

Les énergies renouvelables

Global Chance

Les énergies renouvelables font depuis la première crise pétrolière en 1973 l'objet des discours les plus divers. Leurs zélateurs¹ en font parfois la panacée universelle en leur prêtant la capacité à satisfaire largement et à bon marché l'ensemble des besoins de l'humanité sans risques de pénurie et sans problème d'environnement. D'autres, se fondant uniquement sur l'analyse des marchés à court terme, ne voient dans les renouvelables qu'un appoint marginal au bilan énergétique dans un avenir prévisible et reportent chaque année plus loin la date d'une émergence significative de ces solutions. Depuis le début des années 90, les préoccupations, d'abord de réchauffement du climat et plus récemment de développement durable ont relancé l'intérêt autour de ces sources renouvelables, mais toujours dans la même ambiguïté sur les enjeux réels qu'on peut leur assigner raisonnablement dans les différents pays du monde à plus ou moins long terme. Le consensus affiché au travers des discours politiques des uns et des autres sur les enjeux attachés à leur développement n'a pourtant pas conduit dans l'immédiat la plupart des pays développés à un effort public continu, qui puisse se comparer à ceux consentis pour les énergies fossiles ou l'énergie nucléaire.

Comment rendre la discussion possible sur des bases tant soit peu objectives et quantifier peu ou prou les enjeux des différentes énergies renouvelables raisonnablement utilisables à chaque époque et dans chaque région du monde ?

Comment juger de la pertinence des politiques proposées par les uns et les autres au nom du développement de l'environnement, du développement durable pour développer l'usage de ces ressources ?

de quoi s'agit-il ?

Et d'abord de quoi parle-t-on ?

On range sous le terme d'énergies renouvelables un ensemble d'énergies inépuisables à l'échelle humaine, la plupart issues de l'activité solaire mais qui se manifestent à travers des phénomènes physiques très divers.

- *Une énergie photonique :*

- l'énergie solaire, qui provient du flux de photons solaires sur la surface terrestre.

- *Des énergies mécaniques :*

- l'énergie éolienne qu'on peut tirer de la force du vent qui circule des hautes vers les basses pressions dans l'atmosphère terrestre,

- l'énergie hydraulique gravitaire, qu'on peut tirer de la force mécanique des chutes d'eau,

- l'énergie marémotrice qui tire parti des courants associés aux marées des océans,

- l'énergie des vagues qui tire profit de l'énergie mécanique des vagues, elles-mêmes produites par le vent.

- *Des énergies thermiques :*

- la géothermie qui exploite le flux de chaleur qui provient des couches profondes de la terre,

- l'énergie thermique des mers qui exploite les différences de température entre la surface et les couches profondes des mers tropicales.

- *Des énergies de combustion :*

- d'un combustible ou d'un carburant renouvelable, qu'on appelle biomasse, tiré de la matière organique (les plantes, les arbres, les déchets animaux, etc.), elle-même fabriquée grâce au soleil par la photosynthèse du carbone.

Toutes ces sources d'énergie peuvent être transformées par des moyens plus ou moins sophistiqués en énergie directement utile à l'homme. C'est ce qu'on appelle des « filières énergétiques ». Chaque filière tire parti d'un des phénomènes cités plus haut (photonique, gravité, gradient de pression, chaleur, etc.) à travers des processus de transformation physique pour aboutir à une forme d'énergie directement utilisable par l'homme pour satisfaire ses besoins de chaleur, de force motrice fixe, d'électricité (pour faire tourner des machines, s'éclairer, alimenter électroménager et ordinateurs), de force motrice mobile pour assurer les transports. La notion de filière recouvre donc à la fois l'origine de l'énergie mais aussi le besoin final qu'il s'agit de satisfaire.

Cette notion n'est évidemment pas spécifique aux renouvelables et s'applique aussi bien aux énergies fossiles. Quand on dispose par exemple de pétrole, un concentré d'énergie aisément transportable et stockable, on peut à partir de plusieurs filières, fournir de la chaleur (à travers une chaudière ou un four), de l'électricité (avec une centrale thermique ou un diesel) ou du carburant pour faire tourner le moteur de sa voiture. En fait, à partir d'une source d'énergie primaire comme le pétrole, on peut sans grande difficulté² décliner l'ensemble des applications répondant aux besoins d'énergie utile des hommes. Dans le cas des énergies renouvelables au contraire, des spécificités s'introduisent, des applications privilégiées à des besoins déterminés apparaissent, des impossibilités pratiques aussi, qui viennent restreindre la possibilité pratique d'usage de ces énergies.

Pourquoi ? Principalement pour deux raisons :
- D'abord parce que ces énergies ne sont pas toutes constamment à notre disposition « à l'état naturel » : le soleil ne brille pas la nuit et s'affaiblit fortement avec les passages nuageux, le vent souffle quand il veut, les barrages ne stockent l'eau que pour quelques mois, les déchets de l'agriculture finissent par pourrir. Comme on ne sait généralement pas ou mal stocker ces sources d'énergie dans leur état naturel (à l'exception du bois), on

n'est pas sûr d'en disposer au moment où l'on en a besoin.

- Ensuite parce que ces énergies sont dispersées et généralement peu transportables sous leur forme originelle, à l'exception notable du bois qui se transporte bien. Dans la plupart des cas, il faut utiliser les énergies renouvelables à l'endroit même où elles se manifestent alors que les concentrations de population peuvent s'en trouver éloignées ; c'est le cas du Groenland très peu peuplé et disposant d'un potentiel considérable d'énergie éolienne ou du Sahara disposant d'un énorme potentiel d'énergie photonique solaire.

Tout le monde connaît les filières les plus courantes, le feu de bois pour se chauffer ou faire la cuisine, le chauffage de l'eau dans un capteur peint en noir placé derrière une vitre pour réaliser un chauffe-eau solaire, les moulins à vent ou les turbines hydrauliques. D'autres filières font appel à des phénomènes plus complexes comme par exemple le photovoltaïque ou la thermodynamique pour produire directement de l'électricité à partir du soleil ou la fermentation alcoolique pour obtenir des carburants.

Il existe une dizaine de filières d'énergies renouvelables qui méritent une attention toute particulière parce qu'elles représentent dès maintenant ou à court ou moyen terme un potentiel important au niveau mondial. Certaines d'entre elles ont atteint le stade du marché ou de la démonstration technique et économique, au moins dans des zones et des circonstances favorables et sont capables de répondre à des besoins importants de nombreuses régions du monde. D'autres encore en développement présentent des potentiels importants à moyen et long terme. Le tableau 1 qui les regroupe est établi en croisant les principaux besoins énergétiques et les sources d'énergie renouvelable. On a indiqué par des étoiles les cases qui correspondent pour chaque source renouvelable aux applications les plus significatives (de cinq étoiles pour les principales à une pour celles qui restent marginales)³. L'observation rapide de ce tableau confirme les propos

Électricité renouvelable et besoins du réseau.

Les différents usages de l'électricité (l'éclairage, l'électroménager, le froid, l'eau chaude sanitaire le chauffage des locaux, les moteurs ou les fours industriels) présentent des caractéristiques temporelles très diverses dans la journée (pointe d'éclairage du soir), la semaine (arrêt des machines industrielles le week-end), ou l'année (chauffage des locaux, vacances d'été des entreprises). Les besoins de puissance électrique varient donc constamment et dans de grandes proportions au cours de la journée, de la semaine et des saisons.

Dans le cas d'une production d'électricité fossile, on peut répondre aux fluctuations des besoins en installant les capacités de puissance suffisantes (le maximum de puissance probable) en stockant à proximité les combustibles nécessaires, en amont de la production d'électricité. On module alors le régime de production électrique en fonction des besoins instantanés (soit en faisant marcher à régime variable un outil unique de production, soit en démarrant successivement des tranches de production au rythme de l'évolution des besoins).

On peut aussi tenter, en raccordant sur un même réseau de nombreux clients qui présentent des caractéristiques très diverses d'utilisation dans le temps de l'électricité de « lisser la courbe de charge ». Si l'usine untel qui appelle au cours de la journée une puissance constante de 300 kW ferme le soir à 18 heures, elle libérera cette puissance pour d'autres usages, par exemple ceux d'une centaine de clients domestiques dont les besoins d'électricité se situent justement en fin d'après-midi. C'est sur ce principe qu'une société comme EDF établit une tarification variable dans le temps pour inciter ses clients à décaler les usages de pointe vers des usages d'heures creuses.

Qu'en est-il quand une part de cette électricité est produite à partir d'énergies renouvelables ?

Du point de vue de la production d'électricité, la caractéristique principale n'est pas le caractère renouvelable de la ressource mais son degré d'intermittence et le caractère plus ou moins aléatoire de sa disponibilité.

L'intermittence : elle peut être journalière comme le rayonnement solaire, ou les marées. Elle est alors connue, inéluctable, mais totalement prévisible. Elle peut être saisonnière (les précipitations par exemple).

L'aspect aléatoire. On sait que le climat moyen d'une région déterminée s'accompagne de fluctuations importantes : les années de sécheresse exceptionnelle et d'hydraulicité maximale se succèdent, les journées ensoleillées et pluvieuses, etc.

Ces deux caractéristiques aux conséquences diverses viennent compliquer ou limiter, plus ou moins, selon les filières et l'organisation adoptée (réseau ou hors réseau), l'usage des sources renouvelables pour satisfaire les besoins d'électricité d'une société donnée.

C'est particulièrement vrai pour le soleil et le vent, énergies intermittentes et aléatoires. De plus dans ces deux cas, on ne connaît pas de moyen pratique (au contraire de l'hydraulique ou du bois par exemple) de stocker la ressource en amont de la production d'électricité ; seules restent des possibilités de stockage de l'électricité (soit par pompage d'eau, soit par batteries, soit sous forme de chaleur, soit par fabrication d'un composé chimique capable lui-même de fournir de l'énergie, par exemple de l'hydrogène). De ce point de vue par contre, la biomasse et l'hydraulique de barrage présentent des caractéristiques bien plus proches des fossiles.

La question se pose donc principalement pour le soleil et le vent. Il faut en utiliser les flux d'énergie quand ils se présentent et là où ils sont, les transformer en électricité sur place et les insérer au mieux (éventuellement avec un stockage d'électricité) pour répondre aux fluctuations de la demande des utilisateurs.

Deux exemples concernant le photovoltaïque. Celui-ci produit une puissance électrique directement proportionnelle au flux solaire incident sur les photopiles. Il est donc particulièrement bien adapté aux besoins électriques qui se situent au milieu des journées à fort ensoleillement. C'est le cas de la climatisation. Il est par contre beaucoup moins bien adapté aux besoins d'éclairage domestique qui se situent par principe après le coucher du soleil et qui sont d'autant plus importants que la période journalière d'ensoleillement est courte.

Il existe une variété de solutions pour pallier tout au moins partiellement ces difficultés .

- Pour les applications hors réseau, où la mutualisation de besoins très divers n'est pas possible, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- la première, trop souvent négligée, consiste à faire tous les efforts de maîtrise de la demande d'électricité , en quantité par l'utilisation d'appareils économes, et dans le temps, en décalant les uns par rapport aux autres le démarrage d'appareils dont l'utilisation peut être décalée sans inconvénient majeur,

- la seconde consiste à stocker l'énergie électrique produite généralement grâce à des batteries,

- la dernière consiste à installer un second système de production utilisant une ressource stockable qui viendra secourir la première en cas où elle fait défaut.

Dans ces deux derniers cas, on s'expose à des frais conséquents d'investissement et de fonctionnement supplémentaires.

- Pour les applications sur le réseau, on dispose de deux marges de manœuvre supplémentaires : mutualisation de besoins divers et de moyens de production diversifiés et géographiquement disséminés. Si la part des énergies renouvelables aléatoires et intermittentes reste modeste, on pourra compter sur la puissance déjà installée sur le réseau et déjà plus ou moins modulable pour assurer la sécurité d'approvisionnement. De même la mise en réseau de centres de production disséminés et utilisant des ressources renouvelables diversifiées provoque un effet de complémentarité qui permet d'assurer une meilleure disponibilité moyenne d'électricité. On pourra alors considérer que la mise en service de la ressource renouvelable s'apparente à une économie d'énergie stockable (en particulier fossile). Mais cette complémentarité géographique suppose un renforcement des réseaux de transport et de distribution qui va a priori à l'encontre de l'avantage généralement attribué au caractère d'autonomie locale des énergies renouvelables.

Si la part des ressources renouvelables intermittentes et ou aléatoires sort de la marginalité (par exemple au-dessus de 10% en énergie annuelle), on sera amené à installer des capacités de production supplémentaires utilisant des combustibles stockables pour assurer dans tous les cas la fourniture. Cette sécurité s'obtient au prix d'un surcoût pour assurer la continuité des approvisionnements. La discussion actuelle sur le degré de participation de parcs importants d'éoliennes aux pointes journalières et saisonnières de la France métropolitaine est le reflet de cette préoccupation économique.

précédents. En dehors de la biomasse dont les applications peuvent couvrir pratiquement tout le spectre des usages, y compris celui de carburant (pour deux de ses filières), la plupart des sources renouvelables se voient cantonnées à une ou deux applications significatives et ne sont pas naturellement adaptées à certains usages, en particulier celui des transports non électriques. Bien entendu, comme nombre de ces filières conduisent à l'électricité, on peut au prix d'une complexité accrue, de rendements décroissants et de coûts croissants, obtenir les autres services énergétiques à partir de cette électricité (cuisine, chauffage, au besoin carburants)⁴.

Le tableau 1 fait ressortir les points suivants : *Le solaire thermique* (les capteurs solaires), *la géothermie* et *la biomasse* sous ses différentes formes sont bien adaptés pour répondre aux besoins de chaleur basse température qu'on rencontre dans l'habitat, le tertiaire et l'industrie.

La biomasse et beaucoup plus marginalement *le solaire* sous concentration sont bien adaptés aux applications de cuisson domestique. Seule pratiquement *la biomasse* est bien adaptée aux applications haute température dans l'industrie où elle peut se substituer au charbon.

En ce qui concerne l'électricité hors réseau, on trouve une bonne adéquation entre les

Tableau 1. Les principales filières renouvelables et leurs usages

Ordres de grandeur des potentiels d'application	Eau chaude sanitaire	Chauffage des locaux	Cuisine	Chaleur industrielle MT et HT	Electricité hors réseau	Electricité sur réseau	Carburants
I - Solaire							
Solaire thermique							
capteurs plans	*****	*****					
concentration			**	*			
Solaire thermodynamique						***	
Solaire photovoltaïque					*****	**	
II - Hydraulique							
grande hydraulique >10 MW						*****	
petite hydraulique					*****	*****	
Marémotrices						***	
III- Eolien							
< 50 kW					*****		
> 50 kW						*****	
IV - Energie des vagues					**	**	
V - Géothermie							
basse température < 100 °C	*****	****					
haute température > 200 °C						***	
VI Energie thermique des mers						**	
VII - Biomasse							
Déchets organiques							
incinération	****	****		****		****	
méthanisation	****	****	****	****	****	****	***
Bois énergie							
bois de feu hors commercial	***	*****	*****	***			
bois moderne	*****	*****	*****	*****	****	*****	
Cultures énergétiques							
taillis , forêts	***	***	***	****	***	*****	
colza, canne, betterave							****

besoins et *le photovoltaïque* pour les applications de petite puissance inférieure à 1 kW), *l'éolien*, de quelques kW à une cinquantaine de kW, la *biomasse* et *la petite hydraulique* de quelques dizaines de kW à quelques MW. Seules ces deux dernières filières permettent d'éviter un stockage d'énergie sous forme d'électricité puisqu'on peut dans ces deux cas opérer un minimum de stockage de l'eau ou du combustible biomasse.

Pour l'électricité écoulee sur le réseau, *la grande hydraulique*, *les marémotrices*, *le solaire thermodynamique* (centrales solaires à concentration), *le solaire photovoltaïque*, *l'éolien*, *la géothermie haute température* et les diverses *filières biomasse* sont bien placées. En dehors des problèmes économiques, les limites à cette adéquation résultent de l'aspect fluctuant de la ressource (en particulier pour le solaire et l'éolien) qui pose des problèmes de compatibilité avec le réseau électrique.

Enfin seules pratiquement, tout au moins dans un futur proche, les filières *biomasse méthane* et les filières *cultures énergétiques* (biocarburants à base d'alcool ou d'huiles) sont des candidats sérieux pour l'obtention de carburants automobiles.

Il est important de garder en tête ces diverses caractéristiques des filières renouvelables quand on se pose la question de leur participation potentielle aux bilans nationaux, régionaux et mondiaux. Alors que les énergies fossiles, et en particulier le pétrole, nous avaient habitués à raisonner uniquement en besoins d'énergie primaire (le nombre de tonnes de pétrole nécessaire à boucler le bilan énergétique tous usages d'un pays comme la France), il faut pour quantifier l'apport éventuel des renouvelables dans le bilan énergétique entrer dans le détail et partir de la description des besoins⁵ locaux.

Si l'on s'intéresse par exemple aux applications du photovoltaïque aujourd'hui dans deux régions aussi différentes que l'Afrique et l'Europe on se rend vite compte :

- qu'en Europe les applications hors réseau qui atteignent la compétitivité économique sont tout à fait marginales dans le bilan élec-

trique car le taux de raccordement aux réseaux est très élevé ; quant aux applications sur réseau elles restent encore largement hors de portée pour des raisons économiques (coût au kWh > 0,3 euros contre 0,03 pour leurs concurrents fossiles ou nucléaires) ;

- qu'en Afrique par contre le photovoltaïque, dont les applications sur le réseau sont également pratiquement exclues pour des raisons économiques, il existe un potentiel important de pré-électrification rurale photovoltaïque compétitif avec d'autres solutions (même si les bénéficiaires potentiels ne sont pas solvables).

Si maintenant on s'intéresse au bois énergie dans ces deux régions, on constate que la mise en valeur de la ressource accessible en Europe (de l'ordre de 50 à 70 Mtep) suppose de poursuivre une politique volontariste dans le domaine du chauffage des locaux, de la chaleur industrielle voire de la production d'électricité à partir du bois en substitution aux combustibles fossiles actuellement mis en œuvre. En effet si aujourd'hui une quarantaine de Mtep de ce potentiel sont déjà mobilisés, c'est souvent dans des conditions de rendement très mauvaises (mauvaise isolation des locaux et rendement très faible des transformateurs de chaleur). Les technologies à haut rendement sont aujourd'hui disponibles. La simple substitution des foyers anciens par ces nouveaux outils permettrait des économies de bois importantes de l'ordre de 15 à 20 Mtep. L'enjeu porte donc en Europe sur 30 à 40 Mtep supplémentaires ce qui suppose une politique volontariste vu la concurrence des énergies de réseau.

En Afrique, la ressource de bois accessible (> 250 Mtep) est aujourd'hui en partie utilisée (170 Mtep) sous forme de bois de feu pour des applications principalement domestiques (cuisson) avec un rendement déplorable puisqu'il conduit à des dépenses d'énergie de l'ordre de 0,3 à 0,4 tep par habitant pour ces applications contre 0,05 tep en Europe par exemple. Si des progrès techniques sont apportés aux méthodes de cuisson, une partie importante de ces ressources sera dégagée pour d'autres usages et viendra s'ajouter aux

ressources actuellement non mobilisées et disponibles pour d'autres usages. Mais pour mobiliser ces ressources importantes, encore faut-il développer et diffuser les technologies nécessaires à la satisfaction de ces nouveaux usages, qu'il s'agisse de production de chaleur industrielle ou d'électricité. À défaut d'un tel développement local, le potentiel de bois raisonnablement mobilisable restera improductif.

À travers ces deux exemples on prend conscience de la nécessité de dépasser un discours global sur les énergies renouvelables et le développement (durable ou non) pour entrer dans une description plus proche de la réalité des enjeux de chacune des filières dans chaque région du globe en tenant compte à la fois des ressources physiques en place, de leurs caractéristiques propres, de l'état des technologies de transformation, et des besoins associés à la phase de développement des sociétés susceptibles de les mettre en œuvre.

De quoi s'agit-il ?

- 1 Reproduisant inconsciemment le discours qu'ils contestent chez leurs adversaires, tenants du tout nucléaire.
- 2 À la condition de pouvoir transporter le précieux liquide.
- 3 Cette classification prend en compte à la fois l'adéquation de la filière aux besoins exprimés et l'importance du potentiel de l'application envisagée : par exemple le photovoltaïque à la fois très bien adapté à l'application électricité hors réseau et à fort potentiel d'usage dans de nombreuses parties du monde obtient la note ****. Le même photovoltaïque obtient la note ** seulement pour l'électricité sur réseau et ce pour des raisons principalement économiques de concurrence avec d'autres filières électriques.
- 4 À condition d'avoir résolu le problème du stockage de l'électricité ainsi produite dans le cas où ce n'est pas le réseau qui assure l'équilibre besoins offre d'électricité.
- 5 C'était déjà le cas avec l'énergie nucléaire dont la seule filière d'usage est la production hyper centralisée d'électricité, excluant par là même les usages chaleur et les usages carburant.

Où, combien, et pour quoi faire ?

- 1 Sources : ISES pour le rayonnement solaire, CME pour les bassins hydrauliques, DOE pour les vitesses de vent, FAO pour les productions de bois et de biomasse.
- 2 B. Dessus, B. Devin, F. Pharabod, " Le potentiel mondial des énergies renouvelables ", La Houille Blanche, n°1, 1992. Cette étude sera appelée PMER (Potentiel Mondial des Energies Renouvelables) dans la suite.
- 3 Le monde en 22 régions en 1990 : Canada, Etats-Unis, Communauté Européenne, Europe du Nord et pays Alps (Islande, Norvège, Suède, Finlande, Autriche, Suisse), Europe centrale, Union Soviétique, Japon, Australie et Nouvelle-Zélande, Mexique, Brésil, Amérique Latine (autres pays), Europe du Sud (Chypre, Israël, Malte, Turquie, Yougoslavie), Moyen-Orient (Iran compris), Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Lybie, Egypte, Soudan), Nigéria et Gabon, Afrique (autres pays), Afrique du Sud, Inde, Chine, Corée du Sud-Taiwan-Hong-Kong-Singapour, Indonésie, Asie-Océanie (autres pays).
- 4 Même si leur potentiel pourrait être augmenté en particulier dans les pays du Nord qui sont en situation de surproduction agricole et animale.
- 5 Des développements plus futuristes (tels que les satellites solaires ou un système solaire-hydrogène) pourraient augmenter considérablement les potentiels accessibles.
- 6 World Energy Assessment, UNDP New York, Sept 2000, (notée WEA).

Energies renouvelables au nord

- 1 Nous n'ouvrons pas ici le débat sur les différents types de subventions cachées de la collectivité aux filières nucléaires et fossiles.
- 2 Nous recon naissons que ceci est une simplification d'une situation plus complexe. En effet, certains locataires d'HLM chauffés électriquement choisissent de ne pas chauffer, du fait du montant de la facture.
- 3 Certaines des renouvelables ont depuis longtemps atteint un fort niveau de compétitivité, au point de constituer le choix de préférence pour des industries intensives en énergie, par exemple l'hydro-électricité pour l'aluminium. La compétitivité prix d'autres filières dépend de multiples conditions, notamment de la disponibilité et de la qualité de la ressource renouvelable. Toutefois, les écarts de prix final ne sont cruciaux que pour quelques industries intensives en énergie, exposées à une concurrence internationale.
- 4 Mais quel long terme ? Les perspectives d'épuisement des ressources en pétrole et gaz à plusieurs décennies ne sont-elles pas insaisissables par le processus démocratique ? Nos compagnies pétrolières se préparent pour la transition vers l'ère de l'après pétrole. Mais elles agissent efficacement pour empêcher la prise en compte de cette réalité par les Etats et les peuples.

- 5 Toutefois, l'approvisionnement en pétrole et en gaz est assuré pour au moins 40 ans pour le premier et 75 ans pour le second. Voir *World Energy Assessment: energy and the challenge of sustainability (WEA)*; UNDP, UN DESA, WEC; NY; 2000.
- 6 WEA, op. cit.
- 7 Cette fragilité est un facteur qui conditionne la politique étrangère et militaire des grandes puissances industrielles.
- 8 Bien sûr, dans la limite des terres disponibles.
- 9 Rappelons-nous les pannes de courant dues à la tempête de 1999.
- 10 Des calculs de ce genre ont été effectués dans le cadre d'études françaises (*Conséquences des installations de stockage des déchets nucléaires sur la santé publique et l'environnement*; Rapport de Mme Michèle RIVASI, députée; 17 mars 2000; sur le site de l'Assemblée nationale; *Le contrôle de la sûreté et de la sécurité des installations nucléaires*; Rapport de M. Claude BIRRAUX, député; 25 mars 1999; sur le site de l'Assemblée nationale) et européennes (projet ExternE, voir <http://externe.jrc.es/>).
- 11 Ont-ils évalué le risque ?
- 12 Il existe de nombreux mécanismes possibles pour traiter ce surcoût (voir ci-après article Menanteau - Lamy).

Développement durable au sud

- 1 *World Energy Assessment: energy and the challenge of sustainability (WEA)*; UNDP, UN DESA, WEC; NY; 2000.
- 2 Le terme "G77" réfère au groupe des pays en développement. Les négociations internationales prennent le souvent la forme d'un débat entre trois groupes : le G77, l'Union Européenne et le JUSCANZ (Japan, USA, Canada, Australie et Nouvelle Zélande). La Chine n'appartient pas au G77, mais s'y associe le plus souvent.
- 3 Notez que l'existence d'un réseau ne garantit pas aux citoyens un accès effectif à l'énergie. Le réseau peut être déficient ou insuffisamment alimenté. Par ailleurs, le prix du service peut le mettre hors de portée pour une partie de la population. Toutefois, les EnR, parce qu'elles sont en général chères au kWh, n'apportent pas une solution spécifique à ces problèmes.
- 4 Wamukonya, Njeri; Davis, Mark; "Socio-economic impacts of rural electrification in Namibia: comparisons between grid, solar and unelectrified households"; *Energy for Sustainable Development*, Volume V No. 3; septembre 2001.
- 5 Notez aussi, que du point de vue financier, le taux d'actualisation (notion comptable qui reflète les taux d'intérêt mais aussi des facteurs de risque) entre dans le calcul de la proportion de valeur ajoutée nationale d'un projet. Les taux d'actualisation appliqués dans les PED sont plus élevés que dans les pays industrialisés. Ceci défavorise les EnR qui ont souvent un coût initial élevé.
- 6 Il s'agit d'un problème majeur de santé publique. Voir WEA, op. cit.
- 7 L'utilisation de bio-combustibles tend à réduire certaines émissions, comme le soufre, le plomb et NOx. Par contre, des études soulèvent des craintes quant aux effets carcinogènes de certains produits de combustion de bio-combustibles.

EnR et coopération

- 1 Les énergies renouvelables, de quoi s'agit-il ? Dans ce numéro.
- 2 Les contraintes sociologiques au développement des EnR. Ci-après.
- 3 Énergies renouvelables et effet de serre. Dans ce numéro.
- 4 Le potentiel mondial des énergies renouvelables / La houille blanche (1992).
- 5 Energies renouvelables, où, combien pour quoi faire ? Dans ce numéro.
- 6 Société-monde contre terreur-monde / Supplément / Le Monde, jeudi 22 novembre 2001.
- 7 La place des EnR dans les scénarios à moyen et long terme. Dans ce numéro.

- 8 Youba Sokona et Jean Philippe Thomas: Energie et lutte contre la pauvreté, un autre débat que celui des EnR (dans ce numéro).
- 9 Edgar Blaustein : Développement durable au Sud : l'enjeu de l'accès à l'énergie (dans ce numéro).
- 10 The uneven road for the non grid programme in South Africa /Njeri Wamunkoya paru dans *Energy for Sustainable Development Volume V – No 3 – Septembre 2001* Bangalore. Traduction ci-après.

Afrique du sud

- 1 La population de l'Afrique du Sud était d'environ 46 millions en 1999.
- 2 En 1999 une somme de 64 millions de ZAR avait été inscrite au budget mais jamais utilisée. En août 2000 le NER a inscrit 20 millions de ZAR supplémentaires pour l'électrification par mini-réseaux.
- 3 Le Livre blanc sur l'énergie (1998) stipule que la réalisation de l'accès universel à l'électricité pour tous les foyers était un objectif du gouvernement.
- 4 NER, le numéro de juillet 2000 de l'*Electricity Regulatory Journal* contient les objectifs d'électrification pour l'an 2000. Sur un total de 403 000 connections, 23 000 seront réalisées par des systèmes photovoltaïques hors réseau.
- 5 Par exemple, les taux de subvention n'avaient pas été divulgués.
- 6 La société commune Eskom-Shell est exclue, puisqu'une concession avait déjà été attribuée à cette société avant ce processus.
- 7 Alinéa 6(1) de la Loi sur l'Electricité prévoit qu'un permis de fournisseur est obligatoire seulement pour des ventes annuelles de plus de 5 GWh.
- 8 Ce groupe de concessionnaires s'est retiré depuis.

Energie et pauvreté dans les PED

- 1 Voir en particulier : " L'Energie dans les zones rurales en Afrique : pour l'environnement et contre la pauvreté " - Actes du Forum Régional du Conseil Mondial de l'Energie – (CME). « Quelles priorités pour le secteur de l'énergie en Afrique à l'horizon 2020 » ; février 1997, Dakar. P. 49 à 54.
- 2 On ne citera que pour mémoire les mécanismes des marchés de matières premières énergétiques qui au niveau mondial font perdurer des inégalités criantes entre les acteurs, entraînant les déficits des balances de paiement et par suite l'augmentation du poids de la dette pour les PVD. Il faut rappeler que dans la plupart des pays sahéliens, la part des produits pétroliers dans les importations est de plus de 70 %. Quand ces pays sont producteurs, les modes de répartition des richesses très inégalitaires que l'on rencontre sur le continent excluent le plus souvent les pauvres des bénéfices liés à la détention de ressources énergétiques. On ne fera que souligner les collusions qui existent d'ailleurs, dans certains pays, entre le pouvoir politique et les grandes compagnies pétrolières !
- 3 Voir en particulier, "Energy issues", The World Bank Group, FPD Energy Note No 7, novembre 1995.
- 4 Cf. Note 2 supra.
- 5 "Vivre et mourir en Afrique", Ph. Engelhard, T.Ben Abdallah et M.Seck, ENDA Syspro, Dakar, 1988.
- 6 "Centrales photovoltaïques de Diaoulé et de Ndiébel : suivi socio-économique", Rapport final, Masse LO, Sécou SARR, ENDA Energie, Dakar, décembre 1993.
- 7 Voir également : - Nalini Burn & Laurent Coche, UNDP 2000 " The multifunctional platform : energy for village level economic and social development " - Youba Sokona, 2000 "Case study on the multifunctional platform in Mali" Contribution for the World Energy Assessment.
- 8 "Vulgarisation de la Convention de lutte contre la Désertification et Elargissement du Réseau des ONG sur la Désertification".- ENDA TM, Dakar, avril 1995. 16p.
- 9 D'un point de vue macro-économique, on peut relier cette démarche à celles qui s'inscrivent dans les nouvelles théories économiques de la croissance endogène.

Stimuler le marché des EnR

- 1 Directive 2001/77/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2001, JO L 283, p. 33 à 40.
- 2 Ce texte a bénéficié de nombreux échanges avec D. Finon.
- 3 Source : *WindPower Monthly*, The Windindicator (<http://www.wpm.co.nz>), décembre 2001.
- 4 Égal à 90 % du prix de vente au résidentiel.
- 5 Irlande et Ecosse incluses.
- 6 Source ADEME.
- 7 Selon les estimations 2001 de l'Ademe, et en tenant compte d'un effort de maîtrise de la demande d'électricité d'environ 30 TWh, la demande totale d'électricité devrait atteindre 510 TWh en 2010. La contribution attendue des EnR s'élèverait alors à 107 TWh/an, soit un apport supplémentaire de 40 TWh d'ici 2010. Cet objectif pourrait être réparti de la façon suivante entre les différentes filières : éolien 29 TWh, biomasse 5,9 TWh, petite hydraulique 4 TWh, géothermie 0,8 TWh et photovoltaïque 0,3 TWh. Notons que pour l'éolien, cet objectif signifie l'installation d'un parc d'au moins 10000 MW d'ici 2010.
- 8 E-SER : électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables.
- 9 En 2000, sur les 81 nouvelles machines installées, la plupart provenait de l'industrie danoise. (International Energy Agency, *Wind Annual Report 2000*, Mai 2001).
- 10 Les tarifs applicables aux DOM-TOM et à la Corse sont de 60cF/kWh pour toutes les installations pendant les 5 premières années, puis passent à 49 (resp. 30) cF/kWh les 10 années suivantes pour les sites dont le productible atteint 2400h/an (resp. 3300h) quelle que soit la capacité installée.
- 11 Le prix d'achat du kWh éolien est défini sur trois périodes de 5 ans. Il est fixé à 8,4 ceuro/kWh pour toutes les installations pendant les 5 premières années, puis il varie selon la qualité du site, de 5,9 ceuro/kWh pour les sites moyennement ventés à 3 ceuro/kWh pour les sites très ventés.
- 12 Pour une analyse plus complète, se référer à l'article de P.Girard.

Contraintes sociologiques

- 1 L'auteur tient à remercier Guy BONHOMME, Muriel BOUDOU, Madeleine CHARRU, Christian COUTURIER, Paul NEAU et Maurice PASDELOUP pour leurs remarques précieuses.
- 2 Le souci d'équité sociale, celui de l'efficacité économique et celui de la préservation de l'environnement et des ressources à long terme.
- 3 Énergies Renouvelables dans les Régions d'objectif 1. Une opportunité pour les autorités locales. Commission Européenne, DG XVII, 1999.
- 4 Bien que peu comparables avec celles d'autres pays européens, les aides accordées aujourd'hui par l'État français ne leur ont jamais été aussi favorables ce qui laisse espérer un démarrage sans précédent.
- 5 Ils ne recueillent que des déclarations qui peuvent être de simples intentions d'agir ou des manières de valoriser l'image de soi. Et s'il y a parfois un fossé entre le dire et le faire, ces sondages donnent des ordres de grandeur qui demeurent éloquentes.
- 6 C. DUFLOS, « *Les Français et l'environnement* » *Consommation et mode de vie*, CREDOC, n°45, 31 janvier 1990.
- 7 F. GUERIN-PACE, P. COLLOMB, "Les contours du mot *environnement* : enseignements de l'analyse textuelle", *L'espace géographique*, (1), 1998.
- 8 A. DUFOUR, J.-P. LOISEL, « *Les Français et l'environnement : attitudes et comportements* », ADEME/CREDOC, 1997, p. 14.
- 9 Colloque "Energie au quotidien", 7 octobre 1995, UMINATE, Toulouse.
- 10 "Le froid domestique. Étiquetage et efficacité énergétique", *Les Cahiers du CLIP* (11), déc. 1999, p. 85.
- 11 Sondage à la une, "Les français et le nucléaire", 1999, BVA, <http://www.bva.fr/archives/nucleaire99.html>

- 12 On remarquera la valeur très relative et somme toute très artificielle de toutes ces statistiques qui décrivent des déclarations contextualisées et orientées (“voilà ce que je pense compte tenu du thème principal du sondage ou de ce que les questions précédentes m’apprennent sur le sujet”) ou des intentions (“voilà ce que je ferais si...”). On notera également qu’il n’est jamais question de caractériser des usages ni de comparer des indices de satisfaction à des situations comparées. De même, il n’est jamais fait état du niveau de connaissance des personnes interrogées sur les diverses énergies : ce qu’elles sont, comment elles sont exploitées, comment on les utilise en France et ailleurs, quels sont les avantages et inconvénients comparés des unes et des autres...
- 13 Colloque “Energie au quotidien”, 7 octobre 1995, UMINATE, Toulouse.
- 14 C’est à dire “Monsieur tout le monde”.
- 15 D. DESJEUX, et alii, *Anthropologie de l’électricité*, Paris, L’Harmattan, 1996, p. 15.
- 16 Faute de pouvoir disposer, comme dans certains pays européens tel le Danemark, de petits instruments de mesure de la consommation de chacun des gros appareils électroménagers, chacun est laissé seul juge pour apprécier ses consommations par poste et décider de l’opportunité de changer de source d’énergie ou de système de chauffage.
- 17 H. MENDRAS, M. FORSE, *Le changement social*, Paris, PUF, 1983, pp. 80-82.
- 18 Figure emblématique veut dire personnage médiatique populaire, ce que n’est pas Fabrice LUCHINI par exemple, qui fait la promotion de la maîtrise de la demande d’énergie dans les récents spots télévisés financés par l’ADEME.
- 19 M.-C. ZELEME, “Le bois-énergie en France. Etude socio-économique et institutionnelle des conditions de son développement”. Paris, CNRS-PIRSEM -DRAEI-ADEME, 1994.
- 20 Ne pas confondre les représentations de naturel, de confort et d’agrément associées au bois par exemple dans des univers de loisirs (vacances, week-end, temps de convivialité) qui servent de contextes à des publicités (dépliants France-Télécom) avec les représentations réellement mobilisées lorsqu’il s’agit de s’équiper pour un usage quotidien.
- 21 Ce qui n’empêche pas les inserts d’avoir donné une sorte de seconde vie au chauffage au bois.
- 22 C. LAUMONIER, J.-P. FLORI, “L’implantation d’une centrale éolienne vue par les riverains. Analyse sociologique et technique. Exemple du site de Sallèles-Limousis”, *Cahiers du CSTB* (3272), nov. 2000.
- 23 Association Mont Iratis “Pour la protection des collines de l’Aude, contre l’implantation chaotique de 800 sites éoliens dans le Languedoc Roussillon”, tract en 12 pages, sep. 2001.
- 24 “2001 énergie. Les défis à venir”, *Science et vie* (214), mars 2001, p. 121.
- 25 Surtout lorsque jouent les contre références (telles cette chute d’une éolienne à Ouessant il y a une vingtaine d’années ou l’expérience Valorga dans les années 88-90).
- 26 Ressources au sens crozérien du terme c’est à dire ensemble de compétences, stratégies, valeurs, réseaux... que chacun est capable de mobiliser pour agir. (M. CROZIER, L’acteur et le système. Paris, Le Seuil, 1977)
- 27 Notons que la prise de risque social peut s’avérer positive et devenir valorisante.
- 28 J. PADIOLEAU, *L’Etat au concret*, Paris, PUF, 1982, p. 95.
- 29 “2001 énergie. Les défis à venir”, *Science et vie* (214), mars 2001.
- 30 Certes il existe bien des revues ou des journaux qui font la promotion des EnR, mais ils ont une diffusion restreinte.
- 31 Y. MENY, J.-C. THOENIG, *Politiques publiques*, Paris, PUF, coll : Thémis, 1989, p. 237.
- 32 *Energie et vie quotidienne*. Toulouse, UMINATE, 7 octobre 1995.
- 33 La technocratie “arrive à créer un espace d’action qu’elle s’approprie, à la tête de plusieurs secteurs, et qu’elle gère de manière autonome, substituant ses critères, ses modes de fonctionnement, ses normes, aux processus de décision (...)” in : J. -C. THOENIG, *L’ère des technocrates*. Paris, L’Harmattan, 1987, p. 26.
- 34 Prenons le cas de la promotion du bois-énergie débattue en Région par exemple. Relève t-elle de la commission énergie, de la commission agricole ou de la commission environnement ? Qui compose ces commissions ?
- 35 P. LASCOUMES, *L’écopouvoir*. Paris, L’Harmattan, 1994.
- 36 *Campagnes solidaires* (153), juin 2001.
- 37 P. LASCOUMES, op. cit., p. 148.
- 38 J. C THOENIG, op. cit., p. 37.

Lecture critique du rapport parlementaire

- 1 Birraux, C. & Le Déaut, J.-Y. (2001). *L’état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables*, Rapport de l’Office parlementaire d’évaluation des choix scientifiques et technologiques. Assemblée nationale (n° 3415), Sénat (n° 94), Paris, France. <http://www.assemblee-nationale.fr/rap-oecest/energies/r3415.asp>
- 2 Jean-Yves Le Déaut, député (PS) de Meurthe-et-Moselle, est Président de l’OPECST. Il a notamment été chargé en 1997 d’un rapport au Premier ministre sur la transparence du nucléaire en France.
- 3 Claude Birraux, député (UDF) de Haute-Savoie, est Vice-Président de l’OPECST, pour lequel il a rédigé depuis 1990 une dizaine de rapports sur la sûreté nucléaire et les projets de cette industrie (« rubbiatron », EPR, etc.).
- 4 Auxquelles s’ajoutent plusieurs annexes, dont le compte-rendu intégral de l’audition publique organisée par les rapporteurs le 8 novembre 2001 à l’Assemblée nationale.
- 5 Suivant en fait une classification établie par la DGEMP.
- 6 Il est toutefois précisé que la filière hydrogène s’apparente davantage à un « vecteur de stockage » qu’à une énergie renouvelable.
- 7 Scénarios de l’OCDE, du Département de l’énergie (DOE) américain, de l’IIASA pour le Conseil Mondial de l’énergie, et enfin du GIEC.
- 8 La France a battu à plusieurs reprises son record de consommation d’électricité en décembre 2001, atteignant dans la soirée du 17 décembre 77 GW appelés. Selon le RTE, lors des pics précédents des 11 et 12 décembre, avec respectivement 74,5 et 75 GW appelés pour la consommation nationale, le parc français produisait encore 6 GW à l’exportation et une marge de capacité supplémentaire de 4 GW était disponible.
- 9 Il est probablement significatif que le même constat soit simultanément présenté comme un élément nouveau dans un rapport d’information du Sénat sur un autre sujet : Lepeltier, S., *Rapport d’information fait au nom de la délégation du Sénat pour la planification sur les nuisances environnementales de l’automobile*, Sénat (n° 113), décembre 2001.
- 10 Les données présentées ici sur la consommation des transports ou du résidentiel tertiaire sont extraites du rapport qui les tire des statistiques établies, avec sa comptabilité particulière, par la DGEMP.
- 11 L’établissement de bilans énergétiques globaux implique de calculer une équivalence entre énergie thermique et énergie électrique. La DGEMP utilise une équivalence identique pour la production et la consommation, soit 1 MWh = 0,222 tep. Au niveau international, on utilise en général l’équivalence définie par l’AIE, qui donne pour la production 1 MWh = 0,086 tep.
- 12 Conférence organisée par Christian Bataille à l’Assemblée nationale le 8 novembre 2001 sur le thème de l’abandon ou de la relance du nucléaire au niveau mondial.
- 13 Voir l’encadré.
- 14 Ces deux établissements ont justement fourni 8 des 9 membres du groupe de travail réuni par les deux députés.