

Énergies renouvelables : pour un développement ambitieux mais pragmatique

M. Claude BIRRAUX, député de la Haute-Savoie et

M. Jean-Yves LE DÉAUT, député de la Meurthe-et-Moselle

Rapport n° 3415 Assemblée nationale - n° 94 Sénat - consultable sur les sites Internet AN et Sénat

L'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables ont été analysés par M. Claude Birraux, député de la Haute-Savoie, et M. Jean-Yves Le Déaut, député de la Meurthe-et-Moselle, dans leur rapport de 2001, adopté à l'unanimité par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, instance commune à l'Assemblée nationale et au Sénat.

Ce rapport étudie, sur le plan scientifique et technique, d'une part le rôle potentiel des énergies renouvelables dans la politique énergétique, et, d'autre part, les perspectives de développement de chacune d'entre elles, sur la base d'enquêtes conduites par les rapporteurs, en France, en Allemagne, au Royaume Uni, au Danemark, et des auditions de cent quatre vingt chercheurs et spécialistes réalisées avec l'aide d'un groupe de travail d'une dizaine d'experts.



La diversité des énergies renouvelables et de leurs usages

Les énergies renouvelables – hydraulique, éolien, solaire, géothermie, biomasse – sont des énergies d'un usage immémorial, auxquelles les technologies modernes confèrent de nouvelles formes et une nouvelle efficacité.

Leur développement s'est focalisé, dans la dernière décennie, sur la production d'électricité. Cette priorité a été consacrée dans l'Union européenne par la directive européenne du 27 septembre 2001 relative à la promotion de l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, dont l'objectif pour la France est d'atteindre 21 % du total en 2010.

La production d'électricité est, de fait, une application privilégiée d'énergies renouvelables traditionnelles, comme la grande et la petite hydroélectricité, ou bien en plein essor comme l'éolien ou le photovoltaïque, ou bien encore en devenir, comme la géothermie à haute température.

Mais le développement des énergies renouvelables ne saurait se limiter à la production d'électricité. Celles-ci, en effet, permettent aussi soit la production directe de chaleur et d'eau chaude, avec le bois énergie, le so-

laire thermique ou thermodynamique, les pompes à chaleur et la géothermie, soit la production indirecte de biocarburants à partir de la biomasse.

Le développement des énergies renouvelables doit, en conséquence, être diversifié, en particulier dans un pays comme la France, dont le parc électronucléaire produit l'une des électricités les meilleures marchés d'Europe, et où la réduction des émissions de gaz à effet de serre devrait intervenir en priorité dans les secteurs des transports et du résidentiel-tertiaire.

La complémentarité technique des énergies renouvelables et des autres formes d'énergie

Les énergies renouvelables présentent des atouts considérables. Disponibles en quantités illimitées, les sources d'énergie renouvelables ne rejettent pas de gaz à effet de serre. Dans la plupart des cas, ces énergies qui se prêtent à la production décentralisée, fournissent des solutions pour les sites isolés, non raccordés à un réseau d'électricité ou de gaz naturel. Par ailleurs, la mise en œuvre de sources d'énergie renouvelables constitue une pédagogie de la maîtrise de l'énergie et une incitation à économiser l'énergie, en responsabilisant le consommateur qui devient producteur dans de nombreuses applications.

Mais comme toute forme d'énergie, les énergies renouvelables ont aussi des limites, voire des inconvénients.

Les coûts d'investissement et les coûts de production des énergies renouvelables ne sont généralement pas compétitifs avec ceux des énergies de production de masse, même si l'on prend en compte les coûts externes environnementaux des

différentes énergies.

Par ailleurs, les énergies renouvelables ont des puissances spécifiques limitées, ce qui ne les prédispose pas à la production de masse, l'hydroélectricité étant mise à part.

Variante, en outre, avec l'intensité du vent, la luminosité, les précipitations ou le niveau des récoltes, leur production est, pour la majorité d'entre elles, intermittente.

Ceci oblige non seulement à les combiner mais aussi à disposer d'énergies traditionnelles, fossiles ou nucléaire, pour en prendre le relais, le moment venu. Le raccordement à un réseau peut également être nécessaire pour assurer la continuité de la fourniture.

En définitive, les énergies renouvelables offrent de nouvelles solutions à une demande d'énergie qui continue de croître et peut revêtir de nouvelles formes. Non substituables aux énergies fossiles ou nucléaires, les énergies renouvelables en sont, en réalité, complémentaires.

Une demande mondiale en forte croissance

Les perspectives des énergies renouvelables sur le marché mondial sont fortes dans les pays développés et immenses dans le monde en développement.

En application de la convention des Nations Unies de 1992, sur le changement climatique, le Protocole de Kyoto, ouvert à la signature en 1998, a solennisé la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et donc de développer des alternatives aux combustibles fossiles, ce qui a contribué à renforcer l'intérêt des énergies renouvelables. En fixant, dès 2001, des objectifs de production électrique à partir de sources d'énergie renouvelables, l'Union européenne favorise leur essor dans l'ensemble des pays membres. Cette politique a été complétée ensuite par la promotion des biocarburants et la fixation de normes sur la performance énergétique des bâtiments.

Dans l'ensemble des grands pays industrialisés, des programmes incitatifs de développement des énergies renouvelables ont été mis en place, ouvrant de nouvelles perspectives de marché.

Plus important encore, du fait de leur adéquation à la production décentralisée, notamment en milieu rural, les énergies renouvelables joueront un rôle clé pour l'accès à l'électricité des deux milliards de personnes qui, dans le monde, en sont actuellement privées.

Si les problèmes de financement trouvent les solutions qu'exige la solidarité internationale, alors le marché mondial sera considérable, par exemple pour les panneaux solaires, les petites et moyennes éoliennes, la réfrigération solaire ou la géothermie.

Le nécessaire renforcement de la recherche et de l'industrie nationale

La recherche sur les énergies renouvelables n'occupe pas, en France, une place satisfaisante. Les types d'énergie et les domaines d'application étant très nombreux, il serait certes difficile de couvrir l'ensemble de la R&D requise et d'y être compétitif. De fait, la plupart des pays ont choisi de se spécialiser dans les énergies dont ils sont le mieux dotés – l'énergie éolienne pour le Danemark – ou dans les créneaux jugés les plus prometteurs, où leur industrie bénéficie en outre d'avantages comparatifs – le solaire photovoltaïque pour le Japon ou l'Allemagne –.

Quoi qu'il en soit, qu'il y ait ou non une spécialisation, il paraît nécessaire que la R&D française sur les énergies renouvelables soit fortement renforcée, sauf à sacrifier toute chance de participer aux ruptures technologiques qui pourraient accroître encore l'intérêt des énergies renouvelables.

De même, l'industrie française des énergies renouvelables n'est pas dans une situation favorable par rapport aux autres pays. Ainsi en est-il pour les éoliennes, où le Danemark et l'Allemagne dominent, pour le solaire photovoltaïque où le Japon, les États-Unis, l'Allemagne sont en tête du classement mondial. Pour chaque type d'énergie ou d'application, l'on trouve, certes, en France, des entreprises françaises innovantes, proposant des produits de qualité. Mais leur taille critique est le plus souvent insuffisante par rapport à leurs concurrents étrangers.

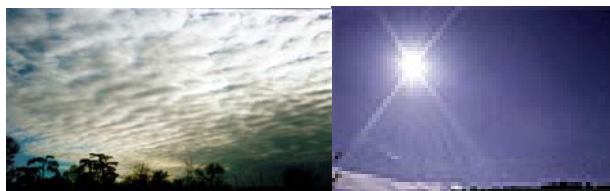
Toute politique de développement de la demande intérieure d'installations éoliennes, photovoltaïques ou solaires thermiques, par exemple, devrait donc s'accompagner d'une structuration forte du secteur par les entreprises publiques.

Évolutions depuis la publication du rapport

Le CNRS a élaboré en 2002 un nouveau programme interdisciplinaire de 3 ans consacré aux recherches sur les énergies, dont le directeur est M. Bernard Spinner, membre du groupe de travail d'experts constitué par MM. Birraux et Le Déaut.

Parmi les objectifs de ce programme, figure le développement de la contribution des énergies renouvelables et des technologies modernes dans la production de chaleur, de carburants pour les transports et l'électricité.

Le ministère de la recherche et des nouvelles technologies a décidé en 2003 d'abonder, au moyen des crédits du Fonds national pour la science, ce programme, qui est devenu, depuis lors, une action concertée CNRS-Ministère de la recherche et des nouvelles technologies (MRNT), bénéficiant du soutien de la Direction générale de l'armement.





L'hydroélectricité, première énergie renouvelable française

Les centrales hydrauliques fournissent environ 15 % de la production française d'électricité, avec 70 TWh en moyenne, les fluctuations de l'hydraulicité étant toutefois non négligeables d'une année sur l'autre.

L'hydroélectricité représente, en tout état de cause, la première énergie renouvelable française pour la production d'électricité, et le restera probablement encore pendant plusieurs années.

Les grandes centrales fournissent l'essentiel de la production hydroélectrique - 90 % en moyenne -. Le potentiel de la grande hydroélectricité ne semble pas pouvoir augmenter en France, les sites permettant de grands aménagements ayant tous été déjà équipés et les difficultés d'acceptation apparaissant rédhibitoires pour de nouvelles réalisations.

Constituant l'autre réalité de l'hydroélectricité, les mini et les microcentrales hydroélectriques, d'une puissance unitaire inférieure à 8 MW, sont, en France, au nombre d'environ 1700, produisant au total environ 7 TWh par an.

Même rendu difficile par l'acceptation locale et la réglementation de protection de l'environnement, le développement des microcentrales est toutefois possible dans notre pays.

De façon à faciliter le développement de la petite hydraulique en apportant une garantie à long terme aux petits producteurs, les modalités contractuelles et le tarif d'achat de l'énergie produite par les producteurs ont été revus en 1997 pour les livraisons en moyenne tension et en 1999 pour celles réalisées en basse tension.

Évolutions depuis la publication du rapport

M. Serge Poignant, député de la Loire-Atlantique, a publié en octobre 2003, un rapport d'information sur la politique de soutien au développement des énergies renouvelables. Il estime que « les règles de protection de l'environnement local qui entravent la production de manière excessive doivent [...] être revues ».

« Il convient donc, aujourd'hui, de réviser le classement des cours d'eau. [...] »



L'éolien sans exclusive ni passion

Installations emblématiques des énergies renouvelables, les éoliennes peuvent être classées techniquement en deux catégories.

Le petit éolien ou éolien de proximité a pour vocation la production d'électricité pour des sites isolés - hameaux, villages, petits réseaux îliens par exemple -. Les différents types d'aérogénérateurs, sur la base des machines commercialisées par le constructeur français Vergnet, vont d'une puissance de 5 kW pour un mât de 12 mètres de hauteur et une hélice de 5 mètres de diamètre, à 275 kW de puissance pour un mât de 55 mètres de hauteur et une hélice de 32 mètres de diamètre.

Le grand éolien a pour vocation la production industrielle d'électricité pour des réseaux électriques de grande dimension. Formant la catégorie dont la croissance est la plus rapide, les grandes éoliennes voient régulièrement leur puissance et leurs dimensions augmenter. Début 2000, les modèles les plus avancés se caractérisaient par une puissance de 2 MW, pour un mât de 70 mètres de hauteur et un diamètre de rotor de 72 mètres, mais des machines de 3,5 MW étaient en projet pour l'éolien en mer, dont les mâts pourraient atteindre 150 m de hauteur et le rotor 110 mètres de diamètre.

En 2000, la France, avec 60 MW installés, comptait un retard considérable sur l'Allemagne (5432 MW), l'Espagne (2099 MW) ou le Danemark (2016 MW), tôt lancés dans la double aventure industrielle de la production d'aérogénérateurs et de la production d'électricité éolienne. D'où la mise en place d'une politique de rattrapage, qui s'est accélérée à partir de l'année 2000.

Première grande étape de la politique d'encouragement au développement de l'énergie éolienne en France, le programme Éole 2005, lancé en 1996 et fondé sur des appels d'offre, a pour objectif une puissance installée comprise entre 250 et 500 MW en 2005.

La deuxième grande étape correspond à l'entrée en vigueur des mécanismes prévus par la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité.

Une obligation d'achat par EDF du cou-

rant produit par les installations de moins de 12 MW a été instaurée, assortie d'un tarif incitatif fixé par l'arrêté du 8 juin 2001 sensiblement supérieur au coût de production. Consultée sur ce tarif, la Commission de régulation de l'électricité a estimé alors que le surcoût annuel, entraîné par une puissance éolienne installée de 5000 MW en 2010, par comparaison au coût du nucléaire, atteindrait environ 10 milliards € sur l'ensemble de la période 2003-2025, soit environ 3 €/MWh. Ainsi, l'éolien ne saurait être tenu en France, ni dans aucun pays développé, pour la solution miracle pour couvrir l'augmentation des besoins en électricité.

Mais, en réalité, les tarifs de rachat du courant produit par les éoliennes fixés en juin 2001 n'appellent pas de remarque particulière dans la mesure où il existe un plafond de capacité de 1500 MW, qui permet d'encadrer l'effet d'aubaine présenté par l'investissement éolien, dont on attend un démarrage de cette technique dans notre pays.

De fait, les tarifs de rachat obéissent à l'impératif de diversification énergétique en favorisant un développement raisonné de l'éolien dans notre pays.

Toutefois, il conviendrait de chiffrer avec précision les coûts de développement du réseau et de mettre au point des schémas départementaux d'implantation, en coopération avec les collectivités locales.

De même, il conviendrait d'engager résolument une action, qui aurait dû être menée à bien avant l'octroi d'aides aux exploitants d'éoliennes, à savoir la structuration de l'industrie française de l'éolien de manière qu'elle puisse fournir un marché français en expansion et prendre place sur les marchés d'exportation.

Évolutions depuis la publication du rapport

La capacité éolienne installée en France fin 2003 atteint 231 MW, contre 150 MW fin 2002.

Un objectif de 2000 à 6000 MW de puissance éolienne installée avant le 1er janvier 2007 a été fixé par l'arrêté du 7 mars 2003 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements (PPI).

Pour atteindre l'objectif de la PPI, outre le programme Eole 2005 et l'incitation du tarif d'achat, sont prévus fin 2003 - début 2004 un appel d'offres en deux tranches de 500 MW pour des installations à terre de plus de 12 MW, ainsi qu'un autre appel d'offres pour 500 MW d'installations en mer de plus de 12 MW.

Enfin, pour expliciter et faciliter les procédures locales à respecter dans la mise en œuvre de projets d'implantation d'éoliennes, un cadre juridique a été mis en place par la loi du 3 janvier 2003 relative aux marchés du gaz et de l'électricité et au

service public de l'énergie et la loi du 2 juillet 2003 Urbanisme et Habitat, qui prévoient la possibilité de schémas régionaux éoliens après avis, notamment, des départements. En outre deux circulaires ont été diffusées auprès des préfets, sur la promotion de l'énergie éolienne terrestre et l'implantation d'éoliennes en mer.



Le solaire photovoltaïque en attente d'un marché test national pour un marché mondial en plein essor

Le solaire photovoltaïque est la technique permettant la production directe d'électricité par action de la lumière sur des matériaux semi-conducteurs comme le silicium.

Parmi tous les matériaux connus, le silicium, en particulier le silicium cristallin, est celui qui a les meilleurs rendements de conversion et qui domine les marchés, d'autres matériaux comme le cadmium-tellure n'ayant pas rencontré le succès attendu. Grâce à la forte augmentation de la production enregistrée depuis quelques années, le silicium continue de progresser, les rendements augmentant et les coûts de fabrication diminuant régulièrement.

Dans les années à venir, une rupture technologique est espérée, avec la mise au point de couches minces ou des cellules photovoltaïques plastiques polymères, utilisées comme panneaux solaires ou comme additifs aux matériaux de construction.

Compte tenu de l'importance des applications potentielles du solaire photovoltaïque, il semble, en tout état de cause, indispensable de renforcer les moyens, actuellement largement insuffisants, de la recherche française dans ce domaine prometteur.

En effet, le solaire photovoltaïque connaît des débouchés en très forte croissance, tant dans les pays développés que dans les pays en développement.

Pour les sites raccordés à un réseau électrique, le solaire photovoltaïque n'est pas compétitif avec l'électricité produite en masse. Mais il présente un intérêt évident pour les sites isolés où, couplé avec des batteries et éventuellement d'autres moyens de production comme des éoliennes voire un groupe diesel de sécurité, il permet l'accès à l'électricité en palliant l'absence de réseau électrique.

Par ailleurs, différents pays industrialisés ont mis en place des programmes d'équipement de sites raccordés au réseau électrique, habitations, installations collectives, par exemple. Dans ce cas, le solaire

photovoltaïque pourvoit aux besoins en électricité des utilisateurs locaux mais l'éventuel excédent de production par rapport à la consommation est réinjecté sur le réseau.

C'est ainsi que l'Allemagne a mis en place en 1999 son programme de 100 000 toits solaires, comprenant un premier volet de prêts à taux avantageux pour l'achat des équipements et un deuxième volet consistant en un tarif de rachat de l'électricité produite, à un prix largement supérieur au prix du marché.

Compte tenu d'une part du coût d'investissement dans les panneaux solaires, l'électronique de contrôle et les batteries, et, d'autre part, des rendements de conversion encore faibles du silicium, le solaire photovoltaïque raccordé au réseau ne peut constituer un moyen de production de masse de l'électricité. Mais le développement de ce type d'applications représente une aide efficace au décollage de l'industrie, comme le montre l'exemple de l'Allemagne, et plus encore celui du Japon, leader mondial du secteur grâce à la force de son industrie microélectronique et à son programme de dissémination du solaire photovoltaïque résidentiel mis en place dès 1994.

Si, dans les pays développés disposant de grandes centrales électriques et de réseaux de transmission couvrant la totalité de leur territoire, les applications du solaire photovoltaïque sont nécessairement limitées, il n'en est pas de même dans les pays en développement.

Dans les pays du Sud, le solaire photovoltaïque est, d'ores et déjà, une solution techniquement mais aussi économiquement efficace. Il apporte en effet, dans ces pays, un service supérieur aux moyens traditionnels – bougies, piles, lampes à kérosène, générateurs de faible puissance –, pour un coût inférieur, en permettant d'alimenter de petits équipements à usage individuel ou collectif – réfrigérateur pour les produits de santé, éclairage pour l'école, radiocassette, télévision, pompe –.

En définitive, le solaire photovoltaïque apparaît d'une part, une réponse à l'un des défis majeurs du développement, celui de l'accès à l'électricité de populations rurales innombrables, et, d'autre part, un secteur dont les perspectives à l'exportation sont immenses.

Pour prendre part à la compétition industrielle mondiale, l'industrie française du photovoltaïque doit, en conséquence, être renforcée pour faire face à la concurrence forte du Japon, de l'Allemagne, des États-Unis et du Royaume-Uni.

En complément à la nécessaire restructuration des entreprises du secteur, les subventions d'équipement et les tarifs de rachat de l'électricité

produite doivent être fixés à des niveaux suffisants, de façon qu'une large vitrine soit construite dans l'hexagone, sur la base de l'exemple de la Guadeloupe.

Évolutions depuis la publication du rapport

Le GENE (CEA Cadarache) étudie la faisabilité d'un programme de dotation en panneaux solaires photovoltaïques de populations rurales du Sénégal.

Un organisme de microcrédit financerait l'achat de panneaux solaires, mis à disposition de foyers contre un remboursement en 2 à 3 ans, à raison de 10 euros par mois. Ce montant correspond à la dépense moyenne de familles rurales africaines en sources archaïques d'électricité – piles chimiques, bougies, kérosène –.

La durée de vie d'un panneau solaire excède largement la durée de remboursement, ce qui permettra de disposer alors d'électricité à coût nul. Les sommes ainsi économisées permettront ensuite de financer la mécanisation de certaines activités villageoises.

Le projet a suscité l'intérêt de plusieurs ONG et devait être présenté fin 2003 au ministère délégué à l'industrie.



Le solaire thermique et l'habitat bioclimatique : deux filières centrales pour la France

L'un des gisements les plus importants d'énergies renouvelables est sans aucun doute le solaire thermique. Des capteurs parallélépipédiques ou cylindriques installés sur les toits des habitations ou des équipements collectifs permettent, grâce à l'énergie solaire thermique, de faire des économies considérables pour l'eau chaude sanitaire et même pour le chauffage des habitations avec la technique des planchers solaires directs. De nouvelles applications de grand avenir s'ouvrent à cette technique, avec la climatisation solaire, la réfrigération solaire thermique, ainsi que les technologies de transport direct de froid et de chaleur.

En dépit de son morcellement, l'industrie française du thermique remporte des succès importants à l'exportation. Mais pour faire face à l'explosion prochaine des marchés du solaire thermique et de la climatisation solaire, dans un contexte où les grandes entreprises étrangères dominent, des actions résolues de soutien direct et indirect à l'industrie française devraient constituer une priorité de l'action des pouvoirs publics.

Pour favoriser la croissance de l'industrie

du solaire thermique, nécessaire pour diminuer les coûts des chauffe-eau, un *programme mobilisateur* ambitieux devrait être lancé.

Un tel programme, qui pourrait être intitulé *Face-Sud*, devrait fixer comme premier objectif l'installation de 200 000 chauffe-eau solaires par an en 2010, les moyens utilisés étant un soutien des entreprises publiques industrielles aux PME-PMI du secteur et l'introduction d'une obligation réglementaire d'utiliser le solaire thermique dans les bâtiments publics et le logement social.

En tout état de cause, la croissance de la consommation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire, qui est la plus forte de tous les secteurs d'activité, doit être impérativement freinée. Il convient donc de renforcer la performance énergétique des bâtiments. La réglementation thermique, qui porte sur l'isolation des bâtiments, devrait porter aussi sur la maximisation des apports solaires.

A cet égard, les concepts de l'architecture bioclimatique devraient être approfondis et enseignés aux concepteurs – architectes, bureaux d'études – et aux professionnels du bâtiment.

En outre, afin de contribuer à l'approvisionnement en énergie des bâtiments, l'avenir appartient sans doute à de nouveaux matériaux thermiques-photovoltaïques, qui seraient utilisés sur des grandes superficies et permettraient de collecter à la fois chaleur et électricité.

Avantage induit du Plan mobilisateur Face Sud, un tel programme permettrait à l'industrie française de disposer d'un avantage comparatif dans la concurrence mondiale.

Évolutions depuis la publication du rapport

1. La directive européenne du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments fixe des normes minimales relatives à la performance énergétique des bâtiments neufs et des bâtiments existants lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants. Cette directive doit être transposée au plus tard le 4 janvier 2006.

2. En juin 2003, l'ADEME a retenu dans son appel d'offres intitulé « Habitat 2010 » le projet présenté par le CEA (GENEC), le fabricant de silicium et de panneaux solaires PhotoWatt et le CSTB et portant sur le développement un capteur hybride thermique-photovoltaïque pour les toits et les façades solaires. Le capteur thermique représente une épaisseur d'environ un centimètre, s'intégrant dans un module classique et encapsulé en utilisant les outils de production existants.

L'objectif est qu'une habitation ainsi équipée produise autant d'énergie qu'elle en consomme, en thermique pour le chauffage et en photovoltaïque pour alimenter le réseau.

Le surcoût à l'investissement par rapport à un toit ou à une façade classique serait de l'ordre de 5 % du coût total de la maison.



Le solaire thermodynamique, une solution d'avenir pour les pays du Sud

Le solaire thermodynamique est une technique visant à concentrer la lumière par des miroirs paraboliques ou cylindro-paraboliques, pour chauffer un fluide caloporteur qui est ensuite utilisé pour la production d'électricité, la réfrigération ou la désalinisation.

Le solaire thermodynamique a fait l'objet, en France, de réalisations à l'échelle industrielle, avec la centrale solaire Thémis et le four solaire d'Odeillo, au début des années 1980.

Ces prototypes n'ont pas rencontré le succès espéré, du fait d'un ensoleillement insuffisant, de l'immaturation de certaines techniques, et, en définitive, de sa non-compétitivité vis-à-vis d'autres filières de production de l'électricité.

Le solaire thermodynamique continue toutefois de faire l'objet de projets-pilotes dans différents pays.

De fait, les réalisations nationales des années 1980 trouvent une nouvelle actualité pour les pays du sud de l'Europe et du pourtour de la Méditerranée.

C'est ainsi qu'une centrale solaire dite Solar III sera construite en Espagne, sur la base de l'expérience acquise avec Solar II, une centrale solaire à tour de 10 MWe qui a fonctionné quelques milliers d'heures en Californie du Sud.

En tout état de cause, le solaire thermodynamique est à l'échelle des besoins énergétiques de pays à fort ensoleillement, tout en présentant d'ores et déjà des coûts d'investissement et d'exploitation qui le place en compétition avec l'éolien et en solution alternative avec d'éventuels réacteurs nucléaires de faible puissance.

Pour valoriser son expertise, la France doit non seulement tenir toute sa place dans les instances de coopération scientifique et technologique internationales mais aussi inspirer sinon diriger les réalisations de démonstrateurs.

Il est également indispensable de relancer la recherche et mettre en place des moyens incitatifs pour y associer les industriels.



La géothermie et les pompes à chaleur, des technologies performantes

Comprenant plusieurs types de techniques et d'applications, la géothermie repose sur l'utilisation de la chaleur provenant du rayonnement solaire ou du magma terrestre, absorbée et stockée par la croûte terrestre.

Les différents types de géothermie sont au nombre de trois : géothermie basse énergie, géothermie haute énergie, géothermie en roches chaudes fracturées.

La géothermie basse énergie correspond à l'exploitation des aquifères ou de l'inertie thermique du sous-sol. Elle met en œuvre des différences de température limitées, comprises entre quelques degrés et une centaine de degrés. Ses applications sont le chauffage individuel, le chauffage urbain, la climatisation ou la fourniture de chaleur à l'industrie. Une fois les installations amorties, la géothermie se révèle compétitive, tout spécialement lorsque les forages sont couplés à des réseaux de chaleur.

Cette énergie renouvelable étant particulièrement utile pour réduire ou maîtriser la consommation d'énergie du résidentiel-tertiaire, il conviendrait sans aucun doute de reprendre les études portant sur le sous-sol de la France, qui sont à l'arrêt depuis la fin des années 1970.

Avec une révision des conditions fiscales actuellement défavorables à la production de chaleur, les applications de ces techniques, pour le moment concentrées dans le Bassin parisien et en Aquitaine, pourraient voir le jour dans d'autres régions, en particulier en Limagne, dans le fossé rhénan et la plaine d'Alsace.

La géothermie haute énergie permet la production d'électricité grâce à l'utilisation de la vapeur d'eau à température élevée, extraite des sous-sols volcaniques. La vapeur d'eau, une fois extraite, peut ensuite servir à actionner une turbine pour produire de l'électricité ou être utilisée dans des process industriels.

La France a acquis une expérience remarquable et précieuse à Bouillante en Guadeloupe, où des forages à -300 mètres permettent de capter un mélange eau-vapeur à 200 °C alimentant une centrale électrique de 5 MW.

Ayant permis de résoudre les inévitables difficultés techniques d'un prototype, l'expérience de

Bouillante, désormais rentable, pourrait être facilement étendue en Guadeloupe et transposée dans de nombreux autres zones volcaniques, en particulier dans les pays de l'arc des Caraïbes, mais aussi aux Philippines, en Indonésie et en Amérique centrale.

Dernier type de géothermie, encore à l'état de réalisation expérimentale, la géothermie en roches chaudes fracturées consiste à injecter de l'eau à 5000 mètres de profondeur dans des roches fracturées servant d'échangeur de chaleur et à la récupérer une fois portée à haute température pour la remonter en surface où elle sert à actionner une turbine pour produire de l'électricité. Le projet de Soultz-sous-Forêts soutenu par la Commission européenne représente à cet égard une piste prometteuse, dans la mesure où les zones géographiques où cette technique pourrait s'appliquer sont relativement étendues, par exemple en Italie.

Correspondant à une autre technique fondée sur l'utilisation de différences de température limitées, les pompes à chaleur utilisées pour améliorer l'efficacité thermique d'une installation ont connu une vogue certaine après le premier choc pétrolier.

Les pompes à chaleur trouvent depuis quelques années de nouvelles applications sous la forme de pompes à chaleur dites géothermiques. Mobilisant les calories gratuites contenues par le sol, les pompes à chaleur géothermiques peuvent apporter une contribution significative au chauffage et à la réfrigération des habitations, individuelles ou collectives.

Pour fournir le même service de chauffage ou de réfrigération, dans le cas d'équipements collectifs, des pompes à chaleur géothermiques peuvent aussi être couplées à des nappes phréatiques, comme en Amérique du Nord.

Afin d'assurer le développement de cette énergie renouvelable tirée du sous-sol proche, un plan de diffusion massive des pompes à chaleur devrait être appuyé par EDF, le BRGM apportant pour sa part la connaissance des nappes phréatiques.

Évolutions depuis la publication du rapport

Dans son rapport d'information sur la politique de soutien au développement des énergies renouvelables, M. Serge Poignant, député de la Loire-Atlantique, constate que le taux réduit de TVA n'est applicable qu'aux seuls abonnements au gaz et à l'électricité.

Il estime qu'il convient de soumettre également à ce même taux les abonnements aux réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables.



L'apport potentiel considérable de la biomasse, avec le bois énergie et les biocarburants

Source d'énergie depuis la nuit des temps, les végétaux sont non seulement renouvelables mais aussi réputés vertueux vis-à-vis de l'effet de serre. L'émission de gaz carbonique lors de leur combustion directe ou lors de la combustion de leurs produits dérivés est, en effet, compensée par la fixation de gaz carbonique lors la période de croissance du fait du phénomène de la photosynthèse.

Bien que cette équivalence soit, en pratique, différée dans le temps et dans l'espace, ce qui peut en réduire la portée, on considère la biomasse – bois, végétaux divers, céréales, plantes oléagineuses, déchets divers, etc. – comme une énergie renouvelable neutre vis-à-vis de l'effet de serre.

Si l'on ajoute aux chiffres des quantités commercialisées, les estimations des utilisations non commerciales, la biomasse est la source d'énergie renouvelable la plus importante dans le monde. Dans les années à venir, les deux grands défis de la biomasse, en tant que source d'énergie, sont d'une part d'augmenter le rendement des procédés de combustion, et, d'autre part, d'améliorer ou de développer les procédés permettant de passer de la biomasse aux biocarburants, tout en étendant l'usage de ces derniers.

Le bois énergie représente une ressource très importante en France, le volume de 40 millions de m³ consommés annuellement représentant près de 9 millions tep. L'ADEME, qui a mis en place un programme bois énergie axé sur l'installation de mille chaufferies au bois nouvelles – industrielles ou collectives – estime à 12 millions de m³ par an l'augmentation possible de la production de bois énergie, à des conditions économiques acceptables, ce qui requiert une nouvelle structuration de la filière bois.

Le potentiel des biocarburants en France est également considérable, le tonnage actuel de 750 000 tonnes environ, dont la moitié pour l'ETBE et l'autre pour le diester de colza pouvant être facilement dépassé.

Au plan technique, les biocarburants peuvent être préparés à partir des végétaux, selon deux grandes méthodes, reposant l'une sur l'utilisation des glucides et l'autre sur celle des corps gras.

Dans le premier cas, l'amidon contenu dans le tubercule (betterave, pomme de terre) ou la

graine (céréales) ainsi que le glucose contenu dans la sève (canne à sucre) subissent différents traitements chimiques – hydrolyse éventuellement et transformation alcoolique –. Les principaux biocarburants préparés à partir de cette voie sont l'éthanol et, après une étape supplémentaire, l'ETBE (éthyl tertio butyl éther) qui peut être mélangé à l'essence en proportion supérieure à celle de l'éthanol.

Dans le deuxième cas, les huiles végétales provenant des tourteaux de colza, voire de tournesol, qui sont en majeure partie de triglycérides, conduisent, après une estérification, aux diesters, utilisés eux aussi comme biocarburants.

Compte tenu de son sol et de son climat privilégiés, ainsi que de la force de l'agriculture française, la biomasse constitue un atout essentiel de la France pour rationaliser sa fourniture d'énergie dans l'habitat et les transports.

Une augmentation des surfaces agricoles consacrées aux cultures énergétiques est possible à hauteur de 3 à 4 millions d'hectares.

En application de la future directive européenne visant à promouvoir l'utilisation de biocarburants dans les transports, un quota de biocarburants dans l'essence devrait être imposé sans délai. De même, le bénéfice de l'exonération de TIPP devrait être étendu aux huiles végétales brutes et des incitations fiscales mises en place pour toute la filière des biocarburants.

En tout état de cause, il importe simultanément d'accélérer le développement des différentes filières de biocarburants, au plan industriel comme au plan de la recherche. En particulier, il convient de renforcer la recherche sur les procédés enzymatiques de production d'éthanol à partir de cellulose, le principal constituant des cellules végétales et comme tel une ressource très abondante.

Un **programme mobilisateur** intitulé Terres-énergies regroupant l'ensemble de ces mesures devrait être lancé sans délai.

Évolutions depuis la publication du rapport

La directive européenne visant à promouvoir l'utilisation des biocarburants dans les transports a été adoptée définitivement en avril 2003. Devant être transposée au plus tard le 31 décembre 2004, cette directive fixe l'objectif incitatif en 2010 d'une quantité minimale de biocarburants de 5,75 % des ventes d'essence et de carburant diesel.

Pour atteindre cet objectif, les superficies des cultures de blé et de colza devraient augmenter de près de 2 millions d'hectares.

Le rapport de M. Serge Poignant propose d'une part que l'exonération fiscale totale au profit des biocarburants, d'ores et déjà prévue en Allemagne et au Canada, soit également mise en œuvre en France, et, d'autre part, que de nouveaux agréments soient délivrés, afin de porter la capacité de production française au niveau de volumes correspondant aux objectifs de la directive.

Novembre 2003.