

NUCLÉAIRE & ÉNERGIES

Une publication ARSCA

n°69 - Décembre 2016



Dans ce numéro

Point de vue sur l'actualité récente

L'évolution du secteur énergétique

Que penser du développement des énergies renouvelables

L'actualité des réacteurs

Panorama de l'actualité de l'aval du cycle

Radioactivité : faut-il en avoir peur ?

Le regard français sur le nucléaire

Quelles énergies domineront la fin du siècle ?

ARSCA

Association d'anciens et de retraités d'AREVA

NUCLÉAIRE & ÉNERGIES

POINT DE VUE

Point de vue sur l'actualité récente

Page 3

ÉNERGIE

L'évolution du secteur énergétique

Page 9

Que penser du développement des énergies renouvelables

Page 16

NUCLÉAIRE

L'actualité des réacteurs nucléaires

Page 22

Panorama de l'actualité de l'aval du cycle

Page 28

Radioactivité : faut-il en avoir peur ?

Page 35

NUCLÉAIRE et SOCIÉTÉ

Le regard français sur le nucléaire

Page 39

PROSPECTIVE

Quelles énergies domineront la fin du siècle ?

Page 42

Couverture : Photo récente du site de Flamanville (Manche) A droite les deux réacteurs en fonctionnement et à gauche le réacteur EPR en construction.

(photo EDF- crédits : Alexis MORIN)

« NUCLÉAIRE ET ENERGIES » est établi à partir d'articles rédigés par différents auteurs. Ont contribué à ce numéro :

Point de vue

Bernard LENAIL

Énergie

Guy DUCROUX et Louis-François DURRET

Nucléaire

Claude SEYVE, Jacques SIMONNET et Michel GAY (Invité)

Nucléaire et Société

Aimé DARRICAU et Bernard LENAIL,

Prospective

Jean-Luc SALANAVE

La coordination de l'ensemble des rubriques est réalisée par Gérard LEPINE et Danièle RAISONNIER avec la collaboration de Bernard LENAIL en tant qu'éditeur

ARSCA

Tour AREVA, Boîte 0706-B2

1 Place Jean Miller, 92084 PARIS LA DEFENSE

Mail bureau@uargq.org Site www.uargq.org

POINT DE VUE SUR L'ACTUALITÉ RÉCENTE

Bernard Lenail

Il y a beaucoup de points à évoquer pour la période, certains plus positifs que d'autres.

*En ce qui concerne le **climat**, il faut rappeler tout d'abord que l'Accord de Paris de décembre 2015, conclu par 195 pays et ratifié par 110 états, est entré en vigueur le 4 novembre 2016 : c'est la première fois qu'un accord sur le climat entre en vigueur et la première fois qu'un accord au niveau de l'ONU se trouve lancé moins d'un an après sa mise au point : un succès historique.*

Le climat n'est pas sauvé pour autant et l'objectif de limiter à moins de 2°C le relèvement des températures ne sera pas atteint : la trajectoire tend plutôt vers 3 ou 3½°C compte tenu des engagements actuels.

La COP22 réunie à Marrakech en novembre commençait donc sous d'excellents auspices mais l'élection de Donald Trump à la présidence des États-Unis a quelque peu douché l'ambiance. Donald Trump aimablement qualifié de climato-sceptique est en fait un négationniste affirmé plutôt qu'un sceptique et personne ne sait si les engagements souscrits par Barack Obama seront honorés par son successeur : espérons que l'élan lancé à Paris ne sera pas cassé.

La COP22 n'a pas été un grand cru car si le dossier des aides aux pays émergents (quelque 100 milliards de \$ par an à partir de 2020) a un peu progressé ce n'est pas le cas de celui de la révision à la hausse des engagements individuels des pays. Aucun progrès non plus, sur le seul point qui vaille pour espérer placer le monde sur une trajectoire vertueuse, nous voulons parler de la fixation d'une valeur au carbone.

Pour ce qui est des **EPR**, dont six sont commandés, l'année a été plutôt satisfaisante :

- **Le réacteur Olkiluoto (OL3)**, le projet du finlandais TVO sur lequel AREVA et Siemens s'échinent depuis 2005, sera prêt en fin de cette année pour des essais d'ensemble tout au long de 2017 et le chargement du combustible début 2018. L'électricien semble enfin y croire et vouloir la mise en service le plus vite possible. Les relations entre client et fournisseur sont semble-t-il enfin apaisées bien que le fournisseur ait renoncé à trouver un accord amiable sur le litige qui l'oppose à son client : la procédure d'arbitrage reste donc ouverte ce qui handicape la restructuration d'AREVA et interdit le maintien des équipes dédiées à OL3 dans AREVA NP, qui doit passer sous contrôle d'EDF. TVO déplore une situation qui lui est cependant imputable et se plaint d'être le mal-aimé de la famille EPR. Il reste à espérer que jusqu'au démarrage du réacteur TVO aura une participation active aux essais, ce qui est évidemment indispensable.
- **La construction du réacteur EDF de Flamanville (FLA3)** pour lequel des craintes étaient apparues en 2015, au vu de certaines analyses du métal de la cuve, se poursuit dans de bonnes conditions et EDF affiche sa très grande confiance quant à l'achèvement du chantier et la mise en service du réacteur fin 2018. Les doutes sur la cuve ne sont pas levés : un gigantesque programme d'étude a été lancé par EDF et AREVA afin de démontrer que la cuve et ses composants répondent aux exigences de l'ASN et sont par conséquent aptes au service. Le programme s'achève et le dossier va être analysé par l'ASN. Une réponse finale en est attendue mi 2017. Les essais d'ensemble doivent démarrer dès avril 2017.



Comparer OL3 et FLA3 reste cependant difficile : avancement technique légèrement favorable à OL3 mais les moyens humains considérables dont dispose EDF en comparaison de ceux beaucoup plus modestes de TVO pourraient faire la différence dans deux ans.

Sur le site de Taïshan (Chine) 2 EPR sont en construction. Malgré l'implication d'EDF et d'AREVA dans le projet les informations disponibles sont assez fragmentaires la Chine contrôlant de près les informations. Disons en bref que le programme avance bien, bénéficiant au début du retour d'expérience d'OL3 et de FLA3, de l'importance des moyens sur site et de l'excellente organisation du chantier. Les deux unités se suivent à moins d'un an, les essais à chaud du premier sont en cours et le chargement du cœur devrait intervenir en avril 2017, sauf retard éventuel dû notamment au problème de la cuve FLA3, soit une mise en service fin 2017/début 2018. La mise en service du second interviendrait donc fin 2018. Ces dates sont cependant mentionnées avec prudence car en parallèle, le programme AP1000, semble glisser et on peut soupçonner que l'ordre de démarrage sera défini par les autorités politiques. Il paraît cependant que les deux Taïshan démarreront avant OL3 et FLA3.

Les optimistes pourront retenir que d'ici deux ans 4 EPR seront en fonctionnement. C'est encore loin.

Hinkley Point : La décision tant attendue du lancement des 2 EPR de Hinkley Point (Sud-Ouest de l'Angleterre) est enfin intervenue le 15 septembre avec signatures et paraphe officiels le 29 (gouvernement anglais et français, EDF et son partenaire chinois China General Nuclear (CGN) et celles des principaux fournisseurs dont AREVA). Nous ne reviendrons pas sur la course d'obstacles entreprise par EDF au cours des dix dernières années et encore moins sur les péripéties des derniers mois marqués de multiples pierres d'achoppement qu'il a fallu éviter. Venant après les embûches placées par les syndicats, quelques hauts dirigeants ou des membres du Conseil d'Administration vues comme des péripéties normales (?), le dernier délai de quelques semaines imposé par Theresa May, qui venait d'être nommée premier ministre, est apparu à beaucoup comme presque choquant alors qu'elle n'avait été associée en rien à la négociation de David Cameron, son prédécesseur.



Ce délai lui a permis de faire confirmer certains des engagements d'EDF mais surtout de préciser au partenaire chinois les modalités et limites de l'exercice du contrôle par ce dernier dans un programme stratégique aussi important pour le Royaume Uni et aussi important à long terme : le programme couvre les deux premiers EPR, mais aussi les deux suivants et enfin des 2 premiers Hualong1 que CGN veut construire en Angleterre en partenariat avec EDF.

L'enjeu est de taille pour EDF et tous ses partenaires : espérons que toutes ces années de retard dans le lancement du projet auront permis de peaufiner le détail du projet en tirant le meilleur parti de l'expérience de construction des 4 précédents EPR. Bref souhaitons que le signal de départ soit celui d'un départ lancé de la réalisation. La liste de ceux qui comptent sur EDF est interminable : le président Xi Jinping en fait partie, lui qui a reçu tout à fait exceptionnellement Jean-Marc Ayrault, ministre français des Affaires Étrangères 3 jours après la signature pour lui signifier combien *le succès est crucial... la mise en œuvre doit être exemplaire, pour une coopération ultérieure internationale* bien au-delà d'Hinkley Point.

Nous ne pouvons manquer de penser ici à Georges Besse qui, le soir de la signature des contrats avec les électriciens étrangers pour la construction d'UP3, disait à son équipe : Allez les amis, il ne faut pas tarder, il n'y a plus qu'à construire ! Les clients qui sont aussi nos banquiers nous surveillent, répétons le succès d'Eurodif.

VOTATION SUISSE : Les amis suisses se sont fait peur, et nous ont fait peur, avec une énième votation touchant la production d'électricité nucléaire. On sait que le gouvernement a bâti une Stratégie Énergétique 2050 (SR 2050), approuvée par le Parlement, prévoyant entre autres l'arrêt des 4 réacteurs existants (et leur non remplacement) le jour où les autorités de sûreté jugeront dangereux la poursuite de l'exploitation ou que les propriétaires jugeront eux-mêmes que celle-ci devient trop coûteuse et, au plus, tard après 45 ans de fonctionnement.



L'initiative soumise au vote le 27 novembre visait à accélérer le mouvement pour trois motifs ; sûreté déjà insuffisante, coûts déjà insupportables, et énergies renouvelables en mesure de remplacer dès maintenant la production nucléaire : c'est-à-dire arrêter Mühleberg et Beznau 1 et 2 dès 2017, Goësgen en 2024 et Leibstadt en 2029. L'initiative a été rejetée par 54,2% des citoyens ce qui ne paraissait pas évident a priori, mais approuvée par les cantons de Genève et de Bâle-Ville ce qui en revanche était facile à prévoir.

L'affaire n'est pas encore classée : un référendum se profile à l'horizon contre SE 2050 au double motif :

- qu'il est trop tôt pour fixer des échéances claires (45 ans) tant que le remplacement de la production par d'autres sources que nucléaire, fossile ou hydraulique (dont le potentiel est aujourd'hui atteint) ne serait pas assurée ;
- que le prolongement du fonctionnement des centrales nucléaires de quelques années ne change pratiquement pas le problème.

La Suisse a donc décidé de faire les choses comme il faut, plutôt qu'en les bâclant rapidement, nous sommes surpris qu'il ait fallu un vote populaire pour redécouvrir une caractéristique suisse que chacun connaît, ici en France.

Le prochain référendum dont nous ne connaissons pas la date sera sans doute plus difficile car les objectifs de SE 2050 paraissent plus raisonnables, réalistes et moins coûteux.

LA PPE : La Loi de Transition Énergétique comporte une disposition importante, celle de la définition par le ministère de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie. Publiée au JO le 28 octobre 2016, avec beaucoup de retard en raison des difficultés du ministère. Cette PPE, en fait plus Électrique qu'Énergétique, aurait dû être publiée un an plus tôt et définir les objectifs pour la période 2016/18 et les perspectives pour la période 18/23. Les écologistes de tous poils en attendaient monts et merveilles : un plan miraculeux de développement des énergies renouvelables et les noms de la vingtaine de réacteurs qui devraient selon eux être fermés sur l'ensemble de la période pour ramener de 75 à 50% la part du nucléaire dans le *Mix*. Ils n'ont pas été déçus sur le premier point les développements annoncés sont considérables en matière d'énergie renouvelable et pourtant la France n'est pas en retard contrairement à ce qu'on entend répéter inlassablement - le léger retard sur les objectifs éoliens étant compensé par l'avance sur le photovoltaïque - et elle a commencé sa transition énergétique il y a plus de 40 ans avec le lancement du programme nucléaire. En revanche, sur le second point catastrophe, le décret ne parle que d'une réduction du nucléaire de 2 à 15% au lieu des 25% attendus sans qu'il soit même fait mention d'un seul nom de site à fermer. Les défenseurs du nucléaire sont bien sûr soulagés mais déplorent les quelques 5 milliards d'euros d'argent public engloutis dans les renouvelables chaque année (l'équivalent de plus d'un EPR tous les deux ans pour une production 5 ou 6 fois moindre).

Un jour peut-être les Français ouvriront les yeux sur les milliards gaspillés, mais pour l'instant, on leur fait aimer les éoliennes et les panneaux solaires avec des arguments trompeurs et, c'est bien connu, quand on aime on ne compte pas. Personne n'ose même leur dire que le maintien du nucléaire est nécessaire au développement des énergies renouvelables en raison de leur intermittence, faute de quoi c'est aux énergies fossiles qu'il faudrait recourir pour pallier les périodes sans vent ni soleil.

Entre CO2 et nucléaire il va pourtant falloir choisir, comme on entend de plus en plus souvent le dire. Beaucoup, croyant sans doute bien faire, nous rabâchent que le nucléaire et les renouvelables sont complémentaires. Certes le nucléaire, mais moins que le gaz, peut pallier les insuffisances des renouvelables mais l'inverse n'est pas vrai, en revanche leur coexistence est possible pour autant que les considérations locales et économiques soient équitablement prises en compte.

L'offshore éolien : En septembre, AREVA a soldé ce qui restait de ses participations dans l'éolien offshore et la presse s'est largement fait l'écho du fiasco d'AREVA. Ne faut-il pas d'abord souligner celui du gouvernement qui a sollicité ALSTOM et AREVA pour développer une filière industrielle nationale ? Le programme ALSTOM se basant sur sa technologie en matière de turbines a réussi, des commandes pour des parcs EDF et des usines, donc de l'emploi en France, mais ALSTOM a décidé de céder la totalité de son activité à l'américain General Electric. Ne disposant d'aucune technologie en propre, AREVA n'avait d'autre choix que de s'appuyer sur un partenaire, de préférence allemand, mais Bercy ayant refusé le meilleur choix à deux reprises, AREVA a dû se rabattre sur le troisième choix après avoir perdu du temps. Par ailleurs pour mener à bien la réalisation des parcs obtenus en France par ENGIE, AREVA a dû s'appuyer sur un partenaire espagnol, GAMESA, et s'engager sur la réalisation d'usines en France...et suite à différentes péripéties et aux difficultés intrinsèques à l'offshore (pertes sur les marchés allemands) ...AREVA a fini par abandonner et céder ce qui lui restait à SIEMENS.

Ambitions démesurées, nombreuses déconvenues, déboires découlant de la difficulté des interventions en mer... de la part des pouvoirs publics et d'industriels débutants. Peut-être y aurait-il eu un avenir pour un champion national, mais pour deux se faisant concurrence sur un marché très difficile, c'était sans espoir.



CIGEO : Contrairement à toute attente, suite à de vaines tentatives en 2015 pour débloquer CIGEO le projet d'enfouissement des déchets (stockage de Bure), une loi restait nécessaire : il fallait donner une existence légale au choix du stockage profond, définir la phase industrielle pilote et ce qu'il fallait entendre par *réversibilité*. C'est maintenant chose faite grâce à un projet de loi adopté d'abord au Sénat puis à l'Assemblée dans les mêmes termes le 11 juillet. ANDRA peut donc

aller de l'avant et préparer sa Demande d'Autorisation de Construction à déposer en 2018. Une affaire rondement menée alors que le terrain politique n'était a priori pas favorable. Sur place les choses se sont un peu échauffées : ANDRA ayant acquis le terrain où doivent être implantées les installations de surface a clos le périmètre de façon rudimentaire et commencé à déboiser le terrain en vue de travaux préliminaires. Mal lui en a pris : les opposants ont détruit la clôture et occupé la zone, il est alors apparu qu'ANDRA n'avait pas demandé de permis de défrichage...aux dernières nouvelles, n'ayant pas encore obtenu l'autorisation de défrichage, ANDRA replante !

INSPECTIONS DE DIFFÉRENTS RÉACTEURS : Nous avons déjà eu l'occasion d'évoquer et d'expliquer en détail les circonstances qui ont amené l'Autorité de sûreté nucléaire à demander à EDF d'effectuer des inspections et vérifications approfondies sur des Générateurs de vapeur (GV) de différents réacteurs EDF en service :

http://www.uarga.org/downloads/Documentation/equipements_sous_pression_etudes_et_audits_08_11_16.pdf

http://www.uarga.org/downloads/Documentation/slc_22_11_16_19_reacteurs_arretes.pdf

Nous ne savons quelle sera la situation à la date de diffusion du présent document, on peut craindre que fin décembre/début janvier, sur les 58 tranches en service, jusqu'à 12 pourraient être en arrêt pour vérifications et 4 en arrêt de longue durée. Cette situation, tout à fait anormale à cette période de l'année, pourrait s'avérer très difficile à gérer si les températures sont basses et le temps anticyclonique. Nous ne manquerons pas d'en parler ainsi que de l'audit de Creusot Forge dans une prochaine Lettre.

L'ASN a fait valoir que c'est la première fois qu'un défaut générique (c'est-à-dire commun à différentes unités) était observé en France. Cependant, attendu que l'urgence des vérifications imposées ne paraît pas complètement avérée, beaucoup regrettent que celles-ci n'aient pas été étalées sur une période plus longue. D'autres, arguant du fait que l'ASN, se préoccupant uniquement du nucléaire, s'inquiètent de savoir qui se préoccupe de l'intérêt général. Qui pèse les conséquences certainement très fâcheuses d'un blackout dont la probabilité est assez élevée en comparaison d'un incident extrêmement improbable sur un GV ? Question sans réponse !

Dans un registre pittoresque, on a pu voir la Ministre de l'Environnement enjoindre au Président d'EDF de tout faire pour assurer le service que les français attendent, comme si celui-ci avait le pouvoir de produire plus d'électricité avec moins de réacteurs.

Espérons que le blackout n'aura pas lieu dans les prochaines semaines mais notons incidemment que si on regardait un peu plus loin, ce que peu de gens font, **le blackout paraît certain dans un avenir pas si lointain** si l'objectif légal de réduction du nucléaire est atteint : les pics de puissance dépassent en effet chaque année les 100 Gigawatts (102 au record du 8 février 2002). Du fait des arrêts de réacteurs la production n'a atteint que 50 Gigawatts pendant les derniers mois de 2016, très loin du plafond fixé dans la loi à 63,2 Gigawatts.

Fessenheim : la fermeture du site est toujours prévue au moment de la mise en service de l'EPR de Flamanville : on a entendu parler du chiffrage de l'indemnité à verser à EDF en cas de décision de fermeture prématurée du site et on sait que les salariés d'EDF, n'acceptant pas cette décision, le Comité Central d'Entreprise a demandé d'avoir accès au dossier. Malheureusement pour les salariés, Fessenheim n'est pas Florange et Fessenheim n'est pas non plus Belfort, où ALSTOM a dû abandonner toute velléité de fermer son usine de locomotives.

Restructuration AREVA : N'ayant d'autres informations que celles qu'AREVA et la presse diffusent le lecteur ne doit attendre ici aucun scoop.

La restructuration conduit d'une part à la découpe de l'Ex-AREVA en trois volets :

- Une entité chapeau AREVA SA détenant les parts dans NewCo, les parts dans la nouvelle entité Réacteurs et quelques activités dont le projet TVO en voie d'achèvement ;
- NewCo (déjà créée) comprenant l'ensemble des opérations du Cycle, sans la fabrication du combustible frais à base d'uranium, soit approximativement la COGEMA d'antan ; et
- La cession d'AREVA NP, y compris le combustible frais à base d'uranium, mais sans l'affaire TVO et les équipes associées, à une nouvelle entité Réacteurs confiée à EDF et dont AREVA SA restera actionnaire ;

et d'autre part la cession de différentes activités, dont AREVA TA (ex Technicatome) par exemple qui sera contrôlée par l'État.

Ce schéma n'est a priori pas très compliqué, ce qui complique sérieusement sa mise en œuvre résulte essentiellement de trois problématiques qu'il convient de mener de front :

- Le nécessaire accord des autorités de la Commission Européenne qui surveille particulièrement le volet financier (aides d'État) et le redressement de la société (réduction des effectifs) ;
- La recapitalisation par l'État des deux nouvelles entités Cycle et Réacteurs et d'AREVA SA ;
- L'entrée de nouveaux actionnaires stratégiques, chinois et japonais notamment, dans les deux sociétés Cycle et Réacteurs.

La restructuration d'AREVA se déroule semble-t-il normalement mais en fin d'année les choses se précipitent car il va falloir arrêter les comptes sur des bases tenant compte de tous les facteurs : accord de Bruxelles, engagement de l'État (montant et calendrier), entrée des nouveaux actionnaires (accords gouvernementaux, problèmes spécifiques à chacun, équilibre entre eux, délicates questions de gouvernance). On imagine bien que chaque actionnaire étranger veut pouvoir peser sur la stratégie même si l'État reste prépondérant au niveau du conseil d'administration. Le calendrier est d'autant plus serré qu'il faut éviter la répétition des problèmes rencontrés en février lors du refinancement de la dette obligatoire de 1,2 milliard d'euros.

Quelles sont les perspectives pour 2017 ? : Rappelons tout d'abord quelle est aujourd'hui la situation de l'industrie électronucléaire française. De grands groupes :

- EDF, confronté à une situation difficile (marché dérégulé mais perturbé par la concurrence déloyale des ENR injustement favorisées), des défis/des enjeux pour lesquels l'État/actionnaire n'apporte aucun soutien, une autorité de sûreté qui met en doute, voire en péril, son projet pluriannuel et mine la confiance que lui accordait jusqu'ici la population ;
- AREVA toujours à la peine depuis la catastrophe d'il y a deux ans ;
- Un institut de recherche, le CEA, peu actif sur des projets nucléaires d'avenir ;
- Un vaste tissu de partenaires qui attendent que les perspectives de leurs grands donneurs d'ordre s'éclaircissent ;
- Une autorité de sûreté, l'ASN, indépendante mais qui semble se chercher, malheureuse, autoritaire voire arbitraire, mal aimée sauf des opposants au nucléaire !

À l'évidence il faut maintenant relancer une politique nucléaire, fixer un cap, faire en sorte que toute une industrie œuvre dans une direction claire, soutenue par la recherche et les autorités.

Ceci implique un État qui dise enfin la vérité des coûts de l'électricité et de ses différentes formes (nucléaire, hydraulique, éolienne, photovoltaïque), qui surveille les marchés, qui ne laisse pas endoctriner le citoyen (électeur, consommateur, contribuable) par une idéologie à la mode, par tous les lobbies et même ses propres services qui trompent et dénigrent une industrie auquel l'État interdit de se défendre.

Qu'il dise aussi la vérité sur les technologies et leurs limites : pour sauver le climat il faut bien sûr cesser le recours aux énergies fossiles sauf quand celles-ci sont absolument incontournables. Peut-être faut-il aussi réduire les consommations d'électricité, mais cela devrait pouvoir se discuter dès lors que celle-ci est produite par une voie décarbonée (nucléaire, hydraulique ou ENR) or ceci reste un tabou ! Qui en France sait qu'en développant les éoliennes ou le photovoltaïque il faut, en raison de leur intermittence, AUSSI installer des moyens de production d'une puissance triple en électricité d'origine fossile (gaz) est-ce bien cela sauver le climat ? Les arrêts de réacteurs nucléaires dont notre pays souffre à l'heure actuelle entraînent une hausse des consommations de gaz et de charbon mais pas de hausse des consommations d'électricité d'origine renouvelable.

Il ne s'agit pas ici de dénigrer les renouvelables, il faut de tout y compris des renouvelables, mais pas partout et pas seulement. Les mêmes qui condamnaient naguère le tout nucléaire prônent aujourd'hui le tout renouvelable !

Une analyse économique honnête et complète montrerait certainement qu'il est de l'intérêt national bien compris de prolonger la durée de vie du parc de réacteurs d'EDF pas nécessairement de tous les réacteurs de 10, 20 ou 40 ans bien sûr et, comme ils ne sont pas éternels, il appartient à l'État de tracer dès maintenant le programme de remplacement du parc actuel, dans la continuité et pas par un réacteur nouveau tous les 15 ans. EDF doit bien sûr élaborer des propositions et un dialogue sérieux doit s'établir avec les pouvoirs publics, ce n'est pas ce qu'on a observé : le président d'EDF a été laissé libre d'énoncer un plan de futurs réacteurs dès lors qu'en parallèle il faisait l'apologie des énergies renouvelables, de leur complémentarité avec le nucléaire et de leur développement... alors que celles-ci vont littéralement tuer EDF.

Cela implique aussi que l'industrie retrouve un avenir international, que le gouvernement n'ait plus le nucléaire honteux, qu'un président, un premier ministre, un ministre aille sur un site de production. Leur place est plus à Flamanville qu'à un pèlerinage à Florange ou devant l'usine d'ALSTOM à Belfort. Certes un premier ministre est allé visiter un EPR...oui mais c'était en Chine !

Oh, déjà la septième page, personne ne lira si loin... arrêtons de fantasmer.

Demain est un autre jour !

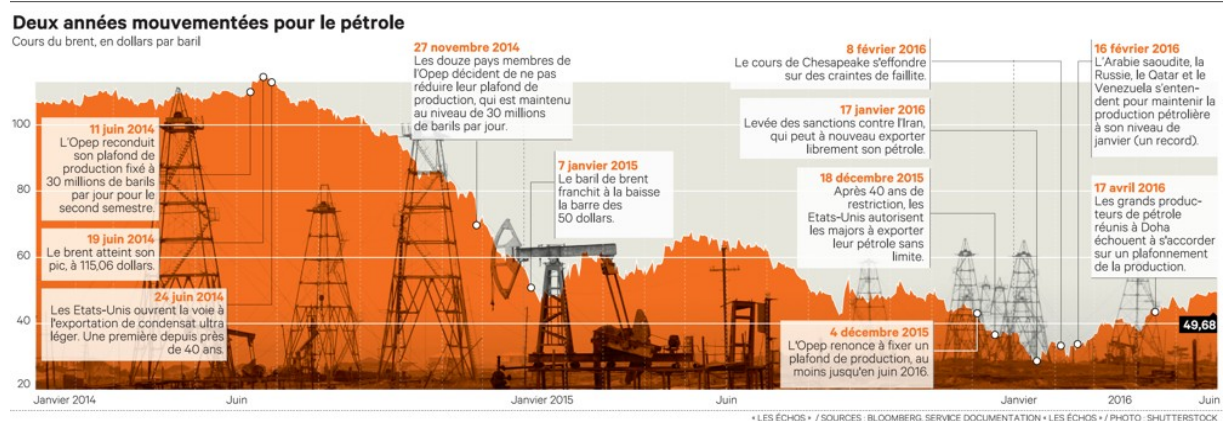
[Retour au sommaire](#)

L'ÉVOLUTION DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE

Guy Ducroux

Le pétrole a perdu plus de la moitié de sa valeur depuis mi-2014 et évolue actuellement autour de 50 dollars le baril, plombés par une offre excédentaire de 2 millions de barils/jour (b/j). L'équation est complexe : la montée en puissance des énergies renouvelables et les économies d'énergie recherchées dans les pays industrialisés conduiront à un ralentissement de la demande de pétrole qui, aujourd'hui, est favorisée par le prix actuel et l'offre excédentaire. Dans le même temps, la demande mondiale d'or noir est et sera tirée principalement par les secteurs du transport routier, aéronautique et pétrochimique. L'accord récent, trouvé à Alger, entre les membres de l'OPEP, sur la baisse de la production, a fait rebondir le prix du pétrole de plus de 10 %. Dans son rapport annuel, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) souligne son inquiétude quant à l'accès à l'énergie dans le monde suite à la dégringolade des investissements dans le pétrole et le gaz. L'Europe a présenté fin novembre son paquet « Énergie - Climat », mesures visant à maintenir la compétitivité de l'Union Européenne dans un contexte d'évolution des marchés mondiaux de l'énergie par la transition vers une énergie propre. Et dans tout cela, le nucléaire, technologie en perpétuelle évolution, s'impose comme une des clés de la lutte contre le changement climatique. En France, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) a vu son décret publié le 28 octobre et déçoit déjà de nombreux acteurs du domaine de l'énergie. Total fait le pari de s'engager dans l'électricité tandis qu'EDF joue son avenir au Royaume-Uni et fait grimper les tarifs en Europe avec l'arrêt de ses centrales qui devraient repartir début janvier 2017 avec l'autorisation de l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) pour un hiver attendu rigoureux ! Quant à Engie, Isabelle Kocher, la nouvelle directrice générale de l'énergéticien se donne trois ans pour faire prendre à cette entreprise le virage du numérique et des énergies renouvelables, un challenge risqué de grande ampleur !

Le pétrole

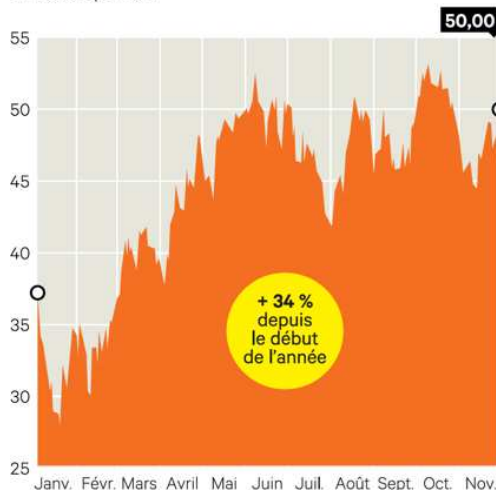


La « guerre économique de l'or noir » que se livrent les pays de l'OPEP et les États-Unis depuis deux ans n'a pas porté ses fruits et n'a eu pour conséquence que de pénaliser les pays producteurs d'un pétrole dont le prix est bien supérieur à celui des gaz de schiste. Cette situation a favorisé la rencontre entre la Russie et le cartel pétrolier qui a récemment décidé, fin septembre à Alger, pour soutenir les prix, de ramener sa production à un niveau compris entre 32,5 et 33 millions de barils par jour (mbj), mesure dont les modalités de mise en œuvre ont été

discutées le 30 novembre à Vienne. Elle prendra effet le 1^{er} janvier 2017 et sera valable six mois, reconductibles. Il est intéressant de noter que la Commission européenne inflige de lourdes amendes lorsque des sociétés coordonnent leur comportement sur les marchés dans l'Espace Économique Européen (EEE), en violation des règles de l'UE qui interdisent les ententes commerciales. Et pourtant, c'est exactement ce que font les pays de l'OPEP pour faire remonter le prix du pétrole en acceptant de baisser la production des membres du cartel. Les situations surprenantes et inattendues dans le monde politique font-elles écho au monde des affaires montrant des alliances contre nature comme la Russie et l'OPEP, cette dernière n'ayant jamais fait confiance aux dirigeants russes mais avaient-ils vraiment le choix ! C'est la première fois depuis huit ans que l'OPEP parvient à un accord de réduction de la production. L'Arabie Saoudite, chef de file du cartel, fera le plus gros de l'effort en acceptant de réduire de 500.000 barils par jour (b/j) sur un total de 1,2 Mb/j pour l'ensemble de l'organisation. Ce pays a un besoin urgent de pétrodollars supplémentaires. Le déficit budgétaire a atteint 98 milliards de dollars en 2015 et il représente près de 14% de son PIB en 2016. Mesure sans précédent dans son histoire, le gouvernement a dû se résoudre à annoncer des baisses de salaire de ses fonctionnaires. Pourquoi l'accord est-il une surprise pour de nombreux experts : les vues de l'Iran et de l'Arabie Saoudite - frères ennemis – étaient trop éloignées pour y croire. Le maître de l'OPEP a, sans doute, accepté sous la pression des autres pays en grande difficulté comme le Venezuela, l'Irak, le Nigéria ou l'Angola et entendu l'appel du Président Poutine prêt à participer avec ses pays satellites (l'Azerbaïdjan, et le Kazakhstan) à l'effort de réduction de production. Finalement l'Iran est le grand gagnant de l'opération, la Libye et le Nigeria seront exemptés des limitations de production en 2017.

Le cours du Brent en 2016

En dollars par baril



La production des trois premiers producteurs de l'Opep

En millions de barils par jour



Situation avant l'accord de Vienne (après l'accord, les productions A.S. :10,00 ; Irak : 4,3 ; Iran : 3,8 en millions de barils/jour)

Le rapport annuel de l'OPEP explique que "Jusqu'en 2030, une des principales sources de croissance sera le pétrole de schiste américain". La production américaine va-t-elle rebondir avec la montée des prix, cela devrait être le cas. Selon le cartel, le pétrole et le gaz répondront encore à 53% des besoins énergétiques de la planète en 2040.

L'Europe a dévoilé son paquet « Énergie – Climat »

Le 30 novembre 2016, la commission européenne a présenté son paquet « Énergie-climat »

Il porte essentiellement sur l'efficacité **énergétique** et **les énergies renouvelables** : la meilleure énergie est, bien sûr, celle que l'on ne brûle pas. Aussi, **la Commission propose un objectif contraignant à l'échelle de l'UE en matière d'efficacité énergétique de 30 % d'ici 2030, mettant ainsi l'accent sur la volonté de privilégier l'efficacité énergétique** pour consommer mieux et moins polluer. L'Europe réduira ainsi de 12% ses importations de gaz, pétrole et charbon, économisant ainsi 70 milliards d'euros/an. Le secteur de la construction – bâtiments- représente 40% de la consommation d'énergie en Europe et le taux de rénovation n'est que de 1% par an environ. Les actions sont déjà en cours : isolation des bâtiments, éco conception, recyclage des matières, diffusion d'appareils économes et d'éclairage basse consommation. RTE – réseau de Transport d'Électricité – a déjà calculé que la consommation allait passer de 479 milliards de kWh aujourd'hui à 471 milliards en 2021. Ces 8 milliards de kWh représentent les besoins d'un département comme la Haute-Garonne.



Quant aux **énergies renouvelables**, l'objectif de l'Europe est de parvenir au premier rang mondial. L'Europe s'est fixée pour objectif de parvenir collectivement à une part de 27% des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale d'ici à 2030. Ce sera également la fin de l'accès prioritaire au réseau des énergies renouvelables, Bruxelles estimant que désormais solaire et éolien sont suffisamment concurrentiels pour lutter à armes égales avec le gaz ou le nucléaire. « *Un nouveau cadre réglementaire garantira que les énergies renouvelables peuvent participer pleinement au marché de l'électricité et que les dispositions liées au marché n'induisent aucune discrimination à l'encontre de ces énergies* ». Dans un marché en bonne santé, il n'y a pas de subventions, juste de la concurrence pourrait-on ajouter. Chaque pays devra aussi s'engager à ce que la part des énergies renouvelables dans le chauffage augmente de 1% tous les ans. La substitution du gaz et du charbon par la biomasse ou la géothermie dans l'habitat fait consensus. Le déploiement des énergies renouvelables dans ce secteur a permis d'éviter l'importation d'environ 20 milliards d'euros de combustibles fossiles. Le gain pourrait être de 60 milliards d'euros par an d'ici 2030. En 2014, les 28 états membres ont dépensé 400 milliards d'euros dans l'importation d'énergie. Le déploiement des sources d'énergies renouvelables et à faibles émissions pour les transports, tels que les biocarburants avancés et l'électricité devront émettre au minimum 70% de gaz à effet de serre en moins par rapport aux carburants fossiles. Ci-après le communiqué de presse de l'U.E. sur le plan Énergie-Climat pour ceux qui souhaitent en savoir plus

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_fr.htm

Le nucléaire, une des clés de la lutte contre le changement climatique

Selon Bruno Alomar, maître de conférences à Sciences Po, ancien membre du cabinet du Commissaire européen à l'énergie, lorsqu'on établit une corrélation entre le niveau de développement technologique d'un pays et sa principale préoccupation dans le domaine énergétique, le lien entre technologie et lutte contre le changement climatique apparaît évident. Il rappelle qu'avec des émissions de CO₂ aussi faibles que celles du solaire photovoltaïque - *de l'ordre de 20 kg par MWh ; à comparer avec les 1000 kg au MWh du charbon* -, une absence d'émission des autres gaz à effet de serre et la possibilité d'installer des centrales de forte puissance, le nucléaire est une des clés de notre avenir.

La volonté de maîtriser l'énergie nucléaire, initiée par le Président de Gaulle, a permis de développer à partir des années soixante-dix une filière nucléaire propre à la France ainsi que de pallier le manque d'hydrocarbures. Cette position, unique en Europe, met la France à l'abri d'une trop grande dépendance d'approvisionnement de l'étranger et permet à la diplomatie française de garder une liberté de parole. La Chine, l'Inde, le Brésil, le Vietnam, la Jordanie, la Turquie, l'Afrique du Sud, les Émirats Arabes Unis, l'Arabie Saoudite, l'Iran, qui doivent répondre à une demande croissante d'électricité, lancent ou relancent des programmes nucléaires nationaux. Le nucléaire est donc destiné à renaître une nouvelle fois dans les années à venir en prenant en compte les nouvelles normes post-Fukushima.

La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

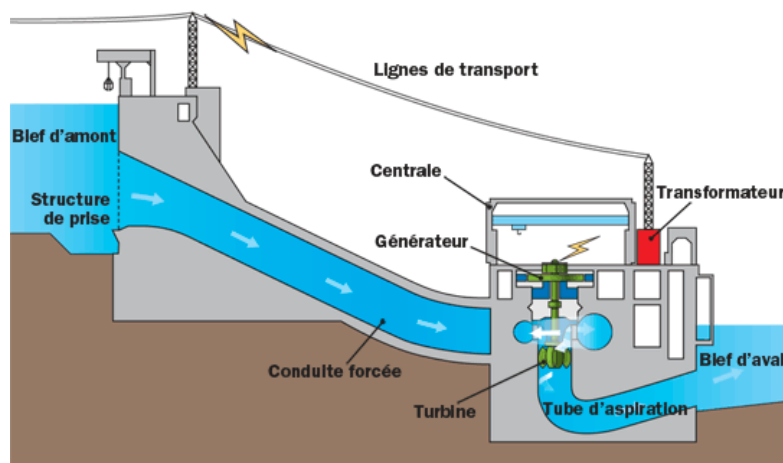
La loi relative à la transition énergétique et l'engagement de la France dans la COP21 se décline entre autres dans La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) dont le décret a été publié le 28 octobre au Journal officiel. Ces plans d'action doivent permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et de renforcer son indépendance énergétique en équilibrant mieux ses différentes sources d'approvisionnement.

La PPE constitue la feuille de route qui permet de se mettre en phase avec les grands objectifs de la loi : quatre fois moins d'émissions de gaz à effet de serre en 2050 (par rapport à 1990), deux fois moins d'énergie consommée au milieu du siècle, moins 30 % de fossiles en 2030 dans le mix énergétique, 32 % de renouvelables à la même échéance. Le tout assorti d'une baisse à 50 % (contre 77 % en 2014) de la part de l'électricité d'origine nucléaire « à l'horizon 2025 ». Cette planification porte pour l'instant sur deux périodes successives, 2016-2018 et 2019-2023. Voilà pour les objectifs : où en sommes-nous réellement aujourd'hui :

La France s'est engagée sur un objectif de 23 % d'EnR dans sa consommation finale d'énergie en 2020, mais elle n'en est qu'à 14 %. En ce qui concerne le parc solaire photovoltaïque, les 5.400 MW initialement visés en 2020 ont été dépassés et la nouvelle cible, de 8 000 MW, est largement accessible. Dans l'éolien, l'écart entre le parc installé de 10.300 MW est important et l'objectif de 19.000 MW en 2020 ne sera probablement pas atteint. Les professionnels parlent plutôt de 15.000 MW, à l'échéance. L'éolien en mer verra, si tout va bien, à la fin de la décennie, un parc de 3 000 MW – sur les 6 000 MW annoncés – d'éoliennes de fortes puissances (5 à 8 MW) sur les côtes normandes et bretonnes.

À noter que les EnR ont produit, en 2015, 18,7 % de la consommation électrique nationale, en léger recul sur le niveau de 2014 (19,5 %) en raison du déficit de pluie qui a pénalisé l'hydroélectricité, qui demeure, de loin, la première ressource renouvelable de l'Hexagone, avec une part de 11,4 % mais qui représente plus de 60% de la ressource renouvelable en terme de consommation électrique en France avec une capacité installée de **25 421 MW** (source : France hydro-électricité).

Quant aux émissions de gaz à effet de serre, le défi est très ambitieux. Réduire nos émissions à 140 millions de tonnes/an (Mt) contre 552 Mt en 1990. Gageons que l'énergie nucléaire, réputée décarbonée, restera à un niveau tel qu'il permettra d'atteindre l'objectif visé. En cohérence avec le paquet « Énergie-Climat » de l'Europe, il restera un gros effort à accomplir dans les secteurs des transports et du bâtiment



Fonctionnement d'une centrale Hydraulique.

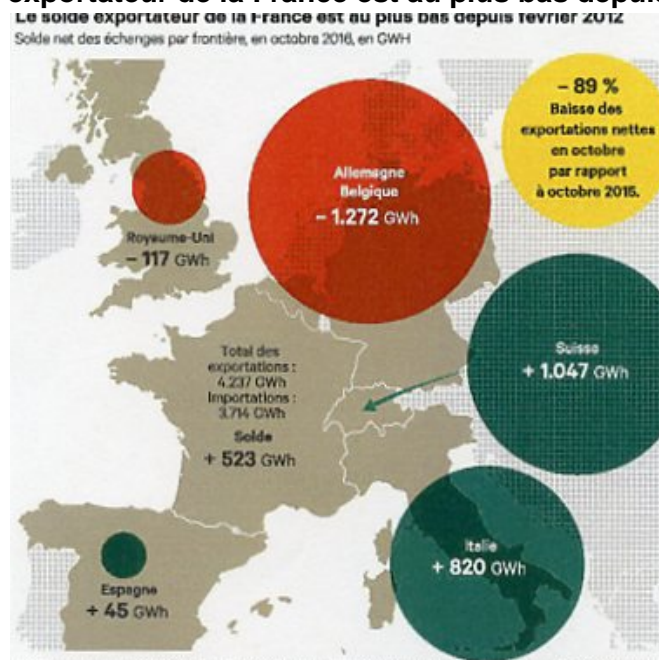
La PPE est très discrète sur le volet nucléaire, même si l'objectif de réduction à 50% de la part du nucléaire de l'électricité d'origine nucléaire « à l'horizon 2025 » est repris. Le débat avec EDF pour la clôture de Fessenheim ne semble pas scellé. Combien de réacteurs seront-ils mis à l'arrêt et selon quelle programmation ? La ministre, Mme Royal, précise que « Le nucléaire restera le socle de notre mix électrique » et les décisions relatives au dimensionnement du parc nucléaire seront prises au cours de la deuxième période de la PPE soit... après 2019.

EDF en passe de se sortir de la tourmente

L'avenir d'EDF se joue au Royaume-Uni. EDF devrait participer à la renaissance du nucléaire britannique en construisant deux EPR sur le site de Hinkley Point dans le sud de l'Angleterre, voire initier la relance du nucléaire en Europe. Ce projet sur lequel travaille EDF depuis une décennie est semé d'embûches dont les âpres négociations avec le gouvernement britannique ; il a fallu attendre le feu vert de l'Union Européenne sur la garantie du prix d'achat de l'électricité produite. Il a fallu aussi gérer l'opposition d'une partie de son personnel, cadres et salariés et rassurer les Britanniques sur la part de CGN, partenaire chinois d'EDF, dans ce projet qui ne disposera pas d'un tiers du capital de Hinkley Point. Les accords signés le 29 septembre permettront aussi le développement de 2 EPR à Sizewell C dans le Suffolk qui seront détenus à 66% par CGN et à Bradwell B dans l'Essex un réacteur Hualong, de conception 100% chinoise. Sur cette lancée, EDF devrait installer en France des EPR NM (Nouveau Modèle) à partir de 2028-2030 par paquets de deux sur une estimation de 30 à 40 réacteurs selon le plan EDF. Ces projets au Royaume-Uni vont contribuer au maintien des compétences de l'industrie française qui ont fait défaut au début des années 2000 et faire réfléchir nos voisins européens nucléarisés qui devront délivrer une électricité en toute sécurité, sûreté et décarbonée. Rappelons que seules l'Allemagne et la Suisse ont fermé la porte à l'énergie nucléaire et que la moitié de l'Europe est nucléarisée avec 129 réacteurs.

L'arrêt de centrales d'EDF fait grimper les tarifs en Europe. D'octobre 2015 à octobre 2016, l'exportation d'électricité française a chuté de 89%. C'est le niveau le plus bas depuis février 2012. Les lignes sont interconnectées avec les voisins et les marchés de gros sont eux-mêmes couplés permettant d'appeler la centrale la moins coûteuse à chaque instant. Les pays comme le Royaume-Uni, l'Italie, l'Espagne ou l'Allemagne importent d'ordinaire du courant produit en France ; l'arrêt de 17 réacteurs en France a contraint ces pays à produire chez eux de l'électricité à un prix bien supérieur à ceux de l'Hexagone. À titre d'exemple, les prix au Royaume-Uni ont flambé brièvement en octobre en passant de 40 à 100 livres le mégawattheure. L'Italie chiffre à plus d'un milliard d'euros le ralentissement de la production d'électricité en France s'il devait se prolonger jusqu'en février 2017.

Le solde exportateur de la France est au plus bas depuis Février 2012.



Les Echos/source : RTE

EDF vient d'acquérir en juillet 80% du capital d'UPC Asia Wind Management, développeur de projets éoliens en Chine, qui lui apporte un portefeuille de production éolienne de 1,3 GW en développement, en projet ou en construction. Les perspectives sont bonnes puisque Pékin a programmé un développement important d'électricité bas carbone et souhaite installer d'ici 2020 environ 200 GW d'éolien

EDF investit 1,8 milliard d'euros en Inde dans l'éolien avec l'entreprise locale Sitac Wind Management and Development dont il détient 50% du capital avec la société Sitac, promoteur immobilier indien spécialisée dans l'exploitation-maintenance de parcs éoliens. L'objectif d'EDF est de doubler ses capacités dans les énergies renouvelables en passant de 28 à 50 GW d'ici quinze ans avec des implantations dans une vingtaine de pays dans le monde.

EDF a annoncé en octobre la signature d'un protocole d'accord en vue de la cession de son activité de trading de charbon au Japon au groupe Jera, premier importateur mondial de gaz liquéfié (GNL) afin d'alléger le poids de son endettement. EDF a entrepris de céder ses actifs non stratégiques. En France, EDF a déjà fermé dix unités au charbon ces dernières années. Il ne lui en reste que trois, utilisées lors des pics de consommation. EDF Energy exploite encore au Royaume-Uni des centrales à charbon qui représentent 20% de sa production locale et a construit en Chine en 2015 deux unités de type ultra-supercritique - ayant un rendement élevé et un impact environnemental limité – qui sont exploitées par le groupe EDF.

EDF a engagé également en juillet la cession de 49,9% de RTE à la caisse des Dépôts et Consignations dans le cadre de son programme de cessions d'actifs de 10 milliards d'euros qui vise à renforcer sa situation financière. Le réseau a été valorisé après négociation à 8,45 milliards d'euros. L'opération pourrait intervenir au premier semestre 2017. De nombreux acteurs privés de Borealis - groupe chimiste autrichien – à Hydro Québec se pressaient à la porte d'EDF. Pour des raisons légales et sociales, le choix s'est porté sur la Caisse de Dépôts.

EDF va encaisser un milliard d'euros auprès de ses clients, le Conseil d'État autorisant le groupe à un rattrapage tarifaire en application de Directives européennes. Les 25 millions de clients seront notifiés sur leurs factures à partir de janvier 2017 pour un coût total de 30 euros par ménage. Craignant, à juste titre, qu'une augmentation soit impopulaire, la ministre de l'énergie avait alors décidé de ne pas appliquer la loi.

Vers une hausse des tarifs de l'énergie gaz et électricité

Depuis le 1^{er} août, les tarifs de l'électricité ont baissé de 0,5% en moyenne pour les particuliers et 1,5% pour les artisans. Il s'agit de la première baisse des tarifs depuis 10 ans suite à la réforme menée par la ministre de l'Environnement en 2014.

On note également depuis le 1^{er} août une augmentation de 2% des tarifs du gaz suite à une hausse de l'indice mensuel du prix du gaz sur les marchés de gros français et néerlandais. On rappelle que depuis l'ouverture des marchés à la concurrence, les consommateurs peuvent choisir entre les tarifs réglementés de l'ancien monopole et les prix de marchés proposés par la concurrence.

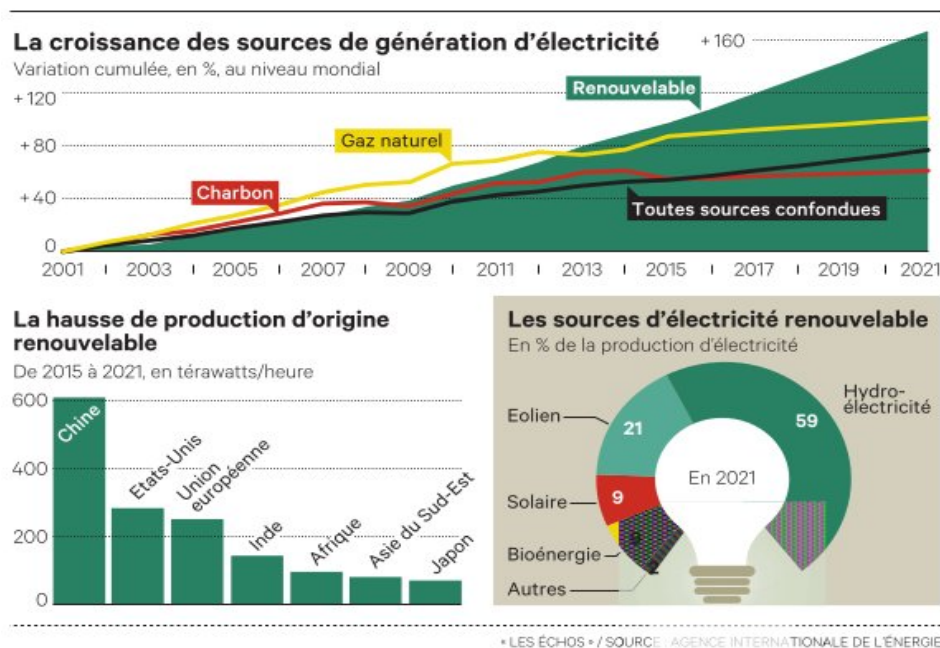
La transition énergétique pèse sur le coût de distribution de l'électricité. Les tarifs de distribution du courant représentent 40% de la facture des clients résidentiels. Le « Turpe » (Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'électricité) augmentera en août 2017 de 2,71% a annoncé la CRE (Commission de Régulation de l'Énergie). Le régulateur justifie cette hausse par la transition énergétique, qui impose notamment de « muscler » les lignes pour supporter l'intermittence des renouvelables et de créer des points de raccordement pour les nouveaux producteurs. Ce tarif est fixé pour quatre ans mais pourra évoluer en fonction de l'inflation. En Allemagne, l'équivalent de la Turpe représente 60% de la facture.

[Retour au sommaire](#)

QUE PENSER DU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ?

Louis-François Durret

Au cours de la seule année 2015, la capacité mondiale de production d'électricité d'origine renouvelable a augmenté de 147 GWe, portant la capacité installée à 1849 GWe. Hors hydro, la capacité a augmenté de 120 GWe pour atteindre 785 GWe (1). Environ 80 à 90 % des capitaux engagés dans la création de nouvelles capacités électriques dans le monde en 2015, environ 300 milliards de dollars, irait aux énergies renouvelables, le tiers de cette somme étant investi par la seule Chine, au bénéfice d'ailleurs de sa propre industrie.



Et ce n'est pas près de s'arrêter !

Les projections à l'horizon 2035 sont très variables, les plus audacieuses allant jusqu'à une part des renouvelables de 100 % tirées par une électrification massive (y compris des moyens de transport, urbains en particulier), des efforts importants en matière d'efficacité énergétique et/ou des engagements forts en matière de lutte contre le changement climatique. C'est certainement irréaliste, surtout tant que le stockage n'aura pas progressé et compensé l'intermittence, et sans doute économiquement inefficace. Retenons plutôt des scénarios convergents autour de 50%. Ces projections supposent un flux d'investissement annuel allant de 300 milliards de dollars à 1000 milliards de dollars.

Ces chiffres donnent le vertige ! ...et les marchés historiques de l'électricité sont d'ailleurs eux-mêmes pris de vertige pour de nombreuses raisons, dont toutes ne sont pas imputables à ces nouvelles énergies.

Si le développement des énergies renouvelables a été aussi important dans les économies développées, c'est principalement du fait de choix politiques, se traduisant par des régimes de subventions, très (trop) généreux et dont on peut regretter (pour les contribuables ou les clients qui contribuent à ces subventions) qu'ils n'aient pas été régulièrement revus à la baisse pour tenir compte des fantastiques réductions de coûts constatées au cours des 10 dernières années.

Mais dans d'autres régions du monde, ce développement découlait du fait qu'il n'y avait pas d'autres moyens pour électrifier des territoires isolés et/ou dépourvus d'infrastructures. Les renouvelables ont permis à des centaines de millions de personnes qui en étaient privées

d'accéder à l'électricité, et par effet induit à l'eau et au téléphone. Les réductions de coûts vont accélérer ce déploiement.

Le cas de la Chine relève d'une combinaison de ces deux approches, avec de surcroît un objectif stratégique : devenir le leader industriel mondial des équipements dans l'éolien terrestre et le photovoltaïque, dont on peut considérer qu'il est atteint. La mobilité électrique sera à coup sûr un nouvel axe de développement, tant les villes sont asphyxiées par le développement du parc automobile.

La poursuite de la baisse des coûts et l'arrivée des nouvelles technologies de l'information va encore accélérer le développement des énergies renouvelables et nous faire entrer dans une nouvelle « révolution » industrielle. A condition toutefois que des progrès techniques et économiques substantiels aient lieu dans le domaine du stockage qui reste le maillon faible des énergies renouvelables.

Des coûts de production toujours en baisse rapide !

Les études ne manquent pas sur ce sujet aussi je me limiterai à citer deux exemples récents de résultats d'appels d'offres.

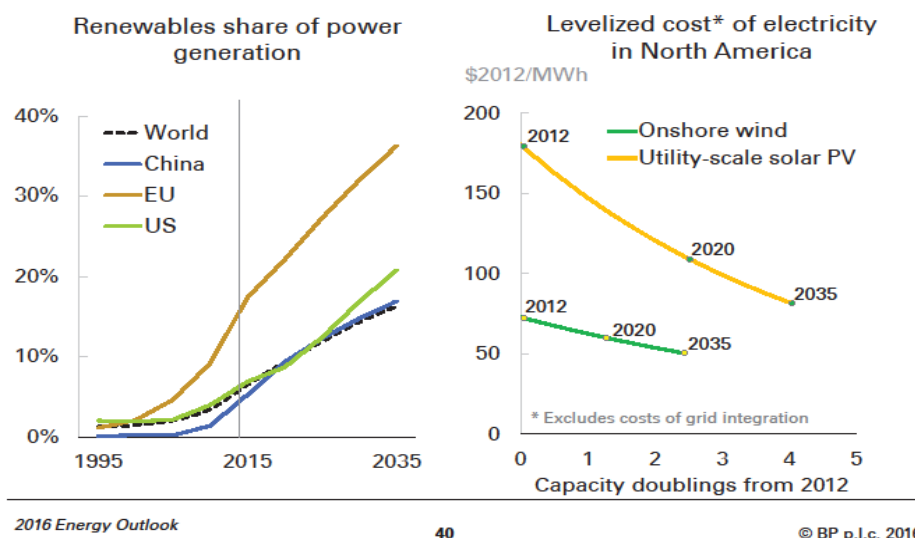
Dans le solaire, un appel d'offres à Dubaï portant sur une capacité de 800 MWe a été remporté avec un prix de 30 US\$/MWh, en baisse de 50% par rapport à un appel d'offres significatif en Arabie Saoudite en janvier 2015. La baisse des coûts des panneaux photovoltaïques se poursuit portée par des volumes produits gigantesques (en Chine essentiellement) et des progrès technologiques. Il y a seulement 10 ans les niveaux de prix étaient 20 fois plus élevés.

Dans le domaine de l'éolien en mer, qui ne bénéficie pas des mêmes effets volumes que le photovoltaïque, ni de coûts « chinois », les turbines et leurs fondations étant produites en Europe, la baisse des prix amorcée plus récemment des poursuit, comme en témoigne un appel d'offres remporté par Vattenfall au Danemark à 60 €/MWh, pour un projet assez proche des côtes il est vrai, mais le résultat est très important pour la crédibilité de cette filière souvent jugée « luxueuse ».

BP, dans son dernier « Energy Outlook 2035 » estime que la baisse des coûts va se poursuivre à un rythme très rapide, -25% pour l'éolien terrestre et -40% pour le photovoltaïque de grande capacité au cours des 20 prochaines années.

Base case: Fuel by fuel detail

Renewables continue to grow rapidly...



Relevons cependant que les prix affichés ne comprennent pas le coût de la gestion de l'intermittence, que ce soit une centrale électrique en « back up » ou un stockage, ou – on en parle de plus en plus – la mutualisation des intermittences par les grands réseaux de transport, l'idée étant que quand les nuages passent au-dessus de l'Espagne le vent se lève quelque part en Allemagne.

Le facteur baisse des coûts et la volonté de « décarboner » le mix énergétique conduit BP à projeter une croissance de la production d'énergie d'origine renouvelable au cours de la période de 285% contre 50% pour le nucléaire, 44% pour le gaz, 20% pour le pétrole et 10% pour le charbon. Les poids respectifs dans la production d'énergie primaire en 2035 seraient de 29% pour le pétrole (contre 32% en 2014), 26% pour le gaz (contre 24%), 25% pour le charbon (contre 30%), 9% pour les renouvelables (contre 3%), 7% pour l'hydro (stable), 5% pour le nucléaire (contre 4%).

Des systèmes de soutien qui évoluent et visent à une plus grande compétitivité

Le cas de l'Allemagne est très illustratif de cette évolution. C'est un pays où le système de soutien a totalement « dérapé » conduisant à des aberrations telles que le développement du solaire dans le nord du pays, sans pour autant que cela bénéficie aux industriels locaux qui ont été éliminés par le dumping chinois, et a enfin conduit à l'explosion de la « CSPE » allemande, la taxe EEG, prélevée sur le consommateur particulier, multipliée par 12 en 10 ans. En 2016, l'Allemagne a réformé son système de soutien en imposant le recours aux appels d'offres et en limitant les quantités annuelles attribuées.

Dans d'autres pays, le régime de soutien consiste à obliger le développeur du projet à vendre sur le marché de gros, l'État compensant les écarts avec le prix de marché (système connu sous l'acronyme CFD : « *contract for difference* », mécanisme utilisé aussi pour Hinkley Point). La France pourrait très prochainement adopter ce système pour l'éolien terrestre, qui bénéficiait jusqu'à présent d'une obligation d'achat par EDF à prix garanti sur 15 ans.

L'évolution des systèmes de soutien vers moins de rentes et plus de compétitivité est une bonne chose, évidemment, mais ces évolutions doivent être gérées avec doigté. Les annonces de changement des règles du jeu, radicales en Espagne (avec effet rétroactif), plus récemment en Allemagne et au Royaume Uni, ont différé le développement de nombreux projets au détriment des acteurs concernés et in fine de l'efficacité économique globale.

Enfin, on peut regretter qu'aucun mécanisme, en dehors du soutien à la R&D, ne soutienne les investissements dans le domaine du stockage de l'électricité à la hauteur de ses enjeux.

Il est à noter également que le soutien aux renouvelables n'est plus exclusivement le fait des États. De plus en plus de Régions, de Villes, bref de « Territoires » adoptent des politiques en matière de développement des renouvelables.

Enfin, dans certaines conditions favorables, la performance des équipements permet maintenant de lancer des projets sans subvention aucune.

La déstabilisation du marché européen de l'électricité

En Europe, les énergies renouvelables sont souvent accusées d'avoir déstabilisé le marché de l'électricité, ce qui est un peu « simpliste ». En réalité, l'Union Européenne, en libéralisant les marchés de tout en encourageant des énergies renouvelables régulées et subventionnées, n'avait pas perçu l'incohérence de cette réforme.

L'arrivée sur marché de cette électricité renouvelable, déjà « payée », intermittente et prioritaire sur le réseau a révélé l'incohérence de cette réforme, aux effets déstabilisateurs pour le marché et les opérateurs historiques, et ce depuis de nombreuses années. Chaque énergie a son rôle à jouer dans le mix électrique, en particulier pour assurer à tout moment la sécurité d'approvisionnement. Le fonctionnement actuel du marché n'est pas satisfaisant à cet égard et est porteur de risques futurs.

Le prix de marché de l'électricité a atteint 23 €/MWh en septembre sur Epex Spot. Un tel niveau de prix, bien inférieur aux coûts de revient des électriciens, et qui n'intègre aucune composante

carbone, a de lourdes conséquences sur leurs comptes de résultats et leur capacité d'investissement. Mais au-delà de pertes économiques immédiates, c'est en réalité leur « business model », leur « chaîne de valeur » qui sont remis en cause. Selon Bloomberg, EON gagnerait trois fois plus d'argent avec ses 6 GWe de renouvelables qu'avec ses 30 GWe de fossile. Et ajoute que les électriciens cherchent naturellement de la croissance, mais dans des domaines régulés ou quasi-régulés, renouvelables, distribution, services ...au plus près du client final.

L'Europe doit maintenant agir sur cette question essentielle de la régulation globale du marché, ainsi que sur les sujets du stockage de l'électricité (en s'assurant que l'industrie européenne en bénéficie, ne renouvelons pas l'expérience du photovoltaïque !), de la mise en place de marchés de capacité visant à garantir la sécurité d'approvisionnement, et bien évidemment du prix du carbone, pour lesquels des mécanismes de prix restent à édicter.

Une dimension sociétale particulière

Au-delà de l'aspect subventions, les renouvelables ont su tirer parti d'une image « sympathique » auprès des décideurs, d'entreprises ou des particuliers, qui sont à l'origine de très nombreux projets.

En Allemagne, une part importante des investissements a été le fait de particuliers, d'agriculteurs, parfois sous des formes associatives, et assez peu le fait des grands électriciens (sauf dans le cas de très grands projets comme l'éolien en mer).

L'exemple d'Ikea est intéressant. L'entreprise a déjà investi 1,5 milliards d'euros depuis 2009 et dispose de 314 éoliennes et 700 000 panneaux solaires. Ikea prévoit d'investir encore 1 milliard d'euros et vise 100 % d'approvisionnement de ses sites en énergies renouvelables en 2020. Ce phénomène se rencontre en Allemagne et Europe du Nord, mais aussi en Californie, où l'écologie relève de l'éthique individuelle depuis longtemps. Les Google et autres acteurs des technologies de l'information investissent massivement, par conviction mais aussi par intérêt, tant ils sont persuadés que les technologies de l'information révolutionneront le secteur de l'énergie.

La dimension sociétale ne doit donc pas être sous- estimée dans le développement de cette énergie, qui connaîtra certainement un essor accru avec le développement de l'autoconsommation et de la voiture électrique, qui est non seulement un moyen de transport mais aussi de stockage de l'électricité, au moins dans les régions disposant d'un certain niveau de vie.

Mais le développement des énergies renouvelables est parfois entravé par des problèmes d'acceptation. Les cas d'oppositions aux champs éoliens terrestres sont légion. L'opposition aux champs offshore semble moindre. Les opérateurs concernés sont très attentifs à la concertation avec les parties prenantes locales le plus en amont possible. Ils mettent en avant à juste titre les impacts économiques sur les territoires, en matière de création d'emplois, plus aisée dans l'éolien que dans le photovoltaïque.

Le photovoltaïque, même de grande taille, ne semble pas susciter d'opposition.

L'exploitation de la biomasse est par contre un sujet sensible, dans le cas de centrales de grande capacité à l'instar de celle de Gardanne en Provence, une inquiétude ayant émergé sur la concurrence entre les besoins de biomasse de la centrale et les besoins locaux pré existants. Cette question de concurrence d'usages est également très vive dans le cas des bio-carburants d'origine agricole assez souvent décriés. Enfin, il convient de mentionner que le développement de compteurs intelligents est jugé « intrusif » par certains.

Quelles perspectives ?

Pour toutes les raisons que nous avons évoquées, et aussi en raison de son caractère encore « jeune », l'énergie renouvelable a connu un développement un peu anarchique, en témoigne un développement industriel parfois confus, avec de nombreuses réussites telles que l'amélioration des rendements des cellules solaires, ou de la capacité unitaire des éoliennes,

avec des baisses de coûts spectaculaires mais aussi de nombreux échecs, mais c'est la loi de la nature dans ce genre de révolution, souvenons-nous des premiers âges de l'automobile ou de l'aviation.

Quelles sont les prochaines grandes étapes du développement des énergies renouvelables ?

Tout d'abord les renouvelables ne pourront à eux seuls couvrir les besoins électriques de l'ensemble des habitants de cette planète surtout avec les enjeux qui sont devant nous. 2 chiffres : la demande en électricité va croître de 70% d'ici 2040 et nous devons en même temps réduire l'émission de gaz à effet de serre de 50% d'ici 2050. Les renouvelables ne suffiront pas.

Du point de vue environnemental, il serait aberrant que le développement des renouvelables entraîne une hausse des émissions de CO2 comme cela a été constaté en Allemagne. Décarboner l'électricité est possible en combinant les atouts respectifs des renouvelables et du nucléaire. Le développement de la voiture électrique serait un levier très favorable au rapprochement de ces deux énergies dont les complémentarités sont évidentes.

C'est avec la combinaison de ces énergies avec les technologies de l'information et de la communication qu'un monde nouveau s'ouvre, avec des conséquences de toutes sortes.

Par exemple, une meilleure connaissance à l'instant « t » de la demande (et de son évolution dans l'heure, la journée, la semaine, etc.) et de l'offre, permettra une meilleure maîtrise de l'équilibre du système, surtout s'il est possible d'en déduire un « signal prix » qui conduira le consommateur, le distributeur et le producteur à rechercher des optimums économiques. La connaissance fine de ces données extrêmement nombreuses, et la mise au point de modèles prédictifs permettra de révéler des surcapacités, de lisser les pointes, d'éviter des surinvestissements, de gérer et non de subir l'intermittence des renouvelables, et d'ouvrir de nouveaux *business models* aux différents acteurs de cet écosystème complexe.

Les électriciens espèrent évidemment retrouver un rôle central dans cette évolution (révolution) qu'ils n'ont, pour certains, pas vu venir, en Allemagne en particulier.

Isabelle Kocher, qui dirige Engie (ex GdF Suez) depuis mai dernier le déclare dans Le Monde du 23 septembre dernier : « A l'échéance de 2050, 50 % de l'énergie sera produite par des grandes usines et acheminée par des grands réseaux – c'est le système que l'on connaît dans l'ensemble des pays développés – et 50 % d'énergie décentralisée, produite sur le site de la consommation, chez vous, à la maison, dans les buildings ou les usines dans lesquelles vous travaillez ».

Mais rien n'est acquis : les électriciens traditionnels vivront une révolution et verront arriver de nouveaux entrants : des équipementiers (fournissant les capteurs, compteurs et autres objets permettant l'acquisition des données, et désireux d'incorporer de la valeur ajoutée par exemple dans le pilotage de la consommation, l'amélioration de l'efficacité énergétique...), des opérateurs de *smart grids* (qui visent aussi les mêmes objectifs), des fournisseurs de moyens de stockage décentralisés (Elon Musk attaque ce marché avec Tesla, la batterie de la voiture électrique étant un outil de stockage, ou avec des batteries fixes dans la maison, ce qui explique également l'intérêt de Total déjà propriétaire de Sunpower pour SAFT, mais d'autres systèmes que les batteries peuvent-ils émerger ?), ou des installateurs de moyens de production décentralisés (on pense évidemment aux panneaux photovoltaïques...et l'on retrouve Elon Musk avec Solar City), ou des acheteurs de l'électricité que vous aurez produite et non consommée, et vendue en direct localement, ou ailleurs via des « agrégateurs », et enfin (mais la liste n'est certainement pas exhaustive ...) ceux des électriciens qui auront réussi à trouver leur positionnement dans ce monde nouveau.

Comme toute révolution, celle-ci verra des acteurs mourir et d'autres naître.

La révolution est en marche, mais à quelle vitesse ?... et surtout : au profit de qui ? et avec quels dispositifs de régulation ?

On a perdu de vue les risques géopolitiques ?

Un atout des énergies renouvelables n'est curieusement pas beaucoup mis en avant par leurs promoteurs : la contribution à la sécurité d'approvisionnement, une préoccupation qui semble être passée au second plan ce qui est paradoxal au vu de la « dangerosité » du monde actuel, tout spécialement au Moyen Orient...

Quelques chiffres pour la France (source RTE Panorama de l'électricité renouvelable au 30 juin 2016)

La part des énergies renouvelables dans la production électrique française a atteint 26 % de la production électrique totale au cours du 2ème trimestre 2016. Ce résultat provient d'une très abondante production hydroélectrique au printemps. Le 2eme trimestre a vu le raccordement au réseau de 728 MW de nouvelles capacités, portant le total des 12 derniers mois à 2140 MW constitués à 90 % d'éolien terrestre et de photovoltaïque.

Le parc éolien atteint 10 847 MW. La production éolienne a été de 23 TWh sur les 12 derniers mois, en hausse de 27% par rapport aux 12 mois précédents. La production représente 4,9% de la consommation nationale.

Le parc photovoltaïque atteint 6 547 MW. La production solaire a été de 7,7 TWh sur les 12 derniers mois, en hausse de plus de 16% par rapport aux 12 mois précédents. La production représente 1,6% de la consommation nationale.

Le parc de la filière bioénergies électriques s'élève à 1 888 MW. Sa production a été de 6,4 TWh sur les 12 derniers mois en hausse de 11% par rapport aux 12 mois précédents. La production représente 1,35% de la consommation nationale.

Avec 25 468 MW d'hydraulique, le parc de production d'électricité renouvelable est de 44 750 MW. Il atteint 87% de l'objectif 2018 de la PPI (programmation pluriannuelle des investissements). Rappelons que l'objectif de la transition énergétique est de porter à 40% la part des renouvelables dans le mix électrique en 2030.

[Retour au sommaire](#)

L'ACTUALITÉ DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Claude SEYVE

La capacité nucléaire installée est en croissance dans le monde, contrairement à l'image que propagent les antinucléaires : L'« Energy Information Administration (EIA) américaine » vient de publier son « International Energy Outlook » : En 2015, 440 tranches nucléaires étaient en fonctionnement et ont produit 2,6 millions de GWH avec une puissance installée de 393 GW. Plus de 60 réacteurs sont en construction, ils représenteront une augmentation de puissance de 59 GW d'ici 2025 principalement en Asie. On constate aussi depuis une dizaine d'années une amélioration sensible du facteur de charge des installations.

En France, l'actualité est dominée par un feuilleton sur l'état de santé du parc nucléaire : L'autorité de sûreté ASN a ordonné l'arrêt de nombreux réacteurs suite à la découverte de fortes concentrations en carbone de l'acier des fonds de générateurs de vapeur, perturbant le planning d'exploitation à l'approche de l'hiver. Depuis, sur les 18 réacteurs concernés, 6 ont été assez rapidement remis en service les générateurs pouvant après vérification être considérés « comme ne posant pas de problème en termes de sûreté » puis, plus récemment, 7 réacteurs sur les 12 restants ont été autorisés à redémarrer sous réserve de quelques vérifications complémentaires. Ce feuilleton a coûté cher en termes de pertes d'exploration, d'image et de rejets de CO₂. Si la sûreté est à ce prix rien à dire, mais....

Au Royaume-Uni, Brexit ou pas, le projet des deux EPR d'Hinkley Point est confirmé : EDF a lancé début mai la procédure de consultation de son Comité Central d'Entreprise. Au cours de cette procédure, le CCE avait indiqué qu'il n'avait pas obtenu assez d'informations sur le projet et saisi les tribunaux pour obtenir un report de la décision définitive. Le Tribunal de grande instance de Paris a rejeté cette demande en août, rejet confirmé en appel le 27 octobre après un jugement de la Cour de Cassation. Entre temps, EDF avait décidé officiellement le 28 juillet d'autoriser le projet.

Côté Britannique, le nouveau gouvernement, qui avait souhaité procéder à un réexamen du projet a confirmé son autorisation le 15 septembre, après avoir renégocié de nouvelles conditions juridiques. Ainsi EDF ne pourra vendre sa participation majoritaire sans l'aval du gouvernement britannique avant l'achèvement de l'installation. Un nouveau cadre légal visant les futurs investissements étrangers dans les infrastructures stratégiques est du coup en préparation, il visera à mieux protéger les intérêts britanniques, notamment en cas de reventes de participations. Ceci concernera en particulier les deux EPR en projet à Sizewell (2/3 EDF 1/3 le Chinois CGN) et les réacteurs chinois Hualong one de Bradwell (80% CGN et 20% EDF)

À noter que contrairement aux réserves du Comité d'Entreprise d'EDF, les 4 syndicats britanniques ont manifesté leur soutien total au projet en soulignant l'importance pour l'approvisionnement électrique du pays, l'emploi et les émissions de CO₂.

Pendant ce temps General Electric tire les marrons du feu en remportant une commande de 1,9 milliards de dollars pour les équipements de la partie conventionnelle d'Hinkley Point en particulier les générateurs et turbines Arabelle d'Alstom.

Où l'on reparle du SMR : l'américain Nuscale Inc a établi une tête de pont en Grande Bretagne pour le développement de son modèle de « *small modular reactor* » (SMR). Il vient de passer un accord avec l'aciériste Sheffield's Forgemaster pour la fabrication du couvercle de cuve de son prototype. Une Commission Parlementaire vient par ailleurs de proposer le site gallois de Trawsfynydd (comme ça se prononce !) pour accueillir le premier SMR. C'est le site de deux réacteurs Magnox arrêtés en 1991.

Les centrales nucléaires suisses pourront continuer à fonctionner : le conseil national suisse a adopté le 30 septembre un premier paquet de mesures de sa stratégie énergétique 2050. L'objectif général est de réduire la consommation énergétique par habitant de 16% d'ici 2020 et de 43% en 2035 par des mesures portant principalement sur l'isolation des bâtiments, les transports et la mise en place de compteurs intelligents. La construction des nouvelles centrales nucléaires est légalement interdite, en revanche les centrales actuelles pourront continuer à fonctionner tant que les autorités estimeront qu'elles sont sûres. Tout récemment, le peuple suisse a rejeté à 54,5% une initiative populaire lancée par les verts contestant le maintien en fonctionnement des réacteurs actuels. On s'oriente donc vers un arrêt à plus ou moins long terme du recours à l'énergie nucléaire en Suisse. Mais quand on constate qu'actuellement l'hydraulique suisse importe du courant à bas prix pour remonter l'eau dans les barrages et revendre le courant à prix élevé dans les périodes de pointe, il se pourrait bien qu'une grosse partie de son hydraulique soit dans le futur d'origine...nucléaire.

Le sort du réacteur de Beznau 1 se joue ces jours-ci : l'électricien a remis à l'inspection générale de la sécurité nucléaire ISFN le résultat des examens et analyses qui d'après lui sont conformes au cahier des charges fixé et témoignent d'une marge de sécurité suffisante pour une exploitation de 60 ans. Beznau 1, un des réacteurs plus anciens avec Tarapur 1 et 2 en Inde et deux réacteurs américains, a été mis en service en 1969. Il est à l'arrêt depuis que des défauts, nécessitant des investigations complémentaires, ont été constatés dans l'acier de la cuve au printemps 2015.

En Suède, le remplacement des centrales nucléaires par de l'éolien, conduirait à doubler les émissions de CO2. Une étude de l'IPP de Greifswald et du Royal Institute of Technology de Stockholm parvient à cette conclusion : Après avoir en particulier analysé les interactions entre un développement éolien à grande échelle et les capacités hydrauliques, les experts ont conclu à la nécessité d'un back up important qui ne pourrait être que du gaz ou du charbon.

En Finlande, Alstom Power fournira les groupes turbo générateurs de la centrale d'Hanhikivi construite par le russe Rosatom. Alstom a placé sa technologie Arabelle face à ses concurrents russe, allemand (Siemens) et Japonais (Toshiba). C'est le deuxième contrat gagné par cette branche d'Alstom depuis son rachat par GE.

Le programme nucléaire polonais est en bonne voie ; Au cours d'une inspection en juin, l'AIEA a constaté que la Pologne avait mis en œuvre toutes les recommandations relatives à son infrastructure nucléaire. Une capacité de 3000 MW est prévue dans un premier temps. Sur les rangs : GE/Hitachi, les Coréens, SNC Lavalin (Canada), Westinghouse et Areva.

En République tchèque, l'étude d'impact portant sur l'installation de deux tranches supplémentaires à Dukovany est lancée. Le gouvernement tchèque considère que l'énergie nucléaire doit continuer à jouer un rôle majeur dans son mix énergétique de manière à réduire le recours aux énergies fossiles.

En Russie, Beloïarsk 4, le réacteur rapide BN 800 de 789 MW est entré en service commercial, Rostechnazor, l'autorité de sûreté, ayant réalisé avec succès l'ensemble des tests requis depuis le démarrage en décembre 2015. BN 800 est le réacteur à neutrons rapides en service le plus puissant depuis l'arrêt pour des raisons plus politiques que techniques de

Superphénix. Suivront deux réacteurs de 1200 MW plus puissant BN 1200. Alimentés en oxyde mixte uranium-plutonium, BN 800 et ses successeurs permettront à la Russie de tenir ses engagements en matière de recyclage du Plutonium issu du démantèlement des armes.

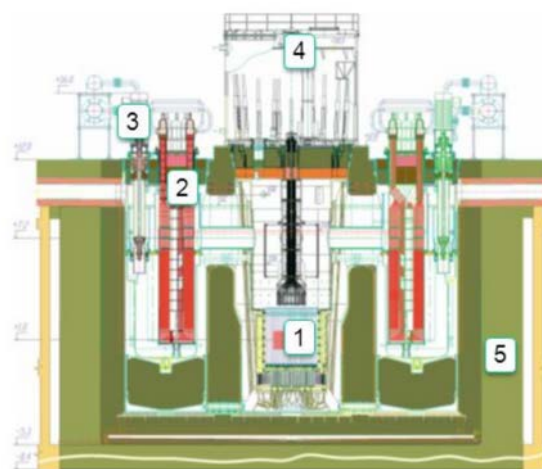
Le gouvernement russe a par ailleurs validé les projets de construction de 11 nouvelles centrales d'ici 2030 :

- Les deux réacteurs rapides BN 1200
- Un VVER 600 sur le site de KoLa
- Un réacteur rapide Brest 300 refroidi au plomb à Seversk
- 7 réacteurs VVER-TOI sur 4 sites (Smolensk, Nijni Novgorod, Tsentral et Tatar)



The BREST-OD-300 Lead-cooled Reactor

- Power: 700 MW(th), 300 MW(e)
- Core diameter, 2.6 m
- Core height, 1.1 m
- Core fuel UN + PuN
- Coolant temp., 420/540°C
- Maximum cladding temp., 650°C
- Efficiency: 42%
- Core breeding ratio (CBR) ~ 1



1 Core, 2 steam generator, 3 Pump, 4 refueling machine, 5 Reactor Vault

Key technical attributes include concrete Reactor Vault, fuel reprocessing in dedicated building integrated with the plant

En Ukraine, l'implantation de la gigantesque couverture étanche du réacteur accidenté de Tchernobyl n'a pas échappé à la chronique. Un hommage en passant à l'industrie française qui a su mener ce projet. Certains à SGN et Cogema se souviennent des premiers contacts des années 90 où SGN apportait son expertise à Campenon-Bernard, maintenant filiale de Vinci. Le regroupement des forces dans un premier temps concurrentes de Campenon et Bouygues a permis de crédibiliser le projet français face au concurrent allemand Hochtief assisté de Nukem.

En Iran, la première pierre des réacteurs russe VVER 1000 Busher2 et 3 a été posée, ils compléteront Busher1 entré en service commercial en 2012.

Aux Émirats la construction de Barakah se poursuit. On en est à la mise en place des éléments lourds (cuve et générateurs de vapeur). Les 4 réacteurs doivent démarrer à un an d'intervalle entre 2017 et 2020. D'après Emirates Nuclear Energy Corporation (ENEC), 400 spécialistes coréens soutiendront l'exploitation de la centrale jusqu'en 2030. Le bouclage du financement à hauteur de 24,4 milliards de dollars est opérationnel. L'électricien Kepco participe à hauteur de 18 %, ENEC étant l'actionnaire principal. La majorité des fonds (19, 6 milliards de dollars) sera couverte par des crédits.

Sur le sous-continent indien on observe :

- En Inde la mise en service commercial du réacteur russe VVER 1000 Kudamkulam 2 et le démarrage de la construction de Kudamkulam 3 et 4.
- Au Pakistan, la connexion au réseau en octobre de la tranche chinoise Chasma 3 de 315 MW, son Chasma 4 devant démarrer en 2017
- Le Bangladesh n'est pas en reste : l'accord de financement pour le réacteur russe prévu à Roopur a été signé en juillet.

En Chine, la montée en puissance du parc nucléaire se poursuit au rythme de 5 à 6 réacteurs par an (en gros le rythme français des années 80 ...)

Fangchenggang 2 (CPR 1000) a été connectée au réseau en juin, faisant suite au démarrage de la tranche 1 en octobre 2015. Les tranches 3 et 4 seront du type Halong One, la tranche 3 servant de référence pour le projet de CGN, auquel EDF est associé, en Grande Bretagne

Changjiang 2 (CNP 600) a été mis en service en août dans l'île de Hainan. Deux autres réacteurs de même type seront construits sur le site à partir de 2018.

Fuking 3 a démarré dans le Fujian en septembre après Fuking 1 en 2014 et Fuking 2 en 2015. Sa construction a été réalisée en moins de 60 mois, Fuking 4 devrait être mis en service en 2017. La construction des unités 5 et 6 de type Hualong One a démarré en 2015.

Dans le Liaoning, Hongyanhe 4 a été mis en service, terminant ainsi la première phase d'aménagement du site. La deuxième phase portant sur deux réacteurs supplémentaires a été lancée en 2015, pour une mise en service en 2021.

Quant au deux EPR de Taishan, leur démarrage est toujours programmé par CGN pour 2017, au moins pour Taishan 1. L'unité a passé ses tests à froid dans le premier semestre 2016 et est prêt à être chargé en combustible. CGN attend pour donner le feu vert des compléments d'expertise à la suite de la mise à jour de concentrations élevées en carbone sur certaines parties de l'acier de la cuve de Flamanville.



Taishan 1 photo CGN

Taiwan souhaite sortir du nucléaire : à la suite du changement de majorité à Taiwan ce printemps, le nouveau parti au pouvoir (DPP Democrat Progressiv Party) a confirmé son intention de sortir du nucléaire à compter de 2025 : C'était une disposition de son programme électoral. La révision de la loi doit être approuvée par le parlement courant 2017

Le Vietnam abandonne ses projets actuels de construction de centrales nucléaire malgré l'engagement de la Russie de consentir un prêt de 8 milliards d'euros. L'assemblée nationale a suivi la proposition du gouvernement en donnant la priorité à d'autres projets d'infrastructure jugés plus urgents. Le Vietnam entend s'appuyer sur « les énergies renouvelables et l'importation ». La Chine n'est pas loin...

En Corée, l'électricien KHNP vient d'être autorisé à construire les tranches AP 1400 5 et 6 de Shinkori. Sur ce site, deux réacteurs OPR 1000 et le premier AP 1400 de la série sont en construction. Ce dernier sert de référence aux réacteurs en construction aux Émirats.

KAERI (l'organisme de recherche) a décidé d'approfondir sa collaboration avec Le RIAR de Dimitrovgrad (Russie) dans de nombreux domaines. KAERI prévoit de construire un prototype rapide refroidi au sodium de génération IV.

Au Japon, le redémarrage des réacteurs reconnus sûrs est entravé par des recours. Ils sont actuellement 5 à avoir passé avec succès tous les tests de sûreté imposés à la suite de l'accident de Fukushima :

Sendai 1 et 2 (PWR 846 MW) ont démarré les premiers en août et octobre 2015. L'arrêt de maintenance programmé de Sendai 1 en octobre a été l'occasion pour les opposants de contester son redémarrage. Le réacteur a redémarré le 6 décembre après une partie de bras de fer avec le gouverneur local estimant qu'il « n'avait in fine pas les moyens légaux de s'y opposer » Sendai 2 doit s'arrêter le 16 décembre pour la même séquence.

Takahama 3 et 4 (PWR 830 MW) qui avaient démarré début 2016, sont toujours à l'arrêt à la suite d'un recours déposé par les habitants.

La bonne nouvelle vient d'Ikatsa3 (PWR 846 MW) remis en service en septembre. Son cœur comprend 16 assemblages MOX sur un total de 157.

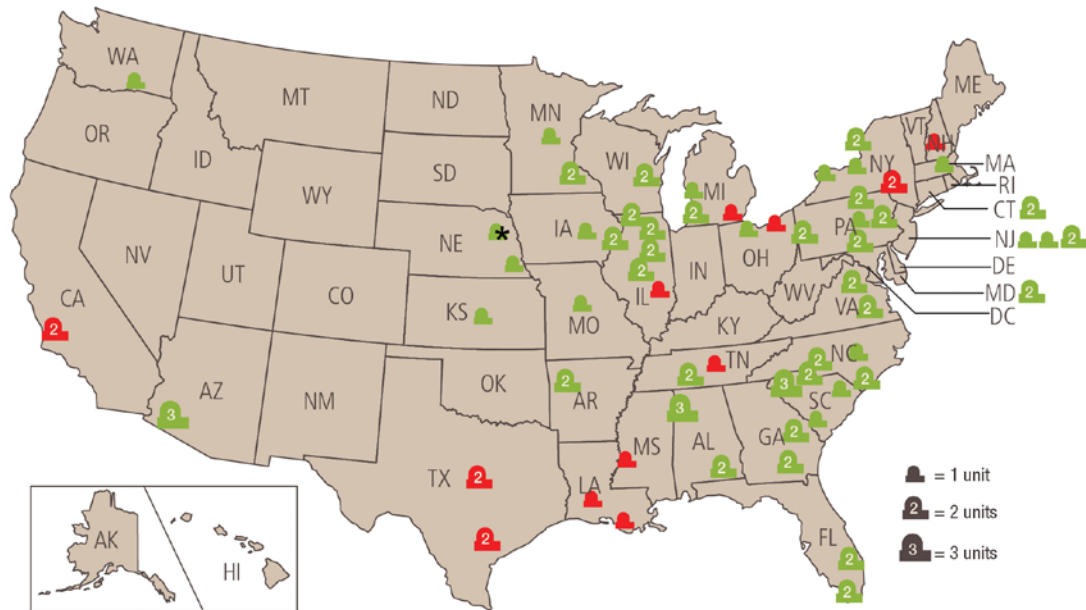
Aux États-Unis, Toshiba a retiré sa demande de nouvelle certification pour son « *Advanced Nuclear Reactor* ».

Les deux réacteurs de Lasalle, (BWR 1140 MW) ont reçu de l'autorité de sûreté nucléaire NRC l'autorisation de prolonger de 20 ans l'exploitation, soit jusqu'en 2042 et 2043. Actuellement 85 tranches nucléaires disposent d'une autorisation pour 60 années d'exploitation, nous sommes loin des hésitations franco- françaises...

Wattsbar2, ce réacteur de la Tennessee Valley Authority dont la construction avait été suspendue en 1985, vient d'entrer en service en octobre. C'est le premier démarrage d'un nouveau réacteur aux États-Unis depuis plus de 20 ans.

Le projet d'implantation de petits réacteurs modulaires (SMR) à Idaho Falls se précise. Fort de l'accord du DOE, le promoteur du projet (Utah Associated Municipal System - UAMPS) a procédé à l'étude de 4 sites sur le terrain du laboratoire National. Le site retenu permettra la construction de 12 modules de 50 MW développés par Nuscale Power Inc.

License Renewals Granted for Operating Nuclear Power Reactors



Licensed to Operate (100)

▲ Original License (17) ▲ License Renewal Granted (83)

* Fort Calhoun nuclear plant permanently shut down on 10/24/2016. As of early October, the NRC has issued a total of 85 license renewal, two of these units have permanently shut down. Note: Data is as of October 2016. For the most recent information, go to the Dataset Index Web page at <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/datasets>.



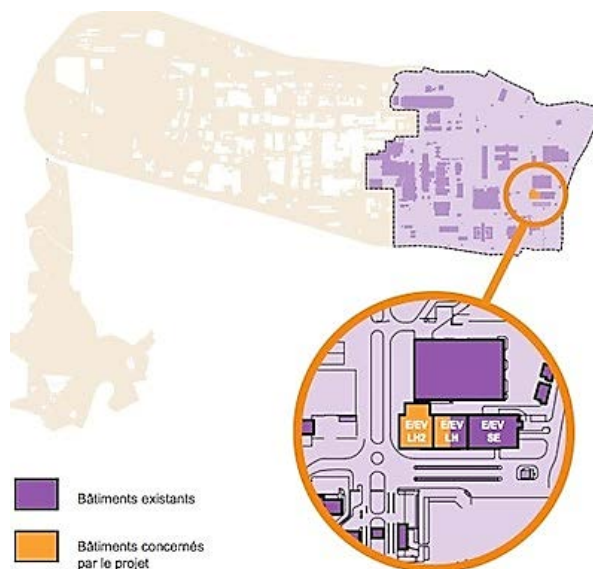
Retour au sommaire

PANORAMA DE L'ACTUALITÉ DE L'AVAL DU CYCLE AU SECOND SEMESTRE 2016

Jacques SIMONNET

AREVA LA HAGUE

L'exploitation se poursuit normalement. L'Autorité de Sûreté a autorisé le 13 juin la poursuite de l'exploitation de l'usine UP3-A pour 10 ans, moyennant le respect d'un certain nombre de prescriptions. D'autres activités, nombreuses et d'assez grande ampleur, prennent place sur le site de La Hague. Il s'agit du démantèlement de l'usine UP2-400, en cours avec la reprise des déchets coques et embouts entreposés en vrac dans le silo HAO et en fûts dans les anciennes piscines graphite-gaz, et à venir pour la reprise des déchets du silo 130. Il s'agit aussi du début des travaux de remplacement des évaporateurs de produits de fission, signalés dans le dernier N° de N&E pour lequel un document très complet rédigé par la Commission Énergie et Environnement de l'ARA (Association des retraités de SGN) a été diffusé, vous pourrez le retrouver sur le site de l'ARSCA. Il s'agit également des travaux de reprise des boues de STE2 en vue de leur conditionnement compatible avec leur destination finale. La reprise de ces boues décantées depuis des années est assez difficile et le rythme des travaux en est ralenti. Il s'agit aussi des travaux préparatoires à l'extension des entreposages de déchets vitrifiés destinés à recevoir la production en attendant la disponibilité du stockage profond (3 alvéoles pour un total de 12600 conteneurs à mettre en service entre 2018 et 2021, schéma ci-contre). Il s'agit enfin



des travaux préparatoires à la mise en place d'une unité de dissolution (TCP pour Traitement des Combustibles Particuliers) dans la seconde chaîne de R1, qui avait été laissée libre dans ce but. Cette unité de dissolution « en batch » (par opposition à la dissolution continue en service dans T1 et dans la première chaîne de R1) permettra le traitement à cadence réduite de combustibles particuliers (de réacteurs de recherche, de réacteurs rapides, etc.) qui diffèrent trop des combustibles BWR ou PWR standards pour pouvoir être traités sur les chaînes industrielles habituelles. Cette installation permettra d'étendre le spectre des services offerts aux clients.

Le retour des déchets aux clients étrangers se poursuit, notamment de déchets métalliques compactés vers la Suisse, et les installations du port de Cherbourg et du terminal ferroviaire de Valognes ont été utilisées pour le transit de 9.5 tonnes de déchets vitrifiés provenant de l'usine anglaise de Sellafield à destination également de la Suisse sur 4 wagons.

RECYCLAGE

Comme déjà annoncé, l'usine **MELOX** de Marcoule va produire 16 éléments combustibles pour son client japonais KANSAI EPCO. L'usine accueille par ailleurs pour 6 mois 4 spécialistes provenant de JNFL, futurs exploitants de l'usine J MOX de Rokkasho-Mura, en vue de leur formation à la conduite de cette usine.

Au **Japon**, le réacteur 3 de la centrale d'Ikata a été redémarré. C'est le premier réacteur alimenté par des MOX à être redémarré depuis les événements de Fukushima. Bien que ce redémarrage n'ait pas de conséquence immédiate pour le plan de charge de MELOX, car le réacteur avait été livré peu de temps avant son arrêt, c'est un signal favorable pour l'avenir.

Au **Japon** encore, la nouvelle organisation destinée à gérer le recyclage au niveau national (*Spent Fuel Reprocessing Organisation*) a été approuvée et mise en place. Les 11 électriciens ont donné leur accord pour verser leur contribution à cette organisation qui sous-traitera l'exploitation des usines à JNFL.

Pour l'usine de retraitement, JNFL doit encore obtenir l'accord de la NRA sur le dossier de prise en compte des agressions externes, seul point restant en suspens. Lorsque le contenu sera approuvé par la NRA, il restera à obtenir l'autorisation d'effectuer les travaux nécessaires, de les exécuter et de les faire valider par des inspections de la NRA. JNFL pense aboutir en septembre 2018 pour démarrer l'usine. Pour l'usine JMOX de fabrication de MOX, la construction n'est pas terminée et JNFL n'a pas encore présenté le scénario de l'accident de dimensionnement. JNFL pense pouvoir terminer l'usine en septembre 2019.

Compte tenu de cet agenda et du stock de plutonium disponible (47.9 tonnes dont 37.1 en France et au Royaume-Uni), le directeur de la division nucléaire du METI (Ministère de l'Industrie en charge du nucléaire) considère qu'il faudra limiter la cadence de retraitement pour pouvoir contrôler l'inventaire de plutonium, car le déséquilibre du cycle ne permet pas d'utiliser la pleine capacité de l'aval.

Au **Japon** encore, JAEA pousse la NRA pour pouvoir redémarrer à Tokai-Mura son usine de combustibles MOX pour réacteurs rapides. Cette demande paraît incompréhensible, puisque les deux seuls réacteurs rapides japonais sont à l'arrêt après accidents, Joyo définitivement depuis 2007 et Monju depuis 2010. Si le devenir de ce dernier est encore incertain, le gouvernement semble décidé à l'arrêter définitivement, compte tenu du coût de la remise en route.

ENTREPOSAGE

En attendant de pouvoir mettre en œuvre des solutions plus définitives, les électriciens du monde entier se précipitent vers des solutions d'entreposage pour pérenniser la production lorsque leurs piscines sont en limite de capacité.

Aux **États-Unis**, la filiale Transnuclear Inc d'AREVA détient encore la première place du marché avec 1030 conteneurs en service, talonnée par Holtec qui en a 888, ce qui représente à eux deux 80% du marché. Ces conteneurs étant dispersés sur des sites qui nécessitent d'être aménagés, le secrétaire d'État à l'Énergie, E. Moniz a émis l'idée que le système pourrait être optimisé si la gestion était confiée à des entreprises privées sur des sites centralisés, ce qui permettrait en outre de mieux contrôler les fonds de la taxe nucléaire payée par les électriciens pour gérer leurs combustibles usés. Espérons qu'il ne s'agit pas d'une mesure protectionniste dissimulée qui favoriserait les entreprises à capitaux américains.

AREVA est aussi placée en **Belgique**, où un contrat portant sur 30 conteneurs a été signé avec Engie pour les réacteurs belges.

Au **Japon**, malgré la durée de l'arrêt des réacteurs, le retard à la mise en service de l'usine de retraitement rend critique la disponibilité des entreposages de combustibles usés. Plusieurs provinces envisagent de mettre en place une taxe sur les combustibles entreposés depuis plus de 5 ans, pour inciter les électriciens à trouver d'autres solutions, qui ne sont cependant pas évidentes. Les demandes d'augmentation de capacité des piscines par « *reracking*¹ » sont bloquées par la NRA qui leur préfère l'entreposage à sec en châteaux qu'elle prétend plus sûrs et surtout ne les considère pas comme prioritaires par rapport à la remise en route des réacteurs. La mise en service de l'entreposage centralisé de Recyclable Fuel Storage Company (RFS) prévue pour la fin de l'année est retardée de 2 ans faute de l'examen du dossier par la NRA.

À **Taiwan**, où les autorités et la population souhaitent arrêter le nucléaire, la situation est critique. Les autorités refusent l'utilisation d'entreposages à sec en châteaux par crainte qu'ils ne deviennent pratiquement définitifs, ainsi que le retraitement des combustibles usés à l'étranger, jugé trop coûteux et surtout par crainte qu'il ne constitue une incitation à poursuivre l'utilisation des réacteurs. Un premier réacteur va devoir être arrêté fin novembre-début décembre, un second vers la mi-2017. L'expérience a montré qu'il était très difficile d'obtenir la remise en route d'un réacteur lorsqu'il avait été arrêté.

La **Russie**, qui compte retraiter l'ensemble de ses combustibles en a néanmoins accumulé suffisamment pour avoir des problèmes locaux d'entreposage. En conséquence, un programme de mise en place d'installations centralisées d'entreposage a été établi, qui permettra d'entreposer jusqu'à 38000 tonnes de combustible, VVER principalement, à Zheleznogorsk, à la fois en piscines et à sec pour les RBMK. L'agenda du programme n'a pas été précisé.

En **République Tchèque**, Skoda JS qui a obtenu un contrat de fourniture de 35 conteneurs pour la centrale de Dukovany avec une option sur 55 autres confirme son intention d'offrir ses services à d'autres exploitants.

En **Bulgarie**, l'État a passé à un consortium piloté par NUKEM une commande de 72 millions d'Euros pour la mise en place d'un entreposage des déchets de démantèlement des centrales de Kozloduy.

STOCKAGE

En France, CIGEO

Le froid et le chaud ont soufflé sur CIGEO au cours du second semestre.

Le froid : des contestations importées ont, par des plaintes et des dégradations, apporté des perturbations administratives et pratiques aux travaux préliminaires d'implantation des installations de surface et cherché à provoquer des blocages physiques (barricades agricoles) sur le trajet de la future ligne ferroviaire devant desservir le site. La montée de tension fait craindre la création d'une soi-disant « ZAD » analogue à celle de Notre-Dame-des-Landes. Les conditions locales sont cependant différentes, il n'y a pas d'habitants locaux, on peut espérer que la contestation soit contenue et que les travaux puissent se poursuivre sans encombre.

Le tiède : l'Agence Environnementale (institution ad hoc) à l'occasion de la mise en consultation du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) pour la période

¹ Le reracking consiste à rapprocher les alvéoles d'entreposage des piscines, ce qui nécessite d'intercaler entre elles un matériau neutrophage pour bloquer la réaction nucléaire et éviter que la piscine ne se transforme en réacteur.

2016-2018 a émis un avis assez négatif sur le projet CIGEO. Le périmètre de l'inventaire n'est pas assez étendu, la prise en compte de toutes les toxicités n'est pas assurée, le coût de l'éventuelle mise en œuvre de la réversibilité n'est pas provisionné, etc. L'ASN a néanmoins validé le PNGMDR avec une prise en compte à minima de ces remarques.

Le chaud enfin : le projet de loi sur la définition de la réversibilité, indispensable au déroulement du processus administratif, qui avait été voté par le Sénat en mai après avoir été retoqué deux fois faute d'avoir trouvé un véhicule législatif adéquat, a été enfin voté dans les mêmes termes par l'Assemblée Nationale début juillet après des tentatives de blocages par les écologistes, ceci sans que les media ne donnent à l'évènement une place notable. Par ailleurs, L'AIEA, sollicitée par l'ASN pour donner un avis sur le dossier d'options de sûreté de CIGEO, a remis le 15 novembre le résultat de son audit (*peer review*) qui conclut qu'il y a une *garantie raisonnable quant à la robustesse du concept de stockage*. Le rapport est assorti d'un certain nombre de recommandations sur la concertation, la surveillance ultérieure du site et la conservation des données. L'ASN tiendra compte de cet avis dans son propre avis qu'elle doit donner à mi-2017 lorsque l'examen du dossier par l'IRSN sera terminé.

Ailleurs

En **Finlande**, le gouvernement finlandais a donné son feu vert pour le démarrage de la construction du centre de stockage de combustibles usés d'Olkiluoto, qui avait reçu l'autorisation de l'autorité de sûreté finlandaise STUK en février 2015. Les travaux vont donc pouvoir commencer pour un début d'exploitation en 2023. C'est le seul pays à bénéficier actuellement d'une telle autorisation.

En **Allemagne**, un accord est intervenu entre le gouvernement et les électriciens suivant lequel ces derniers seraient déchargés de la responsabilité du transport et du stockage final moyennant le paiement de 23.5 milliards d'Euros mais garderaient la responsabilité du démantèlement des centrales et du conditionnement des déchets. Cet accord doit être validé par le Parlement et par la Commission Européenne. Si cet accord préserve la survie des électriciens, il ne règle évidemment pas la question du stockage et de sa localisation.

Aux **États-Unis**, le DOE continue de payer des dédommagements aux électriciens qui ont payé des taxes d'enlèvement des combustibles usés sans qu'aucune mise en œuvre ne soit effectuée (13.8 millions\$ à Entergy, 40 millions\$ à NSTAR). La NEA, comme indiqué dans le dernier N° de N&E, a remis son dernier rapport environnemental sur le stockage abandonné de Yucca Mountain, qui conclut que les conséquences seraient « faibles ». Bien que la recherche d'un nouveau site ait été lancée, il n'est pas impossible que la nouvelle administration revienne sur la décision et remette le site de Yucca Mountain à l'ordre du jour. C'est une des nombreuses incertitudes qui font suite à l'élection de D. Trump.

En **Australie**, la Commission Royale d'Australie du Sud a donné un avis final favorable à l'établissement d'un stockage international de combustibles usés dans le désert australien qui pourrait rapporter 73 milliards de dollars australiens sur les 120 ans de son exploitation. Par contre, elle a considéré qu'en l'état du marché, il n'était pas commercialement opportun d'installer une production électronucléaire dans la province, malgré les avantages de cette production en matière de gaz à effet de serre qui pourraient la rendre nécessaire dans l'avenir. Les récents « black-out » et l'augmentation du prix de l'énergie à la suite de la fermeture de la principale centrale à charbon de la région changeront-ils la donne ?

Le **Japon** et la **Corée du Sud** ont émis des feuilles de route pour le stockage des déchets. Le Japon se limite à des spécifications techniques générales (classification des déchets, profondeur de stockage – 70 m pour les plus actifs, etc.), la Corée établit un agenda qui prévoit

d'avoir sélectionné un site en 2028 et d'avoir « terminé le chantier » (?) en 2053. On sait à quel point ce genre d'agenda peut être facilement sujet à dérive.

En **Suède**, l'autorité de sûreté a donné sa confirmation finale que la demande de stockage géologique déposée par SKB était complète et recevable, ce qui est une étape importante vers l'autorisation. Par contre, le gouvernement a demandé au régulateur (SSM) de reconsidérer la redevance payée par les électriciens en vue du stockage pour tenir compte des arrêts anticipés de réacteurs pour des raisons économiques. Le marché de l'électricité est en effet tel que certains réacteurs ne sont plus rentables, les électriciens les arrêtent et ne paieront donc plus les redevances prévues qui vont manquer pour la réalisation du stockage.

La **Russie** a réitéré, au cours de la conférence générale de l'AIEA en septembre, son offre de réalisation de combustibles MOX pour d'autres réacteurs que le réacteur rapide BN-800, y compris étrangers.

ÉVOLUTION DE L'USINE MOX MFFF DE SAVANNAH RIVER.

Vladimir Poutine, rappelons-le, a manifesté par son annonce du 7 avril (Voir le numéro 68 précédent de N&E) son insatisfaction sur la manière dont les États-Unis comptaient appliquer l'accord PMDA (Plutonium Management and Disposition Agreement) de 2000. Aux termes de cet accord entre les États-Unis et la Russie, chacune des deux parties devait annihiler 34 tonnes de plutonium de qualité militaire. En 2010, les deux parties s'étaient mises d'accord pour consommer ce plutonium en l'utilisant comme combustible MOX dans des réacteurs rapides pour la Russie et des réacteurs à eau légère pour les États-Unis. On pouvait penser que la Russie, qui avait sollicité une aide financière pour construire l'usine nécessaire à la fabrication des MOX et ne l'avait semble-t-il pas obtenue, aurait plus de difficultés que les États-Unis à mettre en œuvre l'accord, ces derniers ayant lancé dès 2000 la construction de leur usine MFFF. Or aujourd'hui la Russie annonce que son usine de Jeleznogorsk fonctionne alors que l'usine américaine est victime de retards et de surcoûts considérables dont le DoE, son commanditaire, porte vraisemblablement la plus grande part de responsabilité, par son incapacité à mobiliser le réseau industriel nécessaire, par le morcellement annuel du financement des travaux et par les contraintes invraisemblables que la paranoïa anti-prolifération américaine impose à la définition et à la future exploitation de l'usine. Tant et si bien que l'administration américaine est décidée, contre l'avis du Congrès, à abandonner cette solution et à diluer le plutonium pour l'enfouir dans un stockage. Dans son annonce d'avril, V. Poutine a reproché à cette solution de ne pas faire disparaître le plutonium qui pourrait donc être récupéré et remis en circuit, ce qui selon lui ne respecte pas les termes de l'accord.

Depuis, le 3 octobre, V. Poutine aurait essuyé un refus des États-Unis de s'en tenir aux termes de l'accord de 2010 et a en conséquence signé un décret approuvé par la Douma qui dénonce formellement l'accord de 2000 et ses précisions de 2010 ainsi que d'autres accords de coopération nucléaire. Au motif de non-respect s'ajoutent des considérations relatives aux pressions qui s'exercent sur la Russie. Des conditions extrêmes sont mises à la reprise de l'accord, qui vont jusqu'à la compensation financière des sanctions prises par l'occident suite aux agissements russes en Ukraine, l'abrogation de la loi Magnitski² et le recul des implantations de l'OTAN dans les pays de l'ex Union Soviétique. Si on peut considérer que l'accord n'a pas une grande valeur intrinsèque, les 34 tonnes de plutonium en cause pesant bien peu par rapport aux quelques 5000 têtes nucléaires que possèdent encore chacun des protagonistes, par contre, sa valeur symbolique est importante et son abandon – on sort là du domaine de l'aval

² Cette loi, prise à la suite de l'assassinat à Londres de cet homme d'affaires russe, instaure des sanctions vis-à-vis de personnalités russes accusées d'avoir organisé ou couvert ce meurtre.

du cycle pour entrer dans celui de la géopolitique – montre que la non-prolifération n'est plus, comme elle l'avait été jusque-là, un domaine au-dessus des tensions et des jeux de pouvoir habituels, mais qu'elle est devenue pour les russes une simple monnaie d'échange parmi d'autres, ce qui n'est pas très rassurant. En particulier, la valeur symbolique de cette rupture est désastreuse pour le traité de non-prolifération vis-à-vis de pays à velléités nucléaires militaires.

Il ne semble pas y avoir eu de réaction officielle de la part des États-Unis aux décisions russes. Par contre, les anti-MOX, en la personne du sénateur Ed Lyman, très opposés sous prétexte d'anti-prolifération à la construction de MFFF, en ont immédiatement tiré la conclusion que puisqu'il n'y avait plus d'accord, il n'y avait plus aucune raison de construire l'usine et qu'il fallait immédiatement arrêter le projet. On peut penser que rien ne sera décidé pendant l'interrègne des présidents et l'incertitude est totale sur l'orientation qui pourra être prise par le nouveau président.

LES DÉCHETS TFA EN FRANCE

Le principe en vigueur dit de zonage conduit à considérer comme déchet nucléaire, au minimum de « très faible activité » si aucune mesure ne permet de le classer dans une catégorie plus sévère, tout déchet sortant d'une installation nucléaire de base et en conséquence à le stocker dans une installation dédiée dans des conditions très contraignantes même si sa radioactivité est négligeable. Ce principe qui n'autorise aucun seuil de libération a été adopté sous la pression d'André-Claude Lacoste, qui a été successivement Directeur de la Sûreté des Installations Nucléaires, Directeur Général de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection et Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire indépendante qu'il a contribué à créer. Sa position était qu'il ne pourrait jamais présenter à la signature d'un ministre un document affirmant que la radioactivité était nulle. On se rend compte au fur et à mesure de son application que cette position réaliste par rapport au politique induit des conséquences économiques et environnementales problématiques.

En effet en plus des coûts évidents d'isolement, de transport, de conditionnement et de stockage il faut considérer la soustraction à la nature des emprises considérables des installations qui vont être nécessaires pour stocker tous les matériaux résultant de la déconstruction des installations obsolètes ainsi que les nuisances du transport vers un lieu unique.

La question n'est pas nouvelle, elle avait déjà été soulevée entre autres par l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) dans un rapport de 2012 et également par J. Repussart, ancien directeur général de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) récemment au moment de son départ à la retraite.

Elle réapparaît aujourd'hui sous son aspect environnemental à propos du démantèlement des installations d'enrichissement par diffusion gazeuse du Tricastin (Usine Georges Besse). L'Autorité Environnementale mise en place sur instigation européenne pour éclairer l'autorité compétente sur les enjeux environnementaux des projets, plans/programmes et documents d'urbanisme a jugé « irréaliste » le projet de gestion des déchets d'Eurodif qui va rapidement saturer le seul site TFA autorisé de Morvilliers dans l'Aube.

Le cas est presque caricatural. En effet, cette installation n'a jamais traité autre chose que de l'uranium naturel sous forme de fluorure d'uranium. L'uranium est considéré comme un toxique chimique et non radioactif et si sa combinaison fluorée est extrêmement dangereuse, elle ne l'est pas par sa radioactivité, et elle peut être très facilement éliminée par simple rinçage. Le classement en installation nucléaire était dû à l'inventaire considérable en uranium nécessaire au fonctionnement, inventaire qui a évidemment été réduit à sa plus simple expression depuis l'arrêt. Par ailleurs, cette usine très étendue de par son procédé comportait pour des raisons

sismiques de très importants volumes d'acier (150000 tonnes...) et de béton. On est donc en présence d'une très grande quantité de déchets dont la contamination éventuelle après rinçage est absolument infinitésimale.

L'Autorité Environnementale demande en conséquence de procéder à une nouvelle enquête publique après avoir actualisé l'étude d'impact. L'IRSN, appuyée par l'ANDRA, oriente vers le recyclage de certains déchets, le stockage dans des sites d'enfouissement conventionnels et la libération de certains sites ou bâtiments, en vue de la minimisation et du partage équitable des risques et des nuisances.

Ces types de dispositions sont en vigueur sans inconvénient dans la plupart des pays nucléarisés, ce qui confère à ceux-ci un avantage économique par rapport à la France.

Une concertation est en cours entre les différentes parties prenantes (ASN, IRSN, ANDRA, exploitants) pour trouver des moyens de rationaliser les processus et conduire à des solutions économiquement viables sans modifier sensiblement les principes. Les solutions devraient pouvoir s'appliquer à toutes les installations.

[Retour au sommaire](#)

RADIOACTIVITÉ : FAUT-IL EN AVOIR PEUR ?

Michel Gay

A l'occasion de la parution en octobre de son livre "Sous-Exposé ! Et si les radiations étaient bonnes pour vous ?" nous avons jugé intéressant d'inviter Michel Gay à écrire dans nos colonnes. Après avoir été pilote de chasse pendant plus de 25 ans dans l'Armée de l'air, Michel Gay consacre maintenant beaucoup de son temps à défendre l'électronucléaire. Le prix Yves Chelet qui récompense "l'auteur d'œuvres médiatiques, objectives et pédagogiques pour la diffusion et la promotion des sciences et techniques nucléaires" et est décerné par la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN / PACA) vient de lui être remis par madame Chelet en présence de monsieur Yves Bréchet, Haut-commissaire à l'énergie atomique (CEA).

La radioactivité est présente partout à l'état naturel depuis la nuit des temps. La terre, les maisons, les murs et les aliments sont tous naturellement radioactifs, y compris le lait, la salade et l'eau.

Paradoxalement, un régime végétarien est trois fois plus radioactif qu'un régime classique à cause du carbone 14 et du potassium 40.

Cette radioactivité est inoffensive.

Cependant, il faut bien déterminer des normes de protection ; c'est-à-dire des niveaux de radioactivité, les plus faibles possibles, admissibles pour le public ou pour les professionnels, et en deçà desquels il n'y a pas de danger. Les effets des doses élevées ont donc été extrapolés vers les faibles doses, en utilisant une fonction théorique supposant qu'il n'existe pas de seuil en dessous duquel il n'y aurait aucun effet.

Pourtant, en dessous de 100 mSv, aucun effet distinct de la cancérogenèse « naturelle » n'a jamais été relevé. L'épidémiologie atteint là ses limites car, pour être significatif, un tel effet réclamerait l'étude de cohortes considérables de sujets, où les variations interindividuelles seraient source d'erreurs supplémentaires.

D'où la notion de « Relation Linéaire Sans Seuil » (RLSS) qui détermine une droite fondée sur le principe de précaution et non sur des expérimentations. Cette droite est destinée à tracer une limite « large » en vue d'établir des normes de radioprotection « sécurisantes ». Elle suppose que l'effet soit observé dès que la dose est non nulle. Le nombre de personnes affectées (mortes, malades, développant un cancer) est proportionnel à la dose totale par personne et à la population.

Avec cette règle sans seuil (RLSS), par exemple, une seule cigarette fumée par personne ou une heure d'exposition au soleil au cours d'une vie engendre déjà des cancers supplémentaires.

Ainsi, calculé avec la RLSS, le total de décès qui pourrait être imputable à Tchernobyl (notez le conditionnel...) atteint 4 000 morts. On voit donc que ces « 4 000 morts au maximum » sont liés au choix d'une règle qui, pour le nucléaire, ne se fonde pas sur des études épidémiologiques existantes.

La réalité est qu'aucune étude épidémiologique n'a jamais montré le moindre effet dans la population générale en-dessous de 100 mSv par personne et par an.

Cette règle qui voudrait que l'effet soit systématiquement proportionnel à la dose est cependant utilisée en radioprotection. Dans les calculs de risque, on procède « comme si » c'était la manière dont les choses se passent.

Mais il existe aussi une autre relation dite « avec effet hormesis ». Elle suppose que l'effet n'est pas proportionnel à la dose et, surtout, que pour les faibles doses l'effet est positif et se traduit par un gain d'espérance de vie.

Dit autrement, il y a un effet bénéfique sur la santé qui s'applique sous un certain seuil qui semble soigner les inflammations (rhumatisme, arthrite...) et qui rend la population plus résistante.

Il existe même des cures de « radon-thérapies » dans certaines stations thermales³ en France, et dans d'anciennes mines dans le Montana aux États-Unis⁴, qui soignent les inflammations (arthrite...).

Cet effet hormesis est difficile à démontrer car il faudrait pouvoir suivre des milliers, voire des millions d'individus pendant plusieurs dizaines d'années. Une telle règle est pertinente pour toutes les substances qui « guérissent » à petite dose (comme le soleil), mais sont néfastes à forte dose (comme la plupart des médicaments).

C'est la dose qui fait le poison.

Un peu de radiation du soleil, c'est bien. Trop de soleil brûle et peut tuer. De faibles expositions solaires dans le temps font bronzer et sont bénéfiques pour la santé, tandis qu'une exposition intense, sur une plage l'été peut provoquer des coups de soleil et de graves brûlures qui peuvent être mortels.

C'est pareil pour l'eau : boire trop d'eau (une dizaine de litres par jour), sans une alimentation appropriée, peut tuer par arrêt du cœur en « lessivant » les sels minéraux.

Dans certaines régions d'Iran et d'Inde ainsi que sur certaines plages du Brésil, des populations vivent dans des régions dont le sol est 10 fois plus radioactif que la moyenne mondiale sans aucune conséquence relevée due aux radiations. En revanche, la misère, le manque d'hygiène et de soins y font des ravages.

En médecine, des injections de 750 000 Becquerels⁵ d'iode 131 sont pratiquées pour faire des coronographies et aucun patient n'a jamais développé de cancer suite à ce traitement médical. La radioactivité naturelle d'un individu de 80 kg est d'environ 8000 becquerels.

En moyenne en France, un carré de 10 m de côté creusé sur 10 m de profondeur dans son jardin contient plus de 3 kg d'uranium naturel (uranium 238 avec 0,7 % d'uranium 235). En moyenne, il y a 3 g d'uranium par tonne dans la croûte terrestre et jusqu'à 200 kg par tonne dans certains endroits du Canada (Athabasca où se situent des mines d'uranium).

Enfin, il existe différents types de radiations nucléaires (alpha, bêta, gamma) avec des caractéristiques très différentes (rappelées plus loin).

³ <http://www.valvital.fr/stations-thermales/berthemont-les-bains/eaux-thermaleslons-le-saunier-3.html>

⁴ Voir le site de l'AEPN et <https://vimeo.com/146067326>

⁵ Dans la dose injectée, 750 000 atomes d'iode 131 se désintègrent spontanément chaque seconde.

Un milligramme de plutonium avalé ou respiré est mortel car ses radiations (des particules Alpha) irradient directement au contact des cellules et elles créent des dégâts. En revanche, on peut tenir un kilogramme de plutonium dans ses mains revêtues de gants de cuisine. Ses radiations n'atteignent pas la peau à travers les gants et l'air car les particules Alpha sont grosses et ne traversent pas ces petits écrans.

La radioactivité à faible niveau jusqu'à des doses pouvant atteindre plus de 50 fois la radioactivité naturelle n'est pas dangereuse et elle est même probablement bonne pour notre santé.

Mais la peur est facile à répandre. C'est un réflexe naturel de protection ancestrale contre l'inconnu. Elle ne se combat qu'en faisant connaître et comprendre la réalité afin que chacun puisse exercer son libre arbitre. Mais c'est difficile.

Informé posément, avec des arguments, demande du temps dans une société qui n'en a guère et qui « zappe » rapidement. Et c'est si peu vendeur... face aux prophètes du malheur et aux charlatans qui, d'un côté sèment l'effroi et, d'un autre côté, promettent monts et merveilles grâce au vent et au soleil.

La lutte contre l'obscurantisme est permanente depuis des siècles, et elle a encore de beaux jours en perspective.

Rappel : les connaissances « essentielles »

Pour comprendre l'essentiel des réactions nucléaires et des radiations, il faut juste connaître les quatre points suivants :

1 – La matière est constituée d'atomes avec un noyau au centre et des électrons qui gravitent autour. Le noyau est composé de deux types de « billes », les protons (avec une charge électrique positive) et les neutrons (sans charge électrique, donc neutre).

Dans les réactions chimiques, ce sont uniquement les électrons qui jouent un rôle en s'associant entre différents atomes dans des associations d'atomes appelées molécules.

Par exemple, du gaz (des molécules de méthane) qui brûle dans l'air se combine à l'oxygène pour donner des molécules différentes (de l'eau et du gaz carbonique), mais les atomes qui composent ce gaz restent les mêmes.

Dans les réactions nucléaires, les électrons qui gravitent autour des noyaux ne jouent aucun rôle (on n'en parle jamais). Ce sont uniquement les noyaux qui, en se cassant ou en se transformant, libèrent de l'énergie sous forme de particules et de rayonnements.

2 – Les noyaux de certaines matières peuvent se casser spontanément, ou sous le choc d'un neutron qui vient le percuter. Ils peuvent aussi absorber ce neutron et se transformer ensuite en

émettant un, ou plusieurs, des quatre « rayonnements » alpha, bêta gamma et neutron décrit plus loin.

Ces réactions ont lieu en permanence dans la nature. Elles se produisent aussi dans un réacteur nucléaire où des noyaux d'uranium se cassent sous l'effet des neutrons. Chaque noyau d'uranium émet deux ou trois neutrons qui vont à leur tour casser d'autres noyaux d'uranium : c'est la réaction nucléaire en chaîne.

3 – Le nom de la matière (iode, fer, plomb, uranium, plutonium...) est lié au nombre de protons du noyau de l'atome constituant cette matière.

Ainsi, par exemple, le fer a 26 protons, l'iode 56, le plomb 82, l'uranium 92 et le plutonium 94. Et ce sera toujours le cas. Si le nombre de protons vient à changer parce que quelques neutrons sont transformés en protons (ce qui peut arriver spontanément avec l'émission d'un rayonnement bêta), ou qu'ils sont éjectés (avec l'émission d'un rayonnement alpha), ou que le noyau se brise en créant deux autres noyaux, alors on obtient une nouvelle matière avec un nombre différent de protons dans son noyau. Ce phénomène s'appelle la transmutation.

En revanche, une même matière (nombre de protons identiques) peut avoir un nombre de neutrons différents dans son noyau.

Ainsi, par exemple, le fer (26 protons) peut avoir de 26 à 34 neutrons dans son noyau⁶. Son noyau peut donc comporter de 52 à 60 « billes » (protons et neutrons). Ces « frères » de la même famille sont appelés des isotopes et ils se comportent le plus souvent de manière différente. Les uns sont stables (ils ne se brisent pas spontanément et n'émettent pas de rayonnements, ils ne sont donc pas radioactifs), les autres sont instables (radioactifs).

Il en va de même pour l'uranium (92 protons) qui compte plusieurs « frères » (isotopes) contenant un nombre de neutrons différents. Il existe, par exemple, de l'uranium 235 (235 « billes » dans son noyau, dont 92 protons) qui est dit « fissile » (il se casse lorsqu'il est percuté par un neutron), et de l'uranium 238 « fertile » (il absorbe un neutron avant de se transformer en plutonium 239 qui, lui, est fissile et se cassera sous l'action d'un autre neutron).

4 – La radioactivité et ses unités de mesure :

Il y a principalement quatre types de radioactivité :

– les rayonnements alpha (deux protons accolés à deux neutrons). Une feuille de papier, quelques centimètres d'air ou le gras à la surface de la peau suffisent pour les arrêter.

– les rayonnements bêta (un électron de charge négative éjecté hors du noyau lors de la transformation d'un proton positif en neutron neutre). Une feuille d'aluminium, quelques centimètres d'eau ou quelques mètres d'air suffisent pour les arrêter.

– les rayonnements gamma (une onde électromagnétique de fréquence élevée). Quelques mètres de béton ou une couche épaisse de plomb les atténuent presque totalement.

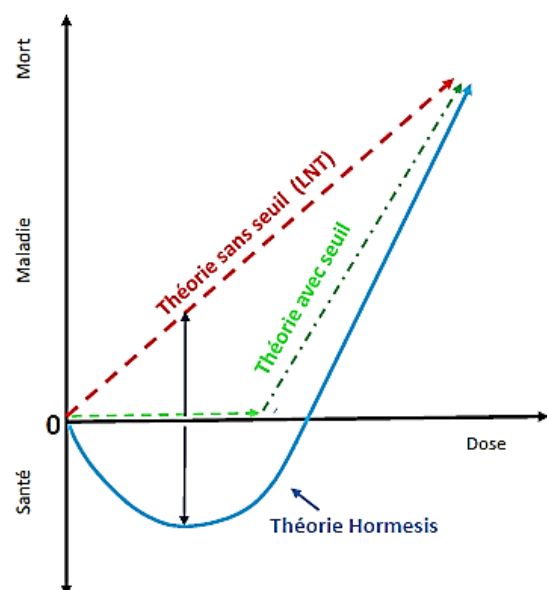
– et les neutrons qui traversent à peu près tout, parfois sans interférer avec la matière, mais ils

n'existent qu'à proximité des réacteurs et ne concernent donc pas le public.

Cette connaissance en quatre points ne fait pas de vous, lecteur, un docteur en physique nucléaire mais elle est suffisante pour comprendre l'essentiel des phénomènes des radiations nucléaires.

La RLSS (relation linéaire sans seuil), appelée « Linear No-Threshold Theory » (LNT) sur la figure ci-dessous, est linéaire (c'est une ligne droite). Elle indique que toute exposition est dangereuse. Cette relation est exacte pour des niveaux élevés de toxines telles que le plomb 14 ou le café. Nous savons pourtant que les petites doses de caféine ont des propriétés bénéfiques, même si cette substance est classée cancérigène, comme des milliers d'autres, par l'Organisation mondiale de la santé. Les exemples d'effets de seuil abondent autour de nous lorsqu'on commence à les chercher.

Théories de Réponses à la Dose



[Retour au sommaire](#)

⁶ Le fer comporte plusieurs isotopes, dont 4 stables (Fe 54 ; Fe 56 ; Fe 57 ; Fe 58) et 4 radioactifs (Fe 52 ; Fe 55 ; Fe 59 ; Fe 60).

LE REGARD FRANÇAIS SUR LE NUCLÉAIRE

Aimé Darricau et Bernard Lenail

Longtemps le regard français sur le nucléaire était un regard favorable : longue portée des choix, réalisations prestigieuses, programmes solides et diversifiés, industrie puissance, constance des décisions et réponse favorable aux chocs pétroliers. Si bien que parfois on aurait pu parler d'*exception française* si l'on compare les choix nationaux aux réponses apportées par l'Allemagne ou le Japon au syndrome de Tchernobyl ou de Fukushima, jusqu'à quand ? La question peut se poser légitimement : y a-t-il ou y a-t-il eu un changement dans le *regard français* ?

Il est incontestable que pendant des années le regard des politiques et de l'opinion était donc favorable même si une opposition s'exprimait à propos du programme militaire. Mais ceci est une autre affaire même si l'on a pu connaître des situations curieuses en voyant un haut-commissaire défilant contre la réalisation d'une force de frappe ! Mais on peut parler d'un large consensus sur la réalisation par exemple des programmes d'EDF. Il y avait bien quelques oppositions ponctuelles dont la plus forte, et la plus efficace, s'attaqua au projet Plogoff et qu'en 1981 le programme UP3 de seconde usine de retraitement à La Hague fut sauvé par le soutien que lui apportèrent tous ses clients étrangers. On pourrait citer aussi, dans un registre plus classique, les recours judiciaires systématiques en nullité dès la parution d'un arrêté d'autorisation de recherches minières en métropole (très largement écartés par la jurisprudence) ou des luttes constantes à propos des effets de l'exploitation de l'usine de La Hague (calmés après une étude sur le terrain commune entre une organisation hostile et la COGEMA de l'époque).

On a pu relever bientôt quelques choix significatifs sinon symboliques comme la fermeture de Superphénix en 1997 après des années de guérilla juridique – fermeture qui marque une vraie rupture fondamentale toujours ressentie comme telle encore aujourd'hui – et les vaines tentatives de remise en cause du MOX.

Cependant pendant une quinzaine d'années le nucléaire n'était guère l'objet de débat : les installations fonctionnaient il est vrai de façon satisfaisante et il n'y avait à l'horizon aucun projet nouveau susceptible d'échauffer l'opinion, le projet de troisième réacteur à Flamanville (EPR) n'ayant été lancé qu'en avril 2007.

Mais ce qui frappe, alors que la relance des investissements venait d'être décidée, c'est que jusqu'au *Grenelle de l'environnement en 2007* la filière électro-nucléaire a été à l'abri des alternances politiques éventuelles...encore que le fait d'avoir exclu du *Grenelle* toute discussion du programme nucléaire semble avoir réveillé, exacerbé, même en sourdine, une certaine animosité à son égard.

MAIS, tout cela c'était avant l'accident de Fukushima, 11 mars 2011, qui fut un vrai choc pour l'opinion publique : un accident grave et aux conséquences graves survenu dans un contexte très spécifique (tsunami, réacteurs de type bouillant et non de type pressurisé comme le sont les réacteurs français) malgré le très haut degré de développement du Japon et l'excellente réputation du pays. Il y eut en Europe, et notamment en Allemagne, un tournant très perceptible dans l'opinion. Alors que beaucoup avaient bien compris que la catastrophe de Tchernobyl avait des causes en quelque sorte *soviétiques*, donc non transposables en Europe, personne ne pouvait comprendre ni même imaginer qu'il y ait pu y avoir pour Fukushima des causes

spécifiques japonaises (manque de culture de sûreté et autorité de sûreté notoirement faible et incompétente). Ce tournant fut très net auprès du public français, très profond dans les médias, et dans certains milieux politiques, d'autant qu'une nouvelle campagne présidentielle débutait. Il fut très lourd de conséquences pour AREVA en raison de la perte de son marché allemand et la mise en suspens de ses marchés japonais, mise en suspens largement en cours, encore aujourd'hui.

MAIS c'était avant la campagne présidentielle de 2012, pendant cette campagne est apparu un programme très anti-nucléaire que le candidat de Gauche a adopté sans beaucoup d'inflexions : réduction de la part du nucléaire dans la production d'électricité de 75% à 50% à l'horizon 2025 impliquant l'arrêt de quelque 24 des 58 réacteurs d'EDF dont l'arrêt immédiat de Fessenheim. Incidemment certains observateurs ont estimé que cet arrêt a fait l'objet d'un arbitrage *favorable* au bénéfice de l'EPR de Flamanville.

On a l'impression toutefois d'un paysage composite. Certes l'industrie nucléaire a été exclue du débat sur la transition énergétique et n'a pas même été autorisée à assurer sa défense bien qu'il y fut question plus de transition électrique que de transition énergétique. Mais l'on a pu lire, ici ou là, que les responsables politiques impliqués n'allaient pas tous dans le même sens et l'un deux – paraît-il – aurait exprimé que le problème véritable était la sortie du pétrole pas celle du nucléaire ! Quant à l'arrêt de Fessenheim, la fixation de la date à prévoir a donné lieu à des variantes successives et l'on parle maintenant de 2018. À noter enfin que la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) arrêtée en octobre 2016 qui envisage une baisse de la production nucléaire de 2 à 15% et seulement à l'horizon 2023 ne convient pas aux tenants de la loi qui attendaient 25% et le nom des centrales devant être fermées et est jugée inefficace et dispendieuse pas ses opposants.

Certes la loi de transition énergétique, une fois votée, n'a pas rencontré que des échos favorables. Du fait de son manque de réalisme, elle a peu de chances d'être appliquée dans toute sa rigueur. On doit reconnaître en revanche qu'ont été bien accueillis les efforts accomplis en matière de transparence avec la mise en place d'une autorité de sûreté jugée indépendante ainsi que le développement dans le même sens de commissions locales d'information (que certains opposaient à une relative opacité paraît-il au siècle dernier !).

Paysage composite donc car les déclarations souvent anxiogènes et sans nuances (certains n'hésitent pas à dire parfois injustifiées) de l'autorité de sûreté laissent présager qu'il faudra attendre un degré d'exigence tout à fait inaccoutumé pendant les deux prochaines années qui verront la mise en service de l'EPR de Flamanville et les premières décisions sur la prolongation de la durée de vie des réacteurs du parc EDF.

On a vraiment l'impression que tout peut arriver, le pire comme le meilleur. Les temps ont bel et bien changé.

La conjoncture extérieure a certes des aspects positifs quant à elle puisque l'on note dans le monde un nombre de réacteurs en construction plus important qu'il ne l'a jamais été. Et ce même si certains observateurs considéraient le marché comme relativement timide, surtout concentré sur la Chine encore que la décision anglaise d'autoriser la construction de deux EPR à Hinkley Point a marqué la reprise du nucléaire en Europe, résultat de la volonté de la Chine de prendre pied dans le nucléaire anglais et de l'entêtement d'EDF, mollement soutenu par le gouvernement français, comme n'ont pas manqué de le souligner en France quelques grincheux.

Il est vrai que le contexte actuel français est singulièrement difficile :

- EDF, qui doit faire face à d'importants investissements, se trouve sensiblement affaibli pour des raisons externes qui lui sont imposées (profond dérèglement du marché de l'électricité -

voulu par Bruxelles et par Paris – considérablement aggravée par une concurrence anormale des énergies renouvelables avanta­gées hors de raison).

- AREVA, après le fiasco aux multiples causes de novembre 2014, est encore loin d'avoir achevé sa restructuration et son redressement.
- Engouement pour les renouvelables (éolien et solaire photovoltaïque) d'un public trompé par des affirmations erronées, parfois mensongères mais jamais démenties (compétitivité, aptitude à remplacer le nucléaire à bref délai).
- Retards et surcoûts des programmes EPR, en France comme en Finlande, largement prévisibles pour des prototypes de cette envergure, mais que ni EDF ni AREVA n'avaient laissé prévoir.

Une trop forte concentration locale de carbone sur certains gros composants (générateurs de vapeur) a conduit l'Autorité de Sûreté à demander, dans la précipitation, un vaste programme de vérifications simultanément sur beaucoup de réacteurs, programme qui aurait pu très vraisemblablement être étalé dans le temps et n'avait guère lieu d'être médiatisé comme il l'a été au point d'inquiéter les plus sereins. A chaud, et alors que la crise n'est loin d'être achevée, nous nous abstenons de plus amples commentaires, formons le vœu cependant que la France échappera pendant l'hiver à un black-out qui serait très préjudiciable au pays et que 2017 ne sera pas *l'année de tous les dangers pour le nucléaire français* comme on a pu lire. On a vu aussi que des gens qui souvent marquent quelque inquiétude et quelque hostilité à l'égard du nucléaire semblaient aujourd'hui avoir peur d'en manquer cet hiver !

Bref, avant même les difficultés de ces derniers mois, l'industrie nucléaire avait perdu beaucoup de son crédit auprès d'un public déçu et déconcerté de sorte que plus grand monde ne croit plus à son avenir. Le désenchantement n'est peut-être pas définitif car fondé sur d'importantes contre-vérités, notamment au plan économique.

Il nous faut cependant être conscient du fait que la vie du nucléaire ne sera jamais un long fleuve tranquille. L'indisponibilité actuelle d'un nombre important de réacteurs en est malheureusement une bonne illustration. La campagne présidentielle qui s'ouvre conduira sans doute à quelques débats et peut-être à quelques réorientations. On ne peut que s'en féliciter, restant à savoir s'il n'est pas parfois dangereux de fournir l'objet de débats exacerbés. Mais le pire n'est jamais sûr. Le nucléaire qui n'a pas le droit à l'erreur devra rester attentif à l'évolution du politique autant qu'à celle de la technique.

Les énergies propres, nucléaire, hydraulique, éolien et le solaire sont la principale source de production électrique dans l'Union Européenne, et d'abord en France, mais que seules les deux premières (nucléaire et hydraulique) peuvent réellement remplacer les énergies fossiles.

[Retour au sommaire](#)

QUELLES ÉNERGIES DOMINERONT LA FIN DU SIÈCLE ?

Jean-Luc Salanave

Le développement fulgurant des énergies solaire-photovoltaïque et éolienne en ce début de 21^{ème} siècle nous fait aussi expérimenter leurs inconvénients. La technologie en solutionnera bon nombre, mais intermittence et encombrement demeureront des défauts majeurs de ces deux sources d'énergie tant qu'il y aura des absences de soleil ou de vent, et que 10 milliards de terriens auront besoin de surfaces habitables, cultivables et de forêts.

De quoi sera fait notre avenir énergétique ? Solaire et éolien envahiront ils durablement le paysage électrique du 21^{ème} siècle, ou seulement les applications de « niches » où ils excellent, après une mode éphémère et subventionnée dans la production massive d'électricité à l'échelle d'un pays ?

Après le déclin annoncé des énergies fossiles, si la « fée » électricité continue à s'imposer comme vecteur privilégié d'énergie finale au service de l'humanité, le paysage électrique de demain sera-t-il dominé par le vent et le soleil ou par l'eau et l'uranium ?

Les énergies fossiles vont s'épuiser :

Charbon, pétrole et gaz naturel représentent aujourd'hui plus des trois quarts de l'énergie primaire consommée dans le monde ; et ils assurent les deux tiers de la production d'électricité.

Le charbon est exploité depuis deux siècles, le pétrole un siècle et le gaz plus d'un demi-siècle. **Leur déclin est annoncé**: déclin subi, du fait de la raréfaction de leurs réserves naturelles ; déclin choisi, à cause de leur responsabilité majeure dans le dérèglement climatique anthropique de la planète.



Malgré quelques soubresauts (comme les gaz et huiles de schistes) on peut parier que le 21^{ème} siècle marquera la fin de cet « âge du feu », cette première ère de l'Anthropocène, qui aura, en seulement deux siècles, brûlé le patrimoine de combustibles fossiles de l'humanité que la nature avait mis des millions d'années à élaborer.

Solaire photovoltaïque (PV) en plein développement, prix fortement orientés à la baisse :

Si on reproche au nucléaire son faible rendement de conversion en électricité d'environ 33% (40% pour le nucléaire à haute températures du futur), le rendement moyen des capteurs installés sur nos toits depuis 7 ans n'est encore que de 10 % : 1 m² de capteur recevant 1 kilowatt de puissance lumineuse en plein soleil ne produit en effet que 100 watts-crête (Wc) de puissance électrique. Mais le temps de ces faibles rendements est révolu : **les nouveaux capteurs ont des rendements approchant 20% (200 Wc/m²).**

L'autre bonne surprise c'est que, à la différence du nucléaire (qui s'est renchéri tant qu'un juste niveau de sûreté n'avait pas été trouvé), l'amélioration des performances n'empêche pas la baisse des coûts du photovoltaïque. Au point que certains pays ont déjà mis fin aux coûteux systèmes de subvention des installations solaires électrogènes pionnières.

La France n'a pas encore mis fin à sa taxe CSPE, ni à la garantie d'achat qui privilégie les kWh solaires, mais il faudra bien, comme ailleurs, rétablir des règles équitables de marché et mettre fin à la rente dont profite le lobby photovoltaïque (et, dit en passant, les fabricants étrangers).

Une offre EDF encourage même désormais à consommer sa propre électricité solaire plutôt que de la vendre au prix fort à ses voisins. Ces auto-producteurs font œuvre écologique sincère.

Rappelons que la sincérité écologique peut être critiquée tant qu'elle est « encouragée » financièrement par une incitative rémunération (qui a atteint 630 euros par mégawattheure, garantis 20 ans, pour les pionniers qui ont installé des capteurs PV dès 2009 ; soit 20 fois le prix de marché ou le coût du mégawattheure nucléaire, aux frais des autres consommateurs, « boulet » à trainer jusqu'en 2029). Ces incitations ont conduit, selon la Cours des Comptes, « à un développement spéculatif » du solaire plutôt que basé sur des motivations écologiques.

Si l'électricité est au cœur du présent article, il faut néanmoins de ne pas oublier les vertus écologiques et énergétiques du **solaire thermique** qui a largement fait ses preuves depuis plus de 40 ans : son rendement est meilleur que le photovoltaïque, il permet la production et le stockage décentralisé d'eau chaude et il économise de l'électricité ou du gaz. Il conviendra de continuer à le développer sans modération.

Éolien, une technologie à quasi maturité :

Si le solaire photovoltaïque semble posséder encore des marges d'amélioration, l'éolien a atteint aujourd'hui une certaine maturité technologique.

Certes il reste à abaisser le coût encore trop élevé de l'éolien en mer. Il reste aussi à trouver une limite au gigantisme et à parachever la démonstration des très grosses éoliennes, dans la gamme de puissance de 8 à 10 mégawatts. Mais les éoliennes terrestres de 1 à 3 mégawatts sont aujourd'hui devenues un standard (subventionné) qui a largement colonisé les paysages.

Certains inconvénients du solaire et de l'éolien seront à n'en point douter solutionnés :

- Certaines technologies PV utilisent **des éléments toxiques**, polluants à produire ou difficiles à recycler (cadmium, arséniure de gallium, « terres rares », plomb des soudures et des batteries).
- **L'argent des contacts et des électrodes** pourrait voir ses ressources minières épuisées dès 2030.
- L'impact sans doute le plus important sur l'environnement est **dû au très énergivore procédé de purification du silicium** poly-cristallin ; au point que certains capteurs fabriqués il n'y a pas si longtemps en Chine ou en Allemagne (avec de l'énergie charbon) ne pourront pas, pour ceux installés dans un pays à électricité déjà dé-carbonée comme la France, faire économiser, sur leurs 20 ans de durée de vie, le CO2 émis lors de leur fabrication ! Certes les capteurs fabriqués en 2016 se sont améliorés, mais ce défaut majeur du solaire reste une aberration écologique et climatique.
- La plupart des éoliennes utilisent des aimants permanents qui contiennent **aussi des « terres rares »** (comme le néodyme), dont les ressources pourraient poser un **problème géopolitique** car la Chine est devenue propriétaire minier et producteur dominant de terres rares (90% du marché mondial).
- A iso-électricité annuelle, une éolienne demande 5 à 10 fois plus de béton et 20 fois plus d'acier qu'une centrale nucléaire (la comparaison est encore plus défavorable si on tient compte des espérances de vie de 25 ans pour l'éolienne contre 60 ans pour le réacteur).

On peut imaginer que les inconvénients qui précèdent, ainsi que d'autres, comme les nuisances sonores ou visuelles, devraient pouvoir trouver demain des solutions techniques ou être acceptées comme supportables.

Mais ce qui pourrait compromettre le rêve d'un monde « tout ENR » ce sont les deux défauts congénitaux des ENRi (ENR intermittentes, que sont le solaire et l'éolien) : leur caractère aléatoire et leur très faible densité énergétique.

Intermittence, défaut majeur du solaire et de l'éolien :

L'intermittence n'est pas tant un problème technique qu'un problème économique. Techniquement, on sait déjà stocker l'électricité : sur les STEP (Stations hydrauliques de

Transfert d'Electricité par Pompage, très rentables et à développer sans modération quand sites il y a), sur des batteries (pour nos téléphones, nos voitures), sur des volants d'inertie (applications industrielles, ou véhicules de transport), sous forme d'hydrogène, d'air comprimé, de stockage chimique etc... Mais le stockage d'électricité étant inutile pour les filières de production « à la demande » **stocker sera toujours plus coûteux que ne-pas-stocker.**

Considérons, à titre d'illustration, le cas d'école isolé consistant à fournir 1kW de puissance électrique en continu tout au long de la journée à partir d'une mini centrale de 1 kW (disons nucléaire puisque charbon, fuel et gaz sont disqualifiés par le changement climatique). La même injection de 1 kW photovoltaïque nécessite d'installer 8 kW de capteurs (car à la latitude de la France le solaire ne produit qu'environ 1000 heures sur les 8760 heures de l'année, soit un huitième du temps, ou encore 3 heures en moyenne par jour). **A ces 8 kW il faut ajouter une capacité de stockage de 21 kWh pour assurer la fourniture pendant les 21 heures non ensoleillées de la journée moyenne.** L'arbitrage est donc entre installer 8 kW de puissance plus 21 kWh de stockage coté solaire, contre 1 kW non intermittent de l'autre (par exemple nucléaire).

Ce rapport 1 comparé à 8+21 (et pire encore si deux journées sans soleil se succèdent) ne dépend que de la latitude et de l'ensoleillement, pas des performances des futurs capteurs. Il sera le même dans 100 ans. Certes il est moins mauvais dans les pays du sud à meilleur ensoleillement. S'il ne reflète pas directement les prix, il illustre les différences énormes de moyens à mettre en œuvre, qui pourraient bien inciter les pays les moins riches à opter pour une électricité non-intermittente fiable, économique et éprouvée plutôt que pour le solaire aléatoire et sa débauche de moyens de stockage.

Le besoin de stockage n'est pas le seul inconvénient des ENRi. Ces dernières sont aussi incapables d'assurer l'équilibre des réseaux électriques. En effet, chaque fois que l'un de nous soutire 1 kWh d'électricité, il oblige un producteur à injecter ce même kWh sur le réseau. Les ENRi constituent donc par nature, aujourd'hui comme demain, un casse-tête couteux pour les gestionnaires de réseaux de transport et de distribution pour assurer à chaque instant la stricte égalité entre injections et soutirages, et éviter un « blackout ».

A l'échelle individuelle, les ENRi ont aussi largement motivé le futur compteur Linky, coûteux et controversé, censé modifier le comportement des consommateurs pour l'adapter aux caprices de l'intermittence. Alors qu'un simple compteur « heures creuses/heures pleines » suffisait à satisfaire tout consommateur d'électricité hydro-nucléaire soucieux d'optimiser sa facture.

A l'échelle planétaire, le solaire présente un autre inconvénient de taille : la latitude limitant la hauteur du soleil en hiver, la production solaire est en opposition géographique avec le besoin énergétique. Il faudrait déplacer vers le nord de l'électricité produite au sud, avec les pertes en transport énormes que l'on connaît, proportionnelles à la distance, pertes déjà importantes dans un petit pays de 1000 km comme la France.

Les faibles densités énergétiques de l'éolien et du solaire sont-elles viables ?

Nos petits enfants ne peuvent guère espérer d'amélioration, ni coté vent, ni coté soleil : ce dernier ne fournira jamais, sous nos latitudes, plus de 1kW de puissance lumineuse par m2 (seul le rendement de 20% de conversion en électricité sera améliorable).

Le solaire pourrait-il produire toute l'énergie électrique des 10 milliards d'habitants de la Terre ?

Prenons la France : combien de capteurs PV faudrait-il pour produire nos 546TWh électriques de 2015 ?

Hypothèses : rendement électrique des futurs capteurs PV 20% ; facteur de charge en France 13%, soit 1000 kWh/m2.an d'énergie solaire incidente ; soit 200kWh électriques par an par m2.

Pour produire 546 TWh électriques par an avec du solaire photovoltaïque il faudrait donc installer 3000 km² de capteurs solaires. Impensable diront certains ! **Mais pas totalement impossible : c'est la surface de tout un département français**, c'est aussi approximativement **la surface de toitures du pays**, ou encore celle des routes de France. Notons tout de même que ces 3000 km² de capteurs sont à multiplier par 2 ou 3 une fois qu'on y ajoute les accès et les infrastructures ; et puis il faudra encore multiplier par un autre facteur 2 le jour où nous électrifierons aussi nos véhicules et notre chauffage.



Ce qui est sûr, c'est que les 40 réacteurs nucléaires produisant annuellement la même énergie (de type EPR, ou ses équivalents chinois, russe, coréen ou américains), y compris les surfaces de stockage de leurs déchets, occuperont **100 fois moins de place** que des moyens de production solaires ou éoliens équivalents.

En prenant l'hypothèse d'un coût d'installation de 1000 €/m² (capteurs, pose, onduleurs, raccordement au réseau), 3000 km² solaires coûteraient **3000 milliards d'euros** (une fois et demi le PIB de la France) contre seulement **300 milliards pour 40 réacteurs nucléaires** équivalents. Sans oublier que les 3000 milliards sont à renouveler tous les 25 ans (contre 60 ans pour les 300 milliards du nucléaire) et qu'ils n'incluent pas le coût des installations de stockage d'électricité (peut-être 50% à 100% de coût supplémentaire) ni les services système du réseau.



Quant à l'éolien, sa « densité » énergétique est aussi faible que celle du solaire. Malgré ses qualités, des difficultés d'intégration aux territoires se font déjà sentir, obligeant à se tourner vers l'éolien marin, malheureusement plus coûteux et lui aussi critiqué.

Néanmoins nous sommes entrés dans un nouveau paradigme ; éolien et solaire ont déjà prouvé qu'ils ne seront pas absents du bouquet électrique de demain. Domineront-ils le paysage électrique mondial ? Nous sommes quelques-uns à en douter. Mais s'il s'agit d'alimenter un refuge de montagne, un voilier dans l'océan, une communauté d'Afrique ou du Népal isolée des grands réseaux, un îlot breton ou une autoproduction de petite puissance, **photovoltaïque et éolien (et micro-hydraulique) sont déjà incontournables.**

Quels facteurs pourraient retarder le recours au nucléaire à l'avenir ?

Pour la production massive d'électricité, et par rapport au photovoltaïque et à l'éolien, le nucléaire présente plusieurs avantages. Certains atouts font d'ailleurs consensus parmi ses défenseurs et ses détracteurs : indépendance énergétique, non-intermittence, faible emprise au sol, efficacité économique, durabilité des ressources géologiques fissiles et fertiles, et non-émission de gaz à effet de serre !

En revanche il soulève deux préoccupations majeures : **l'accident grave et les déchets.**

Tchernobyl restera dans l'histoire comme LA catastrophe nucléaire du 20^{ème} siècle. Et ses terribles conséquences sanitaires et sociales n'ont pas fini de se faire sentir localement dans la zone contaminée.

On retiendra des trois grands accidents nucléaires civils (1979 Three Mile Island, 1986 Tchernobyl, 2011 Fukushima) que le meilleur niveau de sûreté a été obtenu par la filière PWR (à eau pressurisée), avec ses circuits primaire et secondaire et ses trois barrières de confinement. Les rejets radioactifs de Three Mile Island avaient été négligeables. C'est cette filière qui équipe les 19 centrales françaises.

Le réacteur RBMK de Tchernobyl ne possédait aucun confinement moderne digne de ce nom. La France, pour ne citer qu'elle, a depuis longtemps abandonné ses réacteurs de 1^{ère} génération au graphite, pourtant refroidis au gaz à la différence de Tchernobyl. Une priorité en ce début de 21^{ème} siècle pourrait être **l'arrêt non pas de Fessenheim, mais des 11 réacteurs**

russes RBMK encore en service, même s'ils ont bénéficié d'améliorations majeures depuis 1986.

Les réacteurs BWR (à eau bouillante) accidentés à Fukushima ne possédaient pas le circuit secondaire des PWR, pas plus que les recombineurs d'hydrogène ni les filtres de dépressurisation qui équipaient depuis longtemps tous les PWR français. Le Japon n'exclut pas de ne redémarrer que ses PWR.

Tchernobyl a mobilisé tous les pays nucléarisés pour que ne se produise « plus jamais ça », déclenchant une revue approfondie des deux grands domaines de la sûreté nucléaire : les risques technologiques intrinsèques aux filières de réacteurs, et le « facteur humain ».

L'accident de Fukushima, dont le monde se serait bien passé, a focalisé les revues internationales sur les « risques exceptionnels externes et naturels ». Non pas que le siècle passé les avaient oubliés. Le risque sismique avait déjà conduit à adopter des réglementations parmi les plus contraignantes de toutes les constructions humaines. Au point qu'aucun accident grave n'a été causé sur un réacteur nucléaire par un séisme, comme en témoigne le remarquable retour d'expérience japonais, où les **réacteurs subirent sans dommages des séismes majeurs comme celui de Kobé en 1995** ou celui de Sendai/Fukushima en 2011 (malheureusement suivi du tsunami !). Fukushima aura permis de porter encore plus haut la résistance des réacteurs aux tsunamis, aux inondations, aux ouragans, aux chaleurs et froids extrêmes, aux blackouts électriques, au terrorisme, ...

Les erreurs de Three Mile Island, Tchernobyl et Fukushima auront permis de réévaluer **et de valider les standards internationaux de sûreté qui pavent désormais la voie du nucléaire du futur**.

Si les **leçons techniques sont souvent les plus rapides à mettre en œuvre, il en est d'autres que ce siècle devra tirer dans les domaines politique, sociologique, sanitaire et comportemental**.

Notamment, le rapport des Nations Unies sur Fukushima (UNSCEAR 2015) conclut que « aucun décès, aucune maladie grave ayant un lien avec des radiations n'a été observé parmi les travailleurs et l'ensemble de la population à la suite de l'accident de Fukushima », et aussi que « aucune conséquence perceptible des radiations n'est à prévoir parmi le public exposé ou ses descendants ».

Il y aura des comportements collectifs et les décisions politiques à questionner pour éviter les erreurs d'hier : le gouvernement japonais a reconnu que les quelques 2000 décès survenus parmi les populations des territoires contaminés n'avaient aucun lien avec les radiations, mais étaient dues aux traumatismes provoqués par la prolongation de l'évacuation elle-même, ce qui met en cause son bien-fondé au-dessous de 20 milliSieverts par an.

Il faudra aussi reconnaître la lourde responsabilité des « vendeurs de peur » qui ont eux aussi fait des victimes, comme le révèle l'étude publiée cet été par le Centre International de la Recherche sur le Cancer: entre 1988 et 2007, juste après Tchernobyl, une « épidémie » artificielle de cancers de la thyroïde, due non pas aux radiations mais à un sur diagnostic, a été observée dans la douzaine de pays où la couverture médiatique de l'accident avait été la plus anxigène (560000 personnes ont été concernées, dont 46000 en France, dont les micro-tumeurs, bien que peu susceptibles de provoquer des symptômes cliniques cancéreux s'ils n'avaient pas été diagnostiqués, ont malheureusement souvent été traités, à tort, par l'ablation complète de la thyroïde, entraînant une dépendance à vie au Levothyrox).

L'histoire retiendra que la peur de la radioactivité, amplifiée par des anti-nucléaires mal inspirés, aura fait des victimes sans liens radiologiques avec Tchernobyl et Fukushima.

Souhaitons que les futurs accidents soient au pire de type Three Mile Island et que, si évacuations il devait y avoir, les décisions politiques et les comportements collectifs s'inspireront des leçons du passé, pour que les **victimes des manques comme des excès de précautions** d'hier n'aient pas été inutiles.

Les atouts du nucléaire du futur :

Il n'y a pas que les applications énergétiques spatiales, ou les grands projets scientifiques du futur (comme le CERN ou ITER) qui voient dans l'énergie nucléaire, avec sa formidable compacité énergétique et ses ressources quasi illimitées, l'énergie incontournable du futur.

De nombreux pays en développement refusent de se laisser enfermer dans la frugalité énergétique que nous voudrions leur imposer sous prétexte d'un changement climatique dont nos pays industrialisés sont largement responsables. Plusieurs ont déjà choisi. L'Agence Internationale de l'Énergie recense, depuis et malgré Fukushima, plus de 60 nouveaux réacteurs nucléaires en construction dans le monde et plus de 140 en projet.

Depuis 30 ans, les succès technique, écologique et économique du programme électronucléaire français, avec ses coûts électriques amortis imbattables, au service de la compétitivité des entreprises et des citoyens, avec la maîtrise de ses déchets sans aucun accident, et le recyclage de son combustible usé, en font un modèle pour nombre de pays, qui ont entrepris de nous imiter voire de nous surpasser, concurrençant désormais notre leadership mondial (l'excellence des programmes nucléaires chinois, sud-coréens, et indiens en témoigne).

Le coût du mégawattheure nucléaire français est aujourd'hui de 42 euros (c'est le tarif ARENH, d'Accès Réglementé à l'Électricité Nucléaire Historique, utilisé pour les ventes « sans perte ni bénéfice » d'EDF à ses concurrents, pour favoriser un semblant (discutable) de concurrence sur le marché français). Comprenant tous les coûts passés, présents et futurs (démantèlements et gestion des déchets inclus), ces 42 €/MWh resteront longtemps imbattables pour une électricité non-aléatoire, ne nécessitant pas de stockage et exemplaire du point de vue de la sûreté et de l'environnement depuis plus de 40 ans. Ce parc nucléaire n'est pas un rêve, c'est une réalité éprouvée, reproductible par les générations futures si elles en font le choix.

J'entends une objection : le feuilleton des anomalies de taux de carbone dans les aciers de nos équipements nucléaires a conduit à arrêter le quart du parc EDF pour vérifications. Ne risquent-on pas une surenchère des dépenses de sûreté ? Ce sont les industriels qui ont proposé les normes, en jugeant que le nucléaire méritait le plus haut niveau de l'état de l'art. Or, un « principe de précaution maximale » conduira toujours à des normes excessives. Ici la norme n'est pas respectée mais les premiers tests pratiqués ne font pour l'instant état d'aucun défaut, après 30 ans de fonctionnement. Faisons confiance aux industriels et à l'autorité de sûreté pour surmonter ce problème. Il n'en est aucun, dans le nucléaire, qui n'ait trouvé à ce jour de solution. Rappelons que **la finalité des normes n'est pas d'augmenter les coûts mais de garantir la sûreté.**

Autre objection : les prototypes EPR finlandais et français sont en train de coûter une fortune. C'est mal connaître la réalité des coûts ! Certes l'EPR de Flamanville est passé de 3,5 à 10,5 milliards d'euros : eh bien ces 7 milliards de surcout, pour produire 700 milliards de kWh, ça ne fait que 1 centime d'euro par kWh, soit 30 fois moins que ce que le consommateur débourse chaque année à travers la CSPE de sa facture pour payer le surprix de chaque kWh solaire produit dans notre pays ! Où est le problème ?

Et puis, le nucléaire du futur va élargir sa palette de solutions économiques, écologiques et géopolitiques pour les pays qui le choisissent. Plusieurs développements sont déjà en cours :

- Vers des réacteurs modulaires de petite puissance dits SMR (quelques dizaines ou centaines de MW) pour des régions à infrastructures de transport d'électricité modestes ou pour des communautés ou des activités isolées (comme le dessalement d'eau de mer). On peut aussi citer parmi ces petits réacteurs, les centrales flottantes déplaçables à l'envie, ou celles immergées pour en améliorer le refroidissement et/ou la sûreté, dont la technologie existe déjà.
- Vers des réacteurs moins chers : le coût élevé n'est pas une condition obligée de la sûreté, en témoignent les réacteurs des années 1970 du parc français, qui produisent encore une électricité des moins chères et des plus sûres au monde (Fessenheim en fait partie). Des réacteurs plus économiques que l'EPR se préparent comme l'EPR-NM (Nouveau Modèle) et l'ATMEA en France, et d'autres chez nos concurrents.

- Vers une diminution du fardeau financier injustifié qui pèse aujourd'hui sur le nucléaire : en France, le succès du nucléaire en a fait injustement la vache à lait idéale pour financer la lutte contre le réchauffement climatique dont il n'est pas responsable, créant une distorsion de concurrence à son détriment. Chaque kWh nucléaire est taxé (CSPE) pour financer éolien et photovoltaïque. Il faudra bien demain que, d'une part, les ENRi s'autofinancent (comme le nucléaire industriel a su le faire à son époque, sans CSPE ni subvention, entièrement sur des emprunts remboursés par le consommateur), et que, d'autre part, la future taxe carbone bénéficie aussi au nucléaire.
- Vers le (re)déploiement des réacteurs surgénérateurs, dits à « neutrons rapides » ou de « génération 4 », qui peuvent produire plus de matière énergétique fissile qu'ils n'en consomment, faisant du **nucléaire une énergie durable quasi renouvelable** (nos stocks existants d'uranium appauvri ou d'uranium/plutonium de retraitement peuvent déjà subvenir aux besoins de tels réacteurs pendant plus de 1000 ans). Le nucléaire sera alors champion de la future économie circulaire grâce au recyclage de plus de 90% de ses combustibles usés. Ces réacteurs existent déjà dans plusieurs pays. Ils bénéficient de plus de 50 ans d'expérimentation et de R&D. La France qui vient de relancer son programme **Astrid**, a déjà produit hier par cette technologie plusieurs dizaines de milliards de kilowattheures mis sur le marché par Phénix et Superphénix.
- Vers une utilisation du thorium comme combustible nucléaire du futur. Quelques pays y songent, comme l'Inde. Si l'uranium 235 est et restera le seul élément naturel fissile sur notre planète, le thorium, atome radioactif fertile plus abondant, pourrait devenir un combustible complémentaire, si on s'en donne les moyens et que ça apporte un plus.
- Vers les premiers stockages géologiques profonds, qui s'imposent internationalement comme la meilleure solution et la dernière touche d'excellence pour la gestion des déchets nucléaires. Les premiers sites seront suédois, finlandais et français. Plutôt que « stockage » il conviendrait de les appeler « centres de décroissance radioactive », car (c'est un avantage incontesté des déchets nucléaires) la radioactivité décroît naturellement avec le temps. Cette solution définitive, nous la devons bien aux générations futures pour ne pas leur imposer la surveillance en surface de déchets dont nous (et pas eux) avons été depuis 40 ans les heureux bénéficiaires de l'électricité.
- Enfin même si la fission des noyaux lourds dominera encore longtemps le paysage nucléaire civil, la fusion thermonucléaire des noyaux légers a toutes les chances de donner jour à des réacteurs électrogènes avant la fin du siècle, avec d'autres avantages encore que la fission. **Le projet international ITER** que la France a la chance d'héberger doit en parachever la démonstration scientifique et technologique. Fusion et fission ne sont jamais que deux manifestations de l'énergie nucléaire (de liaison des nucléons), omniprésente dans l'univers (avec la gravitation). L'humanité a le choix : la subir ou la mettre à son service.



Conclusion

Pour satisfaire ses besoins énergétiques l'homme ne disposera de rien d'autres que des trois seules forces fondamentales que la nature met à sa disposition : la force électromagnétique (énergies chimiques, combustibles fossiles, biomasse, photovoltaïque, ...), la gravitation (énergies hydraulique, éolienne, inertielle, potentielle ...) et les forces nucléaires (radioactivité, fission, fusion).

La première de ces forces a permis la révolution industrielle du 19^{ème} siècle.

Le pétrole, le charbon, le gaz et la biomasse occupent encore les quatre 1ères places des combustibles primaires les plus utilisées en ce début de 21^{ème} siècle. Cet « âge du feu » source de progrès a malheureusement transformé l'humanité en force géologique capable de modifier la planète Terre et son climat.

L'hydraulique utilise la gravitation. Exploitée depuis 2000 ans, elle sert à la production électrique depuis plus d'un siècle et occupe aujourd'hui la 5^{ème} place des énergies primaires dans le monde.

La 6^{ème} place est occupée par **l'énergie atomique**, la seule qui utilise les forces nucléaires. Bien plus jeune que la biomasse, les barrages, le solaire et les moulins à vent, cette énergie d'avenir ne produit de l'électricité que depuis un demi-siècle, et n'a pas eu besoin du changement climatique pour s'imposer comme moyen moderne de production massive d'énergie.

Comme beaucoup de grandes percées technologiques, désormais « apprivoisées », le nucléaire civil n'échappe pas à la peur naturelle suscitée par ce qui est complexe et nouveau. Il faut dire que cette crainte a été largement alimentée par trois accidents majeurs, provoqués par des défauts techniques de jeunesse, des erreurs humaines et un tsunami. L'histoire nous dira quand elle sera elle aussi apprivoisée, et remplacée par la grande peur suivante.

D'ores et déjà, l'Académie de Médecine, l'Organisation Mondiale de la Santé et l'Académie Américaine des Arts et Science plébiscitent **le nucléaire civil comme une des énergies faisant le moins de victimes et ayant le plus faible impact sanitaire et environnemental**. Il y a longtemps que l'autre grande force de la Nature, la gravitation, ne fait plus peur ; elle fait pourtant bien plus de victimes; les chutes, et pas seulement en montagne ou en avion, ne sont-elles pas responsables de la moitié des accidents mortels « de la vie courante », soit près de 10000 par an rien qu'en France ? Mais le cerveau humain a eu tout le temps d'en banaliser les risques.

Comme le solaire photovoltaïque, le nucléaire du futur possède de larges marges de développement et d'amélioration, pour servir mieux encore les besoins des jeunes générations.

Les lois naturelles immuables font que demain comme aujourd'hui l'énergie nucléaire restera la plus compacte, la plus discrète dans les paysages, la plus neutre pour les ressources et le climat de notre planète. Un simple gramme d'uranium 235 équivaldra toujours à un million de grammes de combustible fossile (et produira donc un million de fois moins de déchets de combustion, à peine un petit gramme de produits de fission par français par an). **Et le nucléaire (ses déchets compris) occupera toujours 50 à 100 fois moins de place que l'hydraulique, l'éolien ou le solaire, fussent-ils du futur.**

A côté de ses défauts, et face à la raréfaction des ressources naturelles, à la démographie, aux surfaces limitées et au réchauffement climatique, l'énergie nucléaire possède bien des atouts pour séduire de nombreux pays en développement, pour satisfaire les rêves et défis énergétiques et environnementaux de la fin de ce siècle, et pour, au côté des autres énergies propres que sont l'hydraulique, la biomasse, la géothermie, l'éolien et le solaire, figurer en très bonne place de la transition énergétique de l'humanité.

[Retour au sommaire](#)

ARSCA
Tour AREVA, Boîte 0706-B2
1 Place Jean Miller, 92084 PARIS LA DEFENSE
Mail bureau@uarga.org Site www.uarga.org

[Retour au sommaire](#)