



*L'Avenir de la filière nucléaire en France*

*proposé par l'OPECST :*

*Une vision d'avenir sous conditions*

*Ce qu'en dit*

*la Commission « Energies 2050 »*

**À CHAQUE ÉNERGIE  
SA PLACE !**



# ENERGIES ET MEDIAS N° 37

## Février 2012

### SOMMAIRE

#### L'Avenir de la filière nucléaire en France proposé par l'OPECST

<u>1. Contexte : Autorité de Sûreté et Cour des Comptes.....</u>	<u>3</u>
<u>2. Le nucléaire en France : Une vision d'avenir sous conditions.....</u>	<u>4</u>
<u>2.1 Pas tous ses œufs dans le même panier.....</u>	<u>4</u>
<u>2.2 Ce qu'a compris la presse.....</u>	<u>7</u>
<u>2.3 Est-ce la vision du candidat socialiste ?.....</u>	<u>7</u>
<u>2.4 Le rapport de la Commission Energies 2050.....</u>	<u>8</u>
<u>3. Questions.....</u>	<u>8</u>
<u>3.1 Quelles techniques de stockage de l'énergie ?.....</u>	<u>8</u>
3.1.1 Les stations de transfert d'énergie par pompage, STEP.....	9
3.1.2 Hydrogène. Carburants de synthèse.....	10
<u>3.2 Pourquoi des décennies de développement ?.....</u>	<u>11</u>
<u>3.3 Pourquoi maintenir toute la logique du nucléaire actuel ?.....</u>	<u>13</u>
<u>3.4 Aller aussi loin ?.....</u>	<u>13</u>
<u>4. Conclusion.....</u>	<u>15</u>

*Les retraités de l'UARGA, l'Union des Associations de Retraités du Groupe Areva, souhaitent que la masse de connaissances et l'expérience qu'ils ont accumulées au cours de leur carrière sur des sujets complexes, réalités scientifiques et technologiques, puissent servir à leurs concitoyens, en particulier à ceux qui sont chargés de l'information du public.*

Ce numéro d'Energie et Médias a été préparé sous la direction de Robert Baschwitz.

**Document également consultable sur le site <http://www.uarga.org>**

*L'Avenir de la filière nucléaire en France* est le sujet de ce numéro d'*Energies et Médias*, l'avenir tel qu'il est analysé dans le Rapport final de l'OPECST, l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, présenté aux deux Assemblées le 15 décembre 2011.

Il s'agit de la deuxième et dernière partie d'un rapport sur :

*La sécurité nucléaire et l'avenir de la filière nucléaire.*

L'OPECST avait été saisi par les présidents des deux Assemblées, et il a souhaité faire participer à ce travail, en plus de son propre effectif, des députés et des sénateurs des commissions compétentes.

Depuis la publication de ce rapport le 15 décembre, deux éléments majeurs sont intervenus, ainsi qu'un troisième, également intéressant et sur le sujet, qu'on évoquera en quelques lignes au paragraphe 2.4. Quels sont ces deux éléments majeurs ?

- l'Autorité de Sûreté Nucléaire - **autorité administrative indépendante** créée par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire - a remis le 3 janvier au Premier Ministre son rapport sur les « *évaluations complémentaires de sûreté* » décidées après Fukushima, portant sur les installations nucléaires françaises, en particulier les réacteurs,

- la Cour des Comptes, saisie par le Premier Ministre par lettre du 17 mai 2011 lui demandant d'expertiser les coûts de la filière nucléaire, y compris ceux relatifs au démantèlement, a publié son rapport le 31 janvier.

On va le voir très brièvement, les informations qu'apportent ces deux organismes – complètement indépendants de l'industrie nucléaire - valident, en quelque sorte, les bases sur lesquelles repose le rapport de l'OPECST.

## 1. Contexte : Autorité de Sûreté et Cour des Comptes

Il s'agit bien de deux bonnes nouvelles.

On sait que, suite à Fukushima, dans le monde entier les autorités de sûreté nucléaires nationales ont imposé des *évaluations complémentaires de sûreté* à effectuer sur les installations nucléaires existantes ou en construction dans leur pays, en particulier les réacteurs. En France les exploitants, EDF et Areva, ont présenté leurs réponses. Celles-ci ont été analysées par l'IRSN, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, conseil technique de l'Autorité de Sûreté Nucléaire ASN, puis par l'ASN elle-même.

La « *sentence* » de l'ASN est assez simple :

- *Aucun réacteur français, aucune installation nucléaire française, n'ont lieu d'être arrêtés d'urgence pour motif de sûreté. La construction de l'EPR à Flamanville peut se poursuivre.*
- *Mais les électriciens et les industriels du nucléaire doivent impérativement effectuer une liste d'investissements de sûreté, et s'imposer sur certains points de nouvelles dispositions d'organisation, sous peine de devoir fermer leurs installations. Quelques modifications relativement mineures sont requises pour l'EPR. Rappelons que le but est d'être en mesure de faire face, le cas échéant, à des situations hautement improbables, mais qui n'apparaissent pas complètement impossibles.*

Les industriels ont exprimé leur accord et se sont engagés à appliquer les dispositions prescrites. (Il est entendu que l'ASN pourra leur imposer des dispositions complémentaires si le « retour d'expérience » de Fukushima dévoile de nouveaux enseignements.) Ils sont donc autorisés à poursuivre leurs activités, en s'imposant ces nouvelles dispositions d'organisation, et moyennant des travaux : certains sont à entreprendre cette année, les autres doivent être échelonnés sur les années qui viennent. Rien ne s'oppose donc à ce que le nucléaire français continue à fonctionner dans l'immédiat comme aujourd'hui, sauf décision politique, bien sûr.

La *Cour des Comptes* a, elle aussi, rendu son rapport.

(On trouvera un commentaire sur ce sujet à l'adresse suivante :

[http://www.uarga.org/downloads/Document\\_breves/edito\\_15\\_02\\_2012\\_cour\\_des\\_comptes.pdf](http://www.uarga.org/downloads/Document_breves/edito_15_02_2012_cour_des_comptes.pdf))

- *Les comptes de l'industrie nucléaire française sont correctement tenus, il n'y a pas d'élément caché, contrairement à ce que n'ont cessé de prétendre les antinucléaires.*

*Les coûts futurs de démantèlement des installations,  
et les coûts futurs de gestion et de stockage des déchets radioactifs,  
y compris pour les déchets qui résulteront du démantèlement,  
sont bien comptés :*

des provisions sont constituées par les exploitants de ces installations,  
et placées pour fructifier,  
afin de couvrir, le jour venu, les dépenses nécessaires.

Le montant de ces provisions est pris en compte dans le prix facturé au client ;  
ce qui signifie que



*ces dépenses futures, relatives au démantèlement et aux déchets, sont facturées dans le prix de chaque kilowattheure que nous consommons.*

- Il subsiste naturellement des *incertitudes* sur ce qui dépend du futur, de décisions techniques futures. Mais leurs conséquences possibles ne sont *pas de nature à augmenter gravement le prix du kilowattheure*.

La Cour a évalué l'impact sur les coûts de production qu'auraient une sous-évaluation des coûts de démantèlement de 50 %, et un doublement du coût de stockage des déchets : bien que les sommes en cause soient très importantes, l'impact sur le coût du kilowattheure serait très limité, respectivement 2,5 % et 1 %.

Quant aux investissements « de maintenance » qu'annonce EDF pour prolonger la durée de vie des réacteurs et répondre aux exigences nouvelles suite à Fukushima, ils conduiront à un surcoût par kilowattheure estimé à 10 %.

Ainsi : l'ASN, jamais complaisante avec les exploitants des installations nucléaires, considère qu'elles peuvent continuer à fonctionner, et la Cour des Comptes valide les coûts sur lesquels l'industrie trouve son équilibre. Cela veut dire qu'après réflexion suite à Fukushima, on va prendre les dispositions pour faire face à l'invraisemblable, mais que la situation, en attendant, reste saine, que les Français peuvent être rassurés ! C'est ce que supposait l'OPECST dans le rapport qui est analysé aujourd'hui dans *Energies et Médias*. La confirmation est venue.

[Retour sommaire](#)

## **2. Le nucléaire en France : Une vision d'avenir sous conditions**

Ce n'est pas l'OPECST qui dit : « sous conditions », c'est *Energies et Médias* ! Le lecteur va comprendre pourquoi.

### **2.1 Pas tous ses œufs dans le même panier**

Le rapport commence par reconnaître qu'en France, « *la production d'électricité d'origine nucléaire a permis de répondre à quatre priorités stratégiques ... sur lesquelles un retour en arrière ne signifierait rien d'autre qu'un affaiblissement du pays :*

- *une production électrique adaptée, en énergie et en puissance,*
- *l'indépendance énergétique, tant dans l'approvisionnement que dans le savoir-faire,*
- *la préservation du développement de notre tissu économique et industriel par une énergie peu chère et de qualité,*
- *la neutralité environnementale de notre outil de production électrique. »*

La *Revue Générale Nucléaire* de novembre - décembre 2011 résume : « *Dans ce rapport, les parlementaires estiment que « l'énergie nucléaire, dans les conditions de sûreté renforcée prenant en compte les enseignements de l'accident de Fukushima, doit conserver son rôle de pilier du bouquet*

*électrique français, les générations technologiques nouvelles se déployant à l'occasion de l'arrivée en fin de vie des réacteurs des générations antérieures. » »*

Un *premier scénario*, consistant, pour parler simplement, à *faire comme l'Allemagne*, à arrêter rapidement les réacteurs nucléaires, est rejeté d'emblée. La France aurait alors besoin de remplacer rapidement 75 % d'électricité d'origine nucléaire, contre 25 % pour l'Allemagne. Or elle n'est pas assise, comme l'Allemagne, sur des mines de lignite ou d'autres matières énergétiques, sauf qu'elle dispose d'un certain stock d'uranium et de plutonium. Elle tient à respecter ses engagements concernant la production de CO<sub>2</sub>. De plus, arrêter brutalement le nucléaire, ce serait renoncer à un atout économique majeur, tant en France qu'à l'exportation. Une bonne remarque de l'OPECST est que *« le développement des énergies renouvelables est subventionné grâce au produit de la contribution du service public de l'électricité (CSPE), qui est assise sur la facture d'électricité, c'est-à-dire pour les trois quarts sur la production d'énergie nucléaire. C'est le prix relativement bas de l'électricité française ... qui permet d'effectuer depuis 2003 ce prélèvement de manière relativement indolore. Si la base de production nucléaire en vient à être brusquement réduite sans attendre la maturation des énergies de substitution, comme toute autre source d'électricité non hydraulique est plus chère, le prix final de l'électricité s'élèvera ... La ressource pour soutenir le déploiement des énergies renouvelables se tarira donc au moment même où ce déploiement aura au contraire besoin d'être accéléré. »* L'OPECST appelle cela l'effet de ciseau. On pourrait dire plus familièrement : ce serait scier une branche sur laquelle on est assis !

Un *deuxième scénario* est évoqué, consistant à *en rester* à une part de l'ordre de 75 % d'électricité d'origine nucléaire. Mais l'OPECST considère avec gravité ce qui se passe au Japon suite à Fukushima, « le syndrome japonais ». Non seulement les réacteurs accidentés sont définitivement perdus, et divers autres ont été arrêtés pour des raisons techniques ; mais même ceux qui en arrivent simplement à la fin d'un cycle et sont arrêtés pour maintenance risquent de ne jamais redémarrer, faute d'un consensus suffisant de la population, car ce consensus est une condition nécessaire pour que le gouverneur local donne le feu vert à une remise en route. En mai 2012, tous les réacteurs japonais, sans doute, seront arrêtés.

On ne peut exclure absolument, pense l'OPECST, qu'en France, pour des raisons différentes non identifiées, vice ou fragilité imprévue, on soit un jour conduit de même à arrêter tous les réacteurs.

*Il est donc prudent de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier.  
C'est le premier point essentiel du rapport.*

Cela mène à un *troisième scénario* : celui d'une *diminution progressive de la part de l'électricité d'origine nucléaire*. Pas tous ses œufs dans le même panier, mais il faut que l'approvisionnement de la France en électricité reste impeccable en quantité et en qualité, faute de quoi la croissance, en particulier, s'en ressentirait. L'approvisionnement en électricité du tissu industriel français, des hôpitaux, etc..., ne peut reposer sur une source incertaine de matières premières. Il faut donc que les autres « paniers » où l'on mettra beaucoup d'œufs aient atteint la maturité industrielle !

On doit exclure le recours aux combustibles fossiles (au-delà de ce qui est pratiqué aujourd'hui ou à peine plus) pour deux types de raisons :

- climatiques, tout le monde le comprend,
- géopolitiques, parce que, la France se refusant à exploiter le gaz de schiste que contient très probablement son sous-sol, les réserves mondiales de combustibles, gaz et pétrole, se trouvent essentiellement dans des zones politiquement incertaines.

Alors, que sont les autres « paniers » ? Evidemment, ce sont :

- les économies d'énergie, sur lesquelles il est légitime de fonder une stratégie très active (le rapport considère, entre autre, qu'il faut faire intervenir la normalisation en particulier pour les transports, le bâtiment), et
- les énergies renouvelables.

[Retour sommaire](#)

Le grand intérêt de ce rapport vient de ce qu'il reconnaît *deux éléments essentiels* :

- Si l'on veut modifier à grande échelle le bouquet énergétique français, il faut prendre le temps de passer par toutes les phases du développement de solutions industrielles, y compris la conception, la construction et l'exploitation d'installations pilotes, pour être ensuite capable de construire des équipements fiables, sûrs, et économiques. L'expérience montre qu'il faut pour cela *plusieurs décennies*.
- Les sources d'énergies renouvelables exploitables à grande échelle étant intermittentes, il faut un *dispositif pour « lisser » la production*.

Il est indispensable de *développer à la même échelle des moyens de stockage de l'électricité ou de l'énergie, des stockages inter-saisonniers*.  
C'est le deuxième point essentiel de ce rapport.

**« La « trajectoire raisonnée » ... proposée en prenant en considération le délai « historiquement plausible » de maturation industrielle des solutions technologiques dans le secteur de l'énergie, ramènerait ... l'énergie nucléaire à une part de 50 à 60 % de la production totale actuelle vers 2050, et de 30 % vers 2100. »**

Récapitulons :

La « trajectoire raisonnée » qu'on va maintenant décrire est susceptible de se concrétiser :

- à condition qu'aient été trouvées à la bonne échelle des solutions pour le stockage de l'énergie,
- à condition que toutes ces nouvelles techniques, renouvelables et stockage, aient atteint la maturité industrielle, soient devenues compétitives sans subventions, et bénéficient de l'acceptation par le public.

Ces deux conditions fondamentales n'apparaissent pas de façon assez lumineuse dans les communiqués de presse.

[Retour sommaire](#)

Voyons maintenant ce que serait cette trajectoire raisonnée:

La proposition exprimée dans le rapport serait la suivante :

En fin de vie des réacteurs de 2<sup>ème</sup> génération actuellement en service (l'OPECST a supposé que ce soit, sur décision de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, en moyenne après 50 ans d'exploitation),  
*on remplacerait un réacteur sur deux par un EPR (génération 3),  
ou ultérieurement par un réacteur à neutrons rapides de génération 4.*

Notons que l'OPECST, s'il souhaite que soient trouvés les moyens de diminuer ainsi peu à peu la part du nucléaire, souligne cependant :

- l'importance de conserver une part de nucléaire comme socle fiable capable, en tout état de cause, d'alimenter les stockages d'énergie (nécessaires pour lisser les productions intermittentes venant des renouvelables),
- *l'intérêt majeur des réacteurs à neutrons rapides*, qui utiliseront la valeur énergétique de l'uranium 238, composant essentiel (99,3 %) de l'uranium naturel ; réacteurs *dont il est donc indispensable de poursuivre activement le développement, avec le pilote ASTRID*,
- la nécessité de *conserver le retraitement des combustibles usés*, l'usine de La Hague,
- l'importance de ne pas modifier la stratégie très élaborée développée par la France, concernant la gestion et le stockage des déchets radioactifs,
- en somme, de poursuivre la politique industrielle nucléaire de la France dans toute sa cohérence, ne réduisant que le *volume* de la production d'électricité nucléaire.

Nous reviendrons sur ces points.

## 2.2 Ce qu'a compris la presse

On a expliqué que la presse ne met pas suffisamment en relief les *conditions de succès* de la trajectoire raisonnée de l'OPECST.

Mais, de plus, la plupart des journaux se trompent dans la lecture des chiffres ! Quand ils lisent : 50 à 60 %, et 2050, ils croient que c'est, en 2050, 50 à 60 % de nucléaire dans la production d'électricité du pays, à mettre en parallèle avec 75 % en 2011. Pourquoi pas ? Ce n'est pas violent ! Mais ce n'est pas cela qui est écrit ! Pour que ce soit cela, il faudrait que la production d'électricité en 2050 soit identique à celle de 2011. Si cette production change, ce n'est plus exact. En particulier si elle augmente, les 50 à 60 % de notre production d'aujourd'hui représenteront moins de 50 à 60 % de la production de 2050.

On aura certes appris à économiser l'énergie. Mais en 2050 la population du monde sera passée de 7 à 9 milliards d'habitants, d'après l'ONU ; celle de la France aura probablement augmenté. On aura sans doute remplacé une bonne part des automobiles par des voitures électriques qu'il faudra alimenter en électricité. Dans le rapport de la *Commission Energies 2050*, dont il est brièvement question ci-dessous au paragraphe 2.4, le scénario qui considère la plus forte croissance de cette production envisage une augmentation de 93 %. *Supposons*, uniquement à titre d'exemple, qu'elle ait augmenté de 50 %, *50 % en 39 ans*. La trajectoire raisonnée du rapport de l'*OPECST* conduirait en 2050 à une *part nucléaire de la production électrique comprise entre 25 et 30 %<sup>1</sup>*, et non pas entre 50 et 60 %.

## 2.3 Est-ce la vision du candidat socialiste ?

<sup>1</sup> (50 à 60 %) x 75 % / 1,50 = 25 à 30 %

Simplement pour faire la clarté sur le sujet, et non pour prendre parti dans le débat politique, *Energies et Médias* doit répondre à la question suivante : La position du candidat socialiste à la présidence de la République est-elle celle qu'a présentée l'OPECST ?

[Retour sommaire](#)

L'idée de réduire le nombre de réacteurs nucléaires en service en France, mais de ne pas arrêter la construction de l'EPR de Flamanville, figure dans ses déclarations. L'objectif annoncé est de réduire la part nucléaire de la production d'électricité de 75 % en 2011 à 50 % en 2025 (le responsable énergie de la campagne de François Hollande a dit 2025 – 2030).

Ce serait une décroissance plus rapide que ce que propose l'OPECST.

La suite de ses recommandations, et en particulier le maintien de la cohérence de la stratégie nucléaire française, ferait-elle partie du projet du candidat socialiste ? On ne peut l'affirmer aujourd'hui, bien qu'il ait déclaré vouloir conserver l'usine de retraitement de La Hague.

Ces points, pour l'OPECST, sont fondamentaux, en particulier la poursuite des recherches sur les réacteurs de génération 4.

## 2.4 Le rapport de la Commission *Energies 2050*

Une commission chargée par le gouvernement de mener une analyse des différents scénarios de politique énergétique pour la France à l'horizon 2050, baptisée *Energies 2050*, a remis son rapport le 13 février au ministre Eric Besson. Dirigée par le professeur d'université Jacques Percebois et l'ancien directeur de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) Claude Mandil, elle réunissait des experts indépendants et plus de 80 associations et organismes du secteur de l'énergie.

Le ministre vient de publier une note de synthèse. *Energies et Médias* ne citera ici que trois des recommandations de cette commission, en rapport direct avec le sujet de ce numéro :

- *« S'interdire toute fermeture administrative d'une centrale nucléaire qui n'aurait pas été décidée par l'exploitant à la suite des injonctions de l'autorité de sûreté.*
- *Maintenir, voire accroître l'effort de recherche publique dans le domaine de l'énergie, en coopération internationale et en accordant une priorité absolue aux programmes mis en œuvre conjointement par des laboratoires publics et des entreprises innovantes, grandes ou petites, capables de s'attaquer au marché mondial. Les renouvelables et le stockage de l'énergie devront recevoir une attention particulière.*
- *Ne pas se fixer aujourd'hui d'objectif de part du nucléaire à quelque horizon que ce soit, mais s'abstenir de compromettre l'avenir et pour cela maintenir une perspective de long terme pour cette industrie en poursuivant le développement de la génération 4. La prolongation de la durée de vie du parc actuel nous paraît donc la solution de moindre regret (sous la condition absolue que cela soit autorisé par l'ASN). »*

[Retour sommaire](#)

On retrouve, comme dans le rapport de l'OPECST,

- l'idée de suivre pour les réacteurs actuels les prescriptions de l'Autorité de sûreté,
- celle de consacrer un gros effort de recherche aux énergies renouvelables et au stockage d'énergie, certainement dans le but de se servir de ces techniques si elles aboutissent à des filières industrielles viables.

## 3. Questions

### 3.1 Quelles techniques de stockage de l'énergie ?



Un mot, tout d'abord, pour citer une réflexion de l'OPECST : Les études le montrent, c'est une erreur de dire que, vu la dispersion des éoliennes en France, il y en aura toujours dans une région où le vent souffle, pour compenser l'absence de vent immobilisant d'autres éoliennes dans une autre région. Il n'y a pas de compensation statistique, ou peu. On ne peut compter sur cela. La France est petite par rapport aux anticyclones.

On s'interdit d'avoir recours largement aux combustibles fossiles.  
Il est donc indispensable de  
*constituer des stockages d'énergie*  
*où l'on puisse puiser pour produire de l'électricité*  
*quand le vent ou le soleil font défaut.*

La technique à laquelle on pense en premier pour stocker l'énergie, ce sont évidemment les batteries. L'OPECST cite un de ses rapports antérieurs, paru en mars 2009, sur la stratégie de l'énergie : il soulignait « *les progrès déjà enregistrés au niveau des dispositifs de stockage pour les cycles courts et les puissances et capacités faibles, notamment grâce aux progrès des batteries électrochimiques.* » Une possibilité simple, lorsque la voiture électrique sera devenue plus commune, consistera au moins à recharger la nuit sa batterie, aux heures où le nucléaire est capable de produire plus que la demande. Mais les batteries ne sont pas une solution suffisante qui permette de remplacer les éoliennes en panne de vent et le solaire la nuit pendant l'hiver.

### **3.1.1 Les stations de transfert d'énergie par pompage, STEP**

L'OPECST évoque une solution qu'on connaît bien, consistant à monter en altitude, par pompage, de l'eau aux heures creuses, pour la « turbiner » en produisant de l'électricité aux heures de pointe. Le rendement de la restitution d'énergie est de l'ordre de 75 %.

Cette solution, on la connaît bien sur certains sites de la moitié sud de la France. Si l'on peut « turbiner » en pointe au total 5000 mégawatts, 5 millions de kilowatts (le chiffre date de 2010), c'est sur des durées courtes. On aménage des lacs de montagne, et on turbine l'eau aux heures de pointe vers des bassins de stockage en vallée, afin de ne pas provoquer l'endommagement des lits des cours d'eau par de brusques augmentations de débit.

Pour multiplier les STEP, il faut imaginer comment en réaliser en des lieux plus courants en France. On trouve sur Internet des informations sur des projets en cours de préparation, en particulier 5 projets sur les côtes de la Manche. On utiliserait l'eau de la mer, pompée à partir de bassins à l'abri des vagues. Appelons-les bassins inférieurs. Les bassins supérieurs, à une centaine de mètres d'altitude, seraient construits comme des barrages poids en retrait des falaises. Les falaises elles-mêmes seraient protégées de l'érosion par la houle en leur pied par des ouvrages en béton. La superficie du bassin supérieur serait entre 2,5 et 6 km<sup>2</sup>. La hauteur de digue (sur tout le périmètre du bassin) serait de l'ordre de 40 mètres au-dessus du sol du haut de la falaise. L'énergie stockée pourrait être, pour chaque installation, entre 20 et 65 millions de kilowattheures ; et la puissance serait entre 1000 et 6000 mégawatts (rappelons les ordres de grandeur : une tranche nucléaire représente entre 900 et 1600 mégawatts), soit entre 1 et 6 millions de kilowatts.

Les promoteurs de ces projets estiment qu'il leur faudrait 10 à 15 ans pour mettre en place une telle installation.

[Retour sommaire](#)

Le fonctionnement consisterait :

- à remplir le bassin supérieur par pompage à partir du bassin inférieur, *en utilisant du courant venant de réacteurs nucléaires aux heures creuses*,
- à turbiner l'eau vers le bassin inférieur pour produire de l'électricité aux heures où les sources d'énergie renouvelable feraient défaut, par manque de vent ou de soleil.

Mais avec les chiffres ci-dessus (par exemple, pour un des projets, 60 millions de kilowattheures, 2 à 5 millions de kilowatts), on voit qu'un tel bassin se vide en produisant de l'électricité en 12 à 30 heures seulement. C'est loin d'être suffisant pour faire face à des périodes anticycloniques sans vent, qui peuvent être longues. Il faudrait multiplier les STEP pour pouvoir « tenir » de nombreux jours sans vent.

### 3.1.2 *Hydrogène. Carburants de synthèse*

*Quand on parle d'hydrogène et de carburants de synthèse, on part de deux idées de base (les commentaires entre parenthèses sont d'Energies et Médias).*

- La première est bien connue (du moins si l'on fait abstraction de son économie) : on peut utiliser de l'électricité lorsqu'on en dispose en excédent, pour décomposer l'eau en produisant de l'hydrogène qui est un combustible avec une valeur énergétique. (On notera que, même comprimé au maximum, il n'est pas facile à stocker en raison de sa légèreté et parce que c'est le gaz le plus « fugace », c'est-à-dire le plus enclin à fuir par la moindre porosité.) Cet hydrogène peut servir à alimenter des piles à combustible, ou être incorporé en faible proportion, 5 à 6 % en volume, dans un réseau de gaz de ville, ou servir de matière première pour faire autre chose. Si cette application a lieu sur le même site, on simplifie beaucoup la question du stockage.
- La deuxième idée est de coupler cet hydrogène aux procédés de l'industrie pétrochimique pour fabriquer, par exemple, des carburants de synthèse. Le plus simple est le méthane. Le rapport cite le site Internet, <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/66976.htm>, qui donne des explications sous le titre : « *E = CH4 : l'équation qui permet de stocker de l'énergie* » ! Les atomes de carbone sont fournis par du gaz carbonique CO<sub>2</sub>, on n'en manquera pas ! On sait depuis Paul Sabatier, Prix Nobel de Chimie en 1912, faire réagir l'hydrogène H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> en présence d'un catalyseur pour obtenir du méthane CH<sub>4</sub>, qui, lui aussi, peut être incorporé dans les réseaux et les stockages de gaz de ville. L'article indique qu'en Allemagne, une usine de 6,3 mégawatts devrait être opérationnelle en 2013.
- (Notons que tout ceci, en particulier la production de carburants de synthèse, ne peut avoir de sens que si l'électricité consommée pour décomposer l'eau est produite *sans utiliser de source d'énergie fossile*. Les spécialistes disent qu'il faut *utiliser « de l'électricité décarbonée »*.)

Citons le rapport de l'OPECST :

*« M. Alain Bucaille, directeur de la recherche d'Areva, a indiqué...qu'un GIE incluant Areva, Rhodia et GDF-Suez s'était constitué pour explorer cette piste technologique.... Il a estimé inéluctable, à terme, l'émergence de filières industrielles de conversion du gaz carbonique. Aux deux moteurs du stockage d'énergie et de la fixation du carbone, il a ajouté la possibilité qu'un acteur économique disposant des ressources financières abondantes, comme la Chine, découvre que ce moyen sécuriserait ses approvisionnements d'énergie ; la conversion du seul gaz carbonique émis par l'ensemble des cimenteries chinoises, qui produisent 60 % du ciment mondial, permettrait de produire environ 10 millions de barils par jour d'hydrocarbures de synthèse, soit l'équivalent de 10 % du marché mondial de pétrole. Par ce biais, la conversion du gaz carbonique pourrait même fixer une valeur plafond au prix du pétrole puisqu'elle pourrait s'effectuer, selon les estimations d'Alain Bucaille, à un coût inférieur à 150 dollars le baril. »*

« En Allemagne, toutes ces voies font d'ores et déjà l'objet d'expérimentations [voir ci-dessus]. Elles permettent un stockage d'énergie pouvant délivrer une puissance de plusieurs centaines de mégawatts pour des durées quasiment illimitées, puisqu'elles dépendent d'un approvisionnement par gazoduc. Il est indispensable que l'industrie française, selon des modalités qui restent, évidemment, à définir, développe des partenariats de recherche avec son homologue allemand pour être en mesure de maîtriser les technologies correspondantes. »

[Retour sommaire](#)

Energies et Médias a interviewé Alain Bucaille et la direction de la recherche et du développement d'Areva. Voici quelques éléments de réflexion supplémentaires :

- Il faut beaucoup d'eau, mais de l'eau douce ; donc prévoir des installations là où cette ressource sera disponible.
- Areva a beaucoup travaillé :
  - o sur l'électrolyse de l'eau pour produire de l'hydrogène et de l'oxygène ; le rendement thermodynamique de cette dissociation de l'eau pourra atteindre 80 % par électrolyse à haute température, 800 à 900 °C, ou à moyenne température, 500 à 600 °C, les deux procédés étant en cours de développement ; les technologies existantes, telles que l'électrolyse alcaline, proposent des rendements de l'ordre de 50 à 60 % ;
  - o sur le couplage de cette électrolyse, avec l'hydrogène qu'elle produit, et de procédés qui permettent de fabriquer un carburant liquide à partir de charbon, de biomasse ou de CO<sub>2</sub>. *Le but n'est pas qu'on puisse utiliser ces carburants de synthèse pour produire de l'électricité pendant les heures où les sources d'énergie intermittentes sont à l'arrêt.* Il est de faire face aux nouveaux défis énergétiques et, en particulier, de fabriquer des produits de qualité raffinée, faciles à stocker et à transporter, et aujourd'hui massivement importés (par exemple du kérosène pour les avions), avec le courant électrique disponible aux heures creuses. On utiliserait celui des réacteurs nucléaires qu'on ferait fonctionner à pleine puissance. C'est ce qui intéresserait les Chinois par exemple.
- Ce n'est donc pas ce schéma qui permettrait de stocker de l'énergie pour faire face aux creux de production des éoliennes et du photovoltaïque, comme l'envisage l'OPECST.
- Ce serait plutôt la voie allemande : électrolyse de l'eau, utilisation de l'hydrogène et de CO<sub>2</sub> récupéré des émissions industrielles, pour produire du méthane de synthèse stockable et transportable dans les installations de gaz de ville. Ce gaz pourrait alimenter des centrales à gaz à cycle combiné. Mais le rendement global de restitution de l'électricité ne serait que de l'ordre de 30 %. Les Allemands devraient s'y intéresser avant les autres, vu la situation difficile dans laquelle ils se sont mis par leur décision de sortir rapidement du nucléaire. Les difficultés considérables qu'ils rencontrent pour faire accepter par la population la construction des lignes à très haute tension entre le nord du pays, où se trouve l'essentiel des éoliennes « offshore », et le sud, où se trouve l'essentiel des besoins d'électricité, les conduisent à s'intéresser à utiliser le méthane et l'infrastructure gazière, qui, elle, a l'avantage d'exister.
- Les autres pays, dont la France, suivront sans doute si les Chinois ou les Allemands ont montré le chemin.

### 3.2 Pourquoi des décennies de développement ?

Le pays a besoin d'une électricité fiable en quantité et en qualité.

- Pour la quantité, le rapport dit : en énergie et en puissance. La puissance, c'est l'énergie par seconde : on doit être en mesure de passer les pointes, même quand il n'y a ni vent, ni soleil.
- Pour la qualité, cela ne veut pas seulement dire qu'il ne faut pas de pannes. Il faut aussi assurer la stabilité de la fréquence du courant, 50 hertz exactement, et de la tension ; et pour cela, une des conditions est de parvenir à ajuster à tout moment et strictement l'égalité de la

puissance produite et de la puissance consommée sur le réseau par l'ensemble des clients. Cela ne peut s'obtenir que si la fiabilité des matériels est parfaite.

*On n'atteint ces résultats que quand les technologies ont atteint leur maturité.*

La situation serait très problématique si les incidents concernaient plus qu'une petite minorité des matériels.

Faut-il des décennies pour atteindre cette maturité ? On a déjà parlé, au paragraphe 2.1, de la nécessité de passer par des maquettes expérimentales, puis par des pilotes industriels. L'OPECST démontre que, dans l'énergie, chaque phase est longue et de tels délais sont bien réels.

Il s'interroge : Pour ces diverses techniques, à quelle phase en est-on ? Citons le rapport : « *Le stockage d'énergie et la quatrième génération d'énergie nucléaire en sont au stade préliminaire du concept scientifique, ou au mieux, de l'élaboration de la maquette expérimentale, tandis que les technologies éoliennes et photovoltaïques, mais aussi les énergies marines, tout comme les réacteurs de troisième génération en sont, peu ou prou, au stade de la mise en œuvre d'un équipement industriel qui n'en est pas encore à bénéficier des économies d'échelle et de dimension.* »

[Retour sommaire](#)

Quels sont les commentaires d'*Energies et Médias* ? Prenons les points dans le même ordre :

Quant au stockage d'énergie, dont on a parlé au paragraphe 3.1.1, si les lacs de montagne sont déjà une réalité concrète, les stations de pompage à partir de la mer en sont bien au stade indiqué par l'OPECST. Il reste à construire la maquette expérimentale.

Quant à la quatrième génération d'énergie nucléaire : Si l'on avait poursuivi sur la technologie de Superphénix, malheureusement arrêté définitivement, on aurait été aujourd'hui prêt à construire des réacteurs en série. Mais comme on recherche des perfectionnements par rapport à Superphénix, on est conduit effectivement à devoir repasser par un réacteur de démonstration, ASTRID.

Quant aux éoliennes, peut-on dire que leur technologie a fait ses preuves ? Reconnaissons que les constructeurs, sur les machines les plus modernes, ont résolu le problème de l'ajustement de la fréquence dans la mesure où l'on sait faire en sorte qu'elles produisent exactement sur la fréquence du réseau environnant. Il existe des dizaines de milliers d'éoliennes terrestres. Quelquefois l'une d'elles perd ses pales. Si cela ne s'avère pas être un problème générique et s'il n'y a pas d'accident grave, l'OPECST n'a sans doute pas tort (au moins pour les éoliennes à terre) de dire qu'on en est à faire des économies d'échelle et de dimension. *Energies et Médias* formulera une remarque importante sur les éoliennes, mais ce sera au paragraphe 3.4 qu'elle trouvera sa place.

Quant au photovoltaïque et aux énergies marines : ce qui est dit semble à *Energies et Médias* bien optimiste, car les techniques sont encore en pleine évolution et les coûts très élevés.

Quant aux réacteurs de troisième génération : Pas d'observation. On s'attend effectivement à ce que l'EPR de série coûte bien moins cher que ceux d'Olkiluoto en Finlande et de Flamanville.

L'OPECST explique qu'il existe un autre frein que ceux du développement des technologies elles-mêmes : la nécessité de développer de façon considérable le réseau de transport d'électricité. Non seulement certaines sources d'énergie renouvelable, par exemple la géothermie profonde, sont liées précisément à un lieu géographique ne coïncidant pas nécessairement avec un lieu d'utilisation d'électricité, mais surtout les zones bien ventées et les zones bien ensoleillées ne couvrent pas tout le pays. Il faut donc amener le courant des zones de production, d'ailleurs fort dispersées, aux lieux d'utilisation. Le rapport explique : « *Ces moyens de production d'électricité de masse dessinent une nouvelle géographie des réseaux qui devra relier les nouveaux sites de production aux lieux de*

*consommation ou aux lignes de très haute tension ... existantes. » Or « il faut près de dix ans pour créer de nouvelles lignes alors que les nouvelles capacités de production peuvent arriver à l'étape du raccordement en trois ou quatre années. » En vérité, pour construire ces lignes, l'opposition du public constitue souvent un frein considérable.*

### **3.3 Pourquoi maintenir toute la logique du nucléaire actuel ?**

L'OPECST voudrait réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité pour ne pas mettre tous les œufs dans le même panier, mais il ne veut pas du tout renoncer à ce qui est un atout économique pour la France : la capacité d'exporter l'uranium et toutes les technologies nucléaires. Il faut donc rester actifs dans tous les domaines, y compris dans la recherche internationale avec le Forum International Génération 4.

La plupart des réacteurs de génération 4 sont des réacteurs à neutrons rapides, en particulier le réacteur rapide au sodium.

*Les réacteurs à neutrons rapides, on le sait, doivent permettre de valoriser entre 50 et 100 fois mieux l'uranium des minerais que ne le font les réacteurs de générations 2 et 3. On sait aussi qu'ils produisent beaucoup moins de déchets à vie longue.*

*Le rapport dit clairement qu'il faut poursuivre le développement des réacteurs rapides, avec la construction du réacteur de démonstration ASTRID, afin de lancer vers 2050 leur exploitation en série.*

[Retour sommaire](#)

Le stock de 300 tonnes de plutonium dont dispose la France serait juste adapté pour constituer les deux premiers cœurs des 25 premiers réacteurs, puis les cœurs suivants produiront leur propre plutonium à partir d'uranium :

- l'uranium issu du retraitement des combustibles usés, et
- l'uranium appauvri sous-produit des usines d'enrichissement.

*Le stock disponible pourra servir à alimenter les réacteurs rapides pendant des millénaires !*

Le retraitement, oui, est une étape fondamentale pour valoriser dans les réacteurs rapides l'uranium non consommé et le plutonium. L'OPECST attire aussi l'attention sur le fait que, si l'on ne retraitait plus en France les combustibles usés, on se trouverait alors dans la situation où se sont mis les Américains pour le stockage de leurs déchets nucléaires. On ne donnera pas dans ce numéro les explications permettant de comparer les deux options, mais, en tout cas, toute notre conception, aujourd'hui très avancée, du stockage près de Bure serait à revoir !

### **3.4 Aller aussi loin ?**

On a vu (§ 2.1) la conclusion du rapport : Avec le remplacement en fin de vie (supposée en moyenne de 50 ans sur jugement de l'Autorité de sûreté) d'un réacteur sur deux par un EPR, puis, le jour



venu, par un réacteur à neutrons rapides, vers 2050 on ne disposerait plus, comme source de production nucléaire d'électricité, que de 50 à 60 % de la production totale actuelle ; par exemple si, d'ici 2050, la production d'électricité augmentait de 50 %, cela ferait entre 25 et 30 % seulement de la production d'électricité de 2050.

Et dans le même exemple, même en supposant que les besoins en électricité n'aient plus augmenté en France entre 2050 et 2100, si l'on poursuivait la trajectoire raisonnée de l'OPECST jusqu'en 2100 avec 30 % seulement de la production nucléaire de 2011, on aboutirait à une part nucléaire de 15 % de la production d'électricité de 2100.

N'est-ce pas aller un peu loin dans l'idée de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier ?

Il est à craindre que le nucléaire, dans ces conditions, n'apparaisse bientôt plus dans la pensée des gens que comme une source d'énergie en perdition, que les jeunes de France ne se dirigent plus dans cette voie, et que dans les centrales on hésite à effectuer les dépenses de sûreté qui seraient souhaitables. La sûreté aurait à en souffrir. D'ailleurs le rapport de l'OPECST évoque cette question de façon sérieuse.

Le commentaire d'*Energies et Médias* est que,  
si l'on va trop loin,  
c'est notre recherche et notre industrie nucléaire qui deviendront peu de chose  
par rapport au nucléaire chinois, indien et russe.

Or l'OPECST exprime son attachement à maintenir le rôle de la France à l'exportation. Il faut donc se poser la question :

*Faut-il poursuivre si longtemps l'idée de ne remplacer qu'un réacteur en fin de vie sur deux ?*

[Retour sommaire](#)

Une autre raison peut inciter à ne pas réduire trop le nucléaire : l'idée de ne pas mettre trop d'œufs dans le même panier peut s'appliquer aux éoliennes et au stockage d'énergie !

C'est ici, à propos des éoliennes, qu'*Energies et Médias* doit mentionner, sans entrer dans la technique, un *point crucial du point de vue des électriciens*. Ils disent familièrement que les producteurs d'électricité devraient tous « participer au bien commun » de la régulation de la tension sur le réseau. C'est une expression qu'on comprend. Ils expliquent des choses plus difficiles que le lecteur n'est pas obligé d'assimiler (passer ces trois lignes !) pour accepter la conclusion : *Stabiliser la tension, c'est faire en sorte que la tension soit en phase avec l'intensité, on dit que le cosinus phi soit égal à 1, à l'arrivée chez tous les clients du réseau national. Il faut pour cela compenser quelquefois massivement des effets capacitifs ou selfiques de l'ensemble réseau + usagers. Or les éoliennes sont techniquement inaptes à rendre un service de cette ampleur.* Il faut en croire les électriciens.

Les éoliennes ne peuvent pas participer  
à la régulation du réseau en tension.  
Elles ne peuvent pas non plus participer significativement au réglage de la fréquence<sup>2</sup>  
dans la mesure où elles ne disposent d'aucune réserve de puissance.  
« Tous les spécialistes du monde s'accordent à considérer  
qu'un parc de production

<sup>2</sup> On a vu en 3.2 que les éoliennes modernes sont capables d'ajuster leur fréquence sur celle du réseau alentour. Mais elles ne sont pas capables de contribuer au réglage de la fréquence du réseau.

dans lequel la présence active de l'éolien dépasse 30 %  
est proprement incontrôlable. »

La citation est d'un spécialiste d'EDF.

[Retour sommaire](#)

Quant au stockage d'énergie, le réussira-t-on à grande échelle sans accidents ? L'acceptation par le public de ces technologies nouvelles n'est pas certaine non plus, pas plus que celle du nucléaire, ne serait-ce qu'en raison des surfaces requises.

Enfin, comme l'indique le rapport, la disponibilité de certaines matières premières, telles que le néodyme pour les turbines des éoliennes marines, l'indium, le sélénium ou le gallium pour le photovoltaïque, peut aussi devenir un problème, dit l'OPECST.

Dernière remarque : Les parlementaires de l'OPECST, raisonnables, affirment s'en remettre aux décisions de l'Autorité de sûreté quant à la durée de vie des réacteurs. C'est dans leur scénario qu'ils supposent que l'ASN les arrête en moyenne après 50 ans. Mais il se pourrait, vu que les réacteurs ont été construits en séries, que si l'un d'eux est autorisé, pour le principe, à fonctionner jusqu'à 60 ans (comme de nombreux réacteurs aux Etats-Unis), il en soit de même pour la plupart des autres réacteurs de la même série ; et qu'ainsi la moyenne soit proche de 60 ans. Remplacer deux réacteurs arrêtés par un EPR (ou un réacteur de génération 4) conduirait à une diminution plus tardive de la part nucléaire de la production d'électricité.

On se rapproche de la recommandation du rapport « Energies 2050 ».

## 4. Conclusion

Ce rapport de l'OPECST sur *L'Avenir de la filière nucléaire* est très intéressant.

Il exprime fortement l'idée  
qu'il faut conserver l'ensemble des maillons de l'industrie nucléaire française  
et toute la recherche qui lui permettra de rester à la pointe de la technique mondiale,  
en particulier pour les réacteurs de la génération 4.

Mais, suite à Fukushima, l'OPECST juge raisonnable de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier. L'objectif de trouver des moyens pour lisser la production intermittente de l'éolien et du solaire par des stockages d'énergie est sain. Le succès à la fois *technique et économique* n'est néanmoins pas assuré. *A condition que l'on parvienne à l'atteindre, il ne serait pas déraisonnable de développer les énergies renouvelables de façon importante.*

L'OPECST recommande une « trajectoire raisonnée » consistant à continuer à exploiter les réacteurs nucléaires existants tant que l'Autorité de sûreté l'autorise, puis de remplacer deux réacteurs arrêtés par un EPR, ou, le jour où ils viendraient à maturité, par un réacteur à neutrons rapides ; ceci *pourvu que les technologies renouvelables aient elles-mêmes atteint, par un développement pas à pas, la maturité industrielle ; car la France a besoin de disposer d'un courant électrique stable en quantité et en qualité.*

Les objectifs chiffrés, quant à la réduction de la part nucléaire dans la production d'électricité, sont peut-être excessifs cependant. D'ailleurs la plupart des médias semblent ne pas s'en être aperçus car

ils ont mal compris les chiffres ! Ils n'ont retenu pour 2050 que « 50 à 60 % ». Ils croyaient lire qu'on parlait là de la part du nucléaire dans la production d'électricité : 75 % en 2011, 50 à 60 % en 2050. Or ce n'est pas ce qui est dit dans le rapport ! La *production* nucléaire (en mégawattheures) serait 50 à 60 % *de celle d'aujourd'hui* ! Si, par exemple, la production d'électricité augmentait entre 2011 et 2050 (par exemple de 50 %), *la part du nucléaire baisserait dans la même proportion* (pour tomber à 25 à 30 %).

Au lieu de retenir de ce rapport une proportion d'énergie nucléaire dans le futur,  
il vaudrait mieux retenir l'idée majeure qu'il développe :  
qu'un effort doit être fait pour faire mûrir les technologies renouvelables ;  
et que, si vraiment, au terme d'un développement pas à pas jusqu'à l'échelle industrielle,  
il apparaît que sur tous les plans, y compris économique et social,  
certaines d'entre elles apportent les mêmes avantages que l'énergie nucléaire,  
alors pourquoi ne pas les développer largement ?

[Retour sommaire](#)