



EN INTRODUCTION...

Quelques rappels concernant la situation mondiale dans le domaine de l'énergie

Louis Debiais

Pour cadrer les réflexions sur la place que l'hydrogène pourrait être amené à prendre dans les prochaines décades dans le domaine de l'énergie, nous voudrions succinctement rappeler la situation et les principales caractéristiques de cette industrie aux premières années du XXI^e siècle.

Dans un monde dominé par la compétition entre les nations ou les grands blocs économiques, les **politiques énergétiques** sont d'une importance vitale.

Leur pertinence et le succès de leur mise en œuvre conditionnent la puissance industrielle, la prospérité économique et le bien-être des populations.

L'énergie : une industrie lourde

La production et la distribution des besoins de la planète en énergie présentent toutes les caractéristiques d'une industrie très lourde :

- par le coût de la recherche et de la mise en exploitation des gisements fossiles,
- par les infrastructures qu'elle demande : transport maritime, installations portuaires, plates-formes d'exploitation, pipelines...
- par le coût des installations de transformation : raffineries, centrales électriques thermiques ou nucléaires...
- par le poids des réseaux de distribution (gaz, électricité, carburants...).

Les chiffres d'affaires sont énormes. La valeur des énergies primaires est de l'ordre de 2 000 milliards d'euros par an sans compter la valeur ajoutée par les transformations et la distribution.

L'industrie de l'énergie a de ce fait une très grande inertie et les modifications d'une politique énergétique demandent beaucoup de temps et beaucoup d'argent. Ses inflexions ne peuvent être que lentes et progressives.

La production mondiale d'énergie est aujourd'hui essentiellement basée sur des combustibles fossiles

Globalement et en privilégiant davantage les ordres de grandeur que la précision statistique, la consommation mondiale d'énergie primaire exprimée en tonnes d'équivalent pétrole (tep) se monte à l'orée du XXI^e siècle à **10 milliards de tep/an** qui se répartissent entre les différentes sources (*tableau I*).

Une première remarque s'impose : **pétrole, charbon et gaz naturel** – trois combustibles fossiles – représentent aujourd'hui **90 %** de la demande en énergie primaire.

Dans les 10 % restant, nous trouvons **l'énergie nucléaire** pour environ **6 %**. Elle est encore essentiellement basée sur la fission de l'uranium 235

Tableau I - Consommation mondiale et répartition des sources d'énergie primaire (exprimée en milliards de tep).

	Milliards de tep	Pourcentage
Consommation mondiale d'énergie primaire	10	100 %
dont		
Pétrole	4,0	40 %
Charbon	2,7	27 %
Gaz naturel	2,3	23 %
Autres sources primaires (nucléaire, hydraulique et autres énergies renouvelables)	1,0	10 %



dont les ressources sont limitées et ne peut de ce fait être considérée comme une énergie renouvelable.

Aujourd'hui, la **consommation mondiale** d'énergie primaire est donc pour **96 % basée sur des sources non renouvelables**.

Seule l'**électricité hydraulique (3 %)** et les quelques productions par les technologies en cours de développement (éolien, photovoltaïque, biomasse...) peuvent être considérées comme des énergies renouvelables.

Les perspectives d'évolution de la demande globale d'énergie primaire dans les prochaines décades

Consommation d'énergie primaire par habitant dans les différentes zones économiques

La **consommation d'énergie primaire par habitant exprimée en tonnes d'équivalent pétrole par habitant (tep/h)** est un indice caractéristique du développement et de la prospérité d'une zone économique. Si on l'examine sur un plan mondial, on est frappé par la très grande disparité des situations (*tableau II*).

Tableau II - Consommation d'énergie primaire par habitant et par an.

Zone économique	Consommations d'énergies primaires par habitant (tep/h)
Amérique du Nord	6,5
dont États-Unis	8,1
Amérique Latine	1,1
Europe de l'Ouest	3,4
dont Allemagne	5,9
France	4,2
Italie	2,8
Afrique	0,6
Moyen-Orient	2,3
Extrême-Orient	0,9
dont Chine	0,9
Japon	4,1
Monde	1,7

Les chiffres moyens par habitant vont de 0,6 tep/h pour l'Afrique à plus de 8 tep/h pour les États-Unis. Ces écarts sont énormes. Ils montrent qu'une large partie de la population mondiale n'a pratiquement pas accès à l'énergie.

Conséquences attendues sur l'évolution de la demande mondiale

Sous l'effet :

- de la réduction de ces inégalités,
- de l'accroissement de la population mondiale,
- des efforts des pays en voie de développement pour combler leur retard économique,
- du maintien d'une légère croissance de la demande énergétique dans les pays développés,

la demande mondiale d'énergie primaire poursuit sa croissance et sa répartition géographique se modifie.

C'est ainsi que la zone Asie-Pacifique absorbe aujourd'hui plus de 30 % de la consommation mondiale contre moins de 20 % au début des années 70.

Corrélativement, le poids relatif des régions développées diminue (États-Unis de 28 à 22 %, Union Européenne de 19 à 15 %) pour la période de 1970 à 2000.

La croissance très soutenue de 1960 à 1973 (de l'ordre de 5 % par an) a été par la suite affectée par les chocs pétroliers et les variations de la conjoncture économique qui y ont été associées. Mais elle reste globalement nettement positive.

Les experts tablent sur une croissance moyenne comprise entre 1 et 2 % par an pour les prochaines décennies, ce qui conduit à prévoir le **doublement de la demande mondiale dans les 4 ou 5 prochaines décades**.

Énergie, environnement et opinions publiques

La production d'énergie a des impacts notables sur l'environnement et se trouve de ce fait confrontée aux réactions critiques des opinions publiques.

Le CO₂ et l'effet de serre

L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère constatée depuis plus d'un siècle et son accélération au cours des dernières décades sont, sans nul doute, liées à l'activité humaine et en premier lieu à la production d'énergie.

L'accroissement de « l'effet de serre » qui en résulte provoque une élévation de la température moyenne du globe.



EN INTRODUCTION...

C'est ainsi qu'au cours du XX^e siècle, la température moyenne de l'air à la surface du globe a augmenté d'environ 0,5 °C et induit des changements climatiques dont les effets à long terme pourraient être dramatiques pour la planète (augmentation de la température moyenne de plusieurs degrés centigrades au cours du XXI^e siècle, fonte des glaces polaires, élévation notable du niveau des mers, modification des courants marins, augmentation des précipitations, des tornades...).

Sous l'égide de l'ONU, le sommet de Rio en 1992 et le protocole de Kyoto en 1997 ont conduit à des accords internationaux visant à stabiliser les émissions globales à l'échéance 2008-2012 aux niveaux de celles de l'année 1990.

Dans ces accords, les pays industriels s'engagent à réduire en moyenne leurs émissions de 5,2 % et pour sa part, l'Union Européenne s'est engagée sur une réduction de 8 %.

Ces accords internationaux traduisent le devoir moral de notre génération de lutter contre l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ afin de limiter pour les générations futures les conséquences catastrophiques des changements climatiques dus à l'effet de serre.

Même si la ratification et l'application de ces accords rencontrent des difficultés, ils auront un impact considérable sur l'industrie de l'énergie.

Les pollutions au niveau local

La tendance généralisée à la concentration des populations dans de grandes agglomérations urbaines induit – pour satisfaire leurs besoins en énergie – d'importantes pollutions qui ont des conséquences en matière de santé humaine.

Les transports, qui représentent une part notable de la demande en énergie, contribuent pour une part importante à ces pollutions urbaines (à titre d'exemple, les transports comptent en France pour 25 % dans la consommation d'énergie primaire : 52 millions de tep pour un total de 210 millions de tep).

Aussi entraînent-ils dans les agglomérations urbaines, en plus des émissions de CO₂, des émissions de gaz polluants (SO₂, NO_x, CO, CH₄, COV...) et de particules carbonées. L'opinion publique est de plus en plus concernée par les conséquences de ces pollutions sur la santé des populations urbaines.

Malgré les efforts déployés par les constructeurs automobiles pour l'amélioration des rendements des moteurs et le traitement de leurs effluents, l'augmentation du nombre des véhicules et la tendance à la concentration urbaine rendent problématique l'amélioration de cette situation.

Politique énergétique et opinions publiques

Les citoyens consommateurs d'énergie étant aussi des électeurs, les courants d'opinion concernant l'impact de la production d'énergie sur l'environnement peuvent avoir une répercussion sur la définition par les pouvoirs publics des politiques énergétiques.

La réduction des émissions de CO₂ pour limiter l'ampleur des changements climatiques et la réduction des pollutions dans les agglomérations par les SO₂, NO_x, CO, COV, particules, sont en général bien acceptées par l'opinion publique, même s'il peut y avoir des débats passionnés sur les mesures les plus appropriées pour atteindre les objectifs souhaités.

En revanche, pour des raisons qui sont parfois discutables, l'opinion publique est très partagée sur le développement de l'énergie nucléaire.

Les principaux reproches portent sur les solutions proposées pour le traitement et le stockage des déchets radioactifs. Ces réactions de l'opinion ont pour conséquence, dans un certain nombre de pays développés, l'arrêt programmé de toute activité dans le domaine de la production nucléaire d'électricité (Allemagne, Belgique, Suisse, Suède...).

Bien qu'il y ait souvent une part d'irrationalité dans les réactions de l'opinion publique, elles ne peuvent pas laisser indifférents les pouvoirs publics chargés de l'élaboration des politiques énergétiques.

Indépendance énergétique

La répartition des zones productrices d'énergies primaires est sensiblement différente de celle des zones consommatrices. De ce fait, les différentes zones économiques sont dans des situations très différentes. Chacune souhaite évidemment jouir du taux d'indépendance énergétique maximum.

Cependant, malgré le développement de l'énergie nucléaire, la découverte et l'exploitation des gisements d'hydrocarbure de la Mer du Nord, le taux d'indépendance de l'Union Européenne n'atteint que 54 %.

La France, dépourvue de ressources en combustibles fossiles, a réussi à porter son taux d'indépendance aux environs de 50 % grâce au succès du développement de son programme nucléaire.

Ce taux d'indépendance atteint 80 % aux États-Unis mais il n'est que de 20 % pour le Japon.

En revanche, la zone Moyen-Orient produit entre trois et quatre fois plus d'énergie primaire qu'elle n'en consomme.



Tableau III - Réserves d'énergies primaires fossiles.

	Réserves mondiales prouvées exprimées en milliards de tep (Gtep)	Consommation annuelle en 2000 (en Gtep)	Durée (au rythme de la consommation actuelle)	Remarques
Pétrole	env. 160 Gtep	4,0 Gtep	env. 40 ans	75 % des réserves sont localisées dans les pays de l'OPEP
Gaz naturel	env. 135 Gtep	2,3 Gtep	env. 60 ans	
Charbon	env. 550 Gtep	2,7 Gtep	env. 200 ans	

Cette situation a pour conséquence des flux commerciaux importants entre zones déficitaires et zones excédentaires. Elle implique également des investissements pour les infrastructures qu'elle nécessite (stockages, installations portuaires, réseaux de pipelines...), et elle comporte des risques en période de tension internationale.

Les combustibles fossiles : où en sommes-nous des réserves ?

Par des calculs simples – voire simplistes – qui consistent à faire le **ratio des réserves prouvées par la consommation constatée** aujourd'hui, on arrive à un nombre d'années qui caractérise la durée des réserves fossiles.

Bien entendu, ce chiffre n'a pas une signification absolue car les deux termes du ratio peuvent évoluer :

- les progrès dans la recherche et l'exploitation des gisements ont tendance à augmenter le taux de récupération et donc le volume des réserves prouvées et la durée de l'exploitation ;
- nous avons vu d'autre part que nous nous attendions dans les prochaines décennies au doublement de la consommation annuelle, ce qui a évidemment l'effet inverse.

Le *tableau III* résume la situation en ce qui concerne les hydrocarbures et le charbon.

En ce qui concerne l'uranium 235, au rythme actuel de production d'énergie nucléaire (qui ne représente que 6 % de la demande mondiale), la durée des réserves est estimée à 70 ans.

Ces chiffres sont préoccupants. D'autant que pour le pétrole, 2/3 des réserves sont situées au Moyen-Orient et 75 % dans les pays de l'OPEP.

Nous risquons dans un futur proche d'être confrontés à des pénuries et à de fortes augmentations de prix.

Quelles politiques énergétiques retenir pour faire face à cette situation ?

Bien que les situations particulières des différents pays ou zones économiques soient très diverses, l'élaboration des politiques énergétiques conduit à des compromis raisonnés entre trois impératifs qui sont dans une certaine mesure contradictoires :

- assurer la sécurité des approvisionnements en énergies primaires,
- réduire les nuisances environnementales liées à la production d'énergie,
- produire et distribuer l'énergie aux conditions économiques les plus compétitives.

Nous avons vu que nous nous attendions à un doublement de la demande dans les prochaines décades. Il est clair que la simple poursuite des schémas et politiques énergétiques actuels conduit à une triple impasse :

- sur le plan du contrôle des émissions de CO₂ et des changements climatiques qu'elles induisent,
- sur le plan de la pollution dans les agglomérations urbaines,
- sur le plan de la disponibilité (et donc des prix) des combustibles fossiles et tout d'abord du pétrole, la première aujourd'hui des ressources énergétiques (40 % du total).

Il va donc falloir changer progressivement la nature et le « mixte » des énergies primaires, réduire la part des sources d'énergies fossiles, développer la part des énergies renouvelables (biomasse, solaire, éolien...) qui sont aujourd'hui négligeables dans le bilan global et se préparer à des échéances plus lointaines où l'humanité devra produire la quasi-totalité de ses besoins énergétiques à partir de l'énergie rayonnée par le soleil.



EN INTRODUCTION...

Il faut s'en préoccuper dès maintenant car quelques dizaines d'années (représentant la durée des réserves) est un temps très court pour modifier profondément une industrie ayant la lourdeur de l'énergie, pour développer les technologies et modifier les infrastructures permettant aux énergies renouvelables de s'introduire de façon substantielle dans le bilan global des sources énergétiques.

Dans ce contexte, à côté du vecteur énergétique fondamental que représente l'électricité, l'hydrogène

- qui est compatible avec toutes les autres sources d'énergie,
- qui en permet le stockage et la distribution,
- qui – grâce aux performances des piles à combustible – améliore les rendements et supprime toute pollution,

prendra une place décisive dans les systèmes énergétiques de demain.

Bibliographie

- *Hydrogen, today and tomorrow*, IEA Greenhouse gas R&D Programme, avril 1999.

- Galley R., Gagnon C., *Les perspectives offertes par la technologie de la pile à combustible*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, juillet 2001.
- Seth Dunn, *Hydrogen futures – toward a sustainable energy system*, Worldwatch paper 157, août 2001.
- *European Fuel Cell Projects 1995-2000*, European Commission, Directorate General for Research.
- *L'énergie, chiffres clés*, Observatoire de l'Énergie DGEMP, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, édition 1999/2000.
- *Clefs*, CEA, n° 44, hiver 2000-2001.
- *Énergies et matières premières*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, n° 17, 3^e trimestre 2001.



Louis Debiais

est ingénieur et docteur es sciences.
Il est membre du bureau de l'Association Française de l'Hydrogène.