



Les énergies alternatives

RENOUVELABLES OU NON POLLUANTES

Les progrès techniques et les nouveaux modes de vie qu'ils génèrent sont la cause, depuis le 20^e siècle, d'une augmentation énorme de la consommation humaine d'énergie. Entre 1950 et 2000, cette consommation est passée, en France, de 58 à 260 millions de tonnes d'équivalent pétrole ou tep (1 tep : quantité d'énergie obtenue par la combustion de 1 t de pétrole).

L'énergie est consommée, pour l'essentiel, sous forme d'électricité ou de combustibles (dérivés pétroliers). Elle provient surtout des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon), de la fission nucléaire (centrales nucléaires) et des grandes installations hydroélectriques (barrages).

Ces sources d'énergie « traditionnelles » ne sont pas sans danger ni sans conséquences néfastes sur l'environnement. Aussi des chercheurs, des associations, travaillent-ils à mettre au point, d'un point de vue technique, et à promouvoir, d'un point de vue social, l'utilisation d'autres sources d'énergie, dites « alternatives » (ou « douces »).

Certaines de ces sources d'énergie sont exploitées depuis des millénaires (comme l'eau, le soleil, le vent), d'autres sont radicalement nouvelles. Toutefois, même les plus anciennement connues doivent, pour concurrencer les sources d'énergie industrielle, bénéficier des technologies les plus avancées.

En ce qui concerne la production d'électricité, les ressources alternatives les plus couramment mises en avant sont :

- L'énergie éolienne (énergie du vent) ;
- L'énergie solaire (énergie du rayonnement solaire) ;
- L'énergie géothermique (utilisation de la différence de température entre la surface du sol et les couches profondes de la croûte terrestre). Pour la production de combustibles liquides et gazeux (pouvant d'ailleurs servir aussi à la production d'électricité), deux voies biologiques sont explorées :

- La culture de plantes produisant un combustible pouvant être facilement raffiné, comme le colza, la betterave ou la canne à sucre ;
- L'utilisation de la fermentation des déchets organiques (biogaz ou gaz de fumier).

L'utilisation des énergies alternatives a pour but de pallier l'épuisement des réserves d'énergies traditionnelles (notamment le pétrole) et la pollution engendrée par ces énergies traditionnelles ;

c'est pourquoi les principales qualités recherchées sont la « renouvelabilité » (c'est-à-dire l'impossibilité d'épuisement des ressources, comme dans le cas du vent, du soleil, des cultures...) et l'absence de rejets toxiques dans l'environnement.

PROBLÈMES POSÉS PAR LES ÉNERGIES TRADITIONNELLES

Les principales sources d'énergie utilisées dans le monde sont les combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon) et le nucléaire (prépondérant en France). L'énergie hydraulique (barrages) est la troisième source (l'hydroélectricité n'est pas considérée comme une forme d'énergie alternative).

L'utilisation intensive de ces sources d'énergie ne va pas sans problèmes, présents ou à venir, pour l'environnement :

- La combustion du charbon et des dérivés pétroliers produit des gaz dont certains sont toxiques ; d'autres sont responsables d'une partie de l'accroissement de l'effet de serre (réchauffement du climat de la planète). L'exploitation (forage, raffinage) et le transport de ces combustibles sont aussi à l'origine de pollutions diverses. En outre, les réserves accessibles à un coût raisonnable ne sont pas inépuisables et les enjeux financiers et politiques colossaux qui en dépendent provoquent ou aggravent nombre de crises internationales.

- L'énergie nucléaire, en dépit du haut niveau de technologie mis en œuvre et des contraintes de sécurité dont elle est l'objet, n'a pas encore apporté de réponse satisfaisante au problème des déchets radioactifs à longue durée de vie, en dehors de leur stockage et de leur traitement partiel.

- L'énergie hydraulique (« houille blanche ») n'est pas polluante, ce qui ne signifie pas qu'elle n'ait pas d'impact sur le milieu : elle impose de perturber gravement l'environnement, voire de déplacer des populations, en noyant des vallées entières pour créer des lacs artificiels. Il s'agit néanmoins d'une énergie renouvelable et, après un gros investissement initial, la production ne nécessite plus qu'une dépense moindre de fonctionnement et de maintenance.

ÉNERGIE SOLAIRE

Bien qu'abondante en certaines parties du globe, l'énergie solaire a pour principaux inconvénients une disponibilité variable le jour (suivant la couverture nuageuse) et nulle la nuit. On peut en tirer directement de la chaleur, grâce à des systèmes de

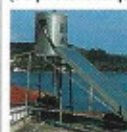
serres, de réservoirs peints en noir ou de miroirs concentrant les rayons solaires en un point, ou la transformer directement en électricité, au moyen de cellules photoélectriques.

L'UTILISATION DOMESTIQUE



L'utilisation directe thermique, par de petits **four solaires**, est celle qui a le meilleur rendement ; même dans des régions peu ensoleillées, elle fournit une énergie d'appoint non négligeable. Les installations artisanales ou à petite échelle sont précieuses dans les endroits isolés des réseaux de distribution d'énergie.

L'énergie solaire peut aussi être transformée en électricité grâce à des **panneaux photoélectriques** (ou photovoltaïques) en silicium,



cristallin ou amorphe. Ces panneaux, placés par exemple sur le toit d'une maison, peuvent fournir plus de 40 W en période de fort ensoleillement, ce qui sur une journée moyenne représente à peu près la consommation d'un réfrigérateur.

L'UTILISATION INDUSTRIELLE

La production industrielle d'électricité à partir de l'énergie solaire ne peut s'effectuer grâce aux capteurs photoélectriques utilisés pour les applications domestiques.

En effet, à cause du faible rendement des capteurs (25 % au maximum, jamais atteint en utilisation industrielle) et de leur coût élevé, une centrale photovoltaïque de puissance moyenne (comparativement aux centrales classiques) devrait couvrir des milliers d'hectares pour ne fournir qu'une énergie à la disponibilité aléatoire.

La solution retenue est de capter l'énergie solaire sous forme thermique, grâce à des miroirs orientables guidés par ordinateur. Les miroirs concentrent ainsi l'énergie reçue en un point où se trouve un absorbeur contenant un liquide caloporteur (c'est-à-dire bon transporteur de chaleur), qui sert à produire de la vapeur qui elle-même alimente une turbine.



• Dans les centrales à tour (ici la **centrale d'Odeillo**, en France), l'énergie solaire est concentrée par

les miroirs dans le haut de la tour. C'est la solution retenue pour les centrales thermiques solaires de Californie.

• Les systèmes dénommés « fermes solaires », de forme parabolique, doivent leur nom à leur action sur la végétation alentour : à l'ombre des miroirs, l'herbe pousse dru, et le bétail peut paître sur des terrains auparavant beaucoup plus pauvres.

ÉNERGIE ÉOLIENNE

Une machine captant l'énergie du vent est appelée éolienne (du nom d'Éole, dieu du vent des anciens Grecs). Lorsqu'elle entraîne un alternateur ou une dynamo, pour produire de l'électricité, on parle d'aérogénérateur. L'énergie éolienne est surtout employée pour des installations isolées, à l'écart des réseaux de distribution d'énergie.

LES ÉOLIENNES

Les **éoliennes** sont généralement constituées par une hélice à axe



horizontal que l'on oriente suivant la direction du vent. Pour la production industrielle, elles sont généralement regroupées sur un site favorable.

Paradoxalement, les installations éoliennes font souvent l'objet d'une opposition de la part de certains défenseurs de l'environnement, à cause de l'importance de la modification du paysage (placées en hauteur, elles sont souvent visibles de très loin).



Dans les régions isolées, les **éoliennes artisanales** sont nombreuses ; elles ne nécessitent qu'un

investissement réduit et fournissent de l'énergie mécanique



directement utilisable, utilisée à des tâches où le stockage est facile (pompage par exemple). L'utilisation industrielle impose l'installation de

groupes d'aérogénérateurs. Cette utilisation est freinée par la grande variabilité de la ressource,

difficilement adaptable aux variations des besoins du réseau. Néanmoins, un certain nombre de sites propices sont exploités, essentiellement en Californie.

ÉNERGIE MARÉMOTRICE

Les **marées** représentent une quantité d'énergie considérable et inépuisable, mais qui n'est



disponible que de façon cyclique, avec des amplitudes irrégulières. Si des moulins à marée ont existé dès le Moyen Âge sur les sites offrant de grandes amplitudes de marée, ce n'est qu'avec l'usine marémotrice de la Rance, en France (Ille-et-Vilaine), qu'a été mise au point l'utilisation de l'énergie des marées à des fins industrielles.

L'ÉNERGIE MARÉMOTRICE

Le maître mot de l'**usine marémotrice de la Rance** est le



« système à double effet », qui permet de décaler les moments de turbinage par rapport aux marées afin de mieux les synchroniser avec les moments de pointe sur le réseau. Cela nécessite le remplissage d'un bassin dans lequel les rythmes des marées sont perturbés : le procédé n'est donc pas sans conséquences sur l'écosystème local et, par contre-coup, sur les activités économiques (pêche...).

Lors des petites marées (de faible amplitude), le turbinage se fait de



façon classique, grâce à des hélices aux pales articulées (**groupes bulbes**, pouvant également fonctionner comme pompes) permettant de profiter de l'énergie de la marée montante aussi bien que de celle de la marée descendante.

À la marée montante, les vannes sont fermées et le bassin reste au niveau de la marée basse ; lorsque la mer est haute, les vannes sont ouvertes : l'eau passant dans les turbines provient ainsi de plus haut et fournit plus d'énergie (turbinage indirect). De la même manière, le bassin reste plein lorsque la marée baisse, et n'est vidé qu'aux plus basses eaux (turbinage direct).

Diversité des énergies alternatives

Vent



Énergie éolienne

Soleil



Énergie solaire

Marée



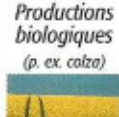
Énergie marémotrice

Géothermie



Énergie tellurique

Productions biologiques

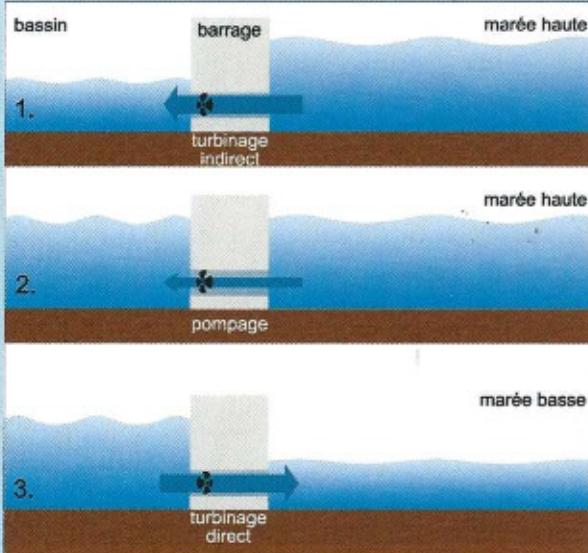


(p. ex. colza)

Biocarburants

Part des énergies alternatives dans la consommation d'électricité

En Europe : 6 %
En Suède : 26,7 %
En France : 6 %



Lorsque la marée est suffisamment importante, l'usine fonctionne en mode double effet : le bassin est fermé pour la marée montante et ouvert lorsque les eaux sont hautes (1). Le turbinage indirect a lieu de la même manière qu'en mode simple effet, mais lorsque le niveau du bassin rejoint celui de la haute mer, les turbines commencent à fonctionner en pompe (2), amenant ainsi le bassin à un niveau supérieur à celui de la mer.

Cette consommation d'énergie (pour le pompage) se fait aux heures creuses des besoins du réseau et est rentable : l'eau pompée n'a besoin d'être hissée que d'une faible hauteur puisque la marée est haute, mais lors de la vidange du bassin (3), à marée basse, le dénivelé correspond à la différence entre les niveaux des marées : l'eau fournit ainsi « en descendant » plus d'énergie qu'il n'en a fallu pour la pomper, « en montant ».

L'ÉNERGIE DES VAGUES

L'énergie des vagues, qui provient en définitive du vent, est intarissable mais son exploitation demeure très délicate. Si des recherches ont été effectuées, avec quelques résultats probants, aucune installation réellement industrielle n'a été tentée. Le musée océanographique de Monaco possède toutefois une installation expérimentale qui contribue à son approvisionnement en eau de mer.

L'ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

L'idée d'exploiter l'énergie thermique des mers revient à Arsène d'Arsonval (1851-1940) et a été expérimentée dans les années 1930 par le physicien français Georges Claude sur un cargo afin de fabriquer de la glace. Les projets, nombreux, font appel à des technologies diverses, mais la différence de température entre la source froide (le fond) et la source chaude (la surface) n'est, au mieux, que de 24 °C, et dans les mers tropicales seulement, ce qui freine les projets d'utilisation de l'énergie thermique des mers.

ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Comme nous le montrent de façon spectaculaire les éruptions volcaniques, les couches profondes de la planète produisent une énergie calorifique

importante. Le gradient de température de la croûte terrestre en fonction de la profondeur est en moyenne de 3 °C par 100 m, avec de notables différences en fonction de la structure locale du sol (à la jonction entre deux plaques tectoniques, le gradient peut atteindre 1 °C par m). Les procédés de production d'énergie géothermique utilisent la chaleur des nappes d'eau souterraines, grâce à des forages. Selon la profondeur du forage et la température atteinte, on parle de géothermie de très basse, basse, moyenne ou haute énergie.

LA GÉOTHERMIE DE TRÈS BASSE ÉNERGIE

Pompée à faible profondeur, d'où des coûts de forage réduits, l'eau utilisée se trouve à une température comprise entre 30 et 50 °C. Cela permet de chauffer des serres, voire des logements si une source complémentaire est utilisée. Elle est souvent réinjectée après avoir refroidi, mais peut aussi, lorsqu'elle est douce, arroser par exemple les serres qu'elle a préalablement chauffées.



La *Maison de la radio*, à Paris, est chauffée selon ce principe.

LA GÉOTHERMIE DE BASSE ÉNERGIE

L'eau utilisée est pompée entre 1 500 et 2 000 mètres et sa température est comprise entre 50 et 90 °C. Elle est donc utilisable directement pour le chauffage. Souvent très minérale, elle doit être réinjectée dans le sous-sol après usage. Cela entraîne une augmentation des coûts d'exploitation mais offre l'avantage de maintenir constants la pression et le débit du réservoir.

LA GÉOTHERMIE DE MOYENNE ÉNERGIE

La géothermie de moyenne énergie utilise de l'eau sous forme de vapeur, à une température allant jusqu'à 150 °C. Cette eau est utilisée pour le chauffage, mais peut aussi produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un fluide entrant en ébullition à une température plus basse (ammoniac par exemple).

LA GÉOTHERMIE DE HAUTE ÉNERGIE

Certains sites exceptionnels, liés au volcanisme, fournissent une vapeur plus chaude, sous pression ; la production directe d'électricité est alors possible. En Italie, la centrale géothermique de Valles Vecchie, la plus importante au monde, fournit 120 MW. Lorsque ce genre de conditions sont réunies, la production d'électricité géothermique est très rentable : la ressource est entièrement renouvelable, non polluante, et sa disponibilité n'est pas aléatoire. Les coûts d'installation et d'exploitation sont si réduits que le kWh produit par géothermie est moins cher que celui obtenu par combustion d'hydrocarbures fossiles. Malheureusement, les sites permettant l'exploitation d'une eau très chaude à une profondeur raisonnable sont extrêmement rares, et la puissance géothermique mondiale installée n'est que de 6 000 MW (dont 45 % aux États-Unis), alors que les possibilités sont estimées à 300 000 MW. Des expérimentations ont lieu, consistant à fissurer, par des explosions souterraines, les roches chaudes entre deux sondages judicieusement choisis, puis à injecter de l'eau par l'un des sondages pour en exploiter la vapeur de l'autre côté. Une station expérimentale fonctionne sur ce principe à Los Alamos, aux États-Unis, mais les résultats restent médiocres.

ÉNERGIE D'ORIGINE BIOLOGIQUE

La production d'énergie par des moyens biologiques est un secteur en plein essor, et toutes les possibilités offertes n'ont pas encore été étudiées. Les deux principales voies explorées ont en commun de produire des hydrocarbures, c'est-à-dire des carburants proches des combustibles fossiles (gaz et pétrole) et ayant souvent la même utilisation.

- L'une de ces voies, la production de « biogaz », utilise la fermentation et représente en outre une forme de valorisation et de récupération des déchets.
- L'autre exploite l'activité des végétaux (photosynthèse) puis la fermentation pour produire des carburants utilisables par exemple dans les véhicules individuels ; elle se heurte à la nécessité d'une adaptation du parc automobile existant, ce qui entraîne une élévation du coût de revient.

LE BIOGAZ



Si le caractère calorifique du *fumier* en décomposition est connu et utilisé depuis les débuts de l'agriculture, la production de gaz inflammable par la fermentation anaérobie (c'est-à-dire en l'absence d'oxygène) est une idée relativement récente.

Toutes sortes de déchets organiques (lisiers d'animaux, paille, résidus végétaux directs et résidus d'usines agroalimentaires ou de papeteries, résidus d'abattoirs, boues résultant de

l'épuration biologique des eaux, ordures ménagères...) peuvent convenir à la production de biogaz. Celui-ci consiste en un mélange riche en méthane et de vapeur d'eau. Les parties soufrées de la matière organique utilisée se retrouvent sous forme d'hydrogène sulfuré, qui s'élimine facilement pour obtenir un combustible proche du gaz de ville, distribuable sur les réseaux en place. Du point de vue de la pollution, cette technique a l'avantage d'utiliser comme matière première les déchets d'autres activités : plus qu'une énergie non polluante, c'est une énergie de recyclage. La fermentation ne supprime pas l'incinération finale des déchets, mais diminue le volume à incinérer et réduit très fortement la pollution due aux composés soufrés.

LES CARBURANTS VÉGÉTAUX



Divers procédés offrent la possibilité de tirer des produits végétaux (maïs, colza, canne à sucre, betterave), voire de déchets organiques, des combustibles utilisables dans les moteurs à explosion de type diesel ou des chaudières.

Les fermentations éthylique et méthylique

Le processus de fermentation alcoolique par des levures est d'usage très ancien. Il transforme des jus sucrés et produit de l'éthanol (alcool éthylique) ou du méthanol (alcool méthylique) selon la nature des micro-organismes employés et des produits de départ. Après épuration (élimination du gaz carbonique et des composés soufrés), l'éthanol et le méthanol peuvent être utilisés comme carburants dans des moteurs adaptés.

En 1979, le gouvernement brésilien lança un programme de subvention à l'alcool de canne à sucre qui fut un échec, en raison du coût élevé de l'éthanol produit (deux à trois fois plus cher que les produits pétroliers traditionnels). Mais le Brésil a relancé l'idée de la canne à sucre, associée au colza et à un autre procédé de fabrication. Les États-Unis produisent du biocarburant à partir de maïs, tandis qu'en France l'usage de carburants à base de betterave ou de colza est autorisé depuis 1988. Le mélange d'essence et de biocarburants (10 à 20 % du total) est une possibilité intéressante, permettant de diminuer la consommation d'essence.



Ainsi, le Diester (appellation commerciale, acronyme de diesel et ester) est obtenu à partir du colza et du tourmesol (ici une *usine de fabrication* de Diester).

Mélangé au gazole au taux de 5 %, il peut être utilisé sans modification dans les moteurs diesel de faible puissance et dans les chaudières de chauffage central. Pour les installations de grande puissance, le taux de mélange peut atteindre 50 %.

Ce carburant ne dégage pas de soufre lors de la combustion, et la quantité de fumées rejetées est réduite de moitié par rapport au gazole pur. L'usage du Diester se répand en Europe ; le parc automobile municipal de plusieurs villes françaises utilise d'ores et déjà ce carburant.

Les autres transformations biochimiques

• La fermentation acétonobutylique transforme des jus sucrés ou riches en cellulose en un mélange d'acétone, d'éthanol et de butanol. Le pouvoir calorifique de ce biogaz est peu élevé, et ses inconvénients ne manquent pas dans son emploi comme carburant moteur : départs à froid difficiles, importante corrosion due au méthanol qui, de plus, est toxique.

• L'éthyle tertio-butyléther est obtenu en ajoutant de l'isobutène à l'éthanol ; il remplace le plomb comme antidétonant dans l'essence sans plomb.

L'AVENIR DES ÉNERGIES ALTERNATIVES

Il repose sur la menace d'épuisement des réserves d'hydrocarbures, les tensions géopolitiques induites par leur utilisation intensive et les problèmes de pollution que cette utilisation entraîne.

D'autre part, il est nécessaire de prendre en compte les risques liés à l'exploitation de l'énergie nucléaire et les problèmes du retraitement des déchets. Enfin, le choix du développement des énergies alternatives autorise l'implantation d'unités de production plus petites et décentralisées, malgré un coût parfois supérieur et des problèmes de disponibilité et de régularité des ressources.

Toutefois, aucune source d'énergie alternative ne semble réellement compétitive : les coûts d'installation ou d'exploitation se révèlent trop importants pour une disponibilité aléatoire. En revanche, comme énergies d'appoint, les énergies alternatives sont d'ores et déjà opérationnelles.

• Elles permettent, lorsqu'elles sont disponibles, de réduire la consommation des combustibles fossiles dans des centrales classiques (même si elles ne permettent pas d'en diminuer la puissance installée).

• Elles présentent un grand intérêt dans des applications particulières, telles que le pompage de l'eau (qui est facilement stockable) grâce à des éoliennes, la production d'eau chaude sanitaire ou le chauffage d'appoint de locaux (par capteurs thermiques d'énergie solaire à bas potentiel), ou enfin la réalisation de fours de traitement à très haute température, par focalisation d'énergie solaire rayonnée, grâce à des jeux de miroir.

• Elles se révèlent irremplaçables lorsqu'il s'agit d'alimenter des logements, des fermes ou des chantiers isolés, loin de tout réseau électrique.