

La filière nucléaire face à la transition énergétique : quelles innovations pour s'adapter ?

Par Philippe VARIN

Président du Conseil d'administration d'AREVA

En quelques années, l'enjeu de la transition énergétique s'est imposé dans le débat politique français comme un thème majeur. S'il y a parfois désaccord sur les modalités, le cap à suivre fait en revanche l'objet d'un quasi consensus : le modèle fondé sur la prédominance des énergies fossiles doit être reconsidéré au nom de la lutte contre le dérèglement climatique. Sous des appellations parfois différentes, ce même enjeu figure désormais au sommet des agendas publics des pays développés comme des économies émergentes, et il sera bientôt au cœur des discussions de la COP21, à Paris en décembre 2015.

La France, qui a fait du nucléaire un des piliers de sa politique énergétique depuis les années 1970, apparaît aujourd'hui comme un exemple à plusieurs égards. Les indicateurs objectifs font du nucléaire une filière de production d'électricité sûre, compétitive et durable, et donc un moteur de la transition énergétique, aux côtés des énergies renouvelables. Comme l'indiquait récemment Ségolène Royal, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, « c'est grâce à l'énergie nucléaire aujourd'hui, à la sécurité qu'elle apporte, que nous pouvons accélérer et faire sereinement la transition énergétique ». Pour autant, la filière nucléaire n'ignore pas les défis qui se présentent à elle en termes de compétitivité, de sûreté et d'acceptabilité : ceux-ci l'obligent à conserver intacte sa capacité d'innovation.

Le nucléaire, moteur d'une transition énergétique réussie

Le nucléaire constitue le socle de la production d'électricité en France. Il est le résultat d'une politique énergétique cohérente, menée sans discontinuer par les gouvernements successifs de la Cinquième République dans l'intérêt de notre pays. Il représente pour la France un atout essentiel, dans un contexte énergétique incertain.

Notre pays, grâce à son mix électrique, contribue significativement à la réduction de l'empreinte carbone de l'Europe : les émissions de gaz à effet de serre atteignent en moyenne 63 g CO₂/kWh en France, contre près de 408 g CO₂/kWh dans l'ensemble de l'OCDE, et même 431 g CO₂/kWh en Allemagne.

La sécurité d'approvisionnement et le coût de l'électricité produite sont deux autres atouts indiscutables du nucléaire. Lors d'une récente visite de l'usine AREVA du Creusot, le Premier ministre, Manuel Valls, a qualifié le nucléaire de « filière d'avenir (...) fondamentale pour notre économie et pour notre souveraineté ». Le nucléaire a ainsi permis de porter le taux d'indépendance énergétique de la France à environ 50 % (contre 25 % en 1973). Rappelons que l'uranium est une ressource abondante et bien répartie sur l'ensemble des continents, notamment dans des pays politiquement stables : 45 % des ressources en uranium se situent dans les pays de l'OCDE, contre seulement 15 % pour le pétrole et 10 % pour le gaz.

Grâce à un coût de production modéré échappant à la volatilité des prix des énergies fossiles, le nucléaire sécurise le

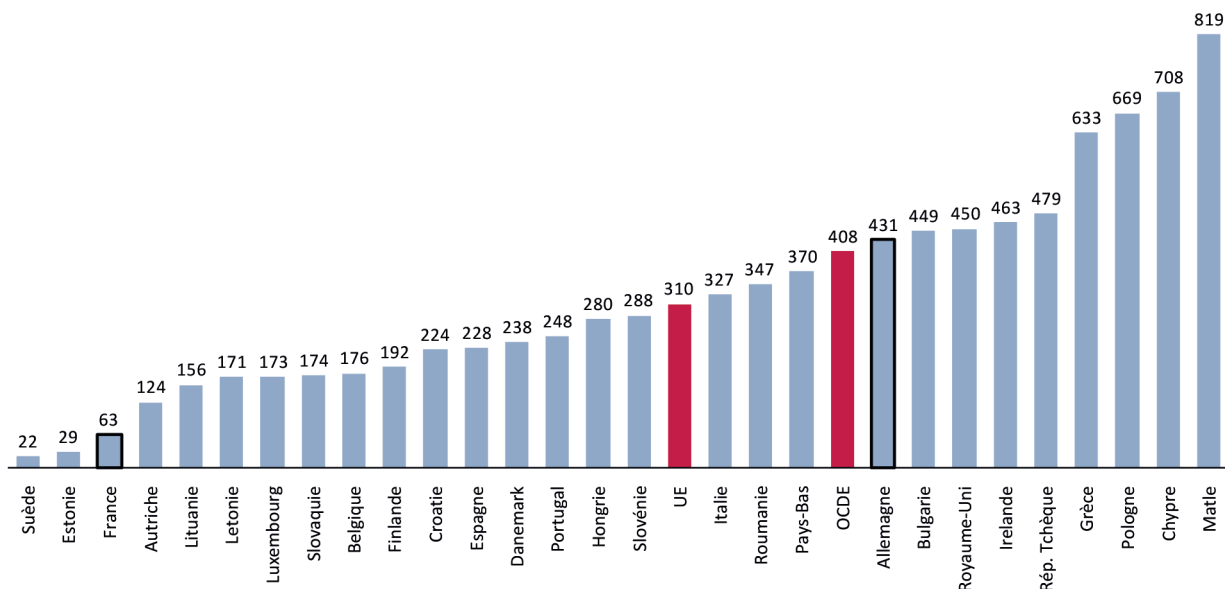


Figure 1 : Intensité carbone du secteur électrique, 2013 – gCO₂/kWh.
Source : Enerdata.

pouvoir d'achat des ménages et la compétitivité industrielle : les particuliers et les petites entreprises des autres pays de la zone euro paient aujourd'hui leur électricité, en moyenne, entre 30 % et 40 % plus cher qu'en France.

Le nucléaire est également l'un des principaux postes excédentaires de la balance commerciale de la France : les exportations françaises d'équipements et de services nucléaires représentent un chiffre d'affaires annuel de 6 milliards d'euros. Le recours au nucléaire permet aussi d'éviter 20 milliards d'euros d'importations d'hydrocarbures par an.

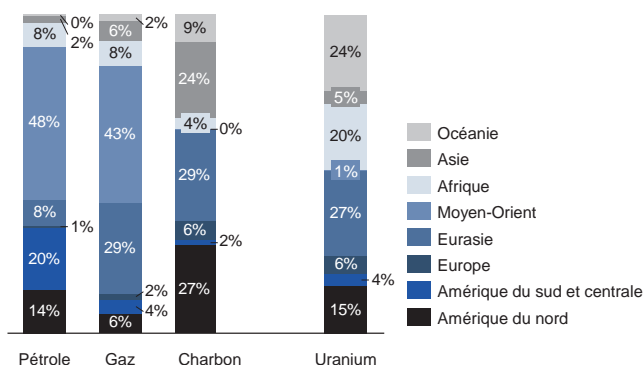


Figure 2 : Distribution géographique des réserves prouvées en ressources à fin 2013.

Enfin, le nucléaire assure une production d'électricité abondante et fournit une base propice au développement graduel d'autres énergies faiblement émettrices de CO₂, par nature intermittentes. En effet, les énergies renouvelables ne pourront pas répondre à elles seules à l'ensemble des enjeux du changement climatique. Leur production peut fortement varier sur une période de temps très courte et leur disponibilité moyenne est limitée (de 10 à 15 % pour le photovoltaïque et de 20 à 30 % pour l'éolien terrestre en France). Leur potentiel est limité par les caractéristiques météorologiques des zones d'implantation (ensoleillement, vent, etc.). La transition éner-

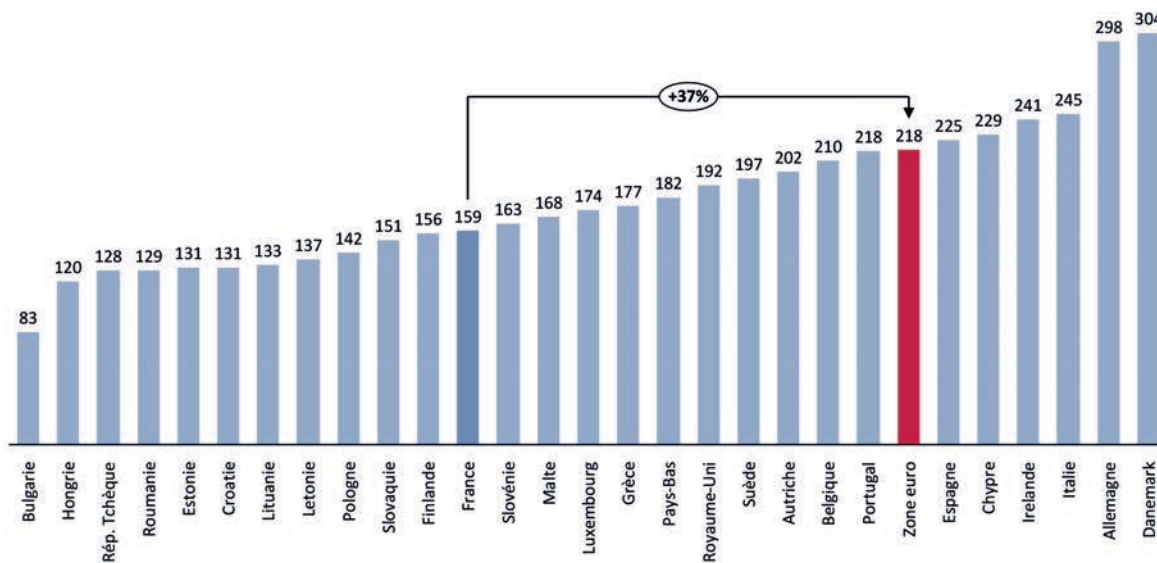


Figure 3 : Prix de l'électricité pour les particuliers et les petites entreprises en Europe, 1^{er} semestre 2014 – €/kWh.
Source : Eurostat.

gétique doit donc mettre à profit la complémentarité entre les différentes sources d'énergie et permettre une montée en puissance progressive des renouvelables. Elle doit permettre une évolution maîtrisée, sans rupture. Les développements à marche forcée, les coups d'arrêts brutaux et les *stop-and-go* ont montré leurs limites dans d'autres pays.

L'Allemagne est un exemple de ces limites, non pas au titre des objectifs fixés - la décarbonisation de son économie d'ici à 2050 est un objectif louable - mais par la méthode et le rythme qui y ont été adoptés. En effet, depuis l'an 2000, le soutien massif aux renouvelables a coûté près de 100 milliards d'euros aux consommateurs allemands - dont 20 milliards d'euros au titre de la seule année 2013, pour une production électrique équivalant à 25 % de la consommation française, avec de plus un recours croissant au charbon.

À l'opposé, le Royaume-Uni a engagé une transition énergétique progressive, introduite par l'"Energy Act 2011" et l'"Energy Bill 2012", lesquels sont fondés sur des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Un particularisme britannique dont pourraient prochainement s'inspirer plusieurs pays européens : le Royaume-Uni a adopté un cadre réglementaire visant à favoriser durablement les investissements dans toutes les énergies sobres en carbone (nucléaire, renouvelables et solutions pour le captage et le stockage de CO₂).

L'enjeu énergétique, plus encore que tout autre, appelle cette vision de long terme. Il s'agit d'un secteur du temps long, dont les cycles d'investissement, d'exploitation et d'innovation s'étendent sur plusieurs décennies. Si le nucléaire affiche les avantages précités, c'est grâce à l'engagement soutenu des gouvernements qui se sont succédé et aux investissements durables de la part d'entreprises essentiellement publiques. Le système énergétique français a toujours bénéficié d'un pilotage par un État garant de l'intérêt général et soutien du développement de champions industriels.

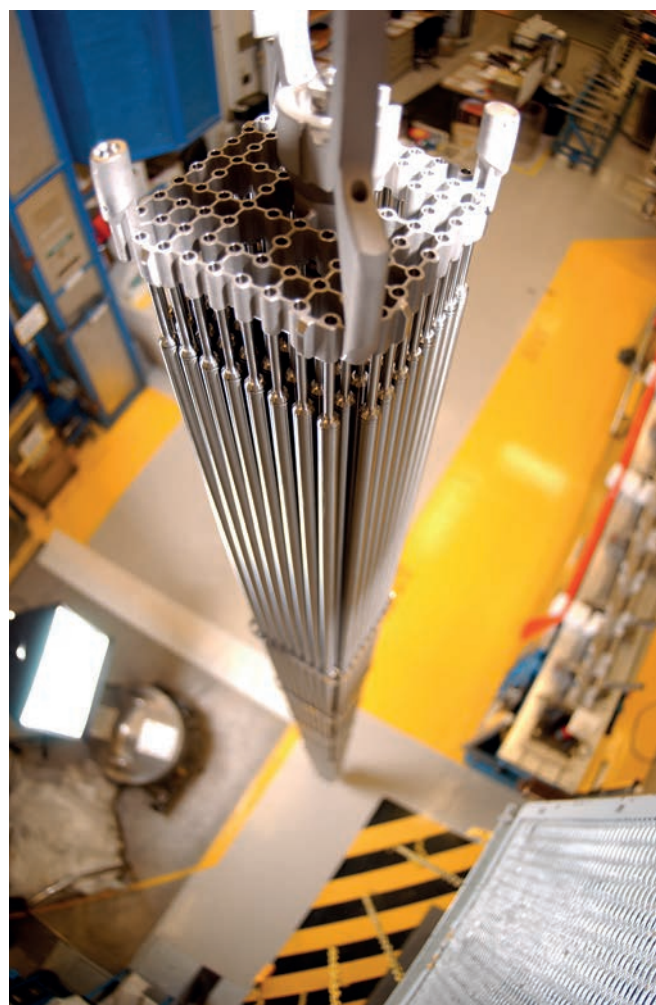
L'innovation, pour que le nucléaire ne soit pas seulement une énergie de transition

Maintenir la sûreté de ses opérations à un niveau irréprochable s'impose comme un prérequis pour que le nucléaire reste un des instruments pérennes de la transition énergétique. Le principe de l'amélioration continue de la sûreté conduit les exploitants nucléaires à renforcer régulièrement le niveau de sûreté de leurs centrales. Les autorités de sûreté, comme l'ASN, alignent d'ailleurs leurs exigences sur les objectifs de sûreté des centrales les plus modernes, qui sont aussi les plus sûres.

De plus en plus strictes, les exigences de sûreté liées aux nécessaires retours d'expérience de la catastrophe de Fukushima et des précédents accidents nucléaires tendent ainsi à augmenter les coûts des centrales (et ce, alors même que les capacités d'investissement des électriciens se réduisent, en raison d'incertitudes réglementaires et de difficultés financières croissantes).

Il devient donc essentiel que la filière nucléaire associe dès à présent à l'impératif de sûreté une exigence de compétitivité économique, ces deux critères étant complémentaires et ne devant faire l'objet d'aucun compromis. Cette indispensable recherche de compétitivité pose aujourd'hui de nouveaux défis à notre industrie : nous devons développer encore davantage notre capacité d'innovation afin de répondre aux nouveaux besoins des électriciens.

Un parfait exemple de cette démarche réside dans le travail considérable d'optimisation et d'innovation mené par la filière nucléaire française sur son réacteur de troisième génération EPR. Intégrant des avancées technologiques majeures dans le domaine de la sûreté, il est le premier réacteur à prendre en compte les retours d'expérience de Tchernobyl et des événements du 11 septembre 2001. Il garantit ainsi l'absence d'impact majeur en cas d'accident grave et une grande résistance aux agressions externes (telle la chute d'un avion de ligne). À la lumière de l'accident de Fukushima, les autorités de sûreté n'ont d'ailleurs demandé aucune modification du *design* de l'EPR. Sur ces fondements solides, l'enjeu est désormais économique : un programme nommé « EPR NM » (NM pour nouveau modèle) réunissant AREVA et EDF vise à optimiser la conception et la construction du réacteur sur la base du retour d'expérience des premiers projets, afin d'en accroître la compétitivité.



Assemblage de barres de combustible nucléaire ATRIUM.



Photo © Areva, LARRAYADIEU Eric

Usine d'enrichissement Georges Besse II, stations d'entrée et de sortie de l'uranium dans le procédé, Tricastin.

La durée de vie d'un réacteur repose notamment sur la bonne tenue des matériaux constitutifs de ses composants. Les résultats de travaux de R&D sur le vieillissement des matériaux menés par AREVA, le CEA et EDF ont démontré la possibilité d'allonger la durée de vie des réacteurs actuels par rapport aux projections réalisées lors de leur conception. De nombreuses centrales nucléaires, de par le monde, ont déjà obtenu des licences d'exploitation pour des durées supérieures à quarante ans. C'est, par exemple, le cas aux États-Unis, où les trois-quarts des réacteurs ont déjà obtenu une autorisation d'exploitation jusqu'à soixante ans, et des études sont en cours pour examiner la possibilité d'aller au-delà.

Industriel à la pointe des procédés et des technologies nucléaires, AREVA est l'un des fers de lance de cette démarche globale d'amélioration continue de la sûreté des installations. Notre groupe développe une offre nommée *Forward Alliance* qui comprend l'ensemble des équipements et des services permettant l'allongement de la durée d'exploitation des réacteurs. Aux États-Unis, il commercialise, par exemple, une toute nouvelle technique de maintenance des composants de réacteurs par projection liquide sous haute pression afin d'améliorer leurs propriétés matérielles et d'augmenter leur résistance à la corrosion. Employé préventivement, ce procédé contribue à lutter efficacement contre le vieillissement des composants.

L'offre *Safety Alliance* rassemble, quant à elle, l'ensemble des services et des équipements fournis par AREVA pour répondre aux exigences de sûreté post-Fukushima. Elle in-

tègre, par exemple, des recombineurs auto-catalytiques passifs : déjà installés dans une centaine de centrales nucléaires à travers le monde, ces systèmes protègent l'enceinte de confinement du réacteur contre toute explosion d'hydrogène, y compris en cas d'accident grave. Le rôle de ces équipements est crucial : en préservant l'intégrité du bâtiment réacteur dans le cas d'un incident majeur, ils en préviennent l'impact sur l'environnement.

Avec ce même souci de la sûreté, AREVA a développé un système de ventilation des enceintes de confinement (*Filtered Containment Venting Systems - FCVS*), qui préserve l'intégrité du bâtiment réacteur en y empêchant l'accumulation d'une pression excessive. Là encore, il s'agit d'éviter tout impact sur l'environnement dans l'hypothèse d'un événement majeur. D'installation facile dans les centrales déjà en opération, ce système est compatible avec tous les types de réacteur. Il a déjà été mis en place dans une cinquantaine de centrales.

La sécurisation de notre production électronucléaire future ne se limite pas au travail mené sur la sûreté des réacteurs. AREVA est présent sur toute la chaîne du combustible, de la fourniture d'uranium à la conception et à la fabrication de combustible (classique ou recyclé) en passant par les services de conversion et d'enrichissement. Sur ces marchés aussi, l'anticipation des besoins futurs et les exigences de compétitivité requièrent un haut degré d'innovation.

L'usine d'enrichissement Georges Besse II, sur le site du Tricastin, constitue un véritable saut technologique : grâce

au procédé d'enrichissement de l'uranium par ultracentrifugation, elle consomme cinquante fois moins d'énergie que l'usine d'enrichissement par diffusion gazeuse Georges Besse I (arrêtée en 2012). Le groupe poursuit également le développement d'une nouvelle génération d'assemblages de combustible pour réacteurs à eau bouillante (REB) et pour réacteurs à eau pressurisée (REP), des assemblages nommés respectivement ATRIUM™11 et GAIA et présentant des performances et des marges de sûreté améliorées. Ces produits sont actuellement testés par des électriciens européens et américains.

L'innovation se conçoit enfin sur le très long terme. Les activités et les financements de R&D intéressant les prochaines générations de réacteurs nucléaires doivent être poursuivis afin de positionner avantageusement la France sur ces futurs marchés.

Bien que la demande ne soit actuellement pas structurée, un marché des petits réacteurs modulaires pourrait émerger à l'horizon 2020-2030, lorsqu'une réglementation appropriée et des cahiers des charges précis auront été définis. Les pays les plus actifs dans ce domaine sont les États-Unis et la Chine, où des programmes de financement public ont récemment été déployés. La France, qui a mis en place un consortium dédié (dont AREVA fait partie), poursuit également des études pour concevoir un modèle de petit réacteur et en assurer la compétitivité.

De même, nous devons rester à la pointe de la recherche sur les réacteurs de Génération 4, qui pourraient entrer en service à l'horizon 2040. Ces centrales seront non seulement durables en termes de gestion des ressources naturelles, mais aussi

économiques, sûres et non-proliférantes. La France a fait le choix d'un réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium incarné par le projet de démonstrateur de 600 MWe ASTRID développé par le CEA. Ce démonstrateur, qui entrera en exploitation vers 2020 sur le site de Marcoule, permettra notamment de valider les options de sûreté essentielles à son développement industriel. *In fine*, le développement de la quatrième génération permettra au nucléaire de devenir une source d'énergie totalement durable, grâce à une consommation de combustible 100 fois inférieure à celle des centrales actuelles pour une même quantité d'électricité produite.

Enfin, le développement du nucléaire et la pérennité de son système de recherche ne seront pas garantis sans l'acceptation de l'opinion publique. Si les grands barrages et les éoliennes rencontrent des oppositions parfois farouches, le nucléaire reste, de loin, la forme de production d'énergie la plus controversée. Aussi la réussite de la transition énergétique résidera-t-elle pour partie dans le dialogue citoyen. Et il reviendra à l'industrie, à l'instar d'autres acteurs, d'innover afin de nourrir le débat en allant au-devant des nouveaux publics, notamment en améliorant sa communication sur la Toile et sur les médias sociaux.

La transition énergétique dessinera notre avenir économique et industriel. Menée efficacement, en exploitant les nombreux atouts du nucléaire, elle peut placer la France dans le peloton de tête des économies les plus innovantes. Mais il faut absolument conserver la vision de long terme qui a présidé au développement du programme nucléaire français et poursuivre les efforts de R&D dans la filière. Cette vision conditionne notre future croissance décarbonée.