

ÉVOLUTION DU BESOIN ÉNERGÉTIQUE DANS LE MONDE

1. A-T-ON BESOIN D'ÉNERGIE ?

Energie vient du grec *energeia* qui signifie « force en action ». De tout temps, l'homme a eu besoin de l'énergie. Elle a été l'élément lui permettant de couvrir ses besoins, besoins vitaux dans un premier temps, puis besoins de confort pour les sociétés les plus avancées. Au début du 20^{ème} siècle, la découverte de la relativité a mis en évidence une relation directe entre matière et énergie. L'univers n'étant pas un système statique, il échange de l'énergie en se transformant perpétuellement. Nous n'échappons pas à cette règle. Nous sommes de l'énergie et avons besoin d'énergie pour exister.

2. DE COMBIEN D'ÉNERGIE A-T-ON BESOIN ?

Les systèmes vivants ont besoin d'un minimum d'énergie pour vivre et se reproduire. Pour l'homme, il lui faut de plus alimenter sa capacité créatrice qui est très consommatrice d'énergie¹ et qui lui donne sa supériorité. Combien a-t-il fallu d'énergie pour passer de l'homme des cavernes à l'homme du 21^{ème} siècle ?

De plus, la terre étant un système isolé, il est indispensable de penser le problème dans son ensemble et dès maintenant tenir compte de l'augmentation de la population qui atteindra 9 milliards d'individus dès 2050 dont 5 milliards qui voudraient consommer comme nous.

Quelles que soient les économies d'énergie que l'on peut imaginer, on voit que le besoin mondial ne peut qu'augmenter rapidement et devenir difficile à satisfaire à moyen terme sans la maîtrise de nouveaux concepts techniques et sociétaux.

3. DE QUELLE ÉNERGIE DISPOSE-T-ON ?

La terre dispose de deux sources : l'énergie externe qu'elle reçoit et l'énergie interne liée à son propre état.

Energie externe

L'énergie externe provient du rayonnement que reçoit la terre, essentiellement fourni par le soleil. L'énergie moyenne déposée est de 1450 W par m², dont une grande partie repart dans l'espace. La température sur terre serait de -18° C sans l'effet de serre qui maintient cette température moyenne à 15°C (voir [fiche GAENA N° 14](#)). Ce dépôt énergétique peut être récupéré soit directement sous forme de chaleur soit par capture d'électrons dans un matériau semi conducteur. **Energie solaire directe** (voir [fiche GAENA N° 28](#)).

Il met également en œuvre des processus qui, alliés à la rotation de la terre et à l'action de la lune, nous permettront de récupérer une certaine quantité de cette énergie :

Réchauffement de l'atmosphère avec création de vents	Energie éolienne (voir fiche GAENA N° 31)
Réchauffement de la mer avec les courants marins	Energie marine (voir fiche GAENA N° 44)
Phénomènes de marée (attraction lunaire)	Energie marée motrice (voir fiche GAENA N° 44)
Mise en œuvre du cycle climatique pluie neige...	Energie hydraulique
Photosynthèse	Energie biomasse (voir fiche GAENA N° 40)
	Energie fossile

Les énergies fossiles sont le résultat de la biomasse accumulée et transformée pendant des centaines de millions d'années.

¹ Par abus de langage on utilise la notion de « consommation d'énergie » alors qu'en réalité c'est une notion d'échange, la transformation d'une énergie en une autre énergie

Energie interne

La terre est un système qui dispose en son centre d'un noyau très chaud, la chaleur provenant de la désintégration de l'uranium et du thorium.

Ce noyau est entouré d'un manteau isolant qui nous protège, mais en contrepartie limite le flux de chaleur et donc l'énergie que nous pouvons récupérer ?

Energie géothermique

Elle est également constituée d'un certain nombre d'éléments qui permettra, après transformation, de créer de l'énergie.
Ce sont **les éléments radioactifs et l'hydrogène**

4. COMMENT METTRE EN ŒUVRE TOUTES CES ÉNERGIES ?

La première énergie utilisée par l'homme a été la biomasse. C'était le bois et la tourbe pour le chauffage et la cuisson des aliments. Puis l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique ont été les principales sources énergétiques jusqu'au 18^{ème} siècle. Ce fut l'époque des moulins (à eau et à vent) qui ont permis de nourrir les populations.

L'utilisation du charbon et le développement industriel ont sonné le déclin des énergies traditionnelles, biomasse, hydraulique et éolien. Enfin le pétrole, par son haut rendement et sa facilité d'utilisation, a donné à l'homme son autonomie et sa liberté de circulation.

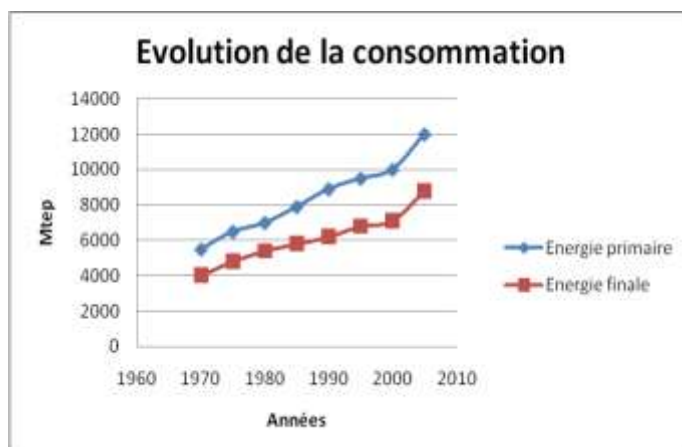
La découverte de l'électricité, comme moyen de transport de l'énergie, a permis d'apporter cette énergie directement sur les lieux d'utilisation et de mettre en œuvre d'autres moyens production comme le nucléaire. Elle a également permis de réactiver les moyens abandonnés comme l'hydraulique et l'éolien.

Actuellement on dispose des énergies fossiles en utilisation directe (charbon, pétrole, gaz) et des gaz de schiste², des sources renouvelables (biomasse, géothermie, solaire thermique) et de pratiquement toutes les autres sources d'énergie pour produire de l'électricité. L'hydrogène, dans sa forme de production actuelle, est considéré comme un vecteur d'énergie³.

5. QUELS SONT LES BESOINS ÉNERGÉTIQUES DANS LE MONDE ?

5.1. DÉFINITION DES DIFFÉRENTES ÉNERGIES

L'énergie primaire est celle qui est disponible dans la nature avant toute transformation (bois charbon, gaz, pétrole brut, vent, soleil, hydraulique géothermique). **L'énergie finale** est l'énergie délivrée aux consommateurs (électricité au compteur, essence, gaz, gasoil, fuel). Elle devient énergie utile après sa dernière conversion.



Graphique 1 : Evolution de la consommation d'énergie dans le monde (en Mtep)

² Les gaz de schiste, dont la prospection est actuellement interdite en France, pourraient, à l'avenir prendre une part importante dans le bilan énergétique français. Ils sont exploités depuis plusieurs dizaines d'années dans certains pays.

³ L'hydrogène n'existe pas à l'état naturel. Il est toujours associé à d'autres éléments. Actuellement il est produit à 95 % à partir de combustibles fossiles avec une forte production de CO₂ (Gazéification du charbon, reformage du méthane). Les autres techniques décarbonées sont les cycles thermochimiques avec cogénération électricité-hydrogène et l'électrolyse de l'eau (électrolyse de la vapeur d'eau à haute pression). Ces techniques de production font que l'hydrogène est actuellement considéré plus comme un vecteur d'énergie. Mais les nouvelles techniques par photosynthèse (photo fermentation micro-algues + bactéries + lumière) en feront une source d'énergie à part entière. Malgré les difficultés, la recherche sur la photosynthèse artificielle laissent entrevoir une issue prometteuse. L'hydrogène est également un moyen de stocker l'électricité et ainsi de gérer l'intermittence des énergies renouvelables. Il est utilisé directement comme carburant dans les moteurs ou dans les piles à combustible pour refaire de l'électricité, avec un rendement global très faible.

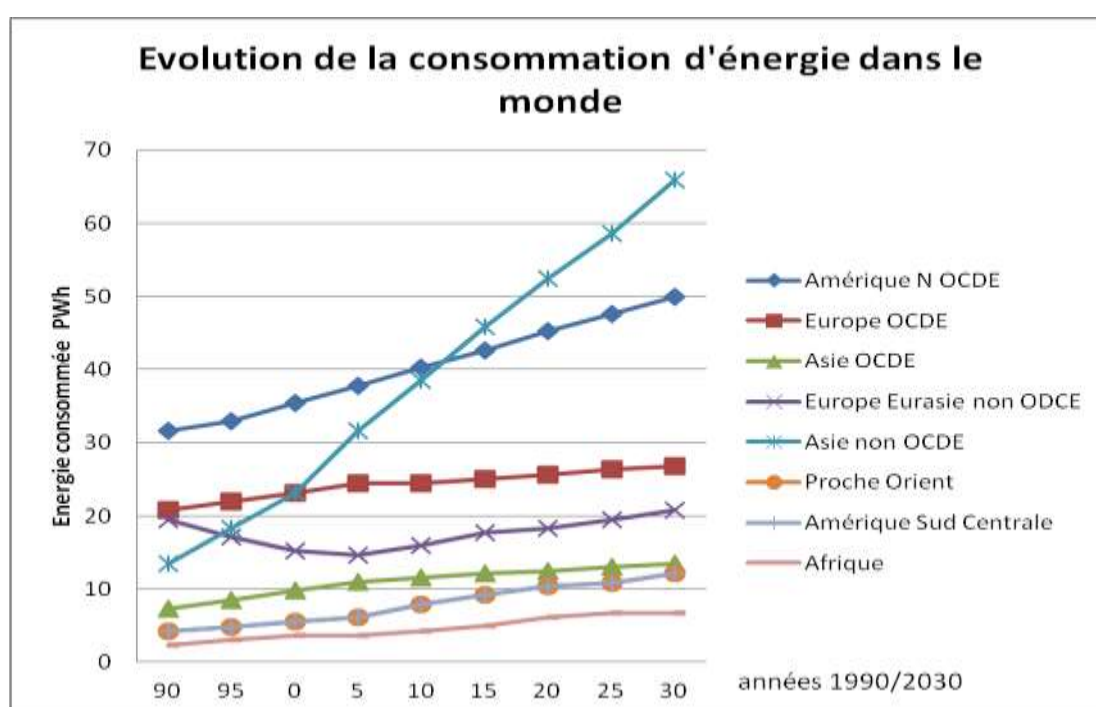
On introduit également la notion **d'énergie secondaire** lorsqu'il y a transformation d'une énergie en une autre énergie (charbon, pétrole, en électricité par exemple). Pour l'électricité provenant de sources non fossiles on utilise également la notion **d'énergie électrique primaire**.

Le graphique 1 ci-avant montre l'évolution de la consommation mondiale en Mtep⁴ des deux énergies primaires et finales sur les 40 dernières années. Les écarts grandissants entre les deux courbes viennent en grande partie de la transformation de plus en plus importante des énergies fossiles en électricité⁵.

5.2. PROJECTION D'ÉVOLUTION SUR LES 20 PROCHAINES ANNÉES

Une période de 20 à 25 ans représente un pas de génération, ce qui correspond à une évolution sensible mais continue de la société et de son fonctionnement. Une extrapolation à plus long terme (50 ans) nécessite des projections sur l'avenir qui peuvent être remises en cause par l'apparition et la mise au point de nouvelles technologies.

Le graphique 2 ci-dessous montre une évolution probable de la consommation d'énergie dans le monde sur les 30 prochaines années. On note une forte progression des pays asiatiques due à une croissance économique accélérée des pays en développement et notamment de la Chine et de l'Inde.



Graphique 2 : Evolution de la consommation d'énergie dans le monde en PWh⁶

Les pays d'Amérique du nord maintiendront probablement leur rythme de croissance de consommation, tandis que les pays européens, à faible croissance démographique et sensibilisés par les économies d'énergie et l'écologie, resteront sur un rythme plus modéré.

Le tableau 1 donne quelques estimations de l'évolution de la consommation sur les 20 prochaines années.

Evolution	Pays asiatiques hors OCDE	Amérique du nord	Europe OCDE
% sur 20 ans	71	24	10
% par an	3,5	1,2	0,5

Tableau 1 : Evolution en % de la consommation sur 20 ans

⁴ **Mtep** : Mégatonne équivalent pétrole = million de tonnes équivalent pétrole. 1 Tep = 11 700 kWh.

⁵ Le rapport entre énergie primaire et énergie finale est de 10 % pour le pétrole et le charbon, de 20 % pour le gaz naturel compte tenu de transport, et de 25 à 60 % pour la production de chaleur et la conversion en électricité.

⁶ **PWh** : Pétawatt heure = 10¹² kWh = million de million de kWh.

La moitié environ de l'augmentation de la demande mondiale en 2030 sera imputable à la production d'électricité et le cinquième aux besoins des transports notamment sous forme de combustibles à base de pétrole.

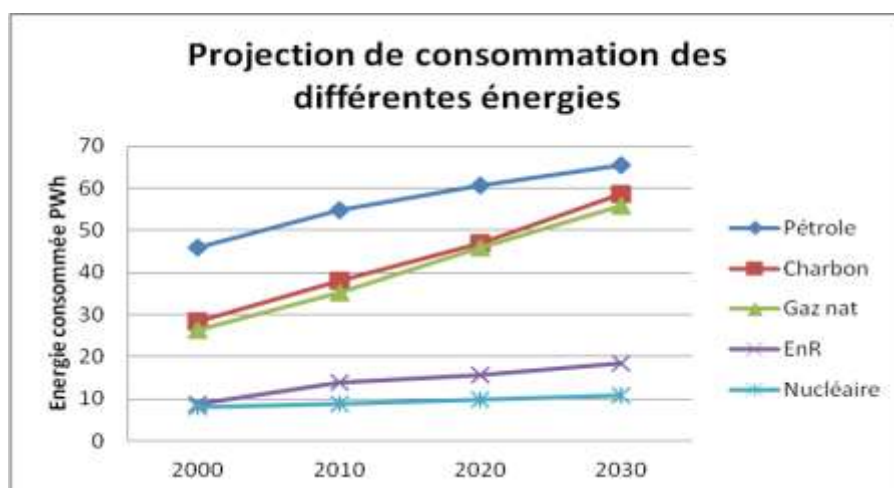
6. SUR QUELS CRITÈRES CHOISIR LES MOYENS ÉNERGÉTIQUES DU FUTUR ?

Le choix de la politique énergétique dépendra :

- des besoins vitaux des populations ce qui est fondamental pour les pays du tiers monde. Le doublement de la consommation énergétique semble réaliste et indispensable pour les pays en voie développement
- de paramètres techniques tels que :
 - le prix de l'énergie
 - la capacité de production
 - la production de gaz à effet de serre (GES), comme le CO₂, facteurs de réchauffement climatique
- et de paramètres plus subjectifs comme :
 - les risques majeurs
 - la protection des paysages et de l'environnement

La forte demande des pays en développement **conduira sans aucun doute à un fort renchérissement des énergies fossiles**. De 128 PWh d'énergies primaires consommées actuellement dans le monde, le besoin devrait atteindre 180 PWh soit une augmentation de 40 % en 20 ans.

Le graphique 3 ci-dessous donne les prévisions d'évolution de la consommation des différentes énergies entre 2010 et 2030.



Graphique 3 : Projection des consommations d'énergie par origine

7. QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES PROBLÈMES D'ÉNERGIE

Dans nos sociétés avancées, le problème de l'énergie semble pour beaucoup très simple, tourner le bouton électrique ou le robinet de gaz, faire le plein à la pompe... Pourtant l'accès à l'énergie soulève des problèmes scientifiques et techniques très complexes d'où les débats et les compromis difficiles que nous connaissons ; réchauffement global de la terre, déchets nucléaires, énergies alternatives, économie d'énergie...

Les problèmes vont aussi se présenter de façon très différente pour ceux qui ont déjà accès à l'énergie et ceux qui aspirent tout simplement au minimum vital, ce qui est le cas pour plus de la moitié de l'humanité.

7.1. COMBUSTIBLE FOSSILE ET CO₂

Il est à peu près admis que le 21^{ème} siècle verra la fin du pétrole et du gaz. Quant au charbon, il subsistera encore de grandes quantités réparties de façon plus ou moins homogène sur la planète, auquel se rajoute maintenant les gaz de schistes. Se pose toutefois le problème du CO₂.

La teneur dans l'atmosphère vient de dépasser 365 ppmv (parties par million en volume) alors que, depuis 400 000 ans, il oscillait entre 180 ppmv pour les périodes glaciaires et un maximum de 280 ppmv pour les périodes chaudes.

Les scientifiques du GIEC⁷ prévoient une augmentation de l'ordre de 3°C d'ici la fin du siècle et plus si l'on ne parvient pas à réduire très rapidement les émissions de CO₂. Un tel réchauffement, s'il ne peut que réjouir les vacanciers et amateurs de plage, va induire la fonte des glaces et le dégel du permafrost avec un fort dégagement de méthane⁸, ainsi que la montée des eaux et la désertification de certaines régions qui vont entraîner des déplacements importants de populations.

Ces phénomènes vont se produire avec une rapidité peu compatible avec l'évolution des espèces et de la société humaine.

7.2. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE FISSION

Le nucléaire, qui n'est pas producteur de CO₂, pourrait être une réponse à ce problème. Cette énergie ne représente, actuellement dans le monde, que 5 % de la production au niveau primaire. Il est très probable que cette énergie aura tendance à se développer pour satisfaire aux besoins, mais se pose alors le problème de l'approvisionnement des filières actuelles fortes consommatrices de matière.

Il sera donc nécessaire de passer à des technologies permettant un meilleur rendement, exploitant directement l'uranium naturel, intégrant le thorium comme combustible, ce qui assurera une source d'énergie pour des siècles, et consommant du plutonium qui se trouvera ainsi recyclé. C'est tout l'enjeu des recherches sur les réacteurs de 4^{ème} génération⁹ (voir [fiche GAENA N° 22](#)).

L'avenir du nucléaire repose également sur une meilleure intégration de la sécurité, ce qui devrait être satisfait avec ces nouvelles filières, ainsi qu'une plus grande adhésion des populations dans la mise en œuvre de cette sécurité.

7.3. L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Il existe une grande quantité d'énergie stockée dans les roches sous forme de chaleur. Mais cette énergie est relativement diluée et donc difficilement exploitable. Les sources de chaleur produisant de la vapeur susceptible de produire de l'électricité sont rares. L'utilisation de cette énergie pour le chauffage se heurte à deux problèmes, soit la source de chaleur est performante mais en général éloignée de l'utilisation, soit elle est faible avec un mauvais rendement et une capacité d'épuisement rapide par diminution de la réserve d'eau. Cette énergie ne peut être qu'une énergie d'appoint.

7.4. L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

L'électricité d'origine hydraulique est sans aucun doute l'énergie la plus propre. Dans les pays les plus développés les capacités sont presque toutes exploitées et ailleurs les gisements sont souvent éloignés des régions peuplées nécessitant des infrastructures qui ne sont pas en adéquation avec le besoin. Après le barrage des Trois Gorges, la Chine prévoit de construire quatre autres barrages d'ici 2020. Cela représentera une puissance cumulée de 38 GW et 18 % de la production électrique actuelle de ce pays. Ce pose toutefois le problème du déplacement d'une population de plusieurs millions d'habitants, l'inondation de zones fertiles et le risque latent de rupture d'un barrage¹⁰.

7.5. L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'énergie éolienne est une énergie très irrégulière et un générateur ne fonctionne en moyenne que 20 % du temps. Le caractère intermittent et aléatoire du vent nécessite d'avoir une production complémentaire pour pallier les aléas du vent (turbines à gaz en général) et nécessite une gestion très complexe compte tenu du caractère très dilué de cette énergie. Les éoliennes marines ont un fonctionnement plus régulier mais les zones d'implantation sont limitées. Le développement de moyens de stockage de l'électricité, production d'hydrogène par exemple, apportera beaucoup d'intérêt à ce type d'énergie.

⁷ GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

⁸ Le méthane CH₄ est un gaz ayant un pouvoir réchauffant beaucoup plus important que le CO₂.

⁹ L'arrêt définitif du nucléaire posera le problème de la gestion du Pu déchet à très longue durée de vie.

¹⁰ Barrage des 3 Gorges. 40 milliard de m³ d'eau, surface du réservoir 1084 km² inondation de 600 km² de terre agricole, engloutissement de 1300 sites historiques, plusieurs millions d'habitants sous le barrage.

7.6. L'ÉNERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est une énergie réellement inépuisable et abondante¹¹ et cependant elle ne représente que 0,04 % de la consommation d'énergie. Ceci est dû à son caractère alterné (jour-nuit) et à son faible rendement dans les zones tempérées. L'utilisation la plus directe est le chauffage des habitations et de l'eau sanitaire. Le développement des panneaux solaires thermiques associés à une bonne conception de l'habitation permettrait un gain important sur le chauffage domestique et des économies de combustibles fossiles.

Il existe aussi des centrales solaires permettant de produire de l'électricité (Chauffage d'un fluide à plusieurs centaines de degrés pour produire de la vapeur) mais ce type d'installation n'est performant que dans les zones désertiques et très ensoleillées.

Enfin les capteurs photovoltaïques transforment directement la lumière en électricité. Bien que le rendement ne soit pas très élevé (inférieur à 15 %) c'est un moyen bien adapté aux zones très ensoleillées et qui peut apporter un minimum de confort aux populations isolées. Le principal obstacle au développement à court terme de ce système est son coût car il fait appel à de hautes technologies onéreuses, polluantes et énergivores. Il faut 5 ans de fonctionnement du capteur pour qu'il compense l'énergie qu'il a fallu consommer pour le fabriquer. Des recherches sont en cours pour augmenter le rendement et baisser le coût de fabrication (utilisation des nanotechnologies).

7.7. L'ÉNERGIE BIOMASSE

Actuellement la biomasse repose essentiellement sur l'utilisation du bois et la production de divers alcools et huiles agricoles issues de cultures vivrières (alcoocarburants). C'est une énergie renouvelable et sur le principe non productrice de CO₂ car le gaz dégagé est ensuite refixé par les nouvelles végétations. Mais le rendement de la photosynthèse est inférieur à 0,5 % ce qui impose que les surfaces en réserve (replantation et croissance de la forêt) soient suffisamment importantes ce qui n'est pas le cas puisque l'on constate actuellement, plutôt une déforestation.

La production des *agrocarburants* se fait bien souvent au détriment des cultures alimentaires traditionnelles et compte tenu des méthodes actuelles de production (mécanisation, engrais etc.) le rendement est quasiment nul. Les *biocarburants* reposent sur une culture spécifique n'entamant pas les ressources alimentaires. Mais le développement de cette production est encore faible. Le futur repose sur le développement des *algocarburants* obtenu par photo-fermentation d'algues elles-mêmes fortes consommatrices de CO₂.

Il est cependant intéressant de noter l'énergie biomasse représente actuellement 10 % de la production mondiale.

8. CONCLUSION

Cette analyse montre que dans les 20 prochaines années la consommation d'énergie continuera à croître, très fortement dans les pays en voie de développement, beaucoup moins en Europe qui s'engage progressivement dans une politique d'économie d'énergie.

L'inventaire des différentes énergies actuellement à notre disposition montre les avantages et les limitations de chacune d'entre elles, à des prix abordables. Voilà le challenge de notre siècle.

9. SOURCES

- OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Economique
- EIA** : Energy Information Administration
- AIE** : Agence Internationale de l'Energie
- SOeS** : Service de l'Observatoire et des Statistiques
- CEA** : Commissariat Energie Atomique et aux énergies alternatives (Talents n° 131)
- Articles** : « **Comment je vois le monde** »
(LPS/CNRS/ENS, IPN/CNRS/Université de Paris-Sud, PMC/CNRS/Ecole Polytechnique)
- Encyclopédie WIKIPEDIA**

¹¹ En 12 heures, l'énergie solaire arrivant sur terre est supérieure au total des énergies fossiles connues et prévisibles.