

L'énergie nucléaire : une source incontournable du panachage énergétique

Christian Ngô

ECRIN¹

Toujours plus

Nous vivons dans un monde dominé par les combustibles fossiles puisqu'ils représentent environ 85% de la consommation mondiale d'énergie primaire. En les utilisant abondamment ils ont fait et font encore notre richesse. Les autres sources d'énergie que sont le nucléaire et énergies renouvelables ont une contribution faible au niveau mondial sauf dans des pays particuliers comme la France où 80% de l'électricité est d'origine nucléaire. Cette utilisation massive d'énergie concentrée s'est traduit par un accroissement rapide du niveau de vie. Ainsi, un français a multiplié par 2 ses richesses en 25 ans alors qu'il a fallu 4 siècles, de 1400 à 1800, pour obtenir le même résultat.

On estime que la planète consommait environ 0,2 Gtep en 1800 et 1 Gtep en 1900. En 2000 nous en avons consommé 10 Gtep et l'on pourrait avoir besoin de 70 Gtep à la fin du siècle si l'on extrapole la tendance actuelle.

L'énergie issue des combustibles fossiles est abondante et pas chère. À titre de comparaison un baril d'eau minérale vaut environ 140\$, soit 2 fois plus cher que le baril de pétrole.

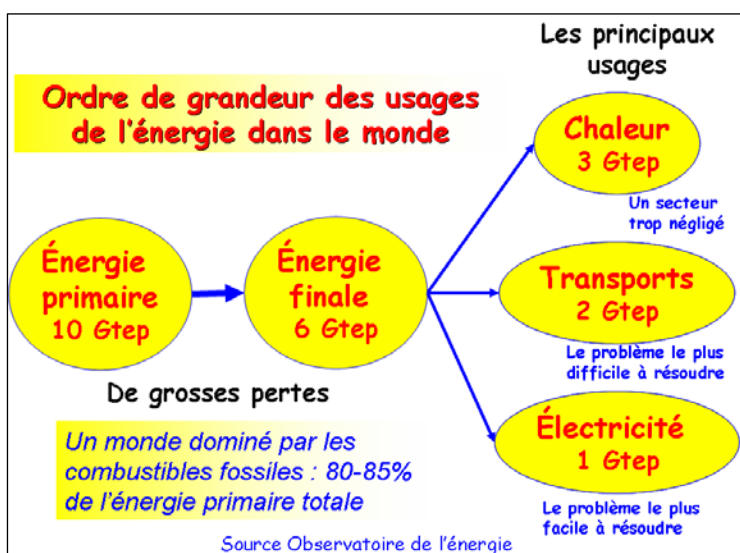


Figure 1 (référence Bertrand.Barré)

¹ ECRIN, 32 boulevard de Vaugirard, 75015 Paris. ngo@ecrin.asso.fr

Énergie : quelles orientations stratégiques pour assurer l'avenir

7^{ème} rencontres parlementaires sur l'énergie

Organisées par Claude Gatignol, Député de la Manche le 3 octobre 2006

Au niveau mondial on consomme environ 10 Gtep d'énergie primaire par an. De l'ordre de 6 Gtep sont accessibles au consommateur final et 40% sont perdus dans les processus de transformation. Cette énergie finale couvre 3 usages (figure 1) :

- L'électricité : 1 Gtep
- La chaleur (ou le froid) : 3 Gtep
- Les transports : 2 Gtep

Pour la France, la consommation électrique est de l'ordre de 450 TWh/an. Le contenu énergétique des transports est d'environ 500 TWh/an. La chaleur (ou le froid) représentent de l'ordre de 1000 TWh/an (environ 500 TWh/an pour le résidentiel-tertiaire).

L'électricité est un vecteur énergétique que l'on peut produire à partir de pratiquement

toutes les sources d'énergie primaire. Ce n'est pas le cas de la chaleur ni de l'énergie nécessaire aux transports (figure 2).

Si 90% de l'électricité française est produite sans émission de gaz à effet de serre, 10% sont produit avec des centrales thermiques pour satisfaire la demande de pointe. Ceci représente au total des émissions de CO₂ de l'ordre de 70g/kWh, soit une contribution d'environ 30 Mt de CO₂/an.

Si l'on veut réduire les émissions de gaz à effet de serre et diminuer notre dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles, il faut, en plus des économies d'énergie, faire évoluer les transports et la production de chaleur ou de froid.

Stocker le CO₂ ?

Les combustibles fossiles sont indispensables à notre civilisation et ils ne peuvent pas être remplacés en totalité par les énergies renouvelables ou le nucléaire. Tous dégagent du CO₂ lors de leur combustion. Le gaz moins que le pétrole et ce dernier moins que le charbon. Toutefois le charbon est une énergie d'avenir car ses réserves se chiffrent à plusieurs centaines d'années. Par conséquent, il faut envisager de capturer et de stocker le CO₂ produit dans les installations centralisées, comme celles qui servent à produire de l'électricité. Cette technologie, encore à l'état de recherche, consomme de l'énergie et ne

	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Eau	Soleil	Vent	Géothermie	Biomasse
Électricité									
Chaleur									
Transports									

Figure 2

peut être utilisée avec les technologies actuelles. Il faut, par exemple, faire la combustion dans de l'oxygène pur ce qui consomme de l'énergie pour extraire ce dernier de l'air. Le rendement de l'installation est donc diminué d'une valeur qui peut atteindre 15-20%.

Utiliser l'électricité pour diminuer les émissions de CO₂

L'électricité est un vecteur énergétique qui se stocke mal en grande quantité et il faut que la production s'ajuste à la demande. Il faut lisser la production et tout dispositif qui consomme de l'électricité en heures creuses est le bienvenu. C'est le cas des cumulus qui chauffent l'eau la nuit.

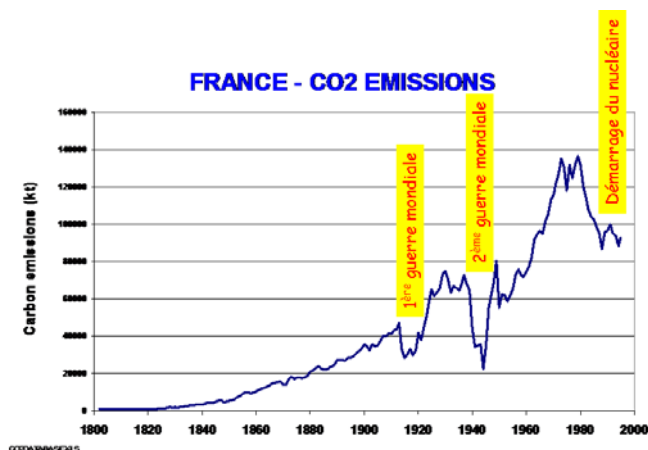


Figure 3 (référence CEA)

L'augmentation de l'activité économique est corrélée à celle des émissions de CO₂ comme on peut le voir sur la figure 3. L'effet des guerres, qui ralentissent l'activité économique, se voit très clairement. La guerre de 39-45 a ainsi diminué d'un facteur 4 les émissions. Le démarrage de la production d'électricité par le nucléaire a aussi réduit les émissions de CO₂.

Il est intéressant d'utiliser de l'électricité produite sans émission de gaz à effet de serre (nucléaire et énergies renouvelables) pour diminuer nos émissions de CO₂ et réduire notre dépendance vis à vis des combustibles fossiles. Il y a de nouveaux usages à développer et nous allons en examiner quelques uns. Cela nécessitera des moyens de production supplémentaires (nucléaire + énergies renouvelables).

Produire de la chaleur

En premier lieu on pourrait produire de la chaleur avec des sources à basse température en utilisant des pompes à chaleur. Ce sont des dispositifs que l'on peut considérer comme des amplificateurs d'énergie puisqu'à partir de 1 kWh d'électricité on peut produire 3 à 4 kWh de chaleur qui sont prélevés à une source froide. Cette source froide peut être de l'air, de l'eau ou le sol. Ces

dispositifs permettraient en particulier, couplé à des réseaux de chaleur, d'exploiter une partie de la chaleur basse température perdue dans des installations nucléaires. Ces technologies permettraient d'économiser des dizaines de Mtep et les émissions de CO₂ associées.

Pour les transports, la fabrication de biocarburants de deuxième génération (gazéification + Fischer-Tropsch) en utilisant une source d'énergie extérieure, et de l'hydrogène pour améliorer la stœchiométrie, permettrait de doubler la production de carburant à l'hectare et de valoriser la biomasse lignocellulosique. Cette approche est actuellement développée par le CEA et l'IFP.

Des véhicules hybrides rechargeables

Les véhicules hybrides sont constitués d'un moteur à combustion interne et d'un moteur électrique associé à une batterie. Ceux qui existent actuellement, comme la Toyota Prius, rechargent leur batterie lors des ralentissements, des freinages, ou en utilisant le moteur à combustion interne fonctionnant dans une plage où le rendement est le meilleur. Pour ces véhicules les économies en carburant viennent surtout d'une bonne gestion de l'énergie qui peut être réalisée grâce au tampon que constituent la batterie et le moteur électrique. On peut diminuer la consommation d'environ 3 litres au 100 km par rapport à un véhicule comparable.

En fait, beaucoup de gens ne font pas plus de 30 à 40 km par jour. Le développement de véhicules hybrides rechargeables sur le réseau permettrait d'utiliser de l'électricité issue du réseau électrique. Si l'on dispose d'électricité produite sans émission de gaz à effet de serre, l'économie en terme de carburant et d'émission de gaz à effet de serre peut être considérable.

Un scénario possible

On peut imaginer un scénario² qui permettrait de réduire considérablement la consommation de pétrole pour les transports et les émissions de gaz carbonique. Il est basé sur les véhicules hybrides rechargeables sur le secteur. Une autonomie électrique de l'ordre de 30-40 km est suffisante pour beaucoup de déplacements journaliers ce qui limite le poids de la batterie. Dans ce cas on peut faire les estimations grossières suivantes pour les transports routiers d'ici quelques décennies :

² C.Ngô, l'énergie Dunod 2002.

Énergie : quelles orientations stratégiques pour assurer l'avenir

7^{ème} rencontres parlementaires sur l'énergie

Organisées par Claude Gatignol, Député de la Manche le 3 octobre 2006

- 30% de l'énergie viendrait du réseau électrique
- 20% des biocarburants de synthèse
- 50% du pétrole

Cela conduirait à diminuer par deux la facture pétrolière des transports ainsi que celle des émissions de CO₂. Des moyens de production d'électricité supplémentaires (nucléaire + énergies renouvelables) seront nécessaires. L'idée est de se passer des moyens de pointe pour la production électrique (centrales thermiques) qui contribuent pour 10% à notre production. Dans ce cas les pointes seront gérées par les véhicules qui ne pourront pas recharger leurs batteries pendant quelques jours voire heures de l'année et devront, si besoin est, utiliser leur moteur thermique. On passe donc, pour la production d'électricité, d'une gestion centralisée de la pointe à une gestion décentralisée. Ceci conduirait à la disparition des émissions de CO₂ pour produire de l'électricité.

Pourquoi l'énergie nucléaire ?

L'avantage de l'énergie nucléaire est de produire de l'électricité peu chère avec un prix qui reste stable dans le temps, c'est-à-dire sur 40-50 ans. Cela vient de ce que le prix du combustible ne représente qu'une faible part du prix du kWh produit. Ainsi, si l'on multiplie par 10 le prix de l'uranium naturel, le prix du kWh augmente de moins de 40%. Le même exercice fait avec le gaz naturel conduit à multiplier le prix du kWh par 7.

L'inconvénient de l'énergie nucléaire est que, comme les énergies renouvelables, l'investissement initial est élevé. L'industrie nucléaire est complexe et nécessite des précautions qui restreignent son utilisation à certains pays. La sûreté et la maîtrise des déchets produits doivent être parfaitement assurées. L'énergie nucléaire n'est pas une solution universelle même si sa contribution est et sera indispensable dans l'avenir au même titre que les autres sources d'énergie.

Le nucléaire est aussi un avantage économique important pour notre pays. Si des centrales utilisant du fuel avaient été choisies lors du choc pétrolier des années 70, il faudrait 800 € (avec un baril à 60\$) par français et par an pour acheter le pétrole nécessaire pour produire l'électricité que nous consommons. C'est un montant considérable qui grèverait notre économie.

Les réacteurs nucléaires actuels sont dits à neutrons lents. Ils ne brûlent qu'une faible part, moins de 0,7%, de l'uranium naturel. Les réserves sont alors à peine plus grandes que celles du pétrole. La technologie des réacteurs à neutrons rapides, dont Superphénix était un exemple, permettent au contraire d'exploiter

Énergie : quelles orientations stratégiques pour assurer l'avenir

7^{ème} rencontres parlementaires sur l'énergie

Organisées par Claude Gatignol, Député de la Manche le 3 octobre 2006

l'ensemble de l'uranium. Les réserves se chiffrent alors en dizaines de milliers d'années.

Comme le prix du kWh dépend peu de celui de l'uranium naturel, les réacteurs à neutrons lents, qui sont actuellement les plus compétitifs économiquement, vont continuer à se développer. Les nouveaux, ou les premiers remplacements, se feront avec des versions améliorées, comme l'EPR, des réacteurs actuels. Ils sont prévus pour fonctionner 50 à 60 ans. Les réacteurs à neutrons rapides ne devraient donc s'imposer que vers la seconde moitié du siècle.

Quant à la fusion thermonucléaire, on est encore loin d'une application industrielle. Le réacteur international ITER, en construction en France à Cadarache, permettra d'obtenir 4 kWh en sortie pour 1 kWh injecté et devrait pouvoir maintenir le plasma de fusion pendant 400s. Un dispositif industriel doit pouvoir fonctionner 24 heures sur 24 et n'est économiquement rentable que si l'on obtient 10 kWh en sortie pour 1 kWh en entrée. Dans le meilleur des cas il faudra encore un réacteur expérimental pour démontrer cela et un prototype avant de se lancer dans un développement industriel à grande échelle. Compte tenu des délais, ceci a peu de chance d'aboutir avant le début du siècle prochain si l'on continue les études à la vitesse actuelle.

Conclusion

Pour lutter contre l'effet de serre et diminuer notre dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles, une solution consiste à étendre les usages de l'électricité. Celle-ci doit être produite sans émission de gaz à effet de serre, c'est-à-dire par l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. La France, qui est le premier producteur européen d'énergies renouvelables mais aussi d'électricité nucléaire a tous les atouts pour s'engager dans cette direction.