



# Les énergies renouvelables : des outils essentiels pour notre développement

**Même si, quelques décennies encore, l'utilisation intensive d'énergies fossiles reste encore possible, les ressources, malgré les efforts importants de recherche de nouveaux gisements et de nouvelles méthodes d'exploitation, ne seront plus à la hauteur, quel que soit le scénario, des enjeux du développement et de la croissance de la demande mondiale.**

Nous sommes au début d'une révolution de l'énergie qui verra la transformation des bases énergétiques du développement, celui du monde, de l'Europe et de la France.

Il s'agit là d'une révolution comparable à celle que nous avons connue à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec l'apparition de l'automobile, la disparition du cheval et des emblavements agricoles nécessaires à son alimentation : de l'ordre de 25 % des surfaces agricoles encore en 1925 !

Des investissements considérables sont en jeu, une politique à long terme doit être définie permettant dès maintenant au paquebot de nos économies de virer dans une direction respectueuse de nos ressources, de l'environnement, et des enjeux stratégiques.

Notre pays doit, dès aujourd'hui, prendre le cap, et décider des choix qui s'imposent.

Alors que les énergies renouvelables

sont, en ce début de juin 2004, sur le devant de la scène médiatique grâce à une conjonction inégalée d'événements – conférence internationale de Bonn, discussion parlementaire de la loi d'orientation sur l'énergie, colloque du SER, conférence photovoltaïque européenne, augmentation du prix du baril de pétrole... –, nous avons souhaité élaborer un document pédagogique de référence rappelant les valeurs que portent ces énergies et faisant le point sur les différentes filières. Tel est l'objet de cette lettre exceptionnelle.

**André ANTOLINI**  
Président du SER



**Des énergies qui répondent aux nouveaux défis auxquels notre société doit faire face →**

## **→ Effet de serre, pollution atmosphérique**

**S**ans effet de serre, pas de vie sur terre : sans lui, la température moyenne sur la planète serait inférieure de près de 30 degrés ! Inversement, trop d'effet de serre provoquerait un réchauffement climatique provoquant la fonte des glaciers, une hausse du niveau des mers et des effets considérables et contrastés sur le climat et les implantations humaines. Selon certains modèles se référant à un événement climatique survenu il y a 8 000 ans, la fonte des glaciers du Canada pourrait détourner le Gulf stream provoquant un refroidissement rapide du climat européen de plus de 5 degrés pendant 5 ou 6 siècles au sein d'une tendance générale au réchauffement.

L'effet de serre est certes naturel, mais tous les modèles météorologiques confirment que les activités humaines et l'utilisation intensive des ressources fossiles sont à la source d'un réchauffement évalué de 1,4 à 5,8 degrés d'ici la fin du siècle et d'une élévation du niveau des océans pouvant atteindre un mètre.

Ce réchauffement aurait des conséquences multiples et imprévisibles : déplacement massif de populations, multiplication d'événements climatiques exceptionnels, dissémination de certaines maladies.

Intensification de l'effet de serre, réchauffement climatique, mais aussi pollution de l'air, source d'inquiétudes croissantes et sous-estimées pour la santé publique : autant de réalités inquiétantes qu'il faut anticiper.

Certes, la communauté internationale prend peu à peu conscience de l'ampleur du risque climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, le Protocole de Kyoto, bien modeste et notoirement insuffisant, n'est, à ce jour, toujours pas ratifié...

## **→ Augmentation massive de la demande mondiale d'énergie**

**L**e pétrole, le gaz et le charbon occupent aujourd'hui une place prépondérante dans la consommation énergétique mondiale.

Si aucune mesure n'est prise, la consommation aura augmenté de 65 % entre 1995 et 2020.

Ceci est considérable et potentiellement extrêmement dangereux : les ressources resteront concentrées au Moyen-Orient, dans quelques pays du continent américain, en Russie. D'où un accroissement du trafic maritime et du risque d'accidents écologiques, des investissements en oléoducs et dessertes gazières..., une croissance des inégalités face aux ressources disponibles, mais aussi des risques encore plus forts de conflits armés ou terroristes.

Les ressources fossiles sont soumises à une demande qui ne permettra pas la poursuite d'une exploitation intensive. La base des économies développées et en développement est encore une compétition autour de ressources naturelles limitées : c'est une économie de cueillette comportant de graves dangers de tensions lorsque la demande excédera l'offre.



## → Pourra-t-on diminuer la pression de la demande par des économies d'énergies ?



**O**n peut se fixer des objectifs ambitieux en matière de maîtrise de l'énergie dans le bâtiment et les constructions où la consommation énergétique pourrait être divisée par quatre ou cinq dans les bâtiments neufs grâce à de meilleurs procédés d'isolation : de 200 kilowattheures par m<sup>2</sup> et par an à moins de 40. On peut également favoriser la construction de bâtiments à solde énergétique positif. Malheureusement, cela demandera beaucoup de temps, le parc immobilier se rénovant sur plus d'une centaine d'années. Si d'importants progrès sont à attendre des grandes entreprises soumises aux réglementations européennes, la demande en produits pétroliers sera certainement beaucoup plus difficile à contenir dans le domaine des transports où tous les progrès technologiques sont rapidement annulés par l'augmentation du trafic ! La maîtrise de l'énergie sera, bien entendu, au centre de toutes les politiques à venir voulant répondre aux enjeux climatiques. Elle ne pourra cependant que retarder, au mieux de quelques décennies, l'inéluctable croisement des courbes de demande et d'offre d'énergies non renouvelables.

## → Raréfaction des ressources fossiles et augmentation prévisible de leur coût

**M**ais pourrait-on se demander, et le charbon ? La recherche et la prospection de nouveaux gisements ? Le stockage du CO<sub>2</sub> ?

Certes, on trouvera de nouveaux gisements, on exploitera le charbon "proprement", on apprendra à stocker le CO<sub>2</sub> ; les réserves en sont importantes, deux à trois cents ans, et bien réparties dans le monde. C'est donc une piste qu'il faut explorer, en solution alternative au développement de l'énergie nucléaire pour la fourniture de l'électricité de base. Mais cela ne donnera un délai de grâce que de quelques décennies et à des coûts de plus en plus élevés !

La rareté faisant la valeur et les exploitations se devant de respecter l'environnement, les prix des énergies fossiles vont nécessairement devenir de plus en plus volatiles et plus chers même si certains espèrent un répit de quelques années dans un marché mieux régulé.

En somme, les énergies fossiles sont des sources extrêmement précieuses dont on ne doit plus accepter le gaspillage. Elles devraient être dédiées à des usages limités pour lesquels elles ne peuvent être remplacées. Apprenons progressivement, mais dès aujourd'hui, à nous en passer pour les usages où il existe d'ores et déjà des solutions de complément ou de remplacement, grâce aux énergies renouvelables et à une meilleure maîtrise de nos consommations.





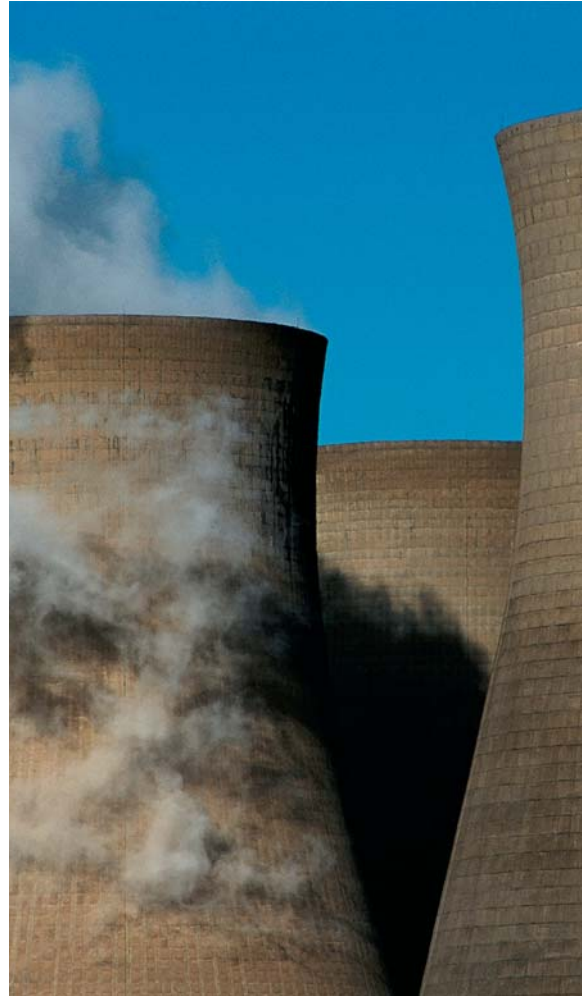
## → L'apport du nucléaire

L'énergie nucléaire représente aujourd'hui une part relativement faible de la production d'électricité dans le monde (17 %), à égalité avec l'hydroélectricité et largement derrière les énergies fossiles. Son utilisation est principalement concentrée à quelques pays (90 % l'électricité de source nucléaire est produite dans les pays de l'OCDE).

En France, les énergies renouvelables ont vocation à constituer avec le parc nucléaire le socle de nos moyens de production d'électricité, auquel peuvent s'ajouter quelques moyens de pointe "propres" mobilisant des ressources thermiques. Énergies renouvelables et nucléaire présentent une complémentarité forte permettant d'offrir une électricité non génératrice de gaz à effet de serre et d'accroître notre indépendance énergétique.

Il faut donc cesser d'opposer une énergie à une autre. Il serait également grave de promouvoir une production d'électricité entièrement dominée par le nucléaire, sans une part significative pour les énergies renouvelables, ce qui pourrait constituer une faiblesse dans notre stratégie d'indépendance énergétique. Enfin, il est nécessaire de répondre clairement à l'interrogation des citoyens qui porte à la fois sur la période d'exploitation et sur celle plus longue du traitement des déchets nucléaires. Progresser dans ce domaine est de l'intérêt de tous.

Le développement de l'énergie nucléaire a permis de créer une industrie de haute technologie. Devant l'intérêt de préserver l'avance, le savoir-faire et les emplois que possède la France au sein de cette filière, il est clair que la décision de développer un nouveau type de centrale ne serait pas étrangère à des préoccupations de politique industrielle. Mais, dès lors, pourquoi refuserait-on



que cette logique s'étende à d'autres filières de production d'électricité, telles que le photovoltaïque ou l'éolien pour lesquelles la France dispose d'atouts et dont le potentiel de développement est considérable ?



## Désir de vivre une autre croissance, moins nuisible à la planète

Le souci de notre environnement est devenu un phénomène social que tout responsable se doit de prendre en considération. Crises alimentaires et sanitaires, canicules, inondations et incendies, pollutions, fonte des glaciers des Alpes, catastrophes industrielles... autant de réalités auxquelles les citoyens sont aujourd'hui confrontés.

Dans les années 1990, le coût des catastrophes naturelles a été multiplié par dix.

Selon un sondage conduit par la Commission européenne, 76 % des Européens pensent que l'utilisation des énergies fossiles compromet la qualité de l'air, 88 % que le réchauffement de la planète et le changement climatique sont des préoccupations sérieuses qui ont besoin d'une action immédiate.

Selon ce même sondage, les sources d'énergie renouvelables constituent donc naturellement une des premières priorités de tous les Européens.

## Arrivée à maturité des énergies renouvelables

Dans un tel contexte, les énergies renouvelables trouvent, au côté des incitations à la maîtrise des consommations, toute leur légitimité. Les pays de l'Union se sont engagés solennellement à les développer et répondent ainsi aux attentes de leurs populations.

Cet engagement arrive au moment où ces formes d'énergie ont atteint une maturité technique même si leur coût économique est encore généralement supérieur à celui d'autres modes de production.

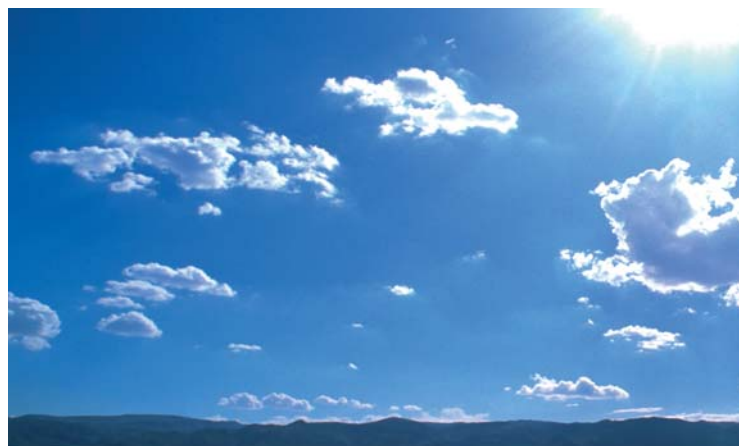
Elles ont besoin de se développer afin d'amortir leurs coûts fixes et de parvenir, à terme mais inévitablement, à un coût global inférieur à celui des filières fossiles.

Encore faut-il leur donner toutes leurs chances par une politique audacieuse, volontariste et pérenne.

**Les énergies renouvelables représentent ainsi un enjeu et un défi industriel que les entreprises françaises doivent anticiper et préparer.**



# Produire de l'énergie à partir de ressources propres et infinies →



L'exploitation des énergies renouvelables a aujourd'hui atteint, dans chaque filière, une maturité technologique qui permet de produire électricité, chaleur ou carburants, selon des conditions économiques de plus en plus compétitives.

## → Avec le soleil : l'eau chaude, le chauffage et l'électricité

L'utilisation du rayonnement solaire permet de produire eau chaude, chauffage et électricité.

### Le chauffe-eau solaire

😊 En moyenne, tout au long d'une année, un chauffe-eau solaire produit 50 % à 70 % de l'eau chaude sanitaire nécessaire aux besoins d'une famille.

❓ Le chauffe-eau solaire individuel est un équipement robuste et fiable, conçu et fabriqué pour tirer le meilleur parti du moindre rayon de soleil.

Il comprend des capteurs solaires, placés généralement en toiture, et un ballon de stockage. Capteurs et ballons sont reliés par une tuyauterie calorifugée qui assure la circulation d'un liquide caloporteur. Pour compléter le système, on lui associe, selon les modèles, un échangeur intégré au ballon, une régulation, un circulateur et un dispositif de chauffage d'appoint (électricité, gaz ou bois par exemple).

💰 En 2002, le prix d'un chauffe-eau solaire équipé de 3 à 5 m<sup>2</sup> de capteurs et d'un ballon de 200 à 300 litres (soit les besoins de 3 à 4 personnes selon la région d'implantation) était compris entre 3 800 et 5 300 euros TTC, pose comprise, avant déduction de la prime

versée par l'ADEME pour les installations certifiées qualisol, prime qui se situait, début 2004, autour de 700 euros. Dans presque tous les cas, les collectivités locales apportent une aide complémentaire d'un montant équivalent.

Le cumul des aides peut atteindre 1 400 euros, ce qui représente de 30 à 40 % du coût.

### Eau chaude et chauffage

Outre la production d'eau chaude sanitaire, certains équipements peuvent couvrir aussi une partie des besoins de chauffage. Il s'agit des "systèmes solaires combinés".

Actuellement, plusieurs milliers de réalisations de cette nature sont en service et donnent toute satisfaction à leurs utilisateurs. Certaines fonctionnent depuis plus de 15 ans.

Ces systèmes sont généralement prescrits dans le cadre de constructions neuves, qui doivent répondre aux exigences renforcées de la nouvelle réglementation thermique.

Ils bénéficient d'une prime de l'ADEME, qui peut varier, selon le projet, de 1 150 à 2 670 euros.

Des aides complémentaires peuvent être apportées par les collectivités locales.

### L'aide de l'ANAH

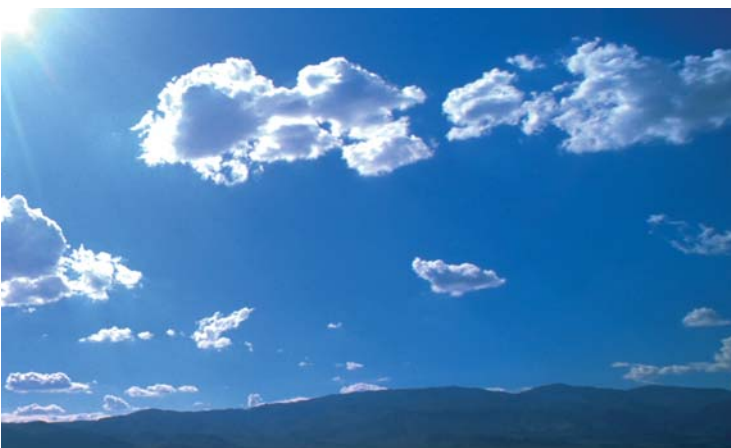
L'Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat peut accorder une aide pour une installation solaire. Le logement doit être une résidence principale, celle du propriétaire ou celle du locataire, et avoir plus de quinze ans.

### Des incitations fiscales

Un propriétaire peut bénéficier d'un **crédit d'impôt** pour l'achat d'une installation solaire dans sa résidence principale s'il s'agit d'une maison individuelle.

Ce crédit d'impôt est également applicable pour une installation dans un immeuble collectif, à condition qu'il ait plus de deux ans.





Le crédit d'impôt se monte à **15 % des dépenses** (subventions déduites, frais d'installation exclus) facturées et payées entre le 1<sup>er</sup> janvier 2001 et le 31 décembre 2005.

La loi d'orientation sur l'énergie, en discussion au premier semestre 2004 au Parlement, devrait augmenter ce crédit d'impôt à **40 %**, ce qui pourrait dans cette hypothèse conduire à revoir les autres subventions existantes.

### L'électricité photovoltaïque

☺ Les besoins électriques d'une maison de quatre personnes sont estimés à environ 2 400 kilowattheures par an, hors eau chaude et chauffage.

Une installation photovoltaïque d'une puissance d'un kilowatt couvre une surface d'environ 10 m<sup>2</sup> et produit de 800 kilowattheures à 1400 kilowattheures par an selon "le gisement solaire" de la région : moins important dans le Nord que dans le Midi de la France ou que dans les DOM.

❓ Certains matériaux, les semi-conducteurs, possèdent la propriété de générer de l'électricité quand ils reçoivent la lumière du soleil : c'est l'effet photovoltaïque.

Cet effet est mis en application dans les cellules photovoltaïques. Sans pièce mécanique, sans bruit, sans pollution, elles convertissent directement l'énergie solaire en électricité, sous forme de courant continu.

Les modules photovoltaïques se présentent sous la forme de panneaux de verre bleu sombre dans lesquels sont logées les cellules. Ils sont protégés par un verre transparent et solide. Les enveloppes employées résistent aux intempéries entre 20 et 30 ans et ne nécessitent quasiment pas d'entretien.

Les modules se présentent sous la forme de panneaux rectangulaires d'une surface pouvant varier de 0,5 à 3 m<sup>2</sup>. Ils peuvent être installés soit au sol, soit sur le bâtiment lui-même.

Si l'électricité photovoltaïque a d'abord été utilisée dans les sites isolés dont le raccordement au réseau d'électricité coûtait trop cher, elle concerne dorénavant et de plus en plus des installations raccordées au réseau.

💰 Depuis une dizaine d'années, le prix des panneaux baisse de 5 à 10 % par an. En 2001, le coût global d'une installation de 2 kilowatts, c'est-à-dire de 20 m<sup>2</sup> était environ de 40 000 euros tout compris.

Le montant des aides de l'ADEME et des régions est actuellement de 4,6 euros par watt et de 6,1 euros pour les installations dites sécurisées, c'est-à-dire équipées de batteries.

Pour les particuliers, ces installations bénéficient d'un crédit d'impôt de 15 % qui devrait être augmenté prochainement à 40 % avec l'adoption de la loi d'orientation sur l'énergie, en discussion au Parlement en juin 2004 (voir "eau chaude et chauffage solaire").

Les tarifs d'achat du kilowattheure produit par ces équipements, lorsque l'installation est raccordée au réseau, s'élèvent à environ 15 centimes d'euro en métropole continentale et à 30 centimes en Corse et dans les DOM.



## → Avec le bois et la biomasse : le chauffage et l'électricité

Le bois est une source d'énergie renouvelable qui se substitue au pétrole, au gaz ou au charbon. L'utilisation du bois comme énergie contribue ainsi fortement à la lutte contre le réchauffement climatique puisque, à la différence des énergies fossiles, le gaz carbonique émis lors de la combustion du bois est recyclé dans la croissance de nouveaux arbres. Le bilan en matière d'émissions de gaz à effet de serre est donc neutre, voire positif, en France grâce à l'entretien et à la croissance de nos forêts.

Le bois énergie constitue en outre une excellente valorisation des sous-produits et déchets de la filière bois. Enfin, cette ressource participe à la gestion rationnelle de nos forêts et donc à la qualité des paysages et au maintien des équilibres hydrologiques et climatiques.

### Les appareils domestiques (appareils indépendants et chaudières)

😊 Les appareils de chauffage indépendants permettent de chauffer la pièce principale du logement par convection et par rayonnement. Le rendement de ces appareils est variable. Par exemple, une cheminée ouverte peut avoir un rendement très faible (de l'ordre de 10 %). En revanche, les appareils à foyers fermés peuvent atteindre des rendements très intéressants. La charte Flamme Verte garantit des appareils à rendement supérieur ou égal à 60 %. Les signataires de cette charte garantissent, également, pour leurs produits éligibles, des taux de monoxyde de carbone très faibles.

Aujourd'hui, 80 % du bois consommé est utilisé dans le secteur domestique. Six millions de foyers possèdent un appareil de chauffage au bois. En 2003, 300 000 appareils indépendants de chauffage au bois ont été vendus. Il existe également des chaudières domestiques. Le chauffage domestique au bois ne concerne donc pas uniquement les foyers, les inserts et les poêles. Dans ce cas, ce n'est plus un chauffage d'appoint mais une technologie de chauffage central.

💰 Les appareils de chauffage domestique au bois peuvent être de nature très différente (poêle, inserts, chaudières,...) et peuvent utiliser des combustibles différents (bûches, plaquettes ou granulés). Le tableau sui-

vant permet de synthétiser au mieux les coûts en fonction des avantages de chaque technologie.

Appareil	Foyer fermé/insert	Poêle	Chaudière classique	Chaudière à flamme inversée
Rendement	40 à 80 %	50 à 80 %	40 à 60 %	75 à 80 %
Autonomie	Jusqu'à plus de 10 h	Jusqu'à plus de 10 h	4 à 10 h	5 à 20 h
Prix hors installation	750 à 2 300 €	900 à 3 500 €	2 000 à 4 000 €	2 300 à 7 600 €
Type de chauffage	Chauffage d'appoint	Chauffage d'appoint	Chauffage central	Chauffage central

Source : ADEME

Pour les particuliers, ces installations bénéficient d'un crédit d'impôt de 15 % qui devrait être augmenté prochainement à 40 % avec l'adoption de la loi d'orientation sur l'énergie, en discussion au Parlement en juin 2004 (voir "eau chaude et chauffage solaire").

### Les appareils de chauffage collectif

😊 Ces chaudières permettent d'alimenter les ensembles collectifs en chauffage et eau chaude sanitaire. Depuis 1994 grâce au plan "bois-énergie" mis en œuvre par l'ADEME, le secteur du chauffage collectif au bois se développe de manière significative. Aujourd'hui, des hôpitaux, des écoles et des universités sont chauffés grâce au bois.

❓ Lorsque l'on parle de chauffage collectif au bois, on raisonne avec des matériels de grande dimension et de





forte puissance alimentés de manière automatique. Dès lors que l'alimentation est automatisée, la bûche disparaît au profit de sous-produits ligneux récupérés et conditionnés : plaquettes, écorces, sciures. En effet, c'est sous ces différentes formes que le combustible bois est transportable de manière automatisée : du silo de stockage à la chambre de combustion via une vis sans fin, par exemple. L'arrivée de combustible est régulée par un ordinateur qui reçoit des informations du système. L'autonomie est alors complète durant plusieurs jours.

💰 Le coût pour les installations collectives ou industrielles reste encore nettement plus élevé pour le bois que pour le fuel et le gaz. Mais ce handicap est désormais compensé, sur tout le territoire, par les aides accordées dans le cadre du Programme bois-énergie 2000-2006, développé par l'ADEME et les collectivités locales. Pour donner un exemple, à Besançon, l'OPHLM gère 350 logements chauffés au bois. Cette opération a permis de diminuer les charges de 25 %. L'installation de production de chaleur se compose d'une chaudière bois de 1 200 kilowatts qui couvre 65 % des besoins de chaleur (l'appoint est réalisé par des chaudières gaz). Le coût (silo de stockage, génie civil, chaudière bois et raccordements, étude et maîtrise d'œuvre) s'élève à environ 340 000 € TTC. Cette réalisation a bénéficié de subventions : 20 % ADEME Franche-Comté et 20 % Conseil général du Doubs.

### **Le bois et la biomasse, producteurs d'électricité**

😊 Bois et biomasse peuvent produire de la chaleur et de l'électricité.

❓ La production d'électricité à partir de bois-énergie peut provenir de deux types de procédés : la combustion et la gazéification.

La combustion constitue la technologie la plus utilisée [industrie papetière]. Elle peut concerner la biomasse au sens plus large (bois mais aussi résidus de l'agriculture). Cette technologie fonctionne sur le principe de la cogénération, c'est à dire la production simultanée d'électricité et de chaleur.

Il existe plusieurs moyens d'obtenir de l'électricité à partir de la combustion de la biomasse : système de turbine à vapeur, du moteur à vapeur, de chaudière à huile, du moteur Stirling, de turbine à air chaud...

La gazéification est une technologie encore au stade du développement. Les différentes techniques sont : le système du moteur à gaz, de la turbine à gaz ou encore du cycle combiné. C'est alors le gaz issu de la biomasse qui est brûlé.

Dans les deux cas (combustion et gazéification), les rendements électriques varient entre 15 et 30 %.

## **→ Avec le vent : l'électricité éolienne**

**L'électricité éolienne, comme l'électricité photovoltaïque, connaît au niveau mondial une très forte croissance : de l'ordre de 30 % de progression annuelle depuis 10 ans.**

**La puissance totale des éoliennes installées en Europe devrait atteindre 75 000 MW d'ici 2010, produisant l'équivalent d'une vingtaine de réacteurs nucléaires.**



😊 L'énergie éolienne a été utilisée dès l'antiquité : en mer avec la marine à voile, sur terre avec les moulins à vent pour la meulerie ou l'irrigation. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, la France comptait environ 20 000 moulins à vent.

Aujourd'hui, cette énergie produit de l'électricité. Et les progrès technologiques sont tels qu'une seule machine est capable de produire 2,5 mégawatts et d'alimenter environ 7 000 personnes pour leurs besoins spécifiques d'électricité (hors chauffage). Il existe déjà des machines de plus de 3 mégawatts et des éoliennes de 6 mégawatts sont en cours de développement.

Sans bruit gênant, sans émission polluante, sans déchet, sans nuisance pour l'environnement local, ces machines se développent dans tous les pays d'Europe.

❓ Plusieurs éléments permettent de transformer le vent en électricité : le rotor à deux ou trois pales, la transmission mécanique, le générateur, les circuits de gestion de courant. L'ensemble se trouve dans la nacelle posée sur le mât. Ce dernier mesure entre 60 et 120 mètres de hauteur suivant la puissance de la machine.

Tous les éléments d'une éolienne utilisent les technologies et les matériaux les plus modernes, issus de l'aéronautique.

Les aérogénérateurs affichent globalement un bon rendement : ils sont capables de transformer 30 % de l'énergie du vent en électricité.

💰 Le coût de production de l'électricité éolienne a diminué de 80 % en 20 ans, dont 20 % pour les cinq dernières années.

En France, le tarif d'achat de l'électricité éolienne par les distributeurs d'électricité est fixé par un arrêté tarifaire. Ce tarif est défini sur deux périodes dans le cadre d'un contrat d'achat de 15 ans. Pendant les cinq premières

années, le tarif est d'environ 8 centimes d'euro par kilowattheure. Pour les dix années suivantes, un nouveau tarif est fixé, déterminé par la production réelle constatée durant les cinq années précédentes : d'environ 8 centimes d'euros pour les éoliennes qui produisent peu à 3 centimes pour les sites les plus productifs. Cette modulation du tarif en fonction de la production permet de ne pas concentrer les machines dans les seules régions ventées.

En 2015, le prix du kilowattheure éolien devrait être inférieur à celui de l'électricité produite par le moyen le plus directement concurrent : une turbine à gaz à cycle combiné. Déjà, dans les régions non interconnectées comme les îles, l'électricité éolienne constitue la forme de production d'électricité la moins onéreuse, avec l'hydroélectricité.

## → Avec l'eau : l'hydroélectricité

L'hydraulique, "petite et grande", fournit le cinquième de l'électricité mondiale.

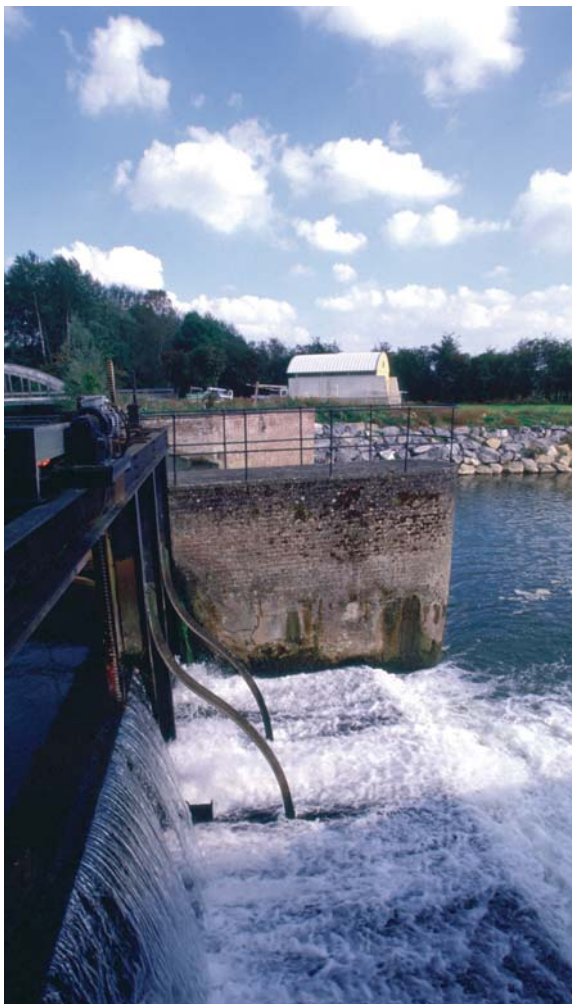
A la veille de la seconde guerre mondiale, l'hydroélectricité représentait la moitié de la production totale d'électricité française. Aujourd'hui, elle représente encore 15 % de la production et situe la France au premier rang des pays d'Europe dans le domaine.

Les sites à fort potentiel sont désormais tous équipés de barrages et c'est vers la construction de petites centrales hydrauliques, d'une puissance inférieure ou égale à 12 mégawatts, qu'il faut se tourner pour développer la filière.

😊 Notre pays compte 1 750 petites centrales hydrauliques au fil de l'eau qui représentent une capacité installée de l'ordre de 2 000 mégawatts, produisant l'équivalent d'un réacteur nucléaire. Le potentiel de développement est estimé à environ 1 000 mégawatts : 700 mégawatts avec de nouvelles installations et 300 mégawatts grâce à la mise à niveau des centrales les plus anciennes.

❓ Dans les centrales hydrauliques, pour produire de l'électricité, on utilise l'énergie potentielle de gravité de l'eau qui coule vers la mer.

Les petites centrales hydrauliques utilisent la force motrice des chutes d'eau qui résultent des accidents du relief. Leur taille est variable en fonction du "couple hauteur-débit".



A la différence des grands barrages qui stockent l'eau pour restituer de l'électricité en période de forte demande, les petites centrales hydrauliques fonctionnent au fil de l'eau et alimentent le réseau électrique en fonction de leur production.

💰 Fruit d'une expérience industrielle de plus d'un siècle, la technologie est totalement maîtrisée et le coût de production du kilowattheure est très voisin des filières nucléaire ou thermique utilisant le cycle combiné au gaz, soit environ 5 centimes d'euro.

Dans ce coût sont compris tous les aménagements nécessaires au respect de l'environnement : passes à poisson, ramassage des déchets flottants dérivant sur les cours d'eau, aménagements de zones de loisirs ou de pêche...

## → Avec la chaleur du sous-sol : les pompes à chaleur géothermiques et la géothermie

**La géothermie est une source d'énergie encore peu exploitée. Elle dispose cependant d'un énorme potentiel, dépendant de la profondeur et du lieu où elle se situe.**

**On distingue les ressources de surface exploitées par des pompes à chaleur et les ressources profondes exploitant l'énergie thermique émise par le noyau terrestre.**

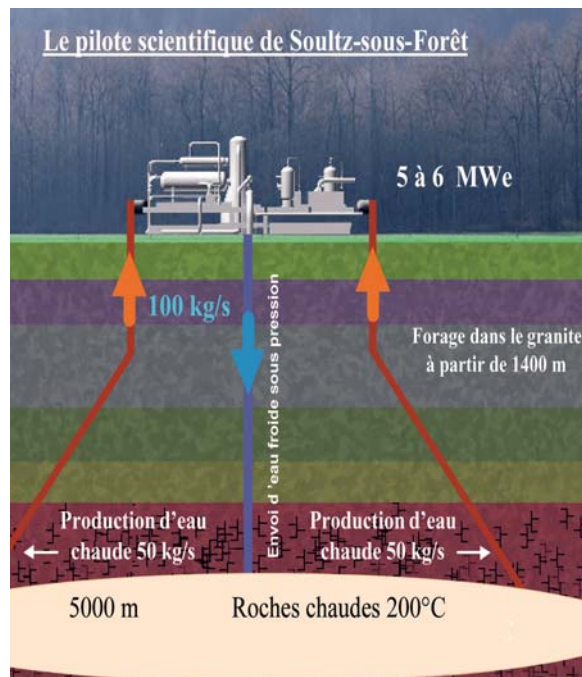
### Les pompes à chaleur géothermiques

😊 Chaque jour notre planète absorbe de l'énergie solaire qu'elle stocke sous forme de calories dans le sol. Cette réserve de chaleur réapprovisionnée en permanence est inépuisable et gratuite.

La pompe à chaleur géothermique capte cette énergie, la transforme pour chauffer les habitations.

Cet équipement permet, pour 1 kWh d'énergie électrique consommé, de restituer jusqu'à 4 kWh de chaleur. Une bonne partie du chauffage de la maison peut ainsi être assuré par une énergie gratuite, renouvelable et non polluante prélevée dans le sol.

❓ Il s'agit de récupérer des calories dans le sol par un réseau horizontal de tubes enterrés à près d'un mètre de profondeur, ou par pompage dans la nappe phréa-



tique, ou encore par deux sondes verticales profondes de 10 à 20 mètres.

Le fluide qui circule dans ce réseau enfoui à l'extérieur prélève un peu de chaleur du sol ou de la nappe phréatique, la pompe à chaleur augmente son niveau de température en le comprimant. Les calories ainsi obtenues sont restituées dans la maison et le fluide est détendu avant de circuler à nouveau dans le circuit extérieur et de recommencer ce cycle.

💰 Durant ces 10 dernières années, les coûts ont diminué tandis que les performances augmentaient. Aujourd'hui, les coûts d'installation d'un système de géothermie entrent dans un ordre de grandeur comparable à celui d'une installation à combustible de bonne qualité. Si l'isolation est bien réalisée, le léger surcoût éventuel, lié au travail de terrassement, est amorti dès la première année par les économies de combustible.

L'agence nationale d'amélioration de l'habitat peut apporter une subvention et une aide de l'ordre de 20 % du coût d'une installation ainsi qu'une prime en complément de cette subvention.

Sous certaines conditions, EDF peut également délivrer des accompagnements financiers tels que des primes ou des prêts à taux réduit.

Enfin, un crédit d'impôt de 15 %, qui pourrait prochainement passer à 40 %, est accordé pour l'achat d'une pompe à chaleur (voir "eau chaude et chauffage solaire").

**Les pompes à chaleur sont avant tout des systèmes de chauffage. Elles peuvent néanmoins remplir d'autres fonctions comme la production d'eau chaude sanitaire et le rafraîchissement d'un bâtiment**



## La géothermie profonde

La chaleur de la terre constitue un gisement considérable.

Collectée en grande profondeur, elle peut permettre de produire de l'électricité. En Guadeloupe, une centrale de 5 mégawatts est installée depuis 1986 sur le site de Bouillante, une extension de 20 mégawatts est prévue pour 2005.

A moyenne et faible profondeur, elle offre de la chaleur aux sites riverains.

Ainsi, dans le bassin parisien, plus d'une centaine de sites alimentent des réseaux de chaleur.

En Alsace, des forages à plus de 4000 mètres de profondeur laissent espérer la possible exploitation d'ici 20 ans de plusieurs dizaines de sites de quelque 50 mégawatts chacun.

sous forme d'ETBE dans l'essence et l'EMHV (ester méthylique d'huile végétale), qui est mélangé au diesel pour constituer du diester (ou biodiesel). L'éthanol est produit à partir de plantes riches en sucres, comme les betteraves ou le blé. L'EMHV est produit à partir d'oléoprotéagineux comme le colza, le tournesol...

Les directives européennes proposent pour 2010 d'incorporer 5,75 % de biocarburants dans l'essence et le diesel. La France devra ainsi faire un effort important de développement des biocarburants, le pourcentage actuel étant de l'ordre de 1 %.

Pour aller plus loin, il faudra développer la filière lignocellulosique permettant de fabriquer des biocarburants à partir de pailles, déchets ligneux, et productions de plantations dédiées à l'énergie.

Les ressources renouvelables, dont beaucoup ne sont pas exploitées notamment en forêt, sont alors importantes et pourraient alimenter d'ici deux décennies, près de 20 % des besoins en carburants nationaux.

## → Avec les biocarburants

Partout dans le monde, le secteur des transports constitue l'un des émetteurs importants et croissants des gaz à effet de serre. Les performances des véhicules font des progrès importants mais le développement des déplacements semble incontournable.

On parle alors de proposer des solutions avec des véhicules électriques ou des piles à combustible ou encore d'hydrogène. S'ils réduisent la pollution locale, leur "carburant" doit néanmoins avoir été produit : c'est donc l'énergie qui les alimente qui détermine leur participation à la lutte contre l'effet de serre. Ceci pourrait donner un nouveau débouché pour les énergies renouvelables ou pour une énergie nucléaire de nouvelle génération. Mais, dès aujourd'hui, l'utilisation des biocarburants est possible et doit être renforcée.

Les biocarburants sont composés de deux familles : l'éthanol, qui s'incorpore directement ou mélangé



Directeur de la publication : Antoine Saglio - Comité de rédaction : Antoine Saglio, Françoise Jouet, Damien Mathon, Erik Guignard, Philippe Chartier - Crédit photos : ADEME et Cheminées Philippe  
Réalisation : Pavillon Haut - Impression : SIO

Syndicat des Énergies renouvelables  
37, rue La Fayette 75009 Paris • Tel : 01 48 78 05 60 • fax : 01 48 78 09 07 • <http://www.enr.fr>