

QUELLE ENERGIE POUR DEMAIN ?

Depuis la première édition de cette fiche, les perspectives énergétiques ont évolué de manière considérable. Chaque mois nous apporte des connaissances et des initiatives nouvelles. Mais, on déplore bien souvent des informations fallacieuses et démagogiques qui trompent le public en propageant des espoirs ou des peurs irraisonnées. Cette nouvelle édition tente de présenter les données actuelles et futures dans le domaine de l'énergie.

1. ÉNERGIE PRIMAIRE, ÉNERGIE FINALE ¹

- **l'énergie primaire** est disponible dans la nature avant toute transformation. Si elle n'est pas utilisable directement, elle doit être transformée en une source d'énergie secondaire pour être mise en œuvre. On distingue la production d'énergie primaire, de son stockage et son transport sous la forme d'énergie secondaire, et de la consommation d'**énergie finale**
- **l'énergie secondaire** est elle-même transformée en énergie finale au stade de l'utilisation. Ainsi l'énergie mécanique d'une chute d'eau, transformée en électricité puis transportée sous cette forme peut-elle produire chez l'utilisateur final de l'énergie électrique pour différentes utilisations (éclairage, froid, chauffage, ...)
- **formes d'énergie primaire** : Nucléaire, Hydraulique, Solaire, Eolienne, Biomasse, Combustibles fossiles (charbon et lignite, pétrole, gaz naturel), Marées, Géothermie, Chimique.
- **formes d'énergie finale** : Mécanique, Électrique, Thermique, Rayonnante,
A noter que la correspondance entre énergie primaire et énergie finale dépend de la nature de l'énergie primaire et des techniques. Ainsi pour la production d'électricité la relation entre le **kWh** (kilowatt.heure) et le **tep** (tonne équivalent pétrole, unité d'énergie primaire) est de 0,221 tep pour 1 kWh pour le nucléaire et de 0,086 tep pour 1 kWh. Ceci explique pourquoi, alors que le nucléaire et l'hydraulique contribuent à peu près autant à la production d'électricité, l'énergie primaire nucléaire est comptée près de trois fois plus que celle de l'hydraulique

2 . LES SOURCES D'ÉNERGIES DISPONIBLES AUJOURD'HUI

2.1. APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE PRIMAIRE DANS LE MONDE (en 2004) ² :

- **81% provient de réserves fossiles** (charbon, pétrole, gaz), **10% de la biomasse** où le bois est prépondérant, **6% du nucléaire** civil, **2% de l'Hydraulique**, **0,5% des autres renouvelables**

2.2. ÉNERGIE PRIMAIRE CONSOMMÉE EN 2006

par l' EUROPE des 15		dans le monde	
• Fossiles :	79,2 %		80%
• Nucléaire :	15,1% (grâce à la France)		6,7%
• Biomasse :	3,8%		11,1%
• Hydraulique :	1,9%		2,2%
• Autres renouvelables :	0,9%		-0

> Les combustibles fossiles restent très largement prépondérants.

> Un africain consomme en moyenne 7 fois moins d'énergie qu'un européen, et dans les pays les plus pauvres, la consommation par habitant est 10 fois moindre.

2.3. ÉNERGIE PRIMAIRE CONSOMMÉE EN FRANCE en 2005 : 276 MTEP (milliards de tonnes équivalent pétrole)

Entre 1973 (1er choc pétrolier) et 2006 :

La consommation totale d'énergie a augmenté de 53%.

La ressource fossile (charbon +pétrole+ gaz) est passée de 91 à 52 %.

L'hydraulique et les autres énergies renouvelables restent à 17 %, sensiblement au même niveau.

L'électricité primaire (nucléaire+ hydraulique, éolien, solaire) a augmenté de 213 %, le nucléaire étant très faible en 1973 ; l'augmentation moyenne annuelle a été de 5,5 %.

Les renouvelables thermiques (biomasse, géothermie) ont augmenté de 30%, mais dans le total leur part a diminué de 5,3 à 4,8%. Le nucléaire est passé de 1 à 35 %, il dépasse le pétrole.

2.4. PRODUCTION ÉLECTRIQUE

2. 41 Dans le monde

Près des 2/3 de la production électrique (64 %) provient des réserves fossiles, le nucléaire fournissant 17 % et le renouvelable 19 %, dont 17 % l'hydraulique.

2 milliards d'êtres humains n'ont actuellement pas accès à l'électricité.

2. 42 En France, en 2008 ³

Nucléaire : 439 TWh = 439 Milliards de kilowattheures

Hydraulique : 69 TWh

Thermique classique : 60 TWh

Énergies renouvelables : 5,7 TWh

3. L'ÉNERGIE D'ORIGINE FOSSILE

Si des progrès ont été faits pour diminuer les rejets toxiques provenant de la combustion des produits fossiles, les émanations de gaz carbonique (CO₂), l'effet de serre qu'il provoque et le déséquilibre qu'il peut entraîner sur les conditions de vie à la surface de la terre restent très préoccupants.

A Kyoto, les nations industrialisées ont pris des engagements pour diminuer d'ici 2012 leurs rejets de CO₂ sous peine de sanctions financières. C'est ainsi que l'Allemagne devra réduire de 21 % ses rejets; la France n'a pas été taxée grâce à ses centrales nucléaires (sans elles, ce serait 300 millions de tonnes supplémentaires de CO₂ envoyées par an dans l'atmosphère). La Chine qui n'a pas signé le Protocole de Kyoto a gardé sa liberté d'utilisation de son charbon; toutefois, les réalisations en cours de centrales nucléaires montrent que les dirigeants chinois prennent conscience des problèmes à venir.

Une nouvelle conférence sous l'égide de l'ONU va se tenir en décembre 2009 à Copenhague pour fixer de nouveaux objectifs

Du fait de leur origine, les produits fossiles sont en quantité limitée dans le sous-sol de la terre.

Nos arrières grands- parents sont nés au début de la consommation des réserves qui se sont formées durant des millénaires et nos arrières petits-enfants en verront l'épuisement ...

4. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

A l'horizon 2020, l'objectif de la Commission Européenne est d'atteindre, en énergies renouvelables, 20 % de la production totale. Ceci semble bien ambitieux.

4.1.L'ÉNERGIE ÉOLIENNE (voir [fiche GASN N° 31](#))

De tout temps l'homme a exploité le vent comme source d'énergie. Son application à la production d'électricité élargit son domaine d'application.

Le gisement français de l'éolien est de l'ordre de 12 000 mégawatts électriques.

La puissance nominale (ou puissance installée) d'une éolienne est en moyenne de 2Mwe, elle peut atteindre actuellement 5 MWe, mais la puissance disponible varie en fonction du cube de la vitesse du vent (Loi de Betz), quand celle-ci est divisée par 2 ou 3 la puissance disponible est divisée par 8 ou 27.

Lorsque la vitesse est supérieure à 90 km.h ou inférieure à 15 km.h, la machine est arrêtée.

Les grandes éoliennes de puissance, en général de plusieurs mégawatts, sont regroupées en parc éolien de plusieurs machines reliées entre elles et connectées au réseau. Ces machines peuvent atteindre une centaine de mètres de haut avec une hélice de 60 mètres de diamètre. Elles sont disposées dans les endroits les plus venteux.

Toutefois le vent n'est exploitable en moyenne que 20% du temps (en Allemagne où le parc éolien est significatif, la moyenne est de 16%), ce qui nécessite de disposer d'une capacité énergétique de substitution assurée par des centrales à flamme classiques ou des centrales nucléaires fonctionnant à une puissance moyenne inférieure à leur puissance nominale (il faut redonder par 90% de la puissance installée).

Actuellement le prix de revient du kW éolien est deux fois plus élevé que le kW nucléaire.

EDF est dans l'obligation de racheter aux producteurs l'électricité d'origine éolienne à des tarifs très avantageux de 83,4 c€/kWh pour l'éolien terrestre et de 132,5 pour l'éolien offshore.

Les collectivités locales perçoivent également une taxe professionnelle conséquente.

L'objectif européen est de produire 20% de l'électricité à partir d'énergie renouvelable.

Ceci signifie pour la France, compte tenu de sa production actuelle, la capacité de produire 5.7 GW essentiellement à l'aide de l'éolien. En supposant un rendement éolien de 25%, ce qui est sans doute supérieur aux possibilités, ceci demande l'implantation de ~12 000 éoliennes de 2 MW soit une installation qui pourrait s'étendre sur 4600 km linéaires. L'avantage de l'éolien reste de pouvoir réduire partiellement les émissions de CO2 des centrales à combustible fossile installées.

4.2. L'ÉNERGIE SOLAIRE (cf. [fiche GASN N° 37](#))

Le soleil est une énorme boule de gaz chaud qui produit de l'énergie et qui rayonne en permanence. C'est une énergie renouvelable dont l'homme a compris depuis longtemps l'intérêt. Le rayonnement solaire est transformé directement en chaleur ou en électricité. Il existe trois filières : thermique, thermodynamique, photovoltaïque.

Le solaire thermique est utilisé principalement dans les installations domestiques pour le chauffage de l'eau ou des locaux.

Le solaire thermodynamique est connu depuis l'antiquité (Au siège de Syracuse, Archimède a incendié la flotte ennemie à l'aide de puissants miroirs concentrant le soleil sur les bateaux).

Le principe de base utilisé est l'obtention de température élevée par la concentration du rayonnement solaire en un seul foyer. Cela rend possible le réchauffement de fluides caloporteurs à des températures allant de 250 à 1000°C; ces fluides transportent la chaleur vers un réservoir d'eau, il y a alors production de vapeur d'eau qui entraînera un turboalternateur pour produire de l'électricité.

Le solaire photovoltaïque (voir [fiche GASN N° 28](#)) convertit directement l'énergie en électricité.

Puissance totale d'origine solaire arrivant sur terre = $1,7 \cdot 10^{17}$ watts = 1,7 million de milliards de KW

Puissance reçue au-dessus de l'atmosphère terrestre = $1,4 \text{ kW/m}^2$

Puissance reçue au niveau du sol (0,4 kW renvoyés) = $1,0 \text{ kW/m}^2$

Ces deux valeurs sont calculées comme si la terre était un disque perpendiculaire au rayonnement solaire. Si l'on divise la puissance totale P ($1,7 \cdot 10^{17} \text{ W}$) par la surface de la sphère, on obtient **la puissance réelle moyenne reçue à la surface de la terre, soit $0,25 \text{ kW/m}^2$.**

Au niveau d'une cellule photo-voltaïque, les quelques chiffres cités sont des ordres de grandeur plutôt optimistes.

On raisonne à partir d'une cellule disposée perpendiculairement au rayonnement solaire, avec ensoleillement idéal. $P = 1,0 \text{ kW/m}^2$ est alors la puissance maximale ou « puissance crête ». Pour passer à l'énergie annuelle reçue, on tient compte des défauts d'ensoleillement et des changements d'inclinaison. Les 8 760 heures/an sont corrigées, en France et en moyenne, à 1 500 heures.

En moyenne, l'énergie reçue par m^2 français est donc égale à $1\,500 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

Si le rendement de conversion rayonnement/électricité est de 15 % (valeur admise dans certaines conditions), **l'énergie fournie par le photo-voltaïque est de $225 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.**

Pour un panneau de 20 m^2 , taille habituelle d'une « installation domestique intégrée au toit », l'énergie fournie est donc de 4500 kWh/an .

Achetée par EdF au prix obligé de 60 c€/kWh, le rapport de cette installation est donc de ~2700 euros par an payés par les clients de EdF, au titre du « CSPE », sur leurs factures.

4.3. L'ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE

En France et plus généralement en Europe, la quasi totalité des sites disponibles sont équipés, et il est difficile d'envisager de nouveaux ouvrages sans porter atteinte à l'environnement, l'agriculture ou l'urbanisme.

Dans le monde, des ouvrages gigantesques sont réalisés ou en construction comme,

le barrage des trois gorges.

Construit sur l'immense fleuve Yangtze, il a été terminé en novembre 2008. Ses 2 309 mètres de long et 185 mètres de hauteur en font le premier complexe hydroélectrique au monde et l'un des ouvrages entrepris par l'homme les plus importants à ce jour. La production électrique est de 84,7 milliards de kWh par an. Un immense lac de 660 km de long a noyé des villes et 2000 sites archéologiques. 1,8 millions d'habitants ont été déplacés. Les conséquences écologiques sont irréremédiables.

4.4. LES MARÉES

La puissance nominale de la seule usine marée motrice installée sur la Rance en Bretagne, est de 250 MWe. Les résultats n'ont pas été à la hauteur des espérances, les modifications de l'écosystème en amont et en aval du barrage sont considérables. Dans le monde, aucune autre usine n'a été construite sur ce principe.

4.5. LA GÉOTHERMIE

Les eaux géothermales

La récupération de la chaleur dans des gisements d'eaux souterraines dites « eaux thermales » est connue et exploitée depuis l'antiquité pour le chauffage des habitations, piscines, serres La température ~ 80°C ne permet pas de produire de l'électricité.

La géothermie profonde

Les roches du sous-sol de notre planète sont en permanence réchauffées par le flux thermique dû à leur radioactivité. Nous vivons donc sur un stock d'énergie pratiquement infini. La géothermie à haute température permet de produire de l'électricité. EDF exploite ainsi, depuis 1996, la première et unique centrale géothermique qui produit industriellement de l'électricité dans le monde. Cette centrale est située à Bouillante en Guadeloupe. EDF soutient également des expérimentations comme la centrale géothermique de Soultz-sous-Forêts ⁴.

4.6. LA BIOMASSE ⁵ (voir [fiche GASN N° 40](#))

Ce terme regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie : bois, déjections, déchets d'exploitation des récoltes et des forêts. Le potentiel énergétique mondial est très important. La biomasse en brûlant ne libère que la quantité de CO₂ que la plante a consommé pendant sa croissance. Le bilan carbone est nul si la récolte des combustibles n'est pas source de rejets de gaz à effet de serre et si les plantes récoltées sont soigneusement remplacées par de nouvelles. Son usage dans le domaine du chauffage permettrait d'économiser des quantités considérables de combustibles fossiles. La transformation de la biomasse en agro-carburants, éthanol ou diester, nécessite beaucoup d'énergie (1litre de pétrole pour produire 1,5 l. d'éthanol), de terres agricoles, d'eau et d'engrais.

5. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

5.2. ORIGINE

Au début de l'Univers, à la création de la terre il y a 4,5 milliards d'années, les atomes étaient, pour l'essentiel, radioactifs : «la terre est faite de cendres des réactions primitives nucléaires» (Professeur Charpak). Seuls sont actuellement encore radioactifs les atomes qui ont une période supérieure au milliard d'années comme le potassium 40, l'uranium, le thorium. Le soleil est un énorme générateur thermonucléaire; toute l'énergie que nous consommons en provient ; sans elle, il n'y aurait pas de vie possible.

5.3. LA DÉCOUVERTE

La découverte de la radioactivité par Henri Becquerel date d'un siècle (1896). Les observations sur l'effet des rayonnements ionisants sont apparues, principalement dans le corps médical avec les radiodermites et les leucémies dues essentiellement à l'utilisation mal contrôlée des appareils de radiographie mais c'est surtout à la fin de la deuxième guerre mondiale, les bombes d'Hiroshima et Nagasaki qui ont bouleversé la vision du monde entier.

On peut, schématiquement, diviser la «vision» du nucléaire, sa perception, en trois catégories :

- le nucléaire «accepté» : celui qui touche à la santé : l'usage des rayonnements est entré dans la pratique courante des hôpitaux
- le nucléaire «discuté» : l'électronucléaire, dont les sondages traduisent des positions divergentes
- le nucléaire «redouté» : celui de l'arme nucléaire

5.3 PRÉVISIONS, ÉVOLUTION

La puissance électronucléaire mondiale installée au 31/12/2007 est de 372 Gigawatts électrique (Gwe); 33 réacteurs étaient en construction pour une puissance de 27 Gwe.

La puissance électronucléaire installée en France est de 63 Gwe (1kilowatt par français) soit environ 17 % de celle en service dans le monde. Les prévisions ne font pas ressortir d'évolution sensible.

On assiste dans le monde à des intentions de développement de l'énergie nucléaire, même par certaines nations qui avaient par le passé décidé d'y renoncer.

En France il est nécessaire de prévoir le remplacement des réacteurs à fission actuels au fur et mesure qu'ils arriveront en fin de vie.

Un réacteur EPR (voir [fiche GASN N° 13](#)) est en construction à Flamanville, un autre est commandé sur le site de Penly. Un est en construction en Finlande, d'autres sont commandés en Chine, USA, Grande Bretagne, et prochainement Italie. En France, les réacteurs en cessation définitive d'exploitation seront progressivement remplacés par des EPR plus puissants (1600 MWe contre 900 MWe).

Il serait opportun de décider une production de série.

Les réserves d'uranium connues représentant 100 à 120 ans de la production mondiale actuelle, il est indispensable de multiplier cette durée grâce aux surgénérateurs (réacteurs à neutrons rapides) de 4ème génération (voir [fiche GASN N° 22](#)).

Le surgénérateur est une étape indispensable tant que la production d'électricité par fusion contrôlée (voir fiche GASN N° 16) n'aura pas atteint un stade de développement industriel.

5.4 LA SÛRETÉ

En France, l'industrie nucléaire s'est organisée autour de l'impératif de sûreté. Dès l'origine, toutes les dispositions ont été prises pour éviter tout impact dommageable, dès la conception, pendant la construction et l'exploitation jusqu'au démantèlement. Ceci afin d'assurer le fonctionnement des installations, de prévenir un accident et de limiter ses conséquences dans le cas éventuel où il se produirait.

La multiplicité des mesures de sûreté dans le nucléaire ont été plus exigeantes que celles existant dans toutes les autres industries (voir [fiche GASN N° 20](#)).

Aucun accident majeur n'est venu affecter le fonctionnement de nos 58 réacteurs du parc actuel.

Compte tenu du nombre de réacteurs et de leur durée d'exploitation, en fin 2008 cela équivalait à 1640 années de fonctionnement cumulées sans accident⁶.

6. CONCLUSION

En conclusion de cette présentation rapide, il convient de retenir :

- l'augmentation de prix des combustibles fossiles et leur épuisement programmé, le réchauffement climatique engendré par l'utilisation forcée des combustibles fossiles, l'augmentation de la population mondiale et les besoins énergétiques des pays « émergents » et pauvres, toutes ces constatations nous conduisent à mesurer le besoin **énorme** en production d'énergie pour que l'humanité puisse vivre avec un niveau de vie décent. Hormis celles qui émettent des Gaz à Effet de Serre, toutes les énergies seront nécessaires
- les efforts d'économie d'énergie restent indispensables (transport, isolation thermique, augmentation des rendements thermiques, etc.) dans les pays riches qui gaspillent l'énergie mais pas dans les pays pauvres qui occasionnent en partie l'accroissement mondial de la demande. mais ne compenseront certainement pas l'accroissement de la demande
- les énergies renouvelables connaissent un développement considérable mais elles ne sont pas susceptibles de fournir plus de 20% (en comprenant l'hydraulique) de l'énergie consommée mondialement
- le nucléaire apparaît être la meilleure réponse technique aux besoins actuels et futurs. Il ne génère aucun rejet de CO₂. La sûreté est maîtrisée. Les solutions existent pour régler le problème des déchets très radioactifs, du fait de leur très faible volume, une fois le combustible retraité
- après un débat national public suivi d'un rapport de l'Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Techniques, la loi de 2006 définit les modes de stockages. La transmutation des déchets de haute activité à vie longue est identifiée comme un axe de recherche prioritaire qui a justifié la prolongation de la durée de vie du réacteur Phénix jusqu'en 2009. Les essais pourront être poursuivis dans le futur réacteur de démonstration ASTRID⁷ dont la mise en service est prévue pour 2020

- le parc nucléaire français produit l'équivalent d'un kilogramme de déchets radioactifs par habitant et par an dont 10g seulement sont fortement radioactifs, 95 g de faible et moyenne activité à vie longue et 900 g de faible et moyenne activité à vie courte
- par comparaison, toujours par habitant et par an, on recense 2500 kg de déchets domestiques, et 2900 kg de déchets industriels dont 70 kg de déchets ultimes très toxiques (cf. voir [fiche GASN N° 3](#))
- les décisions qui seront prises dans les prochaines années vont peser sur l'avenir des générations futures

REFERENCES

- 1- Wikipedia
- 2- Mémento sur l'Energie 2008 , page 19
- 3- Site RTE
- 4- Site EDF
- 5- Plaque SLC- octobre2009
- 6- Les centrales nucléaires dans le monde 2008,
- 7- Les défis du CEA, n°144 – octobre 2009

Pour en savoir plus :

Mémento sur l'Energie 2008 – CEA/Direction de la Stratégie et de l'Evaluation
ELENUC, Les centrales nucléaires dans le monde 2008 - CEA
L'ENERGIE DE DEMAIN – J.L.Bobin ; E.Huffer ; H.Nifenecker –EDP/Sciences, 2005.
QUELLES ENERGIES POUR DEMAIN ? : 94 questions à Christian Ngô - Spécifique Editions 2007
www.energetique.com
www.sauvonsleclimat.org
www.cea.fr