

# Propositions pour une politique de l'énergie à l'horizon 2050

**Les bouleversements prévisibles des conditions de production et de consommation d'énergie, induits par des contraintes environnementales, géopolitiques et économiques nouvelles, imposent de dégager dès aujourd'hui des axes stratégiques forts pouvant permettre de diviser par trois, à l'horizon 2050, nos émissions de gaz carbonique. Trois usages de l'énergie primaire méritent une attention particulière : la production de l'électricité, le chauffage et les transports.**

**par Bernard Bigot,  
Haut Commissaire  
à l'Énergie atomique**

**I**l est hautement probable que les conditions de production et de consommation d'énergie vont connaître, au cours de cette première moitié du siècle, des bouleverse-

ments majeurs, induits par des contraintes environnementales, géopolitiques et économiques nouvelles, telles que l'épuisement progressif des réserves d'hydrocarbures ou les effets du double-

ment du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Le coût global de l'énergie va croître en conséquence de manière structurelle. Ainsi, la France, à l'unisson du reste du monde, devra évoluer au centre de contraintes accrues, parfois contradictoires : assurer notre compétitivité économique ; diversifier et garantir nos approvisionnements ; réduire considérablement nos émissions de gaz à effet de serre.

Face à cette situation prévisible, plusieurs solutions innovantes, à terme plus ou moins éloignées (séquestration du CO<sub>2</sub>, économie de l'hydrogène, fusion thermonucléaire contrôlée...)

sont proposées ; quel que soit leur intérêt, on peut craindre que des tensions aux conséquences majeures ne se produisent avant la pénétration de

**Il est nécessaire que l'on dispose d'une technologie de quatrième génération surgénératrice complètement validée, avant le milieu du siècle**

toute technologie de rupture. C'est donc dès aujourd'hui

que doivent être dégagés des axes stratégiques forts, s'appuyant sur des technologies qui possèdent à la fois une capacité de déploiement à court terme, et un potentiel significatif à long terme. C'est l'esprit des présentes propositions.

D'un point de vue technique, il est préférable de raisonner en termes de grands secteurs d'utilisation, en tenant compte de leurs spécificités, plus qu'en types d'énergie primaire, afin d'avoir une vue d'ensemble sur les stratégies de substitutions que l'on peut développer, et sur les « technologies-clés » qui peuvent en assurer la réalisation.

Trois usages de l'énergie primaire méritent une attention particulière : la production de l'électricité, le chauffage et les transports ; ils correspondent à plus de 80 % de la consommation énergétique en France. Les autres besoins des secteurs industriels ne seront pas abordés ici car ils sont extrêmement diversifiés et connaissent globalement des progrès constants en termes d'efficacité énergétique.

Ces trois usages majeurs vont être étudiés au regard de quatre grandes actions prioritaires :

- favoriser les modes de consommation économes d'énergie ;
- réduire de manière drastique les émissions de CO<sub>2</sub> , en raison des risques de plus en plus élevés de bouleversements climatiques et météorologiques à défaut d'inflexion dans l'utilisation des combustibles fossiles ;
- veiller à préserver la compétitivité économique en favorisant les évolu-

**Les réseaux de chaleur, en France, sont au nombre de 392, et assurent seulement 5 % de la consommation finale**

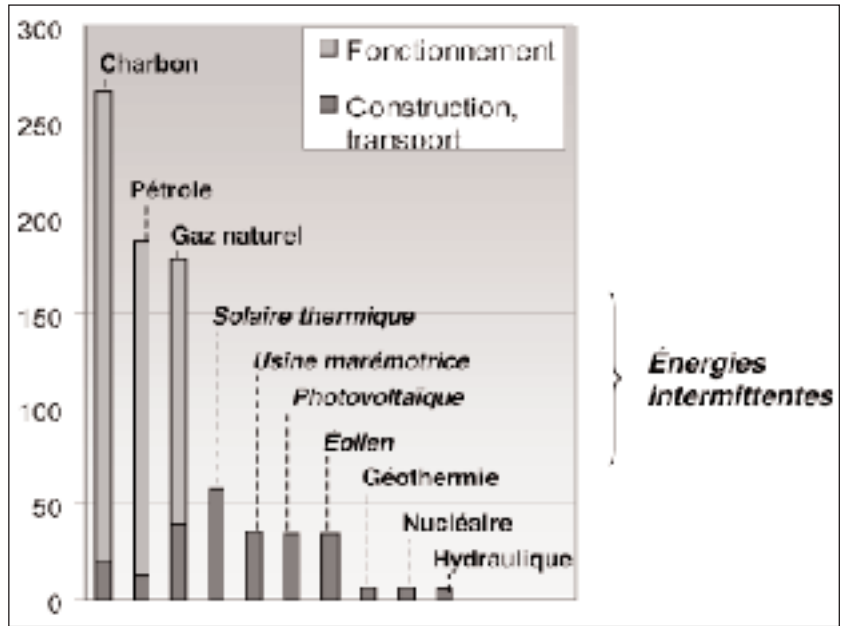


Fig.1.- Emissions de CO<sub>2</sub> en gramme de carbone par kWh.

tions incrémentales et, dans l'hypothèse de technologies de rupture, les concertations internationales ;

- rechercher l'acceptabilité sociale des différents modes de production et de consommation d'énergie.

## La production d'énergie électrique

Le secteur de l'électricité en France consomme, en énergie primaire, l'équi-

valent de re (environ 78%) et de l'hydraulique (environ 12 %) qui produisent très peu de gaz à effet de serre.

On peut anticiper la poursuite d'une croissance régulière de la consommation d'électricité française, comme partout dans le monde, liée à la diversification de ses usages et à l'évolution des modes de vie.

Une des questions légitimement posée concerne une éventuelle diversification de la production électrique en France. Avant de prendre toute décision dans ce sens, on doit avoir présent à l'esprit qu'un retour en arrière sur la part du nucléaire, au profit des sources fossiles, demanderait, pour être compensé en termes de gaz à effet de serre, un effort

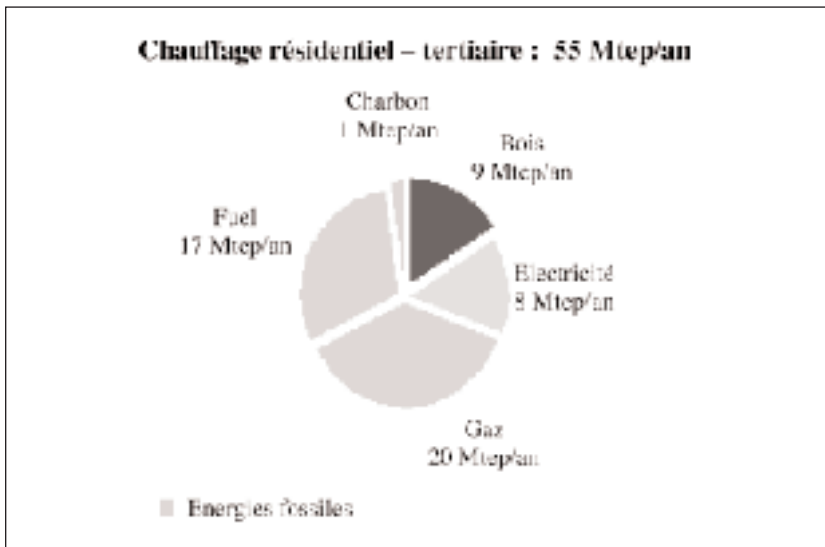


Fig. 2. - Les deux tiers de l'énergie consacrée au chauffage sont d'origine fossile.

gigantesque dans les autres secteurs : en termes de bilan carbone, une substitution de 15 % d'électricité d'origine fossile à la production nucléaire actuelle annulerait presque exactement le résultat des 30 ans d'efforts effectués depuis le premier choc pétrolier pour abaisser la consommation des automobiles. La figure 1 ci-après montre les émissions globales de CO<sub>2</sub> de différents modes de production d'énergie électrique (construction et fonctionnement). La première priorité est donc le renouvellement du parc nucléaire, voire son extension en fonction de la croissance de la demande. Ceci doit se faire en veillant à réunir les meilleures conditions de sûreté et de sécurité. La maîtrise des déchets nucléaires doit être

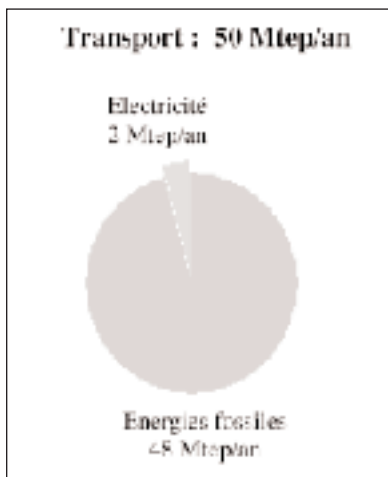
assumée par les opérateurs, dans des conditions définies de manière claire et stable. Doit être exploré en priorité, dans une perspective durable, le recours à un cycle fermé des combustibles, où l'on vise à ce qu'aucun élément transurannique, radioactif sur de longues périodes, ne soit *in fine* destiné au stockage géologique.

Cette politique de maîtrise du cycle du combustible passe par la poursuite du traitement des combustibles usés, puis par le recyclage des éléments transuranniques ainsi séparés. La flexibilité des réacteurs de type EPR vis-à-vis du combustible sera un élément déterminant pour progresser de façon très significative vers ce cycle dit fermé. Les réacteurs de quatrième génération ne sont pas, à

strictement parler, nécessaires à cet objectif à court-moyen terme. Mais ils le sont à moyen-long terme, car ils sont, en outre, susceptibles de démultiplier de façon considérable le potentiel énergétique de l'uranium. Il est donc nécessaire que l'on dispose d'une technologie de quatrième génération surgénératrice complètement validée, avant le milieu du siècle.

L'hydroélectricité doit rester une composante importante de la production électrique française. Il est donc nécessaire de pérenniser le parc hydraulique existant, en gérant de manière optimisée son impact sur l'environnement. Il est difficile d'envisager une large extension de sa production, dans la mesure où la majeure partie des sites possibles a déjà été exploitée. Un complément en terme de micro-hydraulique est possible, mais son potentiel global est limité.

L'utilisation des énergies fossiles doit être limitée aux « pointes » et aux variations brusques de la demande auxquelles ne peuvent répondre ni l'éolien, ni le photovoltaïque. Une part de production éolienne peut cependant se développer, principalement dans une



**Fig.3. – Le recours du secteur des transports au pétrole brut est de 95 %.**

consommation de proximité. En raison de l’intermittence des vents, cette part dans la distribution via le réseau national ne pourrait devenir importante, en France, qu’en doublon avec des centrales à gaz naturel, qui assureraient la continuité de la production. L’exigence sur les gaz à effet de serre et la compétitivité économique conduisent à limiter cette perspective. A l’étranger, cette solution peut se concevoir, à des fins de substitution au charbon. En France, on doit vérifier que le développement de l’éolien n’impliquera pas, pour assurer le suivi de charge, un recours supplémentaire aux énergies fossiles.

## La production de chaleur

Le chauffage, au sens large, dans l’ensemble des locaux de France, demande

l’équivalent d’environ 55 Mtep en énergie finale. Deux tiers de cette énergie sont d’origine fossile. Le reste se partage entre électricité et bois.

On peut, dans ce secteur, obtenir des résultats très significatifs en termes d’amélioration des performances, à condition d’y mener une politique globale, visant à la mise en cohérence et à l’optimisation des modes de production, de transport et d’utilisation de chaleur.

Les améliorations substantielles de l’isolation de l’habitat ont été, en première approximation, contrebalancées par l’augmentation continue des surfaces, de sorte que la consommation de ce secteur est restée à peu près constante au cours des dernières décennies. Il y a près d’un facteur trois entre la consommation par unité de surface des logements anciens, les plus mal isolés, et celle des logements neufs, les mieux conçus. Il reste donc un potentiel d’économies considérable, réalisable au travers de la rénovation du parc de logements anciens et de l’isolation croissante des logements neufs en exploitant toutes les possibilités de conception moderne globale des constructions,

notamment de gestion optimisée des multi-sources d’énergie et de matériaux innovants. Cette stratégie appelle un effort particulier de recherche et de formation des architectes, ingénieurs et techniciens.

D’un point de vue physique, ce secteur est d’abord caractérisé par la saisonnalité : 80 % de l’énergie est utilisée dans 20 % du temps. Ceci impose que le recours au chauffage électrique direct soit stabilisé à un niveau proche du niveau actuel ; faute de quoi, une projection simple montre que la puissance électrique installée devrait croître de façon inacceptable au plan économique. Outre les économies d’énergie permises par l’amélioration de l’isolation et la gestion optimisée des bâtiments, on peut identifier quatre voies à fort potentiel de développement dans ce secteur. Ce sont : les réseaux de chaleur, l’utilisation de la biomasse, les pompes à chaleur et le solaire thermique intégré à l’habitat. La mise en synergie de ces quatre voies serait un élément déterminant pour l’optimisation de l’ensemble du secteur.

L'intérêt principal des réseaux de chaleur réside dans la diversité des sources d'énergies que l'on peut y utiliser, et la possibilité de substitution de l'une à l'autre d'une façon relativement souple. Cette diversité et l'abondance des sources primaires utilisables (les rejets thermiques des centrales électrogènes représentent par exemple un potentiel de plusieurs dizaines de Mtep par an) font des réseaux de chaleur, haute ou basse température, un vecteur d'énergie privilégié. Les réseaux de chaleur, en France, sont au nombre de 392, et assurent seulement 5 % de la consommation finale : cette possibilité de réseaux offre un potentiel important que l'on peut faire monter en puissance continûment, comme en atteste son usage beaucoup plus élevé dans l'Europe du Nord et de l'Est.

En particulier, l'utilisation, en réseaux de chaleur, de la biomasse, des déchets carbonés et des résidus urbains, représente probablement aujourd'hui le meilleur compromis en termes de coût du carbone évité : pour des raisons de mise en œuvre, de propreté et d'efficacité, l'usage direct de la biomasse par le consom-

mateur final n'est plus concevable à grande échelle. Cette utilisation « des biomasses » constitue en France un axe stratégique, que l'on retrouvera dans le secteur des transports.

La pompe à chaleur est un concept optimal, du point de vue de l'usage de l'électricité, pourvu que l'on dispose d'une source froide de capacité suffisante. Faute d'en disposer, les installations réalisées à partir des années 70 ont connu globalement, un échec. Mais le potentiel de cette technologie oblige à la reconsidérer, dans l'optique d'une utilisation centralisée, en synergie avec les réseaux de chaleur à basse température, compris comme vecteur d'énergie en amont ou en aval des pompes à chaleur. De cette façon, il s'ouvre des perspectives de cogénération et de récupération des calories à basse température, en particulier celles rejetées par les centrales électriques, et celles de la mer ; ce potentiel énergétique gigantesque fait de la pompe à chaleur une technologie-clé. En outre, cette technologie est utilisable à des fins de climatisation en période chaude.

Le solaire thermique intégré à l'habitat doit être promu partout, et en particulier dans les zones à fort ensoleillement et en habitat dispersé. Il est, presque toujours, physiquement nécessaire de compléter le chauffage solaire par un chauffage électrique, ou à combustion. Pour maîtriser les coûts, il faut donc, dans les logements neufs, concevoir et optimiser dès le début l'ensemble de la thermique, et intégrer à l'habitat tout le dispositif de chauffage.

## **Le secteur des transports**

Environ 50 Mtep sont utilisées aujourd'hui dans ce secteur caractérisé par une croissance continue, et un recours au pétrole brut à 95 %.

Un certain nombre de procédés permet d'envisager l'évolution progressive des modes d'approvisionnement en hydrocarbure. Il s'agit de substituer au pétrole brut des carburants de synthèse tirés de produits lourds, de gaz, ou de charbon. Cette substitution s'opérera, le moment venu, aux conditions du marché. Du point de vue de notre sécurité d'approvisionnement, ces technologies sont d'un intérêt capital pour anticiper

une crise pétrolière majeure et soudaine.

Ces procédés ont toutefois l'inconvénient d'émettre, au bilan de toute la filière, encore plus de dioxyde de carbone que les carburants actuels.

Il faut, dans le secteur des transports, engager une action graduelle, mais déterminée. Quatre voies sont possibles.

La première est le véhicule hybride : ce concept est caractérisé par une gestion optimisée de l'énergie dépensée par le véhicule, obtenue en ajoutant aux moteurs à combustion interne une composante électrique. Le potentiel ultime d'économie est d'un tiers du carburant, par rapport à la situation actuelle. Cette filière, presque prête techniquement, doit faire l'objet, au plus vite, d'une aide de l'État, sous la forme la plus appropriée.

Le concept hybride ouvre, à plus long terme, une autre perspective, qui est celle de l'utilisation directe de l'électricité du réseau, stockée dans des batteries : l'hybride remédie à la faible autonomie du véhicule électrique, tout en permettant, en cycle urbain, une propulsion électrique propre et efficace. La deuxième voie consiste donc à développer l'usage

de l'électricité du réseau, dans l'automobile, mais aussi dans les transports en commun, et le transport de marchandises. Ceci présuppose, au préalable, que la production d'électricité soit « décarbonée », ce qui est le cas en France.

Le développement des carburants issus de la biomasse constitue la troisième voie. Deux filières sont possibles : la filière « humide » produit des « biocarburants » ou de l'éthanol. Cette filière doit être développée, tout en restant intégrée aux filières agricoles. La filière « sèche » qui utilise la gazéification produit des carburants de type Diesel, à partir de toutes les biomasses. Cette dernière voie possède un fort potentiel, mais demande encore une phase de R&D, puis des investissements importants. Ce sera peut-être une des clés, demain, d'un maintien d'une activité dans certaines zones rurales.

La quatrième voie concerne les technologies de l'hydrogène. En raison de son coût global actuel, la filière hydrogène doit encore connaître des améliorations majeures, notamment en ce qui concerne les piles à combustibles et les conditions de stockage et de distribution, avant

de pouvoir s'imposer. Les ruptures nécessaires ne seront peut-être pas réalisées dans la période concernée par cette analyse. Toutefois, les technologies de l'hydrogène sont en très forte synergie avec celles des carburants de synthèse, qu'ils soient issus des ressources fossiles ou de la biomasse. En particulier, le recours à l'hydrogène, produit à partir de sources d'énergie non fossiles, pour optimiser le bilan carbone des divers procédés de raffinage et de synthèse, constitue une technologie-clé.

Six axes stratégiques ressortent des considérations précédentes :

- poursuivre l'usage de l'énergie nucléaire, en assurant, sur le siècle, la transition vers un cycle du combustible fermé, par une gestion satisfaisante et durable de la question des déchets, et vers l'utilisation de la totalité du potentiel énergétique de l'uranium naturel ;
- promouvoir des solutions de gestion centralisée de la chaleur, en agglomération urbaine, visant à multiplier les ressources primaires utilisables, et à rationaliser l'usage de l'électricité, notamment par l'usage de réseaux et des pompes à chaleur ;

- développer l'hybridation des véhicules, association d'un moteur à combustion et d'un moteur électrique, afin d'optimiser leur consommation, et de rendre possible une montée continue de la propulsion proprement électrique ;

- développer la production de biomasse à usage énergétique, à travers une politique cohérente visant à l'optimisation des ressources et à l'aménagement du milieu rural ;

- développer une filière nationale de carburants de synthèse, à très faible taux d'émission de carbone, en s'appuyant notamment sur la gazéification de la biomasse, et à plus long terme, sur les autres énergies non fossiles ; cette filière possède en effet un potentiel bien plus important que celle des « biocarburants » que l'on doit néanmoins poursuivre et présenter en outre l'avantage de constituer une étape particulièrement intéressante sur la voie de la production et de l'usage direct de l'hydrogène dans le domaine des transports, avec notamment sa consommation dans des piles à combustibles ;

- définir en conséquence une politique nationale de recherche et développement, coordonnée avec celle de nos par-

tenaires européens, et plus largement au plan mondial ; ce qui implique d'investir au niveau approprié pour le développement des technologies nouvelles nécessaires et de rassembler les éléments de compréhension de leurs impacts environnementaux et sur la santé.

## Une stratégie flexible

Cette stratégie peut permettre de diviser par trois, à l'horizon 2050, nos émissions de gaz carbonique, en partant d'un niveau déjà bas par rapport aux autres nations industrielles. Elle s'appuie sur le savoir-faire français en matière de nucléaire, et sur notre spécificité rurale. Par construction, cette stratégie est flexible, ce qui la rend compatible avec l'évolution du contexte européen et mondial de l'énergie et des transports.

La stratégie présentée, tout en soulignant les marges de progrès d'utilisation des énergies renouvelables, s'appuie largement sur l'énergie nucléaire. On doit naturellement envisager que certains pays choisissent de ne pas y avoir recours. Il faut alors observer que les cinq derniers axes dégagés ci-dessus restent valables, pourvu que le premier soit remplacé par une stratégie de « décarbonation » de la production d'électricité, propre à ces pays. Dans ce sens, l'intérêt de cette stratégie peut dépasser le cadre national. ●