2.asp>
- [133] Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. Cour des Comptes. Janvier 2005. <http://www.ccomptes.fr/Cour-des-comptes/publications/rapports/nucleaire/integral.pdf>
- [134] EDF et l'hydroélectricité. [http://www.edf.fr/index.php4?coe\\_i\\_id=200](http://www.edf.fr/index.php4?coe_i_id=200)
- [135] David J. FRANUS. The gas turbine-powered electrical power generation market in the period 2001-2010. Forecast International/DMS Inc. <http://www.forecast1.com/notable/cospp.htm>
- [136] Les stockages souterrains de Gaz en France. Gaz de France.  
[http://transport.gazdefrance.com/dossiers\\_presse/stockages.pdf](http://transport.gazdefrance.com/dossiers_presse/stockages.pdf)
- [137] Transport des déchets. La solution fluviale. Voies navigables de France et ADEME.  
<http://www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/Transports1.pdf>
- [138] EDF et l'énergie éolienne. [http://www.edf.fr/index.php4?coe\\_i\\_id=200](http://www.edf.fr/index.php4?coe_i_id=200)
- [139] Milieu naturel – enfouissement des lignes. RTE. Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité.  
[http://www.rte-france.com/htm/fr/envirmt/envirmt\\_milieu\\_enfouiligne.htm](http://www.rte-france.com/htm/fr/envirmt/envirmt_milieu_enfouiligne.htm)
- [140] Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.  
[http://www.andra.fr/interne.php3?id\\_article=81&id\\_rubrique=70&PHPSESSID=bdae1cbd82251bd818aed26b92ace574](http://www.andra.fr/interne.php3?id_article=81&id_rubrique=70&PHPSESSID=bdae1cbd82251bd818aed26b92ace574)
- [141] Autorité de sûreté nucléaire. <http://www.asn.gouv.fr/publications/presentation/index.asp>
- [142] Projet de loi d'orientation sur l'énergie. <http://www.senat.fr/dossierleg/pjl03-328.html>
- [143] Commission de régulation de l'énergie. <http://www.cre.fr/>





Le CNRS et l'Université d'Evry Val d'Essonne ont créé *Science et Décision* pour apporter une aide aux élus et autres décideurs confrontés à des questions ayant une forte composante scientifique ou technique.

Les dossiers de *Science et Décision* apportent :

- une information fiable, synthétique et compréhensible,
- un accès direct aux sources les plus pertinentes,
- un gain de temps et d'efficacité.

#### **Les dossiers de *Science et Décision* en ligne en octobre 2006**

Energie : production, consommation, où en est-on ?

Les économies d'énergie : choix ou nécessité ?

Les transports urbains en France : des solutions techniques mais une gestion politique est nécessaire

Internet : facteur d'intégration ou d'exclusion ?

Gestion des déchets organiques et des boues : un choix local

La protection de la nature et des paysages sur le littoral atlantique : que préserver au sein de la biodiversité ? Comment procéder ?

L'industrie des biotechnologies : contraintes et opportunités

Cellules souches et clonage : l'humain, un cas à part ?

Biotechnologies, brevets et agriculture : une nouvelle donne ?

Les OGM dans l'alimentation et l'agriculture : qui est concerné ? existe-t-il des risques ?

La vache folle : analyse d'une crise et perspectives d'avenir

Science et Décision – UMS 2293 CNRS/Université d'Evry – Université Pierre et Marie Curie,  
boîte courrier 28 – 4 Place Jussieu 75252 Paris cedex 05 – tel. 01 60 87 37 23 – [contact@science-decision.fr](mailto:contact@science-decision.fr)

**Directeur de la publication** : Alain Hénaut – **Directrice de la rédaction** : Florence Javoy

**Conception et réalisation** : Madison Square Communication [madison-square@wanadoo.fr](mailto:madison-square@wanadoo.fr)

**Illustrations** : Antoine Chereau