

LE MENSUEL DE LA FONDATION iFRAP

SOCIÉTÉ CIVILE

Enquêter pour réformer N° 143

LA FRANCE FACE AUX CHOIX ÉNERGÉTIQUES

Février 2014 - 8 €

FONDATION
iFRAP

FONDATION POUR LA RECHERCHE
SUR LES ADMINISTRATIONS ET
LES POLITIQUES PUBLIQUES

LA FRANCE FACE AUX CHOIX ÉNERGÉTIQUES

À l'heure où on ne parle plus – et avec raison – que de compétitivité de la France et de ses entreprises, il convient de rappeler que, grâce à l'énergie nucléaire, le prix du MWh (mégawattheure) en France est l'un des plus bas d'Europe (même s'il reste supérieur au prix américain) : 88 euros TTC pour l'industrie contre 134 euros en Allemagne. Mais à l'intérieur de ce prix, le coût de production d'un MWh varie énormément d'une technologie à l'autre : de 1 (nucléaire) à 7 (photovoltaïque).

La Fondation iFRAP a évalué que, si nous réduisons la part du nucléaire de 75 à 50 % comme cela a été annoncé précédemment par ce gouvernement pour augmenter la part de l'énergie renouvelable, la facture serait de 30 milliards d'euros par an plus élevée pour le consommateur. Ce choix pourrait être celui d'un pays ultra-riche, pas surendetté, pas déficitaire et pas en pleine crise du chômage. Mais ce choix ne peut pas être celui de la France qui sacrifierait là un de ses avantages comparatifs.

Côté gaz, ces dix dernières années, la production de gaz et de pétrole non conventionnels (schiste, houille...) a révolutionné la production d'énergie en Amérique du Nord. La France aurait, dans ses sous-sols, un des potentiels les plus importants d'Europe évalué à 3 800 milliards de mètres cubes par le département de l'énergie américain, soit 80 ans de consommation nationale. Pourquoi ne pas tenter de rendre la France plus indépendante pour sa consommation de gaz dont 99 % sont importés (environ 30 % de la consommation finale d'énergie de l'industrie et des ménages), creusant la balance commerciale de la France ?

Les gouvernements et le Parlement ont décidé d'interdire toute évaluation du potentiel disponible et toute exploitation. Certains, et parmi eux Arnaud Montebourg ou Laurent Fabius, Bruno Lemaire ou Valérie Pécresse, ont le courage de dire qu'il faut regarder le gaz de schiste de manière objective.

La loi sur la transition énergétique annoncée pour l'été 2014 ne doit pas se tromper d'urgence. L'urgence c'est l'emploi et la compétitivité de nos entreprises. La France est un des pays industrialisés dont l'efficacité énergétique est la meilleure, la production de CO₂ la plus faible et qui dispose de leaders mondiaux dans le secteur énergétique. Ne gâchons pas nos atouts. La France est face à trois choix décisifs. Combien d'énergie allons-nous consommer ? Combien de CO₂ allons-nous produire ? Quelles sources d'énergies allons-nous utiliser ?

Propositions principales :

- **Maintenir en fonction les centrales nucléaires certifiées par l'Autorité de sûreté nucléaire, et jugées rentables par leur propriétaire.**
- **Construire en permanence un, puis deux réacteurs nucléaires en France –soit quatre d'ici 2030 –, débiter en 2017 la construction de la centrale EPR de Penly.**
- **Moduler finement le prix de l'électricité en fonction de son coût (saisonnier, journalier, horaire).**
- **Évaluer le potentiel du gaz et du pétrole de schiste et mener des exploitations expérimentales. Passer à la production si elle est sûre et rentable.**
- **Accentuer la recherche sur les technologies d'avenir (photovoltaïque, biomasse de seconde génération, nucléaire de 4^e génération, géothermie profonde, stockage hydrogène/méthane).**
- **Supprimer les subventions et obligations d'achat aux technologies actuellement non compétitives.**
- **Lancer la réflexion sur les moyens de défense contre les effets du dérèglement climatique.**

I. LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

A. Consommation d'énergie

Consommation finale d'énergie¹ en Mtep par habitant (2009, eurodata)

Espagne	Italie	Royaume-Uni	France	Allemagne	Norvège	Finlande	États-Unis
1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,4	3,8	4,5

Mtep : million de tonnes d'équivalent pétrole

Depuis dix ans, la consommation finale d'énergie a baissé de 160 à 154 Mtep, soit de 0,4 % par an, en raison de la crise économique, des progrès techniques et de l'augmentation des prix (en 2002 le prix du baril de pétrole était de 20 à 25 dollars; en 2012, de 80 à 90 dollars). Mais l'industrie étant la seule à avoir réduit sa consommation

d'énergie, il semble difficile de s'en féliciter. En 2013, malgré la crise, la consommation d'électricité a augmenté de 1,1 %, mais celle de l'industrie a baissé de 2,5 %. L'énergie est utilisée par tous les secteurs de l'activité économique, mais le bâtiment au sens large (tertiaire + résidentiel) représente le premier poste de consommation (44,3 %).

Consommation finale d'énergie par secteur d'activité en France

	Transport	Résidentiel	Industrie	Tertiaire	Agriculture	Total
En Mtep	49,2	46,0	32,1	22,6	4,4	154,4
En %	31,9	29,6	21,5	14,7	2,9	100

Consommation finale d'énergie par type d'énergie en France

	Pétrole	Électricité	Gaz	Renouvelables	Charbon	Total
En Mtep	64,6	37,6	32,6	14,9	5,2	154,4
En %	41,8	24,4	20,8	9,7	3,4	100

Source : Références, Bilan énergétique de la France pour 2012, page 37

■ 1 La consommation finale est celle réalisée par les utilisateurs finaux, donc hors ceux qui transforment une énergie dans une autre, par exemple du gaz en électricité.

■ 2 Énergie primaire = énergie source avant transformation en une autre énergie ou un autre produit. Ex : électricité produite par le nucléaire, hydraulique, éolien, photovoltaïque mais pas à partir de pétrole, de charbon ou de gaz.

Note 1 : chiffres correspondant à la consommation finale, l'électricité étant produite « directement » (centrales hydrauliques, nucléaires, éoliennes, photovoltaïques ...) mais aussi « indirectement » à partir d'énergie fossile (pétrole, gaz).

Note 2 : les « renouvelables » correspondent ici principalement à l'utilisation de bois et de déchets pour le chauffage. La production des barrages hydrauliques, centrales éoliennes et photovoltaïques étant inclus dans la colonne « électricité ».

B. Faible production de CO₂

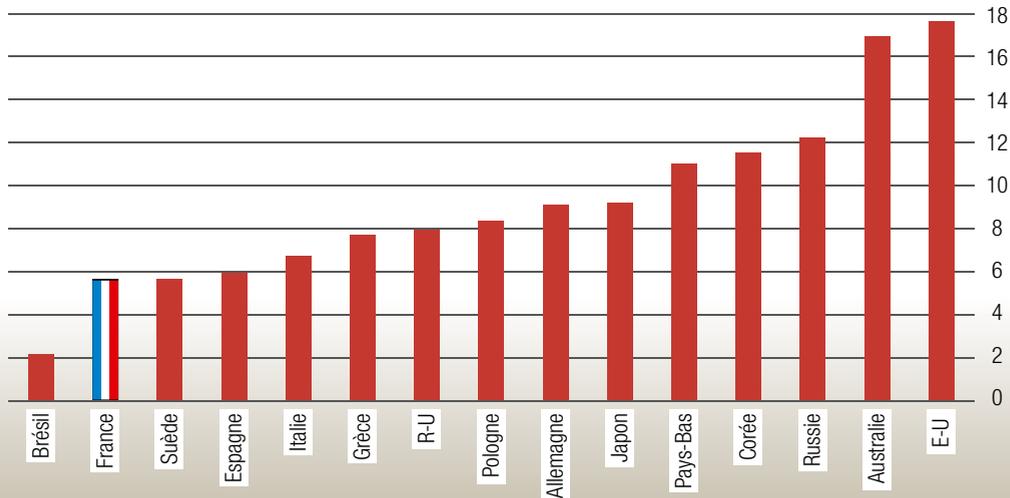
La France se distingue par une forte production d'électricité assurée en 2012 à 75,8 % par le nucléaire, à 9,6 % par le thermique classique, 11,2 % par l'hydraulique, 2,7 % par

l'éolien, et 0,7 % par le photovoltaïque. Pour cette production, l'Allemagne utilise surtout son charbon et sa lignite, le Royaume-Uni son gaz naturel.

La France et la Suède sont les pays industrialisés qui produisent le moins de CO₂ par personne, grâce à leurs centrales hydrauliques et

nucléaires. La France a divisé ses émissions par deux depuis 1970.

Émission de CO₂ en tonnes par personne et par an



Source : Enjeux Les Échos, à partir de données publiques

C. Coût des importations d'énergies fossiles

La charge de nos importations d'énergie, équivalente à la quasi-totalité de notre déficit du commerce extérieur (65 milliards d'euros), est un autre des problèmes que nous avons à affronter. L'augmentation du coût du pétrole a fait monter la facture énergétique de la France à un niveau (3 % du PIB) très supérieur à son niveau de la période 1985-2005. Mais qui reste très inférieur à ce qu'il était dans les années 1975 à 1985 (jusqu'à 5 %). La balance commerciale de l'Allemagne est excédentaire malgré des importations énergétiques nettes supérieures à celles de la France (100 vs. 65 milliards d'euros). Mais

toute méthode économiquement rentable pour renforcer notre indépendance énergétique et réduire le niveau de nos importations est bénéfique pour l'économie de notre pays. C'est le cas de la production actuelle d'électricité par les centrales nucléaires qui réduit la quantité d'énergie fossile importée. En 2012, elle évitait à la France un surcroît de déficit extérieur de 20 à 30 milliards d'euros par an, soit une aggravation de 50 %. La France exporte aussi plus d'électricité qu'elle n'en importe, environ 8 % de sa production, niveau en baisse, mais générant un excédent de 3 milliards par an.

D. Faible coût de production de l'électricité

Les prix de l'énergie sont très différents d'un pays à l'autre, suivant les choix techniques et politiques faits depuis des décennies. Les prix des énergies primaires importées (pétrole, gaz, charbon) sont assez homogènes en Europe. Par contre, les prix de l'électricité varient du simple au double et se trouvent donc au centre des débats. Pourquoi ?

Différentes techniques de production sont utilisées, et les taxes appliquées sont spécifiques à chaque pays. C'est donc la comparaison des prix hors taxes qui permet de juger de la performance économique du système électrique des pays. Pour les particuliers par exemple, les prix du MWh sont identiques en France et au Royaume-Uni,

mais c'est l'efficacité du système électrique français qui permet aux clients de bénéficier de prix relativement bas, tout en permettant à l'État et aux collectivités locales de prélever des impôts considérables sur cette consommation. L'Alle-

magne module aussi fortement les taxes selon le type de consommateur, surtaxant les particuliers au bénéfice de l'industrie, une méthode qui est actuellement critiquée par Bruxelles comme faussant la concurrence.

Électricité, Données 2011, Chiffres et statistiques N° 366 et Eurostat

Euros / MWh		Prix HT	Taxes	TVA	Prix TTC
France	Particuliers	94,9	19,6	19,8	134,3
	Industrie	77,0	11	NS	88
Allemagne	Particuliers	135,8	71,4	39,4	246,6
	Industrie	99,0	34,7	NS	133,7
Royaume-Uni	Particuliers	131,2	0	6,57	137,7
	Industrie	100	5,6	NS	105,6

Les prix (HT et TTC) du gaz et du pétrole (essence, fuel, gazole) dans ces trois pays sont beaucoup plus homogènes. Seuls la Suède et le Danemark imposent des taxes très importantes sur le gaz (Suède 16 %, Danemark 44 %) et le pétrole. Aux États-Unis, le prix de l'électricité³

est de 30 à 50 % inférieur aux prix français. Et depuis 2008 et la révolution des gaz non conventionnels, le prix du gaz a été divisé par trois pour les industriels, se situe au tiers des prix européens et entraîne une forte réduction de la consommation de charbon.

Un objectif intenable, heureusement

La moitié des salariés travaillant à plein-temps gagnent moins de 1 675 euros nets par mois. Le montant moyen de la pension de droit propre est de 1 216 euros par mois¹. L'objectif doit donc être un redémarrage de la croissance, permettant au cours des 40 prochaines années, un progrès du niveau de vie analogue à celui des 40 dernières années. Le rapport du Sénat² a constaté, malgré les progrès techniques, l'augmentation de la consommation liée aux nouveaux usages domestiques et à la multiplication des appareils par foyer. L'amélioration du chauffage, le développement de la climatisation, l'augmentation de la taille des logements et de la fréquence des voyages, sont d'autres facteurs dont il faudrait se réjouir plutôt que de les déplorer.

Pour atteindre l'objectif « Facteur 4 », une division par 4 de la quantité d'émission de CO₂ en 2050, le gouvernement français actuel et son prédécesseur ont prévu de réduire de moitié la consommation totale d'énergie en France. Leur plan est de passer de 151 MTep en 2010 à 82 MTep en 2050 (- 46 %) alors que la population française aura augmenté de 10 % sur la même période passant de 63 à 70 millions. (Source : ADEME : « Vision 2030-2050 », page 12). Une politique qui conduirait à la régression économique et sociale de notre pays.

- 1 Seuls 10 % des salariés gagnent plus de 3 500 euros par mois
- 2 Commission d'enquête sur le coût réel de l'électricité, 11 juillet 2012

■ Proposition : stabiliser la consommation moyenne d'énergie par personne.

■ 3 Les prix varient d'un État à l'autre selon les coûts de production locaux.

II. Les sources et caractéristiques des énergies disponibles

A. La panoplie des sources d'énergie

La recherche d'alternatives aux combustibles fossiles a été relancée, et la créativité des chercheurs et des industriels a été débridée. Au moins une vingtaine

de filières sont disponibles ou en cours d'étude : un formidable témoignage de la capacité des humains à résoudre les problèmes auxquels ils sont confrontés.

Non renouvelables	Renouvelables
Charbon (200 à 250 ans)	Combustibles - Bois - Déchets urbains
	Agro-carburants - Sucres - Huiles - Paille, déchets agricoles
Pétrole (70 à 120 ans) - Conventionnel - Sables bitumineux - Schistes	Vent - Éolien terrestre - Éolien marin
	Eau - Hydroélectricité - Marémotrice - Hydrolienne Écarts de température
Gaz (100 à 150 ans) - Conventionnel Schistes, gaz de mine - Méthane solide (si accessible)	Géothermie - Classique - Grande profondeur
	Soleil - Photovoltaïque - Thermique - Thermodynamique
Nucléaire - Fission (200 à 400 ans) Surgénérateur (>1 000 ans) - Fusion (quasi renouvelable)	Économies d'énergie - Isolation des bâtiments Transports collectifs - Amélioration des performances des produits (dont voitures électriques)

La quasi-totalité de ces techniques sont déjà capables de produire (ou d'économiser) de l'énergie, mais présentent chacune des avantages

et inconvénients spécifiques que les consommateurs, les responsables politiques et les investisseurs doivent prendre en compte.

B. « Coût » et « Prix » des énergies intermittentes

L'énergie constituant une part importante (9 %) des dépenses des ménages, son prix est un critère de choix essentiel. Celui des énergies fossiles stockables est difficile à anticiper, le coût du pétrole ayant été multiplié ou divisé par 4 en quelques années, celui du charbon étant à la baisse et celui du gaz ayant été divisé par trois aux États-Unis. Le prix de l'électricité provenant de sources produisant « à la demande » (chute d'eau, nucléaire) est connu et stable. Celui de l'électricité provenant de sources « intermittentes » (ex. marémotrice) ou « intermittentes et aléatoires » (ex. éolienne, solaire) est complexe à évaluer, étant fonction de coûts de production stables mais aussi de leur utilité très variable. À titre d'exemple, EDF⁴ a rarement besoin de l'électricité produite par les éoliennes en pleine

nuit, et aurait par contre besoin d'électricité photovoltaïque d'octobre à mars à la pointe de consommation de 18-21 heures, mais il fait déjà nuit. Les centrales à gaz ou hydroélectriques peuvent au contraire être démarrées rapidement quand il existe une demande. Leur production « vaut » donc cher, plus même que celle produite par des centrales nucléaires qui peut être planifiée à l'avance mais ne sont pas aussi souples. Le MWh vaut en général 40 à 50 euros, mais aux deux extrêmes, des MWh éoliens sont bradés à des prix négatifs quand la production en Allemagne est surabondante, alors que des MWh ont été achetés en 2012 jusqu'à 3 000 euros dans des cas de pénurie en Europe. Incontestablement, une énergie aléatoire « vaut » moins que celle disponible à la demande.

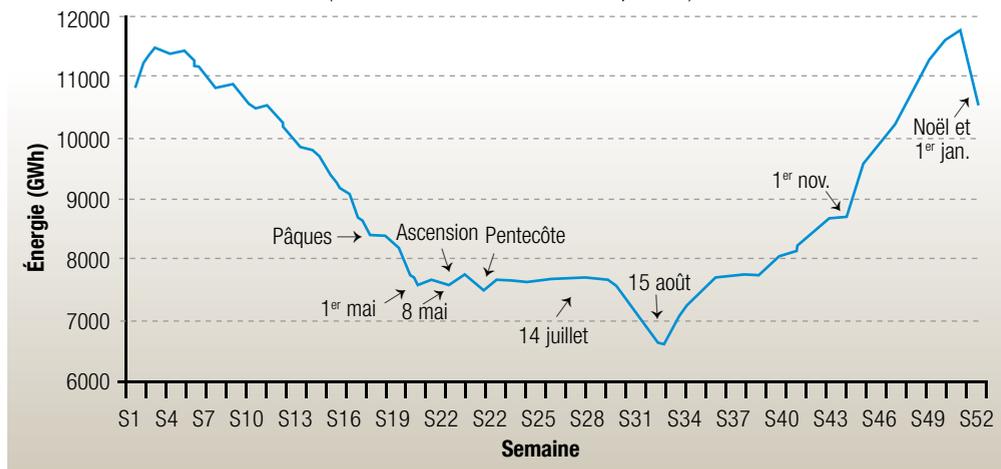
■ **Proposition** : moduler le prix de l'électricité en fonction de son coût (saisonnier, journalier, horaire).

■ 4 EDF est généralement utilisée dans cette note comme représentant l'ensemble des fournisseurs français d'électricité (EDF, GDF Suez, Direct Énergie ...).

En France, la consommation d'électricité varie au cours de la journée et au cours de l'année, entre des puissances de 40 000 à 80 000 MW avec des extrêmes à 30 000 et 100 000 MW. La capacité théorique des centrales nucléaires installées est de 63 000 MW.

Leur taux de disponibilité étant de 80 %, leur production est suffisante pendant toutes les périodes de consommation inférieure à environ 50 000 MW. Les centrales hydrauliques au fil de l'eau ajoutent environ 8 000 MW à cette base (total 58 000 MW).

Exemple de cycle annuel
(ramené à condition normale de température)



■ Note : une consommation de 9 000 GWh par semaine correspond à une puissance moyenne de 53 000 MW.

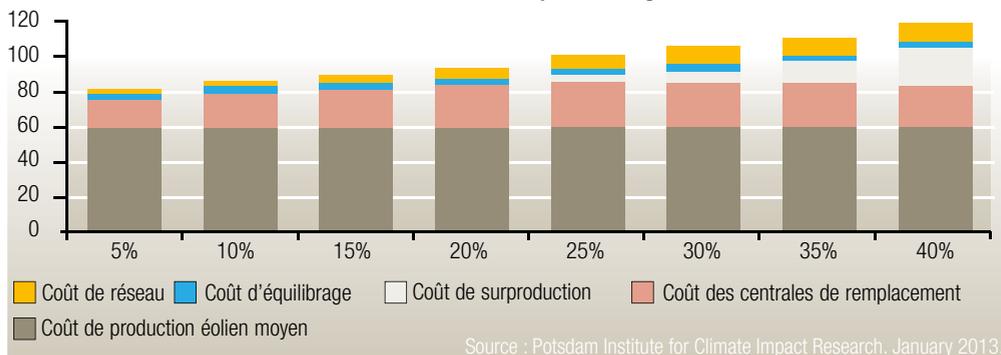
Le coût brut de l'électricité intermittente doit donc être corrigé de plusieurs facteurs :

1. la faible utilité d'une partie de l'énergie intermittente fournie à EDF ;
2. le coût d'installation de centrales de remplacement (à gaz, fuel ou charbon) ;
3. le coût d'adaptation du réseau de transport

de l'électricité, et de sa gestion.

Le rapport « Eye on the market » du 28/11/2013 de JP Morgan sur ce sujet, basé sur des calculs du Potsdam Institute for Climate Impact Research, indique l'ensemble des quatre coûts additionnels (ou coût système) dû à l'énergie éolienne en Allemagne.

Coût total en fonction du pourcentage éolien



Source : Potsdam Institute for Climate Impact Research. January 2013.

■ Note de lecture : pour un taux de pénétration de l'énergie éolienne de 20 %, les coûts indirects ou de gestion du système augmentent de moitié le coût du MWh éolien brut, passant de 60 euros à 90 euros (à 40 % de pénétration le coût est double).

Cette évaluation sous-estime pour notre pays le coût actuel de production (60 euros /MWh contre 82 pour l'éolien terrestre et 220 euros pour l'éolien marin), et la quantité de production inutile. Pour ce dernier facteur, la France se trouve dans une situation particulière en raison de l'importance de son parc nucléaire. À l'opposé des centrales à gaz, les centrales nucléaires ont des coûts fixes importants (80 %) et des coûts variables faibles (20 %). Arrêter ou réduire leur production pendant quelques heures ou quelques jours n'économise que 20 % du coût. Au contraire, des pays où la production est réalisée à partir de centrales à énergie fossile, comme l'Allemagne ou le Danemark, peuvent réduire rapidement leur production et réaliser de réelles économies de gaz ou de pétrole (coûts fixes de ces centrales de 20 %, coûts variables de 80 %). D'autres pays comme le Canada qui a la capacité de stocker l'électricité éolienne en rechargeant des barrages hydrauliques peuvent aussi tirer un meilleur parti des énergies intermittentes.

Associer les énergies aléatoires aux énergies

fossiles est donc plus performant que de les associer à l'énergie nucléaire... mais entraîne une plus grande dépendance sur les énergies fossiles. La France se trouve donc face à un choix décisif: soit elle conserve une base importante nucléaire et doit limiter le développement des énergies aléatoires, soit elle abandonne l'énergie nucléaire, développe les énergies aléatoires et augmente sa consommation de gaz, de fuel et de charbon.

En France, la fixation administrative des prix d'achat des nouvelles énergies renouvelables ne permet pas de déterminer leur véritable valeur. L'iFRAP propose ici des coefficients correcteurs, en se basant sur les hypothèses valables pour notre pays :

- un MWh sur deux produits par ces sources intermittentes et aléatoires est inutile⁵,
- des centrales de remplacement doivent être construites et conservées en stand-by pour la moitié de la puissance intermittente (coût 10 euros par MWh)
- le réseau de transport et sa gestion doivent être restructurés (coût 10 euros par MWh).

Coût complet de production électrique

En euros / MWh	Prix d'achat par EDF ⁽¹⁾	Production inutile	Centrales de remplacement	Adaptation/ gestion du réseau	Total
Éolien terrestre	82	82	10	10	184
Éolien marin	220	220	10	10	460
Hydrolien	200 à 400	100 à 200	10	10	320 à 620
Photovoltaïque	116 à 425	116 à 425	10	10	252 à 870
Cogénération	61 à 91	-	-	10	71 à 101
Géothermie	200 à 280	-	-	10	210 à 290
Hydraulique	60 à 70	-	-	-	60 à 70
Production EDF	45 à 70	-	-	-	45 à 70

■ 5 Un MWh inutile est soit un MWh dont le producteur ne sait pas quoi faire, soit un MWh qui déplace un MWh nucléaire dont le coût marginal est très faible (10 euros). La puissance nécessaire est inférieure à 53 000 MW de mai à octobre et plusieurs heures par nuit d'autres mois de l'année.

■ 6 En 2020, le coût des 6 % de nouvelles énergies renouvelables sera de 8 milliards d'euros par an.

(1) Source : rapport du Sénat, 11 juillet 2012, page 119, et réponses aux appels d'offres publics.

Réduire en 2025 la part du nucléaire de 75 à 50 % comme annoncé par le gouvernement dans la production d'électricité implique d'augmenter celle de l'énergie renouvelable de 25 %, soit une facture de 30 milliards d'euros par an pour les consommateurs⁶.

Seul le stockage efficace de l'électricité produite par l'éolien ou le photovoltaïque pourrait changer l'équation en rendant « utile » toute

leur production et en éliminant à terme l'utilisation des énergies fossiles pour la production d'électricité.

C. Quel mode de production de l'électricité ?

L'électricité, pouvant répondre à la quasi-totalité des besoins (habitat, mobilité et moteurs) et être produite localement, sans émission de CO₂ et renouvelable, est sans doute l'énergie d'avenir à très long terme. En France, le coût d'un MWh électrique varie de 1 (nucléaire) à 7 (photovoltaïque) suivant le mode de production. Pour les opposants au nucléaire, malgré les provisions légales faites par EDF, les coûts de démantèlement des centrales nucléaires et de traitement des déchets sont sous-estimés. L'exemple américain montre cependant qu'il

est possible de démanteler une centrale pour environ 300 millions de dollars. Il est vrai que les Américains ont adopté une approche du démantèlement qui n'inclut pas la destruction totale du réacteur. La prolongation probable de la durée de vie des centrales (un doublement de 30 à 60 ans) devrait fortement⁷ rentabiliser les investissements initiaux et permettre de compléter les provisions, si nécessaire. Pour les nouvelles énergies (éolien, solaire,...) le coût étant fixé par l'État est connu mais n'inclut pas la totalité des charges.

D. Les sources d'énergie face aux critères de choix

Fossile (charbon / gaz / pétrole)

Technologies éprouvées, facilement interchangeables, coûts instables, fournisseurs étrangers (jusqu'à présent) mais très diversifiés, pollution atmosphérique, bonne acceptabilité pratique par la population.

La quantité de ces ressources disponibles sous terre est difficile à évaluer. Toutes les prévisions faites dans le passé ont été démenties. En 1972, le Club de Rome avait annoncé l'épuisement des réserves connues de pétrole et de gaz pour 1992, en supposant une croissance de 3,9 % de la consommation par an, ou en 2022 en imaginant un quintuplement des réserves, une hypothèse qui semblait invraisemblable. Jusqu'à présent, les prévisions annoncent toujours la fin du pétrole pour dans 40 à 50 ans. Le

peak oil lui-même devait marquer le début de la baisse de production dès 2010 : il est aussi repoussé grâce à des découvertes coûteuses mais considérables. Et le gaz et le charbon sont encore plus abondants que le pétrole. Le gaz étant disponible en quantité importante, utilisable pour les transports, et le chauffage à des coûts inférieurs à l'électricité, et réduisant de moitié la production de CO₂ par rapport au charbon et au pétrole, restera incontournable en France pendant des décennies.

Ces nouvelles données ont rendu largement caduc l'argument de la pénurie pour justifier les restrictions de consommation, mais renforcent au contraire les inquiétudes sur un éventuel changement climatique: d'où l'opposition aux recherches sur les gaz de schiste.

■ 7 Une ouverture à la concurrence de ce secteur aurait permis de disposer de comparaisons entre les projections de différentes entreprises et d'évaluations par différents investisseurs.

■ Proposition : favoriser l'utilisation du gaz ; relancer les véhicules fonctionnant au gaz GPL.

Nucléaire

Technologie éprouvée, encore peu modulaire (mais des centrales moins puissantes en projet), nécessitant une grande compétence technique

pour leur construction et une stabilité politique. Coût faible, production locale, technologie exportable et complexe à copier. Génère des

déchets très toxiques de longue durée de vie et encore peu recyclables. Susceptible de provoquer des accidents rares mais catastrophiques. Possède des possibilités importantes d'améliorations

prouvées (surgénérateur) et d'autres à démontrer (thorium, fusion). Acceptabilité très variable selon les populations, bonne pour les centrales en exploitation.

- **Proposition** : maintenir en fonction les centrales nucléaires certifiées par l'Autorité de sûreté nucléaire, et jugées rentables par leur propriétaire.
- **Proposition** : construire en permanence un, puis deux réacteurs nucléaires en France, soit quatre d'ici 2030 - débuter en 2017 la construction de la centrale EPR prévue à Penly.
- **Proposition** : ouvrir le marché de la construction et de l'exploitation des centrales nucléaires à des entreprises possédant cette expertise (ex. GDF Suez).

Hydraulique

Technologies éprouvées, coût faible, production très souple, mais quantité limitée, excellente acceptabilité pour les barrages en production. Les barrages hydroélectriques de haute chute (Génissiat, Tignes...) sont considérés comme cumulant tous les avantages : électricité renouvelable, peu coûteuse, nationale, sans CO₂, flexible

(pouvant produire rapidement à la demande) et à ce jour la seule méthode satisfaisante de stockage de l'électricité en excès. Mais pourrait-on encore construire de tels barrages en 2014, eux qui ont inondé des terres agricoles, englouti des villages et sans doute dérangé des colonies de hannetons et de myosotis de montagne ?

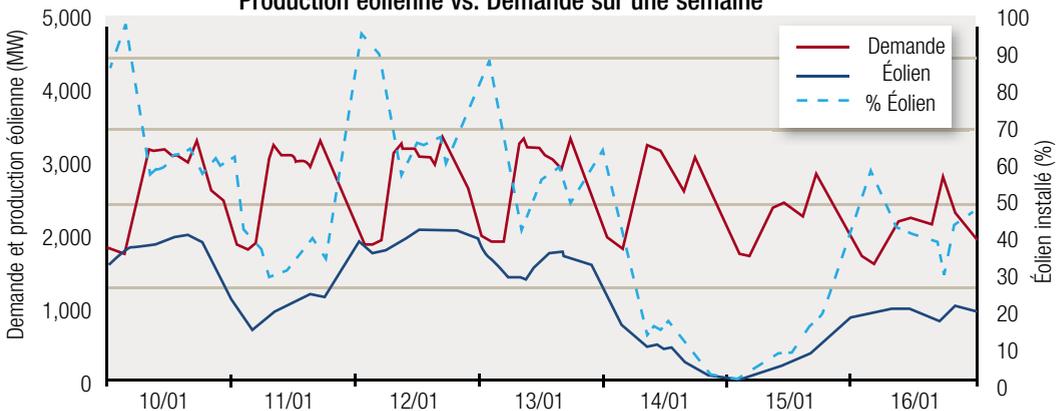
- **Proposition** : lancer les appels d'offres pour le renouvellement des concessions des barrages existants afin de connaître leur vraie valeur et d'améliorer leur production.

Éolien terrestre et marin

Technologie éprouvée, coût élevé ou très élevé, production intermittente mais bien prévisible à 24/48 heures, nécessite une refonte du réseau de transport et de ses méthodes de gestion, implique

l'installation de productions « de remplacement », peu d'amélioration technique possible⁸, opposition variable des populations riveraines, forte opposition aux nouvelles lignes de transport de l'électricité.

Production éolienne vs. Demande sur une semaine



■ Note de lecture : sur une semaine, le vent couvre de 0% à 101% des besoins (rapport GIEC)

■ 8 Baisse de 30 % envisagée dans le rapport ADEME « énergies 2050 », page 75

Caractéristiques des éoliennes marines

Les éoliennes diffèrent entre elles par leur taille et des raffinements technologiques, mais ont en commun la quasi-totalité de leur infrastructure. À titre de référence, les caractéristiques de la plus récente l'éolienne marine d'Alstom sont les suivantes :

- Poids 1 500 tonnes
- Pales de 73,5 mètres, soit un diamètre de 150 mètres
- Poids de la nacelle : 400 tonnes
- Dressée à 45 kilomètres de la côte

Des centaines d'éoliennes marines sont déjà opérationnelles en Europe, cette technologie est donc déjà mature. Et l'éolien marin faisant appel à des technologies classiques (béton, acier, matériaux composites, moteurs, générateurs, travaux génie civil), ne semble pas pouvoir réduire ses coûts par le facteur 3 à 4 nécessaire pour être compétitive.

Solaire (photovoltaïque, chaleur)

Technologies éprouvées, coûts bruts très élevés, production intermittente mais prévisible à 24/48 heures, nécessite une refonte du réseau de transport et de ses méthodes de gestion, implique l'installation de productions « de remplacement », technique disposant de

nombreuses variantes, possibilité vraisemblable d'amélioration technique importante. Excellente acceptabilité de principe des populations, opposition des organismes agricoles, forte opposition aux nouvelles lignes de transport de l'électricité.

Rapport « Énergies 2050 » de Percebois et Mandil, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, février 2012

« La filière photovoltaïque est déjà compétitive dans les pays remplissant trois conditions : un fort ensoleillement, une pointe de demande survenant durant les heures d'ensoleillement et un coût de production du mix électrique moyen élevé. Aucune d'entre elles n'existe en France (métropolitaine). »

Les auteurs auraient pu ajouter une quatrième condition, pas remplie non plus en France : disposer de vastes espaces libres.

Agrocarburants

Technologie éprouvée pour les Agrocarburants de première génération à partir de tournesol, de maïs ou de colza, mais concurrence les cultures vivrières, chère et peu efficace en termes de réduction de CO₂. Bonne acceptabilité des populations,

notamment des agriculteurs bénéficiaires de cette production, opposition récente mais forte des écologistes. Des technologies de seconde génération utilisant les tiges et les feuilles plutôt que les fruits sont en phase initiale de développement.

Géothermie

Technologie éprouvée pour la faible profondeur. Coût élevé. Bonne acceptabilité par la population.

Énergie marine

Résultats décevants des usines marémotrices ; technologie des centrales hydroliennes (courants), houlomotrices (vagues) en tout début d'expérimentation.

E. Les économies d'énergie

L'autre façon de produire de l'énergie consiste à l'économiser. C'est ce que traduit la formule « *L'énergie la moins chère est celle qu'on ne*

consomme pas », un leitmotiv exact à condition de tenir compte du coût des mesures nécessaires pour réaliser ces économies d'énergie.

Bâtiment

Le logement et le tertiaire consommant 44,3 % de l'énergie utilisée en France, c'est un candidat important aux réductions de consommation. En 2012, la dépense moyenne en énergie des ménages est de 3 204 euros par an dont 1 702 euros pour l'énergie domestique (chauffage, eau chaude, éclairage, appareils électroménagers, cuisine). Cet « effort énergétique » représente environ 9 % du budget des ménages, une proportion stable depuis 20 ans⁹. Le chauffage représentant de 70 à 80 % de cette dépense, soit environ 1 361 euros. Pour obtenir une réduction de moitié de la dépense de chauffage, il faut investir environ 300 euros par mètre carré, quand c'est possible¹⁰. Soit 20 000 à 30 000 euros par logement¹¹ : changement des fenêtres, isolation du toit et des parois externes, méthode d'aération, modification du chauffage. Une économie de 680 euros par an est donc remboursée en 30 ans, sans tenir compte de l'intérêt du capital investi. De tels travaux d'isolation ne sont donc pas toujours rentables et ne doivent être entrepris qu'en analysant la situation au cas par cas, suivant les régions, l'altitude, l'orientation du logement, le mode de chauffage, le mode d'habitation et surtout le comportement des habitants. Des cas récents

ont montré que le refus des contraintes nécessaires (ex : temps d'ouverture des fenêtres) pouvait rendre en partie inefficaces les travaux d'isolation réalisés dans les immeubles à chauffage collectif. Rénover de façon systématique 500 000 logements par an comme annoncé par le gouvernement coûterait 10 à 15 milliards d'euros par an : des ressources qui ne sont pas disponibles et pour lesquelles la France devrait emprunter. Et un investissement souvent non rentable, ce qui explique que les propriétaires occupants ou bailleurs privés responsables ne réalisent pas systématiquement ces travaux. Alors qu'on manque d'un million de logements en France, l'urgence est-elle d'en rénover 500 000, ou d'en construire 100 000 de plus pour le même coût ? Le problème est le même pour la rénovation des bâtiments publics. Pour les seuls bâtiments des collectivités locales (300 millions de mètres carrés) le coût de leur mise à niveau est de 50 milliards d'euros sur 8 ans soit 6 milliards par an à partir de 2014 (source : avis de CESE page 22, efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire.). Comme leurs responsables le constatent trop tard : « *La question du financement, particulièrement des collectivités publiques, n'est pas résolue.* »

■ **Proposition :** isoler chaque année les 100 000 logements où les économies d'énergie sont les plus rentables hors subvention.

■ **Proposition :** n'isoler que les bâtiments publics où les économies d'énergie sont rentables en dix ans hors subvention.

Même pour les constructions neuves où les travaux d'isolation sont plus faciles à réaliser, les objectifs doivent être fixés de façon réaliste. Le coût de la construction (production) des logements sociaux a augmenté de 53 % de 2005 à 2012, alors que l'inflation n'a été que de 14 %. Les nouvelles règles concernant l'isolation y contribuent pour moitié. À elle seule, la régulation thermique 2012 entraîne une augmentation

des coûts de 10 à 15 %. Une augmentation qui handicape la construction neuve et élimine les primo-accédants. Ces réglementations, identiques pour tous les logements, pénalisent proportionnellement plus les logements sociaux les moins coûteux et ceux construits dans les communes où ils étaient déjà les moins coûteux. Des décisions pavées de bonnes intentions se retournent contre les moins favorisés.

■ 9 En 1985, ce taux était monté à 11,6 % à la suite du second choc pétrolier. INSEE Première 1315.

■ 10 Dans les immeubles haussmanniens, maisons en pierres apparentes, maisons typiques, l'isolation extérieure, la plus performante, est infaisable.

■ 11 Rapport du CESE page 31

Des techniques « actives » sont proposées en complément ou remplacement de celle d'isolation « passive ». Elles consistent à gérer de façon fine la consommation d'énergie par des applications de domotique qui, par exemple, règlent

le chauffage, les volets et les appareils ménagers de façon optimale suivant les heures, les pièces, les personnes présentes et les prix de l'énergie. Des solutions sans doute moins invasives que les méthodes passives, et donc souvent plus réalistes.

Chauffage et voiture électriques ou au gaz, (ou pétrole, ou charbon) ?

Se chauffer à l'électricité produite à partir de gaz est une mauvaise solution du point de vue rendement énergétique ; mieux vaut se chauffer directement au gaz. Idem pour une voiture électrique dont l'électricité est produite à partir de pétrole ; mieux vaut une voiture à essence. Pour pénaliser l'électricité produite à partir d'énergie fossile, le gouvernement fixe les objectifs de consommation maximum (kWh/m² pour les logements et bureaux, kWh/100 km pour les voitures) en prenant en compte l'énergie contenue dans le combustible initial (ex. gaz). Pour le nucléaire, la même méthode a été appliquée. Les pertes d'énergie résultant du cycle uranium/vapeur/électricité sont incluses. Un calcul qui fait débat, la quantité d'uranium étant quasiment inépuisable à terme. Selon la règle actuelle, le consommateur doit utiliser 2,5 fois moins de calories s'il utilise de l'électricité d'origine nucléaire que s'il utilise du gaz, de l'essence ou de l'électricité d'origine hydraulique, éolienne ou photovoltaïque. Un mode de calcul qui a sa logique mais qui interdit en France tout chauffage électrique dans les nouvelles constructions et toute voiture électrique, et favorise l'utilisation des énergies fossiles.

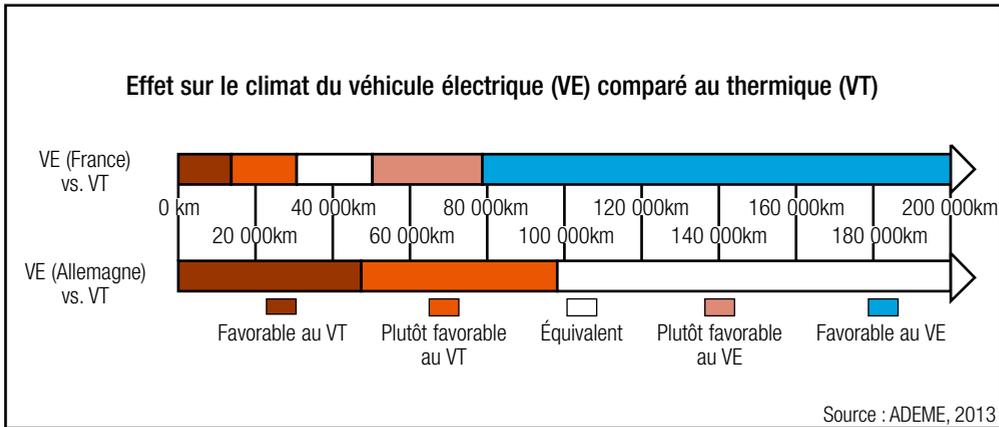
Cette situation n'est pas tenable. Le bon critère devrait prendre en compte le prix de l'énergie et la production de CO₂. Le premier (le prix) est naturellement surveillé par l'utilisateur lui-même ; c'est donc un objectif en émission de CO₂ que l'État devrait fixer.

■ **Proposition** : fixer les objectifs de consommation en kilo de CO₂ par mètre carré ou par kilomètre et pas en kWh.

Transports

Avec 31,9 % de la consommation d'énergie, les transports constituent un secteur important mais très différent de celui du logement. Dans le transport routier, le rythme de remplacement d'un véhicule est rapide (15 ans) et les progrès techniques fréquents sont mis en œuvre de façon centralisée dans les usines des constructeurs. Une méthode beaucoup plus performante que la gestion de chantiers dispersés sur tout le territoire. Résultat : les véhicules qui consomment 6 litres aux cent kilomètres ne coûtent

pas plus cher que ceux qui consommaient 8 litres. Le système est vraiment gagnant. Cette évolution va se poursuivre moins rapidement, mais plusieurs pistes de voitures (électriques, hybrides, hydrogène...) garantissent que les futures générations pourront, s'ils le souhaitent, conserver la liberté de déplacement qui est la nôtre. Mais même dans ce domaine, les données chiffrées de l'ADEME montrent que l'État doit se garder d'un enthousiasme excessif envers des technologies immatures.



La voiture électrique montre à quel point le timing d'introduction des nouvelles technologies est clef : les études de l'ADEME montrent que la succession des plans gouvernementaux des années 1970, 80, 90, 2000 et 2010 n'ont servi à rien. Mais il n'est pas exclu qu'un véritable marché émerge de lui-même un jour, probablement celui des flottes de voitures d'entreprise, ou peut-être, celui, complètement ignoré des planificateurs français, des voitures de grand luxe comme aux États-Unis.

Dans le transport ferroviaire, les progrès envisageables sont minimes. L'espoir des gouvernements repose sur un transfert massif de la route

vers le ferroviaire. Mais les résultats de Fret SNCF montrent que cette évolution n'est pas du tout garantie. Notre société est de plus en plus individualisée, flexible et exigeante, la rigidité et les ruptures de charge inhérentes au ferroviaire le rendent peu compétitif. La construction de nouvelles infrastructures ne doit être entreprise que quand la preuve de sa rentabilité sera faite sur les tronçons existants. Les besoins certains sont ceux de la desserte des périphéries des grandes métropoles où train/métro/tram sont irremplaçables. La seule véritable source d'économies d'énergie serait de remplacer les trains régionaux peu fréquentés par des autocars.

Agriculture, industrie

L'agriculture et l'industrie étant gérées par des entrepreneurs professionnels et soumis à la concurrence, l'amélioration de leurs performances énergétiques est structurelle. Vu la faible consommation de l'agriculture, il est inutile de rajouter des contraintes à une activité

déjà suradministrée. Les contraintes imposées à l'industrie en termes d'achat de quotas de CO₂ sont d'ores et déjà très pénalisantes. Il est par contre choquant de se réjouir de la baisse actuelle de consommation d'énergie de l'industrie, résultat de la désindustrialisation du pays.

Éclairage

Dans ce domaine aussi, seule la technologie permettra de réduire la consommation d'énergie, mais là encore en évitant les ukases politiques irréalistes. L'interdiction des ampoules incandescentes à filament a conduit à un fiasco. Les ampoules fluo-compactes deux à quatre fois plus chères et moins agréables étant rejetées par les consommateurs, leurs ventes sont déjà en train de s'effondrer, et ce sont des ampoules halogènes qui sont utilisées,

carénées comme les anciennes ampoules à filament, donc complexes, encore beaucoup plus chères et moins économes en énergie. Si les ampoules LED ne peuvent pas couvrir tous les besoins en 2016, l'interdiction des ampoules halogènes prévue à cette date devra être annulée. Ces itérations auront coûté des centaines de millions d'euros aux consommateurs sans avantages sensibles pour la réduction de consommation d'énergie.

III. LES CHOIX ÉNERGÉTIQUES POUR LA FRANCE

Une pénurie d'énergie dans un pays comme la France aurait des conséquences catastrophiques, comparables aux grandes famines, guerres ou épidémies des siècles précédents. Dans notre pays, elle pourrait survenir à long terme suite à l'épuisement des énergies fossiles, ou en raison d'une crise internationale nous fermant l'accès à ces énergies, ou à cause d'un problème systémique sur nos réacteurs nucléaires. Ces risques sont faibles à court et moyen termes. À tout moment, il est logique d'utiliser les

1. Énergies les plus performantes

Hydroélectricité, pétrole, gaz, charbon, nucléaire, bois, économies d'énergie-1. Ces énergies sont actuellement les moins coûteuses et seront disponibles pour des durées allant au moins de 75 ans à plusieurs centaines

d'énergies les plus performantes. C'est une condition nécessaire à l'amélioration de la compétitivité de notre économie et du pouvoir d'achat, donc à la résorption des déficits et dettes publics. Mais il est aussi prudent de disposer en permanence d'une panoplie de techniques de remplacement (ou « roues de secours ») même moins performantes, pouvant être mises en œuvre en cas de crise et il est nécessaire de préparer l'avenir en développant la recherche relative à de nouvelles énergies.

d'années, voire durables. À court et moyen termes, le gaz, disponible en grande quantité et moins polluant, est le combustible fossile de choix ; à terme, l'électricité pourrait satisfaire la quasi-totalité des besoins.

Gaz et pétrole de schiste en France

En dix ans, la production de gaz et de pétrole non conventionnels (schiste, houille, sable bitumineux) a révolutionné la situation de l'énergie aux États-Unis et au Canada. Il est probable que des quantités importantes de ces hydrocarbures existent en Chine et en Russie, et aussi dans des pays européens dont la France. Des progrès considérables ont été réalisés dans les technologies de recherche et d'exploitation, réduisant les risques de pollution et le nombre de forages nécessaires pour exploiter un gisement. La fracturation hydraulique peut aujourd'hui se concevoir avec uniquement des additifs non toxiques, une technologie la moins intrusive pour l'environnement.

En France, les gouvernements et les parlementaires ont décidé d'interdire toute évaluation

du potentiel disponible et toute exploitation. Une position de conjoncture électorale qui devient intenable. Il faut évaluer maintenant et précisément le potentiel de nos ressources avant de décider de leur exploitation. Le gaz étant un excellent combustible, du gaz français constituerait une aide précieuse à la transition. L'exploitation du gaz de Lacq a commencé en 1951, au sortir de la guerre, alors que les moyens d'études du sous-sol, de forage et d'exploitation étaient rudimentaires. Mais ils l'ont fait.

Une fois l'évaluation de son potentiel réalisé, le gaz de schiste se situera soit dans la catégorie « rentable à exploiter maintenant », soit dans la catégorie « trop coûteux pour le moment, à mettre en réserve », soit dans celle des faux espoirs.

■ **Proposition** : utiliser les sources d'énergie les plus performantes ;

En 2014 : hydroélectricité, nucléaire, gaz, bois, pétrole.

■ **Proposition** : évaluer le potentiel du gaz de schiste et mener des exploitations expérimentales. Passer à la production si elle est sûre et rentable.

2. Énergies et applications de remplacement

Éolien terrestre, éolien marin, hydrolien, photovoltaïque-1, agro-carburant, biomasse-1, géothermie, économies d'énergie-2, voiture électrique
Ces énergies « de secours » étant beaucoup plus

coûteuses que celles actuellement utilisées, leur déploiement à grande échelle n'est pas justifié, des prototypes suffisent à préparer une éventuelle utilisation massive.

■ **Proposition** : supprimer les subventions et obligations d'achat aux énergies et techniques non compétitives.

3. Énergies candidates au futur

Nucléaire 4G, fusion nucléaire, photovoltaïque-2, méthane solide, biomasse-2, géothermie profonde, hydrogène, stockage hydrogène/méthane.

■ **Proposition** : accentuer la recherche sur les technologies d'avenir.

■ **Note** : les niveaux 1 et 2 ci-dessus correspondent à deux niveaux différents de technologie.

Les cas particuliers

Dans certains pays ou pour certaines applications, des technologies peu performantes peuvent être adaptées à des besoins spécifiques.

■ Photovoltaïque : régions très ensoleillées et désertiques, usage local/individuel, satellites, radars et autres bornes routières.

■ Éolien, photovoltaïque : régions isolées, régions

où il n'existe pas de réseau électrique, régions disposant de moyens de stockage hydraulique d'électricité très favorables (l'expert Vaclav Smil signale pourtant qu'une période très froide, sans vent, anticyclone d'hiver classique mais de 29 jours consécutifs, a été constatée dans sa région au Canada).

IV. LES CHOIX ÉNERGÉTIQUES À L'ÉTRANGER

Les pays suivent des politiques énergétiques strictement nationales.

■ Les États-Unis n'ont pas signé le protocole de Kyoto, mais ont réduit leurs émissions de CO₂ grâce au développement massif du gaz et du pétrole de schiste, et donc à la réduction de leur consommation de charbon,

■ Le Canada a signé Kyoto, mais a vu ses émissions de CO₂ s'envoler à cause de l'exploitation des sables bitumineux,

■ L'Allemagne a signé Kyoto mais augmenté ses émissions de CO₂. Le surcoût du déploiement

des énergies photovoltaïque et éolienne est déjà de 24 milliards d'euros par an. Celui de la transition énergétique a été évalué par le ministre de l'Écologie allemand, à 1 100 milliards d'ici 2050,

■ La Chine n'a accepté aucun objectif contraignant de réduction de ses émissions, continue de construire une centrale au charbon par semaine, et s'intéresse aux énergies renouvelables pour inonder les marchés occidentaux de ses panneaux solaires,

■ La Russie et le Brésil n'adhèrent pas à la lutte contre le réchauffement climatique.

■ **Proposition** : lancer la réflexion sur les moyens de défense contre les effets du dérèglement climatique.

Conclusion : rationnement, surinvestissement ou évolution raisonnée

Le spectre d'une pénurie d'énergie fossile a reculé de plusieurs dizaines d'années grâce à des découvertes importantes d'hydrocarbures classiques ou non conventionnels. Dans le même temps, la sécurité de notre approvisionnement s'est renforcée avec la diversification géographique et politique de nos fournisseurs. Et la démonstration a été faite, qu'existent des solutions de remplacement (éolien, photovoltaïque, voiture électrique, isolation) moins performantes mais acceptables à long terme ou en cas d'urgence.

L'efficacité énergétique de la France est meilleure que celle des autres pays industrialisés : elle consomme moins d'énergie et produit beaucoup moins de CO₂ par personne. Notre pays n'a donc aucune obligation morale de réduire rapidement sa consommation d'énergie et ses émissions de CO₂. D'autant plus que sur le plan pratique, les efforts de la France sont insignifiants face au risque climatique. La France se trouve dans une situation intermédiaire entre les pays industriels très pollués depuis longtemps et les pays en voie de développement qui réclament le droit d'augmenter leurs émissions de CO₂ et demandent aux pays industrialisés de les aider à rendre leur croissance plus écologique.

Malgré ces éléments positifs, le déploiement à des niveaux industriels de moyens de production d'électricité renouvelable a été lancé. La Cour des comptes a prévenu : *La France s'est fixé des objectifs particulièrement ambitieux. Le coût devrait être important pour le contribuable et le consommateur d'électricité.* Le surcoût lié à la seule électricité renouvelable sera de 8 milliards d'euros par an en 2020 ; celui de la transition énergétique de mille milliards¹² d'euros d'ici 2050.

Comme l'a souligné le rapport Gallois, la

France dispose avec le parc nucléaire d'un atout de compétitivité, fournissant une énergie nationale, sans conséquences climatiques défavorables et à faible coût, dont il est nécessaire de continuer à tirer parti. La révolte contre les différentes écotaxes et contraintes montre que les Français réalisent les conséquences de choix de bonne volonté mais inconsiderés : ces surenchères doivent être renégociées d'urgence.

Les objectifs de baisse de 75 à 50 % de la part du nucléaire dans la production d'électricité en 2025 et de réduction de moitié de la consommation d'énergie en 2050 ne pourraient être atteints que de deux façons : soit par la contrainte, une sorte d'économie de guerre avec rationnement, soit par des investissements massifs non rentables dans la production et la consommation d'énergie. Aucun pays n'a encore appliqué la coercition. Certains, comme l'Espagne et l'Allemagne, ont commencé à appliquer la seconde, mais sont en train de réviser leurs politiques. Le remplacement de modes de production rentables par des productions plus coûteuses, réalisant une mauvaise allocation des ressources, peut créer des faux emplois mais diminuer notre compétitivité, réduire le niveau de vie des Français et augmenter le chômage. Tout en sanctuarisant la Recherche & Développement, la France doit donc être très vigilante sur la rentabilité de ses investissements.

Chaque pays, chaque site même, doit utiliser les énergies qui conviennent à sa situation particulière. Pour la France, déjà très responsable dans sa consommation d'énergie et son mode de production, le choix est entre la régression et la pénurie, ou la poursuite du progrès. La transition devra se faire, mais se réaliser progressivement en tenant compte des réalités économiques et sociales, pas en fonction de choix arbitraires et instables.

■ 12 Source : Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre)