

**Potentiel de développement des  
énergies renouvelables en France pour le  
remplacement du nucléaire**

Virginie DULUC  
Stage GENI

Mai 2007

## **Remerciements**

Je tiens à remercier toute l'équipe de GENI pour m'avoir aidé à réaliser ce projet et tout particulièrement Peter Meisen qui a su me guider pour l'élaboration de ce dossier.

## Résumé

De nos jours, le réchauffement climatique est au centre de toutes les discussions. Les gouvernements essaient de prendre des décisions pour ralentir l'effet de serre.

En France, 80% de l'électricité est produite grâce au nucléaire alors que les énergies renouvelables ne représentent qu'une petite part de la production d'énergie. Pourtant la France ne manque pas de potentiel.

En effet, l'énergie éolienne représente un espoir pour l'avenir énergétique en France. Ainsi, si la France réalise ses objectifs dans les terres et offshore, d'ici à 2040 la puissance produite grâce au vent pourrait être multiplié par 50.

L'énergie solaire représente également un fort potentiel encore inexploité par rapport aux ressources dont dispose le territoire français.

De plus, même si l'énergie géothermique est encore peu connue en France, le potentiel offert par les sites favorables à la production d'énergie par géothermie profonde est considérable, de l'ordre de 110 000 mégawatts (soit la puissance actuelle du parc français).

Le biogaz pourrait lui aussi être une énergie d'avenir. Ainsi, le potentiel pour le biogaz de décharges est estimé à 1,8 TWh sur un total valorisable d'environ 3 TWh, à l'horizon de 2010.

La France a donc le potentiel nécessaire en énergies renouvelables mais il est loin d'être encore exploité.

De plus, on assiste à la formation d'un véritable marché européen de l'électricité ce qui peut encourager les différents pays européens à développer leurs énergies renouvelables.

Toutefois, il faut rester réaliste : le remplacement du nucléaire ne se fera pas du jour au lendemain même si la France a le potentiel énergétique pour cela. En effet, le coût de ce remplacement, s'il se faisait de manière brutale, serait beaucoup trop lourd pour les consommateurs, les entreprises, le gouvernement. La transition du nucléaire doit donc se faire de manière progressive ce qui nous laisse penser que le remplacement total du nucléaire n'aura pas lieu avant des dizaines d'années.

## Sommaire

Remerciements

Résumé

Sommaire

1. Energie éolienne
  - 1.1 L'énergie éolienne a le vent en poupe
    - 1.1.1 Evolution de l'énergie éolienne en France
    - 1.1.2 Les principaux acteurs du marché éolien en France
    - 1.1.3 Evolution de l'énergie éolienne dans le monde
  - 1.2 Un large potentiel éolien
  - 1.3 De nombreux projets en cours d'exécution
  - 3.0 1.3.1 Le parc éolien de Lévézou
  - 4.0 1.3.2 Le parc éolien « les vents de Cernon »
  - 5.0 1.3.3 Les parcs éoliens « Offshores »
2. Energie solaire
  - 2.1 Une énergie en pleine croissance
  - 2.1 Un fort potentiel encore inexploité
  - 2.3 Projets à développer
3. Energie hydraulique
  - 3.1 L'énergie renouvelable la plus exploitée en France
  - 3.2 Une énergie saturée
  - 3.3 Projets à développer
4. Energie géothermique
  - 4.1 Une énergie d'avenir
  - 4.2 Un fort potentiel encore inexploité
  - 4.3 Projets de développement
    - 4.3.1 Le projet de Soultz-Sous-Forêts
    - 4.3.2 Développement de la géothermie basse à grande échelle
5. Energie biomasse
  - 5 1 Une énergie en faible progression
  - 5 2 Un potentiel à étudier
  - 5 3 Projets à développer
6. Réseau d'interconnexion
  - 6.1 Réseau électrique en France
  - 6.2 Réseau d'interconnexion en Europe

## 7. Remplacement du nucléaire en France

7.1 Scénarios envisageables

7.2 Impact microéconomique

7.3 Impact macroéconomique

Conclusion

# 1. Energie éolienne

---

« **L'énergie éolienne** est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur ad hoc comme une éolienne ou un moulin à vent. »

1.1 L'énergie éolienne a le vent en poupe

1.2 Un large potentiel éolien

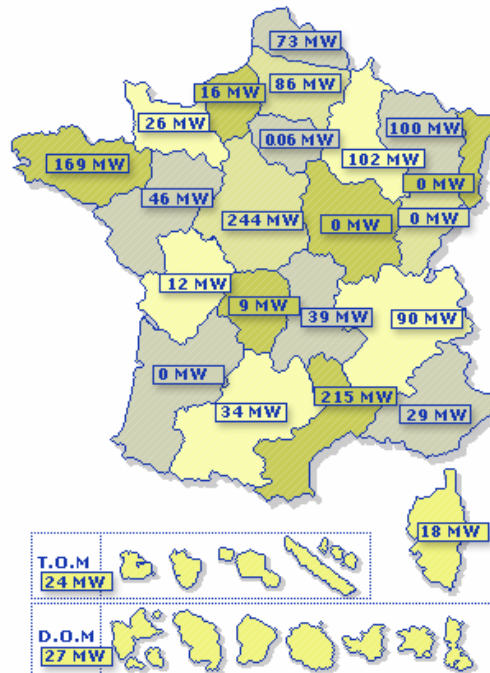
1.3 De nombreux projets en cours d'exécution



## 1.1 L'énergie éolienne a le vent en poupe

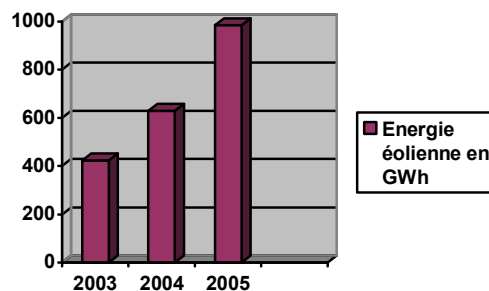
### 1.1.1 Evolution de l'énergie éolienne en France

Avant de parler de l'évolution de l'énergie éolienne, un état des lieux de l'éolien en France s'impose. Comme vous pouvez le constater sur la carte ci-dessous, les régions produisant le plus d'électricité éolienne sont le Centre (244 MW), le Languedoc-Roussillon (215 MW) et la Bretagne (169 MW). Les régions ne produisant pas d'électricité éolienne sont l'Alsace, l'Aquitaine et la Bourgogne.



Puissance totale installée en service : 1.3 GW

La production d'énergie éolienne est en forte augmentation en France depuis quelques années, comme le montre le graphe ci-dessous. En effet, entre 2003 et 2005, la production d'énergie éolienne a augmenté de plus de 61%. En 2005, 959 GWh d'électricité étaient produits grâce à l'énergie éolienne contre 596 GWh en 2004. De plus, les capacités installées ont doublées : ainsi fin 2005 on dénombrait 705 MW de puissance installée contre 363 MW fin 2004.



[http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)

DGEMP- Observatoire de l'énergie mai 2006.

En 2005, on constate une forte progression de 61% de la production d'électricité éolienne (959 GWh contre 596 GWh en 2004 pour la Métropole) et le quasi doublement des capacités installées (705 MW de puissance installée fin 2005 contre 363 MW fin 2004).

### 1.1.2 Les principaux acteurs du marché éolien en France

Le leader de l'énergie éolienne en France est EDF Energies Nouvelles (filiale à 50% du groupe EDF). L'entreprise est implantée en Europe et aux Etats-Unis. EDF Energies Nouvelles a obtenu la certification ISO 14001 pour ses activités dans la filière éolienne en France.

EDF doit fixer les prix d'achat selon l'arrêté du 8 juin 2001. Ainsi, en France métropolitaine le coût d'achat est 8,2 c€/kWh (de l'année 1 à 10) et entre 2,8 et 8,2 c€/kWh selon les sites (de l'année 10 à 15). Concernant les Dom Tom, le tarif est fixé à 11 c€/kWh.

### 1.1.3 Evolution de l'énergie éolienne dans le monde

Le Global Wind Energy Council (GWEC), syndicat des industriels de la branche éolienne, a réalisé une étude récemment montrant que la capacité de production d'énergie éolienne avait progressé de 20% dans le monde en 2004 pour atteindre 47.317 MW. En tête du classement par pays, on retrouve l'Allemagne (16.629 MW), l'Espagne (8.263 MW), les Etats-Unis (6.740 MW), le Danemark (3.117 MW) et l'Inde (3 000 MW). De nombreux pays comme l'Italie, les Pays-bas, le Japon et le Royaume-Uni sont affichés des productions proches des 1.000 MW. La France qui dispose pourtant du meilleur potentiel éolien après la Grande-Bretagne se situe aux alentours des 400 MW... L'Espagne est le pays qui a le plus accru sa capacité en 2004 avec une augmentation de 2.065 MW. Juste derrière, l'Allemagne a progressé de 2.037 MW et reste le champion mondial du secteur avec une part de marché de 35%. Les Etats-Unis, en 3e position, ont peu progressé l'année dernière (389 MW). Le Danemark, à la 4e place avec 7% de part de marché, n'a installé que 7 MW. Rappelons qu'en France, le Gouvernement s'était engagé dans le cadre de la programmation pluriannuelle des investissements de 2003, à installer entre 2.000 et 6.000 MW d'éoliennes d'ici à 2007.

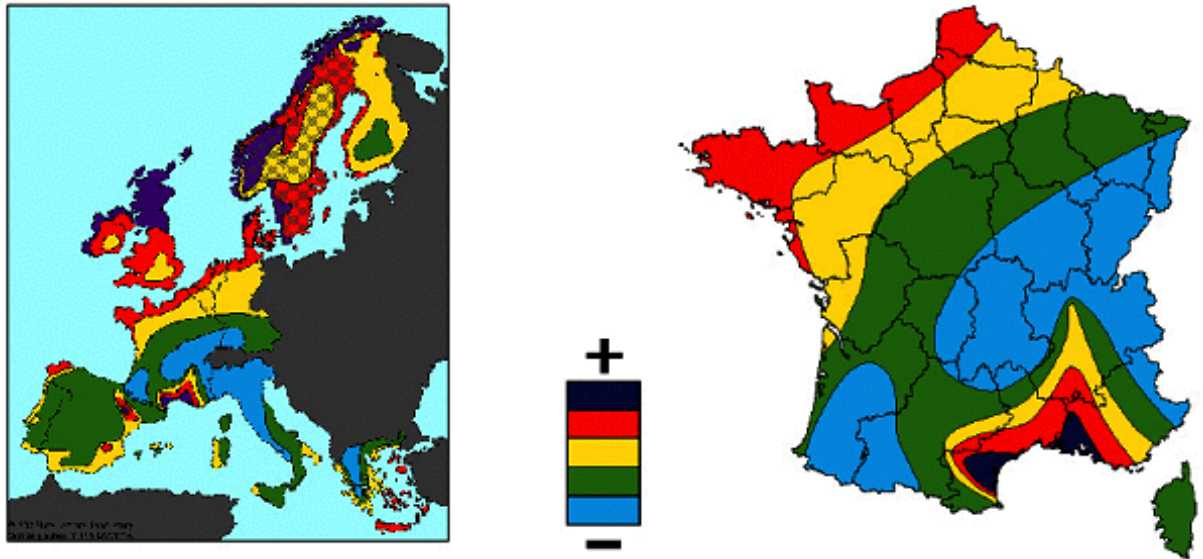
En comparant les continents, l'Union européenne arrive en tête avec 34.205 MW installés fin 2004 soit 72% du total mondial.

Le continent nord-américain (Etats-Unis, Canada) est deuxième (7.184 MW) devant l'Asie (4.674 MW dont 3.000 MW pour l'Inde, 873 MW pour le Japon et 764 MW pour la Chine).



## 1.2 Un large potentiel éolien

La France est le second gisement éolien d'Europe après la Grande-Bretagne, pourtant c'est un des pays d'Europe où la ressource est la moins exploitée. Comme vous pouvez le constater sur les cartes ci-dessous, les côtes françaises (bretonnes et méditerranéennes) sont exposées à des vents de forte puissance. La côte atlantique et l'intérieur des terres ne bénéficie pas d'une très bonne exposition ce qui explique le très faible équipement de ces régions en éoliennes.



Puissance moyenne du vent selon les zones, en W pour un m<sup>2</sup> de section verticale prise à 50 m du sol. (Source ADEME).

Les installations *off-shore* (en mer) sont très intéressantes car elles offrent des vents forts et réguliers. En France, le potentiel *off-shore* et sur terre est estimé à 160 TWh, soit 45% de la production nucléaire actuelle.

Pour optimiser le rendement en électricité, les éoliennes doivent être placées à des endroits très exposés aux vents. De plus, les grandes éoliennes d'aujourd'hui ne sont pas toujours équipées de système pour suivre le sens du vent, une étude de la carte des vents doit être menée avec soin.

Il est important de noter que le potentiel éolien est d'autant plus important que les éoliennes actuelles atteignent des puissances de 5 MW, de quoi alimenter (sur la base d'une production moyenne annuelle de 10 millions de kWh correspondant à un fonctionnement annuel de 2000 heures sur un site moyennement venté) plus de 3000 foyers. Ainsi, une vingtaine de ces éoliennes pourraient, à elles seules, alimenter en électricité domestique (hors chauffage) une ville comme Montpellier ou Strasbourg.

De plus, si l'on considère le ratio investissement initial/puissance installée, le coût de l'énergie éolienne avec environ un million d'euros d'investissement pour un MW installé, est équivalent à celui de l'énergie hydraulique et est nettement inférieur à l'énergie photovoltaïque, l'énergie géothermique, ou l'énergie des mers, à puissance égale.

### **1.3 De nombreux projets en cours d'exécution**

La France a conscience de son fort potentiel éolien. En effet, EDF s'est fixé des objectifs. Ainsi le groupe souhaite faire passer les capacités installées de 1300 MW (2005) à 14000 MW (en 2010). De plus, il faut savoir que même si une éolienne coûte cher, plus on en fabrique plus le prix baisse. Ainsi une petite éolienne de 500W coûte de 762.25€ à 1524.49€, une petite éolienne de 2KW coûte environ 5945.51€, une éolienne domestique ou rurale de 10KW coûte 23629.6€ et enfin une grande éolienne de 750 KW coûte 457347.05€. De nombreux projets de parcs éoliens sont à l'étude. Vous trouverez ci-dessous les plus importants.

#### **1.3.1 Le parc éolien de Lévézou**

Construit par SIIF-Energies France, un nouveau parc éolien d'une puissance de 48MW en Aveyron deviendra fin 2007 le plus grand parc éolien de France et devrait générer une dizaine d'emplois. Situé en Aveyron, dominant le Lévézou, Salles-Curan va accueillir un parc éolien d'une puissance de 87 mégawatts fin 2007. Il deviendra alors le plus grand parc éolien de France, plus grand encore que celui en construction actuellement à Ally en Haute-Loire. Représentant une puissance de 39 mégawatts, il se compose de vingt-six éoliennes d'1,5 MW, pour un investissement de 52,6 millions d'euros. Il devrait alimenter la consommation électrique d'une ville de 134.000 habitants.

#### **1.3.2 Le parc éolien « Les vents de Cernon »**

Endesa France vient de signer la commande clé en main du Parc Eolien « Les Vents de Cernon » attribuée à Nordex après consultation des principaux constructeurs mondiaux d'éoliennes. Ce parc fait suite à celui de Lehaucourt (10MW) qui est sur le point d'être mis en service et celui d'Ambon (10MW) qui a été commandé à la fin de l'année dernière. Le Parc éolien de Cernon se situe dans la Marne en Champagne Ardennes et aura une puissance installée de 17,5 MW pour un investissement global d'environ 22 millions d'euros. Les travaux de génie civil débiteront durant l'automne 2007. Quant au montage des éoliennes, il devrait débiter en mai 2008 avec une réception du parc programmée pour le 15 juin 2008.

Ceci s'inscrit dans le Plan Industriel d'Endesa France qui compte parmi ses objectifs la construction d'une puissance éolienne de 200MW et pour cela d'autres parcs sont programmés et seront commandés prochainement.

#### **1.3.3 Les parcs éoliens « offshore »**

L'avenir appartient sans doute aux grands parcs d'éoliennes « offshore », c'est-à-dire construit en mer, loin de toutes habitations. La France dispose pour sa part du deuxième potentiel éolien d'Europe après la Grande-Bretagne avec près de 70 térawatts (TW ou milliards de kilowatts) sur terre, et surtout, d'environ 90 TW en mer, soit, au total, 150 TW. Pourtant, en France, le seul projet d'éoliennes offshore porte sur 500 MW et apparaît comme bien modeste par rapport aux projets de nos principaux voisins européens. Ces éoliennes situées en pleine mer auront en effet un avantage décisif sur les éoliennes terrestres : elles bénéficieront d'un vent beaucoup plus rapide et plus régulier qui permettra à ces aérogénérateurs d'atteindre un rendement moyen annuel de 40 à 50 %, contre moins de 30 % pour leurs homologues terrestres. Une quarantaine de ces futures éoliennes maritimes géantes de 10 MW devrait pouvoir fournir assez d'électricité pour alimenter la consommation

domestique d'une ville d'un million d'habitants, comptant 400.000 foyers ! En France, 1800 de ces éoliennes maritimes (qui ne posent aucun problème d'intégration dans le paysage ou de bruit) suffiraient donc pour produire 15 % de la totalité de l'électricité consommée par notre pays, c'est-à-dire autant d'électricité que celle produite chaque année grâce à l'énergie hydraulique.

Dans le tableau ci-dessous, vous trouverez les estimations pour l'énergie éolienne à l'horizon de 2040 comparées aux chiffres de 2005. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : si la France réalise ses objectifs, en 2040, l'énergie éolienne jouera un rôle prépondérant dans la production d'électricité et pourra remplacer une partie de l'énergie produite grâce au nucléaire. Ces chiffres sont très encourageants et présagent de beaux jours pour l'éolien en France.

	Puissance MW (2005)	Puissance MW (2040)	Energie TWh/an (2005)	Energie TWh/an (2040)	Nombre d'éoliennes (2005)	Nombre d'éoliennes (2040)
Pour les sites terrestres	1 300	20 000	1	50		8 000
Pour les sites en mer	0	40 000	0	150		8 000
Soit au total :	1 300	60 000	1	200		16 000

Scénario de l'IEER: L'énergie éolienne en France à l'horizon de 2040  
<http://www.ieer.org/reports/energy/france/lowcarbonreport.pdf>

## 2. Energie solaire

---

“L'**énergie solaire** est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, direct ou diffus. Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité”

2.1 Une énergie en pleine expansion

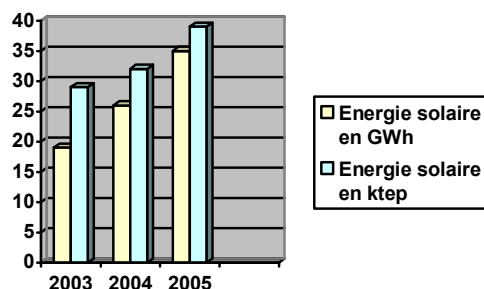
2.2 Un fort potentiel encore inexploité

2.3 Projets à développer



## 2.1 Une énergie en pleine expansion.

Le marché de l'énergie solaire connaît une croissance soutenue : de l'ordre de 20 à 30% par an. Le leader mondial dans la production de panneaux photovoltaïques est Tenesol (une filiale à 50% d'EDF).



[http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)

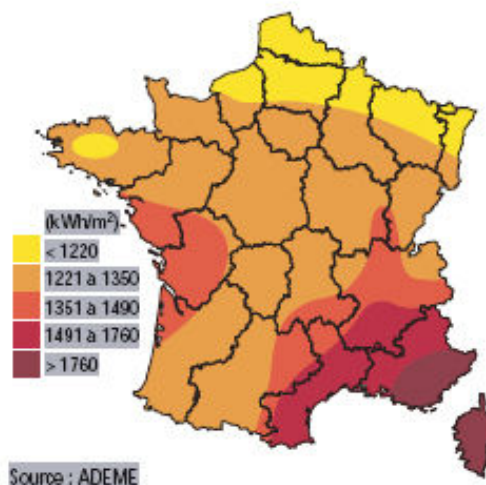
DGEMP- Observatoire de l'énergie mai 2006.

En 2005, on constate une moindre progression du solaire photovoltaïque relié au réseau en Métropole après deux années consécutives de forte croissance ; les puissances de capteurs reliés au réseau installés en 2005 auraient même légèrement diminué selon les premières estimations (1900 KWc contre 2212 KWc en 2004)

## 2.2 Fort potentiel encore inexploité

La France, comme nous pouvons le constater sur la carte ci-dessous, a un fort potentiel solaire surtout la partie Sud-est et la Corse. D'une manière générale, la France bénéficie d'un bon ensoleillement et son potentiel solaire est loin d'être totalement exploité. Cela nous amène à penser que la croissance de l'énergie solaire va continuer sur sa lancée voire s'intensifier si les structures nécessaires sont mises en place.

*Gisement solaire en France*



Source : ADEME

Source : ADEME

### **2.3 Projets de développement**

En ce qui concerne le solaire photovoltaïque, les objectifs de la France sont clairs : faire passer les capacités installées de 11 MW (en 2005) à 300 MW (en 2010). Les objectifs pour le solaire thermique sont encore plus ambitieux. Ainsi la France souhaite faire passer les capacités installées de 50.000 m<sup>2</sup>/an (en 2005) à 1.000.000 m<sup>2</sup>/an (en 2010).

Pour favoriser le développement du solaire en France, EDF a mis en place le projet Cisel. En effet, dans le cadre de son offre kWh Équilibre+, EDF reverse une quote-part du prix payé par l'entreprise (0,17€/kWh) au financement d'un projet de recherche et de développement de nouvelles cellules photovoltaïques.

## 3. Energie hydraulique

---

“L'**énergie hydraulique** est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer.”

3.1 L'énergie renouvelable la plus exploitée en France

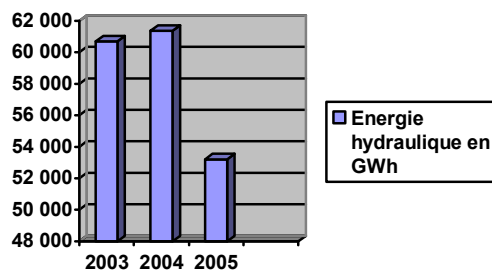
3.2 Une énergie saturée

3.3 Projets à développer



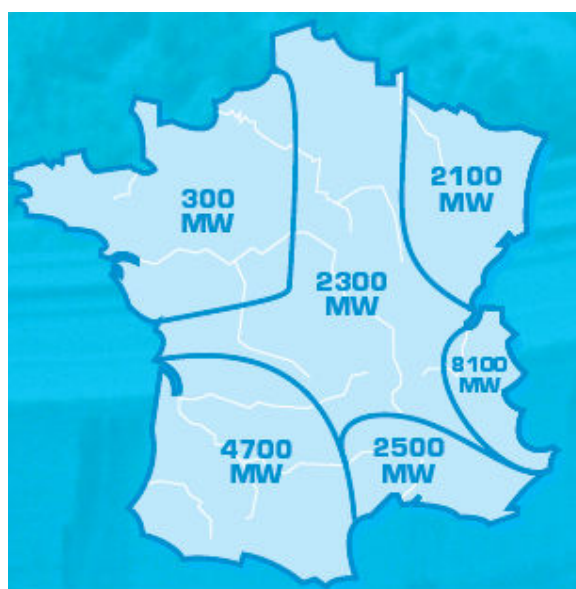
### 3.1 L'énergie renouvelable la plus exploitée en France

L'énergie hydraulique est la plus exploitée des énergies renouvelables en France. Pourtant, en 2005, on constate un fort déficit de la production hydraulique (la plus basse de ces quinze dernières années), liée à un manque de pluviosité tout au long de l'année 2005 et de ce fait un faible remplissage des barrages.



Source : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)  
DGEMP- Observatoire de l'énergie mai 2006.

Sur la carte ci-dessous vous pouvez voir la production hydraulique en France. Ainsi, la plus forte production hydraulique se trouve à l'est, dans les Alpes (8100 MW). Le Grand Sud-ouest produit également beaucoup d'énergie à partir de l'énergie hydraulique (4700 MW).



Source ADEME



### **3.2 Une énergie saturée**

En France, 90% du potentiel hydraulique est exploitée. Cela ne laisse pas beaucoup de possibilités de développement. Toutefois, ces 10% doivent être exploités au maximum car ils pourront sans doute redresser la croissance de l'énergie hydraulique qui a souffert en 2005, du aux faibles précipitations.

### **3.3 Projets à développer**

En 2004, EDF lance le projet d'aménagement de la centrale de Gavet. La construction de ce nouvel ouvrage permettra d'améliorer sensiblement l'aspect de la vallée grâce à la disparition des ouvrages les plus inesthétiques et favorisera le développement de nouvelles activités de tourisme. Cet aménagement représente un investissement de 160 millions d'euros. Les travaux devraient débuter vers 2008 pour une mise en service à l'horizon de 2013.

L'eau est aussi un patrimoine. EDF s'efforce de concilier la production hydroélectrique avec les autres usages de l'eau en trouvant l'équilibre entre les besoins de réserve en électricité, et les souhaits légitimes de développement des territoires



## 4. Energie géothermique

---

“La **géothermie** est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude depuis des milliers d'années. »

4.1 Une énergie d'avenir

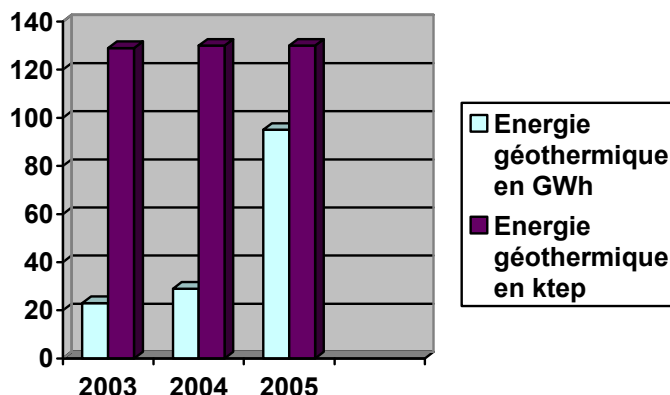
4.2 Un fort potentiel encore inexploité

4.3 Projets de développement



## 4.1 Une énergie d'avenir

La chaleur géothermique produite annuellement dans notre pays est de l'ordre de 1 380 GWh (119 ktep), ce qui place la France au 10ème rang mondial pour l'utilisation de cette filière. Comme le montre le graphe ci-dessous, la production d'énergie géothermique n'a pas cessé de croître entre 2003 et 2005. Elle a presque été multipliée par 5.



Source : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)  
DGEMP- Observatoire de l'énergie mai 2006.

En France, plus de 200 000 équivalents-logements sont actuellement raccordés à des réseaux de chaleur utilisant prioritairement l'énergie géothermique. Au niveau mondial, la production d'électricité par géothermie est de l'ordre de 50 TWh, ce qui place cette source d'énergie propre au 3ème rang après l'hydraulique (2 600 TWh) et la biomasse (157 TWh).

La géothermie à basse température est utilisée pour le chauffage de bâtiments tels que les serres ou d'habitations. La géothermie à haute température permet de produire de l'électricité. Le groupe EDF exploite ainsi, depuis 1996, à la première et unique centrale géothermique qui produise industriellement de l'électricité dans le monde. Cette centrale est située à Bouillante en Guadeloupe.

Actuellement le prix de l'énergie géothermique est 12cE/kWh en Métropole et 10cE/kWh dans les DOM, Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte

## 4.2 Un fort potentiel encore peu exploité

Le potentiel offert par les sites favorables à la production d'énergie par géothermie profonde est considérable, de l'ordre de 110 000 mégawatts, soit la puissance actuelle du parc français de production d'électricité. Mais cette géothermie profonde, qui peut être exploitée sur un même site pendant au moins 20 ans, ne sera compétitive que lorsqu'une dizaine de sites existeront en France et totaliseront une capacité de plus de 300 mégawatts. La France dispose de deux atouts qui pourraient lui permettre de développer de manière importante l'énergie géothermique :

- la France a un fort potentiel d'exploitation géothermique
- la France dispose d'une avance technologique remarquable dans le domaine de la géothermie à grande profondeur.

### **4.3 Projets de développement**

La France souhaite atteindre les 150 MW produits avec l'énergie géothermique d'ici à 2010. Pour cela, la France va développer les projets ci-dessous.

#### **4.3.1 Le projet de Soultz-Sous-Forêts**

Le projet de Soultz-sous-Forêts est véritablement pionnier car il met en œuvre une technologie propre à la géothermie des roches chaudes fracturées (HFR). Ce projet constitue une rupture technologique importante et confère à la France une avance technique certaine dans cette filière énergétique d'avenir. L'ensemble du système est conçu pour fonctionner en continu 8000 heures par an et devrait produire un kWh à un coût compris entre 0,004 et 0,008 euros. Si cette installation-pilote donne satisfaction, deux prototypes d'une puissance de 25 mégawatts chacun pourraient être construits, de quoi alimenter en électricité une ville de 50000 habitants. Le projet de Soultz est évalué à 50 millions d'euros, et est financé à 80 % par l'Europe.

#### **4.3.2 Développement de la géothermie basse à grande échelle**

Les équipements géothermiques sont plus onéreux à l'installation que les systèmes traditionnels : il faut compter environ 9 200 € pour une maison de 120 m<sup>2</sup>. En revanche, ces systèmes sont d'un entretien limité et sont plus vite rentables : 75 % d'économie d'énergie par an par rapport au chauffage électrique, 60 % par rapport au gaz Propane, 50 % par rapport au fuel ou au gaz naturel. A titre d'exemple, pour chauffer une maison de 75 à 100 m<sup>2</sup> habitables, dotée de planchers chauffants, cela revient chaque année à environ 185 € (pour l'essentiel, l'électricité qui alimente la pompe), trois fois moins cher qu'avec le fioul. La géothermie basse et très basse énergie (forages de faibles profondeurs et pompes à chaleur) est déjà utilisée à grande échelle en Suisse et en Allemagne et pourrait permettre à notre pays de réaliser rapidement, et sans investissements trop coûteux (amortissement moyen en 5 ans), d'importantes économies d'énergies fossiles dans le chauffage des bâtiments publics et des habitations privées

# 5. Energie biomasse

---

“**L'énergie biomasse** est la 2ème énergie renouvelable dans le monde. Elle permet de produire de l'électricité, de la chaleur via la combustion de déchets et de résidus de matières organiques végétales ou animales ».

5.1 Une énergie en faible progression

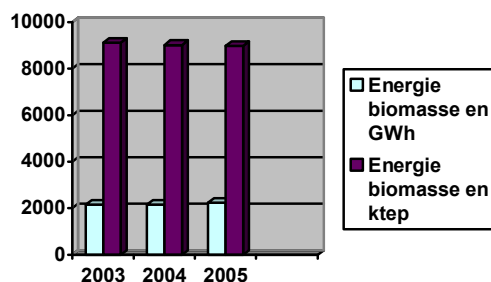
5.2 Un potentiel à étudier

5.3 Projets à développer



## 5.1 Une énergie en faible progression

Comme vous pouvez le constater sur le graphe ci-dessous l'énergie biomasse est en très légère progression en France, voire en stagnation.



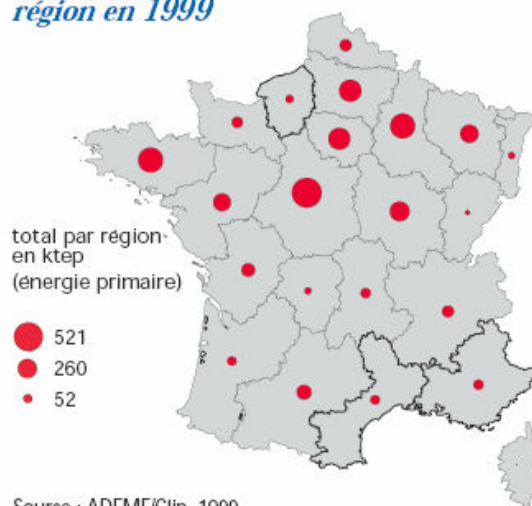
Source : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)  
DGEMP- Observatoire de l'énergie mai 2006.

Depuis l'arrêté de juillet 2006, les tarifs concernant le biogaz et la méthanisation sont entre 7,5 et 9c€/kWh (selon la puissance) en France et entre 8,6 et 10,3c€/kWh\* pour les DOM, Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte. Une prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 3c€/kWh et une prime à la méthanisation de 2c€/kWh peuvent être majorées à ces tarifs.

## 5.2 Un potentiel à étudier

Même si le biogaz est pour l'instant en stagnation en France, il a un fort potentiel encore inexploité. En effet, notamment pour la moitié Nord, le biogaz constitue un potentiel pour la production d'électricité : biogaz de déchets agricoles dans les régions Centre, Champagne-Ardenne, Picardie, Bourgogne, Ile-de-France ; biogaz de déjections animales en Bretagne et Pays-de-la-Loire. Le potentiel pour le biogaz de décharges est estimé à 1,8 TWh sur un total valorisable d'environ 3 TWh, à l'horizon de 2010.

### *Ressources mobilisables de biogaz par région en 1999*



### **5.3 Projets à développer**

Plusieurs sociétés du groupe EDF, EDF Energies Nouvelles\_notamment, sont impliquées dans cette filière. 6 projets (80 MW) utilisant un procédé de gazéification sont à l'étude et des tests sur différents résidus sont prévus en 2006. Les objectifs français concernant le biogaz sont de 1.000 MW pour 2010.

EDF Energies Nouvelles a entrepris le développement d'un projet biomasse à partir de résidus de l'industrie de l'huile d'olive, en Espagne. Une usine est en service, à Lucena en Andalousie. L'installation permet de valoriser 180 000 tonnes par an de résidus d'olive. Elle représente une capacité installée de 26 MW. Un deuxième projet est en développement en Andalousie, à Almeria : il s'agit d'utiliser des résidus végétaux issus de l'agriculture intensive sous serres comme combustible pour la production électrique de 20 MW. En France également, EDF Energies Nouvelles souhaite se développer dans la filière. Six projets représentant 80 MW sont à l'étude. Ils concernent la valorisation de résidus issus du raisin et de bois. La valorisation énergétique du biogaz constitue un enjeu important en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

#### **Le projet de Calais**

Tiru a pris en charge, après appel d'offres, le suivi des travaux de méthanisation de Calais. Cette unité de production permettra d'assurer les besoins en électricité de 11 000 foyers (éclairage et électroménager, hors eau chaude et chauffage). Le biogaz permettra de produire 5 000 MWh/an. Cette opération illustre la volonté de Tiru d'élargir la gamme de ses services et de ses activités dans la valorisation des déchets organiques et la biomasse.

#### **Le projet Hyvolution**

Au niveau européen, le projet Hyvolution lancé en 2006 a pour objectif de produire de l'hydrogène à partir de la biomasse dans une usine expérimentale. L'hydrogène sera produit par des bactéries capables de digérer la matière organique. Cette installation-pilote sera développée à Wageningen (Pays-Bas), avec la contribution de 11 pays de l'UE. "Il est fondamental de passer à l'économie durable, et l'hydrogène a ici un rôle à jouer", déclare le professeur Frons Stams, du laboratoire de microbiologie de l'université de Wageningen."

On le voit, la production industrielle d'hydrogène "propre", à partir de la biomasse ne relève plus de l'utopie et devrait sortir des laboratoires d'ici une dizaine d'années. Cet hydrogène vert constitue pour la France une extraordinaire opportunité car nous avons la chance d'être un grand pays agricole et forestier et nous disposons d'une immense réserve de biomasse (déchets agricoles, bois) sous exploitée. Nous devons donc anticiper cette révolution technologique et économique et préparer dès à présent la mise en place d'une filière techno-industrielle intégrée permettant l'utilisation et la valorisation de notre biomasse pour produire de l'hydrogène mais également pour produire directement de l'électricité et de la chaleur grâce à des centrales hybrides de nouvelles générations.

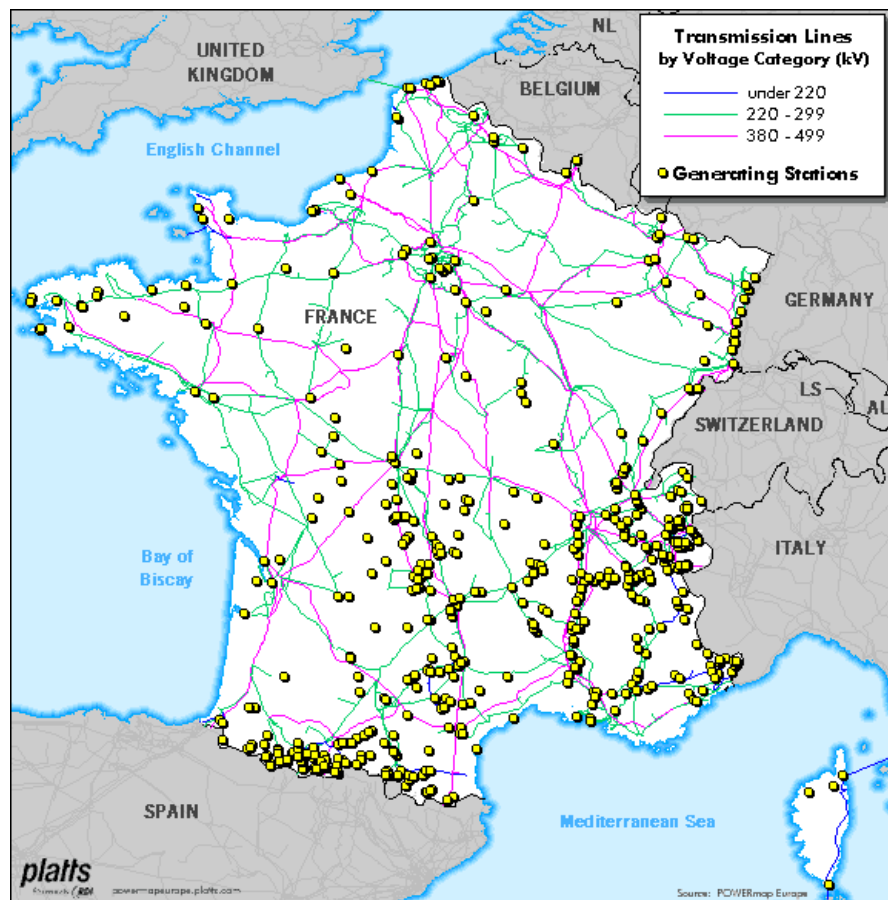
# 6. Réseau d'interconnexion

## 6.1 Réseau électrique en France

Le réseau géré par le Réseau de Transport d'Electricité (RTE) comprend environ 100 000 km de lignes comprenant deux sous-ensembles :

- les lignes de grand transport à 400 kV, qui achemine l'électricité à grande distance (sur plusieurs centaines de km). Sur ce réseau sont raccordées les lignes d'interconnexions avec les pays voisins et toutes les centrales nucléaires.
- les lignes de répartition régionale, avec trois niveaux principaux de tension : 225, 90 et 63 kV. Ce réseau assure la répartition régionale jusqu'aux réseaux de distribution à moyenne tension (20 kV), ainsi qu'aux grandes industries.

Il comprend également les postes électriques de répartition et de transformation.



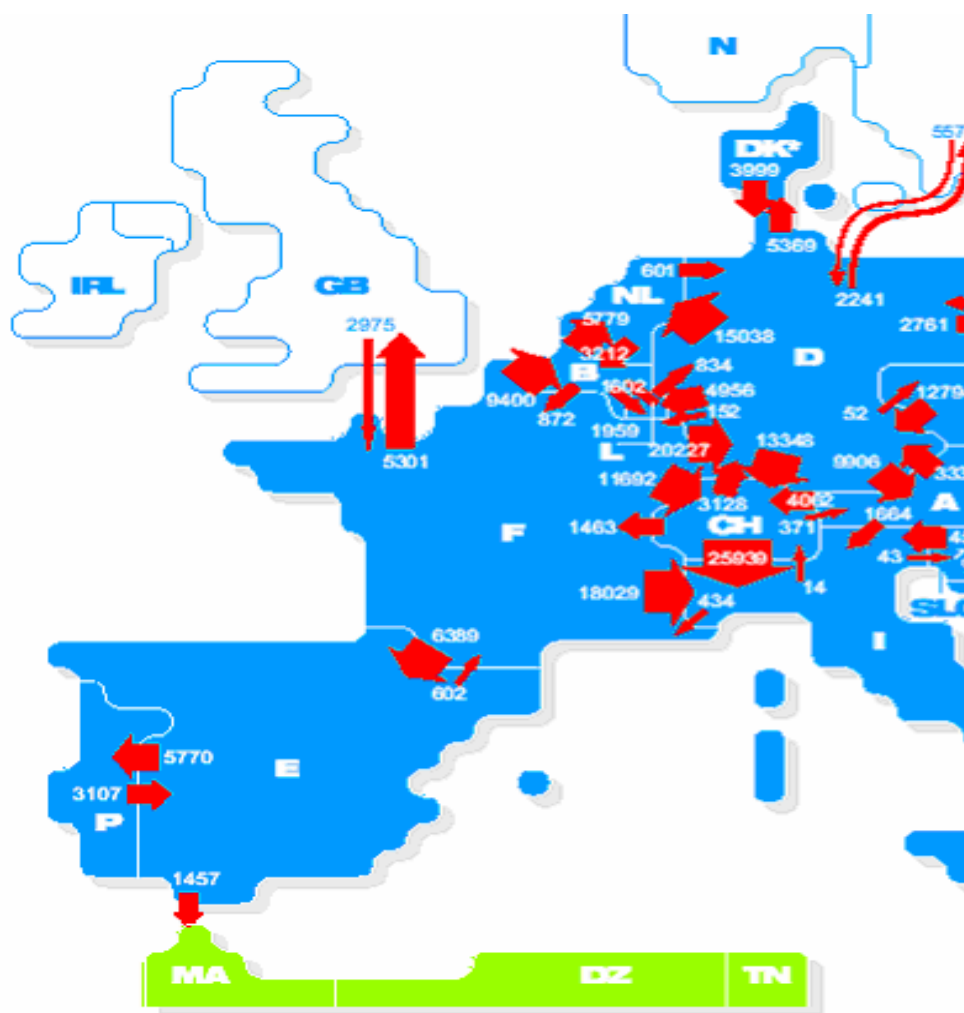
Comme vous pouvez le constater sur cette carte, la France a un très bon réseau électrique qui est largement prêt à accueillir l'électricité produites par les énergies renouvelables. Il suffirait de relier les centres de production des énergies renouvelables à ce réseau.



## 6.2 Réseau d'interconnexion en Europe

Pour des raisons historiques, le réseau [électrique](#) européen a été principalement construit sur des bases nationales, ou locales. Aujourd'hui, on observe la formation d'un véritable marché européen de l'électricité et du gaz qui devrait se développer plus rapidement encore une fois que toutes les mesures de transposition auront été prises et que les difficultés juridiques résultant notamment de l'application des règles de TVA auront été résolues. La création de ce marché communautaire de l'électricité et du gaz est d'ores et déjà visible à travers plusieurs indicateurs, notamment l'accroissement des échanges intracommunautaires d'énergie et le taux de changement des fournisseurs.

En premier lieu, alors même que les entreprises nationales de production et distribution d'électricité entamait un vaste processus d'internationalisation de leur activité, en liaison avec la libéralisation du secteur dans de nombreux pays, les échanges d'électricité ont progressé à un rythme soutenu, portés par un important effort d'interconnexion des réseaux européens, cette augmentation des capacités d'interconnexions entre des réseaux jusqu'alors juxtaposés étant l'un des objectifs majeurs de la directive électricité. La carte suivante retrace les échanges physiques d'électricité entre les Etats membres en 2003 (en GWh) : **Source** : Union for the Coordination of Transmission of Electricity (2004).



Ainsi, les échanges entre la France et ses voisins Européens ont été les suivants en 2003:

Réseau	Puissance échangée
France - Allemagne	6 GW
France - Espagne	1 GW
France - Italie	3 GW
France - Pays-Bas	2 GW
France - Royaume-Uni	2 GW

Des projets sont actuellement à l'étude. En effet, un projet de liaison Très Haute Tension (THT) entre la France et l'Espagne par le [Vallespir](#) prévoit d'augmenter les 1400 MW de capacité actuel jusqu'à 2600 MW puis 4000MW. Le projet est ralenti par les écologistes des régions concernées (Pays basque, Val d'Aran).

Cette interconnexion accrue entre les pays européens va permettre aux énergies renouvelables de se développer en Europe car la puissance dégagée avec les énergies renouvelables de tous les pays européens sera largement plus importante que si les pays restent isolés.

# 7. Remplacement du nucléaire en France

---

## 7.1 Scénarios envisageables

Les centrales nucléaires actuellement en service en France parviendront au terme de leur durée théorique d'exploitation dans les années 2020. Renoncer à l'énergie nucléaire avant cette date ne semble pas réaliste. En revanche, au-delà de 2020, différentes possibilités sont envisageables pour la production d'électricité :

- La prolongation du parc nucléaire. Très vraisemblablement possible d'un point de vue technique, cette option nécessite d'obtenir l'approbation des autorités de sûreté, et d'engager chaque année des dépenses supplémentaires dites «de jouvence » (pour maintenir le parc opérationnel). Une fois épuisées les possibilités de prolongation, le parc serait renouvelé par de nouvelles centrales nucléaires.

- Le remplacement des centrales nucléaires (sans prolongation de leur durée de vie) par les énergies renouvelables. Ce scénario serait celui d'un « abandon du nucléaire ». Il suppose des ajustements considérables du secteur énergétique français.

- Le renouvellement immédiat du parc existant par de nouvelles centrales nucléaires. Ce scénario serait celui d'un « maintien du nucléaire » dans le cas où la prolongation du parc existant se révélerait impossible sur le plan technique ou dans le cas où elle ne serait pas acceptée par les autorités de sûreté.

## 7.2 Impact microéconomique

La prolongation du parc nucléaire existant paraît constituer le meilleur choix du point de vue microéconomique. Elle permet de produire une électricité très compétitive (8cF2000/kWh), le coût de construction des centrales étant déjà amorti et les dépenses de jouvence se situant très vraisemblablement à un niveau modeste. Par rapport à ce scénario, les autres choix se traduiraient par une augmentation importante du coût de production de l'électricité, plus marquée en cas d'abandon du nucléaire (+15cF2000/kWh) qu'en cas de construction de nouvelles centrales nucléaires (+10cF2000/kWh).

En cas d'abandon du nucléaire, la hausse des coûts de production de l'électricité se répercuterait sur l'économie selon différents mécanismes, dépendant de la relation entre coût de production d'EDF, d'une part, et prix de vente du courant, d'autre part.

- Si EDF facture le courant au niveau du coût de production qu'il supporte, le prix de l'électricité subira un choc à la hausse entraînant une augmentation des coûts de production des entreprises, ainsi qu'une diminution du pouvoir d'achat des consommateurs. (On peut noter qu'un tel mode de tarification, fondé sur les coûts de court terme des producteurs, serait néfaste car il adresserait un mauvais signal économique aux consommateurs et ne permettrait pas de couvrir les coûts de long terme, notamment le renouvellement des centrales utilisées.)

- Si EDF facture le courant au prix de marché de l'électricité sur la plaque continentale européenne (prix formé sur le coût de production des centrales à gaz), les consommateurs ne subiront aucune hausse de prix mais EDF verra son résultat d'exploitation amputé.

La seconde hypothèse semble la plus probable.

### **7.3 Impact macroéconomique**

Abandonner le nucléaire ferait donc baisser la valeur d'EDF, qui pourrait diminuer au plus de 510 milliards de francs. En tout état de cause, l'abandon du nucléaire représenterait pour l'économie française un choc d'offre défavorable, analogue dans beaucoup de ses effets à un renchérissement du baril de pétrole. Le prélèvement sur le pouvoir d'achat des agents intérieurs susciterait en effet des tensions dans la répartition des revenus. La résistance des salariés à une baisse de revenu, en particulier, conduirait, compte tenu des ordres de grandeur de hausse de coût estimés, à une perte de potentiel comprise entre ½ et 1 point de PIB.

Le scénario de prolongation du parc existant paraît donc le plus judicieux sur les plans micro et macro-économiques. Il présente en outre l'intérêt de ne pas engager excessivement l'avenir. Si de nouvelles découvertes technologiques venaient accroître ultérieurement l'efficacité de moyens alternatifs de production de l'électricité, l'économie française pourrait encore en bénéficier. Pour le moment, la France doit essayer d'accroître sa production d'énergies renouvelables mais il n'est pas économiquement viable d'abandonner le nucléaire dans les années à venir.

Voici le scénario « tendanciel de référence », 2004, du ministère de l'Industrie, DGEMP. Les parcs de production d'électricité installés de 2010 à 2030, avec les hypothèses du scénario tendanciel, sont les suivants :

<i>(en MW de puissance nette installée) (*)</i>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>
<b>Nucléaire</b>	63 183	63 130	62 560	50 670
dont : - REP (et Phénix jusqu'en 2008)	63 183	63 130	57 760	13 870
- EPR	-	-	4 800	36 800
<b>Charbon</b>	8 210	5 330	7 450	12 600
<b>CCG</b>	-	1 040	5 040	13 840
<b>Fioul</b>	3 540	5 080	5 080	-
<b>TAC fioul et gaz</b>	810	810	3 510	9 600
<b>Gaz, dérivés (gaz de hauts fourneaux)</b>	310	620	620	620
<b>Thermique divers non ENR (auto-production, cogénération,...)</b>	7 700	10 400	10 400	10 400
<b>Thermique ENR (**)</b>	500	550	1 450	1 700
<b>Hydraulique</b>	25 300	25 400	25 400	25 400
<b>Éolien</b>	56	3 200	17 100	19 100
<b>Total</b>	<b>109 609</b>	<b>115 560</b>	<b>138 610</b>	<b>143 930</b>

REP = réacteur à eau légère pressurisée (parc actuel)

TAC = turbine à combustion

CCG = centrale à cycle combiné au gaz

(\*) Les valeurs pour 2000 diffèrent légèrement des données officielles de l'Observatoire de l'énergie, en raison d'une différence de méthodologie (notamment sur la prise en compte des centrales « sous cocon »).

(\*\*) Sur la base d'une production de 2,6 TWh pour 500 MW.

Direction générale de l'énergie et des matières premières, Observatoire de l'énergie, "Scénario énergétique tendanciel à 2030 pour la France DGEMP-OE(2004) - Synthèse des travaux réalisés en 2004 par l'Observatoire de l'énergie de la Direction générale de l'énergie et des matières premières", Juin 2004 -

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/prospect/pdf/scenario-2004.pdf>

Il faut rappeler que la France s'est engagée auprès de l'Europe à porter à 21 % sa part d'électricité produite par des énergies renouvelables d'ici 2010 et à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. A l'heure actuelle l'énergie hydraulique représente plus de 14 % de la production nationale d'électricité et les autres énergies renouvelables moins de 1 %. La France doit donc être beaucoup plus ambitieuse dans le développement des énergies renouvelables.

Le groupe EDF se veut ambitieux et a prévu d'investir 3 milliards d'euros dans les énergies nouvelles renouvelables : l'éolien et le solaire. Ces objectifs répondent à des attentes fortes des citoyens, des clients et des collectivités locales

## **Bibliographie**

- [www.edf.com](http://www.edf.com)
- [www.minefi.gouv.fr/directions\\_services/dgtpe/etudes/doctrav/11-2\\_2001.pdf](http://www.minefi.gouv.fr/directions_services/dgtpe/etudes/doctrav/11-2_2001.pdf)  
L'impact du remplacement du nucléaire en France
- <http://www.suivi-eolien.com/>  
L'électricité produite grâce à l'énergie éolienne
- <http://www.actu-environnement.com/ae/news/1265.php4>  
Le projet du parc éolien de l'Aveyron
- [http://www.actu-environnement.com/ae/news/Endesa\\_Nordex\\_eolien\\_2277.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/news/Endesa_Nordex_eolien_2277.php4)  
[Le projet éolien « les Vents de Cernon »](#)
- [http://www.tregouet.org/edito.php3?id\\_article=444](http://www.tregouet.org/edito.php3?id_article=444), Lettre de René Trégouët, sénateur honoraire et fondateur du Groupe de Prospective du Sénat
- [http://www.actu-environnement.com/ae/news/eolien\\_france\\_monde\\_2203.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/news/eolien_france_monde_2203.php4)  
Le développement de l'éolien en France
- <http://www.demain-la-terre.net/Eoliennes-comment-ca-marche>  
Le potentiel éolien en France
- [www.espace-eolien.fr/Eolien/200twh.htm](http://www.espace-eolien.fr/Eolien/200twh.htm)  
L'énergie éolienne à l'horizon de 2040
- [www.thewindpower.net/23-eoliennes-potentiel.php](http://www.thewindpower.net/23-eoliennes-potentiel.php).  
Le potentiel éolien en Europe
- <http://edm13.com/CONSTAT%202020.htm>  
Le marché de l'électricité en France en 2020
- [www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr)  
Bilan des énergies renouvelables en France
- [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)  
Cartes du potentiel de biogaz, du potentiel solaire.
- [www.edf-energies-nouvelles.com](http://www.edf-energies-nouvelles.com)
- [www.tenesol.fr](http://www.tenesol.fr)
- [www.tiru.fr](http://www.tiru.fr)
- [www.ecoalternative.com](http://www.ecoalternative.com)