

COLLOQUE : RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

**COLLOQUE DU 16 JUIN
2018 SALLE LAMARTINE
ASSEMBLÉE NATIONALE**

Urgence climatique

de Jean Poitou p. 1

Priorité au Climat

de Jean-Pierre Perves p. 1

La localisation du gisement solaire

de Jean-Jacques HÉROU p. 2

**Quelles conditions pour une
transition énergétique réussie ?**

de Yves BRÉCHET p. 3

La place de Framatome

de Bernard FONTANA p. 4

**Les effets sanitaires de la production
d'énergie**

de André AURENGO p. 4

Le parc nucléaire Français

de Olivier LAMARRE p. 5

**Enjeu technique du nucléaire
dans le cadre de la PPE**

de Daniel VERWAERDE p. 6

**Nucléaire et renouvelables :
coût de l'éviction et du stockage**

de Jacques PERCEBOIS p. 7

**La question énergétique est une
question éminemment politique**

de Claude NICOLET p. 7

**Comment « décarboner » le secteur
résidentiel et tertiaire**

de Christian LEBRUN p. 8

**À propos des transports routiers
électriques...**

de Frédéric LIVET p. 8

**Des scénarios mondiaux pour limiter
le réchauffement climatique**

de Hervé NIFENECKER p. 9

Réduire à 50 % la part du nucléaire

de Georges SAPY p. 9

**Politique énergétique
de l'Union Européenne**

de Marc DEFFRENNES p. 10

L'expérience allemande

de Pierre AUDIGIER p. 10

Pour nous écrire :

secretariat@sauvonsleclimat.org

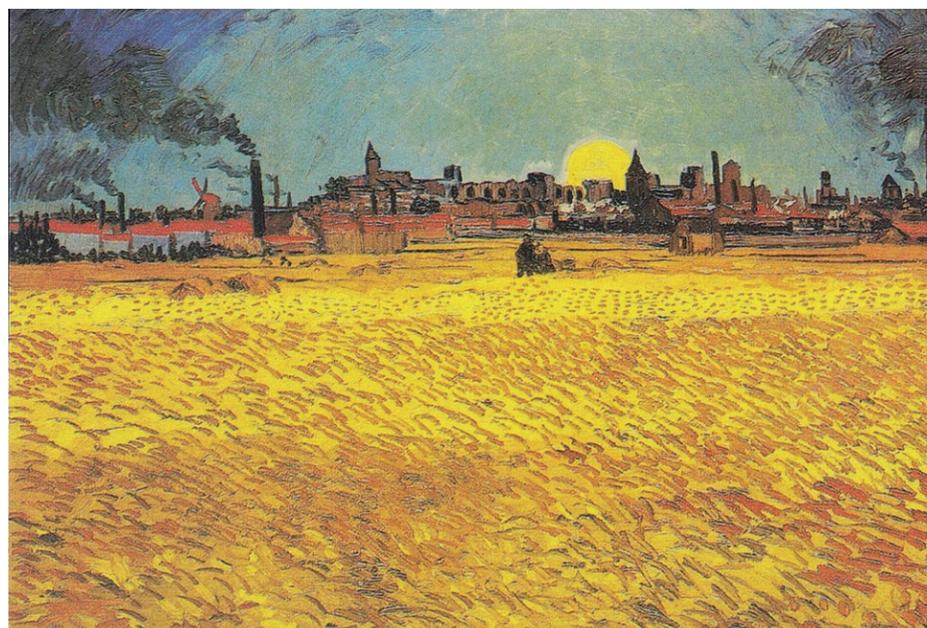
Urgence climatique

SOMMES-NOUS EN TRAIN DE PERDRE LA BATAILLE ?

Le climat est en train de se modifier. Les conclusions du GIEC sont formelles, l'action de l'homme provoque un réchauffement marqué de la basse atmosphère. La circulation océanique, courants de surface, circulation méridienne de retournement atlantique en est également affectée. Ceci a des répercussions sur les diverses facettes du climat (vents, pluviosité, évènements extrêmes). Les impacts de l'altération du climat sont d'ores et déjà très nets sur l'ensemble du globe. Parmi beaucoup d'autres citons la fonte des glaces tant polaires que de montagne, qui, s'ajoutant à la dilatation thermique de l'eau, fait monter le niveau de la mer à un rythme qui s'est déjà accéléré ces dernières années et qui s'accélérera bien davantage dans les décennies à venir.

Le responsable de ce réchauffement, c'est l'effet de serre. L'accumulation dans l'atmosphère, sous l'action de l'homme, de dioxyde de carbone, de méthane, d'ozone, d'oxyde nitreux et de divers gaz industriels, provoque un accroissement de l'effet de serre. La contribution principale à l'accroissement de l'effet de serre provient du dioxyde de carbone, responsable de plus de la moitié du réchauffement. Ce gaz est émis très majoritairement par la combustion de carbone fossile, charbon, pétrole et gaz naturel.

Au niveau international, la COP 15 de Copenhague en 2009 avait fixé à 2°C le



Coucher du soleil sur champs de blé près d'Arles, V van Gogh. Huile sur toile, 73 x 92 cm, juin 1888, Kunstmuseum, Winterthur (Suisse).

réchauffement global à ne pas dépasser. L'accord de Paris conclu en 2015 lors de la COP21 va plus loin, préconisant de limiter à 1,5°C ce réchauffement. 1,5°C, on n'en est plus très loin. Les efforts à accomplir pour limiter le réchauffement à une telle valeur semblent hors de portée.

Qu'en est-il pour limiter le réchauffement à 2°C ? Le GIEC a montré que, du fait du temps de résidence du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (des siècles), le réchauffement vers lequel on tend dépend essentiellement de la quantité totale de CO₂ qui aura été émise. Pour limiter le réchauffement à 2°C, au rythme actuel des émissions, la quantité totale admissible sera atteinte dans 20 ans après quoi, toute émission devra avoir cessé. Ceci montre clairement à quel point il est urgent de réduire nos émissions.

Une autre façon d'appréhender l'urgence nous est indiquée par James Hansen¹. Selon ce qu'il déduit de l'analyse des climats du passé, pour rester dans un domaine de réchauffement sans risque de conséquence dramatique, il faudrait ramener la concentration atmosphérique de CO₂

à 350 ppm (elle était de 280 avant l'ère industrielle, elle était déjà de 403 ppm en 2016). En 2013, il a calculé la quantité de CO₂ qu'il faudrait réussir à extraire de l'atmosphère en supposant une diminution annuelle des émissions de 6%. Si cette diminution avait eu lieu à partir de 2013, il faudrait extraire 100 milliards de tonnes de carbone de l'atmosphère. En réalité les émissions ont continué à croître ce qui fait que si la diminution commence seulement en 2021, ce sont 150 milliards de tonnes de carbone qu'il faudra enlever à l'atmosphère !

Si l'on sait que certains pays ne font que commencer leur décollage industriel on voit mal comment l'objectif des 2 degrés pourra être atteint et, comme l'a constaté le Président Emmanuel Macron lors du sommet One Planet « Nous sommes en train de perdre la bataille ».

■ Jean POITOU
Président du conseil scientifique de
Sauvons le Climat

¹ James Hansen est professeur associé au Département des sciences de la Terre et de l'environnement de l'université Columbia, ancien directeur du GISS à la NASA, et acteur majeur de la création du GIEC.

Priorité au climat !

LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE FRANÇAISE EN ÉCHEC

Après 12 ans de mise en application de la politique de transition énergétique, par le Grenelle de l'environnement puis par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance verte (LTECV), il est temps d'établir un bilan réaliste des progrès obtenus en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Trois rapports très révélateurs :

- La Cour des Comptes (04/2018) critique sévèrement la politique énergétique et climatique (inatteignable, non transparente). Priorité a été donnée aux énergies renouvelables électrogènes, en substitution au nucléaire décarboné, et non à la lutte contre le changement climatique.

- Le Commissariat Général au Développement Durable (avril 2018) note un rebond de 4 % des émissions de CO₂ liées à l'énergie en 2017 et une envolée de la facture énergétique annuelle à 38,6 milliards d'euros (Douanes).

- Le rapport CAP 2022 de juillet 2018, qui a mobilisé des acteurs majeurs de l'économie française, a identifié la transition énergétique comme un des deux secteurs où les aides publiques semblent particulièrement inefficaces

Les objectifs essentiels selon Sauvons le Climat (SLC) :

- L'émission de CO₂ est un phénomène cumulatif : les émissions non évitées aujourd'hui le seront difficilement et chèrement plus tard.

- L'urgence est de réduire les émissions du bâtiment et des transports (63 % du total), en utilisant davantage notre électricité, déjà décarbonée à 93 %.

- Dans les 15 ans à venir nous devons nous fier à des technologies matures et compétitives, sans paris risqués sur des technologies non éprouvées.

- Une prospective 2050, pertinente pour piloter la recherche, est illusoire pour piloter le moyen terme, ce qui disqualifie des scénarios 100 % renouvelables qui sont sans assises solides.

Un constat très décevant sur les récentes années alors que les actions liées à la LTECV et la PPE sont maintenant pleinement engagées (source CGDD) :

- Depuis 2014 les émissions de CO₂ croissent (de 298 à 304 Mt), après des

baisses d'émissions depuis 1990 essentiellement liées à la fin du déploiement du nucléaire, à la désindustrialisation et à la crise des subprimes. Les limiter à 254 Mt en 2023 est hors de portée.

- La consommation des combustibles fossiles a elle-même cru de 113,5 à 120 Mt et est de 18% supérieure à l'objectif 2023. La RT 2012 (réglementation appliquée au bâtiment), favorise l'usage du gaz (+18 % en 4 ans), ce qui est inepte.

- La consommation finale d'énergie n'est que stabilisée autour de 155 Mtep pour un objectif de 136 Mtep en 2023.

Mt de CO ₂	2014	2015	2016	2017	2023
Transports	123,4	124,5	124,2		
Bâtiments	68,1	70,5	72,1		
Total	298,3	303,3	303,9	313,1	254

- La part des EnR électriques n'est que de 18 % en 2017, dont 10,1 % pour l'hydraulique, alors que la LTECV ambitionne 23 % en 2020, ce qui est irréalisable.

- Eolien et solaire n'ont fourni que 6,2 % de l'électricité française mais sont responsables d'une augmentation de 21 % du prix de l'électricité hors inflation de 2010 à 2016

Le Prix de cette politique est considérable :

- Le montant annuel de l'ensemble des dépenses de la politique nationale de l'énergie, s'élèverait à 16,8 milliards € d'après le rapport CAP 22. Ces aides, directes ou sous forme de niches sociales et fiscales, ne font pas l'objet d'une évaluation systématique et perdurent sans que leur efficacité soit avérée. Sur ce total, en 2018, les seuls prélèvements affectés au Compte d'Affectation Spéciale Transition Énergétique (CAS TE) vont s'élever à 8,5 milliards €¹.

- La Cour des Comptes révèle un soutien financier très élevé et déséquilibré. Pour les seules EnR électrogènes, 26 milliards € ont été engloutis de 2008 à 2017.

- 121 milliards de plus sont déjà fléchés sur 25 ans sur les seuls projets déjà engagés (figure ci-dessus par années). Plus

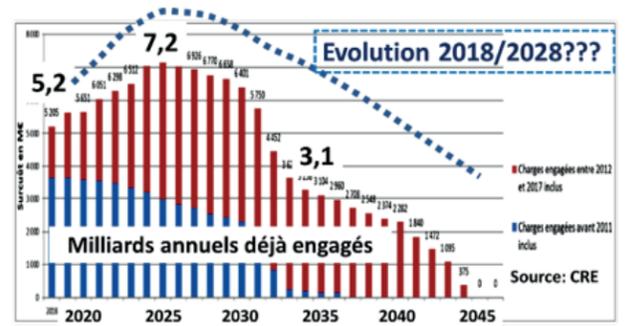
surprenant, le poids des investissements programmés à partir de 2018 est très discrètement oublié (courbe en pointillés donnée à titre démonstratif).

En effet la PPE 2018/2023 prévoit un doublement en 5 ans des capacités renouvelables électrogènes avec pour objectif une sortie du nucléaire cohérente avec les perspectives 100% renouvelables du ministère. Et l'ADEME propose une poursuite au même rythme de 2024 à 2028 !

La Cour des Comptes identifie clairement les faiblesses des choix actuels, contraires à l'objectif prioritaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre du Président de la République, : « 87 % des soutiens publics est consacré aux EnR électriques sans gains notables sur les émissions de CO2, ..., et la stratégie française répond à un autre objectif de politique énergétique, consistant à substituer les énergies renouvelables électrogènes à l'énergie de source nucléaire ».

Un regard sur la transition énergétique Allemande², dont les objectifs sont similaires, montre que depuis 10 ans les émissions de CO2 du pays (910 Mt), comme sa production électrique (310 Mt), sont quasi constantes malgré un investissement déjà réalisé de 400 milliards.

De 2008 à 2017 inclus, 26 milliards auront été prélevés pour le solaire et l'éolien
Un total de 121 milliards de plus est déjà engagé fin 2017 hors investissements postérieurs à 2017



Coût des ENR électriques intermittentes en France (milliards annuels)

Sauvons le climat préconise une politique pragmatique, centrée sur le risque climatique³

Elle doit être fondée sur des critères économiques et sociaux et une comparaison équilibrée des caractéristiques environnementales des solutions mises en application :

- Le soutien aux EnR doit basculer vers les EnR thermiques⁴ en remplacement du gaz et du pétrole (ce que dit la Cour des comptes).

- Les efforts sur les transports et les bâtiments doivent viser à une réduction rapide des recours au gaz et au pétrole et à une rénovation urgente des « passoires énergétiques ». La RT 2012 doit être révisée avec comme critère prioritaire la baisse des émissions de CO2.

- Les centrales nucléaires doivent d'autant plus être maintenues en exploitation que l'arrêt des centrales à charbon est programmé pour 2022. En effet, les productions éoliennes et solaires étant de natures intermittente et aléatoire, la garantie de fourniture d'électricité ne peut reposer que sur les moyens de productions pilotables, essentiellement le

nucléaire et l'hydraulique.

- Contrairement aux orientations actuelles, le pays devrait s'appuyer sur une électrification volontariste dans les transports, les bâtiments et l'industrie, notre production électrique étant exceptionnellement décarbonée.

En conclusion la LTECV et la PPE 2018/2023 doivent être profondément remaniées en amont de l'élaboration de la PPE 2014/2028. La France devrait s'opposer fermement à une politique européenne dominée par l'idéologie antinucléaire allemande.

■ Jean-Pierre PERVES
 Membre du Conseil scientifique de Sauvons le Climat

1. Jusqu'en 2017 la transition énergétique était financée par la Contribution au service public de l'électricité (CSPE), qui pesait sur la seule électricité, pourtant majoritairement décarbonée. Depuis 2017, pour limiter une croissance non justifiable du prix de l'électricité, la CSPE a été plafonnée au niveau 2016, soit 22,5 €/MWh. La croissance continue du soutien à la transition énergétique a été reprise par le Compte d'Affectation Spéciale Transition Énergétique (CAS TE, qui est financé par la CSPE, la TICC et la TICPE

2. Voir « L'expérience allemande » en page 10.

3. Sauvons le Climat SLC, sous la direction de Claude Achet, a étudié en détail un scénario réaliste, radicalement différent de celui de la LTECV, le scénario Negatep. C'est sur cette base qu'elle propose des évolutions essentielles de la politique énergétique française.

4. Notamment la biomasse, les pompes à chaleur, les biocarburants et le biogaz, le solaire thermique, la géothermie.

Si tous les grands pays industriels du monde fournissaient, à partir de 2025, un effort comparable à celui fourni par la France entre 1975 et 2000 pour décarboner sa production d'électricité, le réchauffement climatique serait, avant la fin du siècle, maintenu à une valeur « vivable ».

La localisation du gisement solaire

LE CO₂ SE RIT DES FRONTIÈRES. AFIN D'EN RÉDUIRE LES ÉMISSIONS MONDIALES LE SOLAIRE DOIT ÊTRE AIDÉ ET PRIVILÉGIÉ DANS LES ZONES LES PLUS ENSOLEILLÉES.

La ressource solaire est partout présente mais inégalement répartie. On constate une variation d'un facteur de 1 à 3.5 dans les zones peuplées par l'Homme.

Le premier paramètre est la latitude, c'est-à-dire la distance par rapport à l'équateur. L'irradiation solaire diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche des pôles (ou qu'on s'éloigne de l'équateur).

La nébulosité du site est également une variable. On remarquera en ce sens que

les zones arides à très faibles nébulosités sont les plus soumises aux fortes irradiances solaires (désert d'Atacama au Chili, désert du Sahara en Afrique).

La France est située entre les latitudes +41° et +51°. L'irradiation solaire varie entre 1 000 kWh/m²/an (au nord) et 1 700 kWh/m²/an (sur le pourtour méditerranéen). À ce titre, il apparaît une inégalité entre ces extrémités du territoire : pour un même investissement, la production photovoltaïque est quasiment 2 fois plus élevée dans le sud que dans le nord.

L'énergie solaire est inégalement répartie sur notre planète car l'angle d'incidence du rayonnement solaire n'est pas le même en tout point de celle-ci du fait de sa sphéricité. Cette forme géométrique qu'a la Terre est à l'origine des différents climats : équatorial, continental et polaire. Or plus l'angle d'incidence du rayonnement solaire est faible, plus la surface sur laquelle se répartit l'énergie est grande, moins l'énergie solaire par unité de surface est grande. C'est pourquoi, l'énergie que reçoit l'équateur est cinq fois plus importante que dans les hautes latitudes. Son emploi doit être privilégié dans ces zones proches de l'Équateur afin de réduire les GES au niveau mondial.

Par ailleurs, en termes de densité énergétique, le solaire, comme la majorité des autres énergies renouvelables, est caractérisé par sa faible densité énergétique : par unité de surface, elles fournissent des puissances bien faibles par rapport à l'uranium ou aux hydrocarbures. L'énergie solaire n'est pas compétitive lorsqu'il s'agit de production importante d'énergie, par contre pour des usages décentralisés en zones arides elle est très bien adaptée, comme dans le cas du pompage solaire.

L'énergie solaire à l'étranger, espoir d'un avenir meilleur

L'énergie solaire est un espoir pour l'avenir de la production d'énergie mondiale ; symbole de l'énergie renouvelable par excellence, elle est au cœur des préoccupations et des ouvrages de la nouvelle Alliance Solaire Internationale qui tenait son premier rassemblement en Inde, à New Delhi. Les 50 premiers projets concrets ont été signés à l'occasion de ce sommet du 11 mars 2018, en présence du Premier Ministre indien, du Président de la République Française, et du secrétaire général des Nations unies.

L'Alliance solaire vise à rendre possible le « changement d'échelle » dans le déploiement de l'énergie solaire dans les 121 pays à fort ensoleillement situés entre les tropiques du Cancer et du Capricorne. Ces pays représentent 73 % de la population mondiale.

À budget égal, ne pas éviter l'émission de 150 millions de tonnes de CO₂ par an est aussi coupable que de les émettre soi-même.

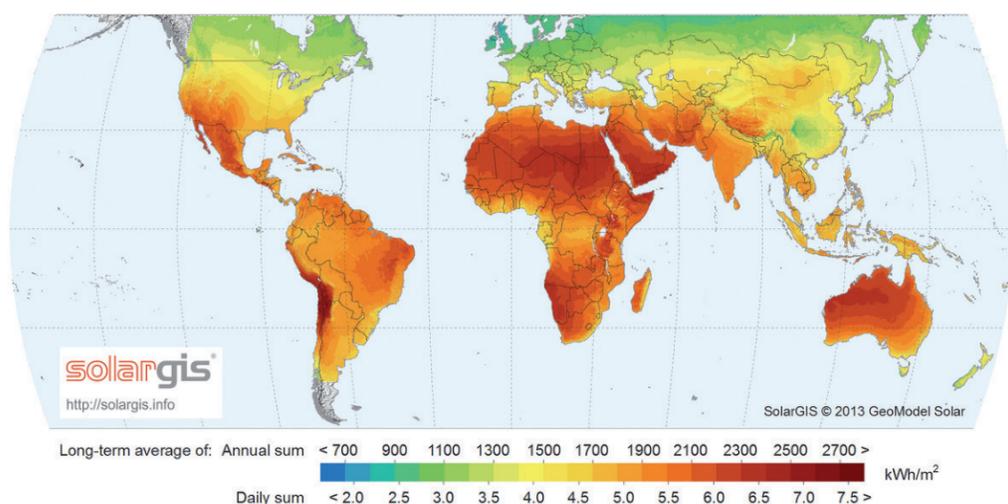
Allons donc plus loin. Financer du photovoltaïque dans les pays en développement, c'est aussi participer au développement de ces pays, donc diminuer une pression migratoire. C'est aussi ouvrir de nouveaux débouchés à une future production française de systèmes photovoltaïques au lieu d'implanter chez nous des équipements faits à l'étranger, donc créer des emplois industriels solides car le monde aura grand besoin de photovoltaïque.

Le CO₂ se rit des frontières ; pour décider de notre politique, voyons donc ensemble le problème du CO₂ et celui du développement énergétique à l'échelle mondiale.

Faisons tomber nos œillères franco-françaises !

■ Jean-Jacques HÉROU : Membre du Conseil Scientifique de Sauvons le Climat

CARTE MONDIALE DE L'IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE (ANNUELLE ET JOURNALIÈRE MOYENNE)



Quelles conditions pour une transition énergétique réussie ?

LES ENJEUX TECHNIQUES DU NUCLÉAIRE DANS LE CADRE DE LA PPE

Les engagements du pays en vue d'une « neutralité carbone », et la politique de diversification du mix énergétique sont une responsabilité au niveau de l'État, même si la nature même du problème (réchauffement climatique) et le contexte économique-industriel nécessitent une réflexion internationale, et en particulier européenne sur la question. Ces objectifs conduisent à envisager une pénétration progressive des énergies renouvelables dans un système électrique historiquement développé pour une production d'électricité centralisée et pilotable, transportée et distribuée par des réseaux extrêmement développés et performants.

Cette pénétration, qui ne peut être que progressive, conduit à poser la question des conditions scientifiques et techniques de coexistence entre l'énergie nucléaire essentiellement pilotable, et les énergies dites renouvelables, pour la plupart essentiellement intermittentes. La prise en compte de cette coexistence, et des recherches permettant de la rendre possible et efficace, est un passage obligé pour la définition d'une trajectoire efficiente entre le mix énergétique actuel et celui vers lequel on veut tendre. Cette prise en compte sera aussi probablement, avec les conditions économiques de financement des investissements nécessaires, l'élément de contrôle de la cinétique de cette transition.

Le taux de pénétration des énergies renouvelables peut être vu soit comme une contrainte (un engagement à tenir un pourcentage donné), soit comme un objectif (viser une pénétration maximale des ENR), soit comme une variable d'action (avoir la proportion d'ENR optimale pour satisfaire un objectif de coût, ou d'indépendance énergétique, ou de minimisation des impacts environnementaux). Décider d'en faire une variable d'action, une contrainte ou un objectif est essentiellement une décision politique. **Si un choix est fait, il doit être assumé pleinement.**

La traduction de cette décision politique en termes de choix techniques, et donc de besoins en termes de recherche est une question scientifique. La traduction de ces choix techniques en termes de secteurs industriels à développer, d'investissements nécessaires, d'opportunités de développements à l'export, est une question de nature économique et industrielle.

La nécessaire flexibilité des systèmes énergétiques

Cette coexistence entre la production d'électricité d'origine nucléaire et le développement croissant des énergies renouvelables pose la question de la flexibilité du système énergétique, dans des configurations ou la variabilité des consommations et des productions modifient considérablement les conditions de stabilité de l'approvisionnement. La nécessaire croissance de flexibilité ne peut se limiter à une déclinaison des moyens de produire l'électricité. Les leviers d'action sont multiples : manœuvrabilité du parc électronucléaire actuellement dominant et plus largement de sources conventionnelles pilotées, pilotage accru des consommations, développement des capacités de stockage et enfin accroissement de capacité des réseaux de

transport et de distribution (augmentation de la performance des installations existantes ou renforcement du maillage).

Le problème posé est par nature systémique : les questions de production de l'énergie, de son transport et de sa distribution, de son stockage et de sa restitution sont inextricablement mêlées de telle sorte que toute tentative de solution de questions « séparées » comme « quelle proportion d'ENR ? », ou « quel vecteur énergétique ? », ou « quelles stratégies de décarbonation des transports routiers ? » est vouée à l'échec. Chacune de ces questions est importante, mais les réponses à donner ne font sens que dans une vision « système ».

La variété des questions posées par le positionnement de l'énergie nucléaire dans le cadre de la PPE nous a conduit, pour cette table ronde, à réunir des compétences qui vont de l'économie (coûts et financements) à la médecine (des risques sanitaires), de la construction des réacteurs et des usines combustibles (comment construire le nouveau nucléaire), à leur exploitation (utilisation, maintenance, renouvellement), et enfin des exigences de la recherche dans le nucléaire nécessaire pour la transition. Nous avons choisi sur ces questions de donner la parole à des gens qui ont une connaissance opérationnelle de la question, parce qu'informer le citoyen et ses représentants nécessite d'interroger aussi ceux qui sont en charge aujourd'hui et seront en charge demain de la réalisation concrète des orientations prises. Et ma formation de scientifique et d'ingénieur me pousse toujours à penser que pour que les choses soient faites, il importe de s'assurer qu'elles sont faisables.

Rester dans l'ordre du discours sans aborder concrètement le « comment » de l'action rappelle le mot féroce de Rivarol « *c'est un immense avantage de n'avoir jamais rien fait, mais il ne faut pas en abuser* ».

Imaginer que l'on puisse rentrer dans l'ordre de l'action sans se poser la question de « qui va faire », de comment attirer et maintenir les compétences nécessaires conduira inmanquablement à de cinglants échecs.

Penser que des modifications aussi profondes non seulement de la production, mais aussi de la consommation, du transport, du stockage de l'électricité, que des questions aussi difficiles que le couplage des vecteurs ou l'électrification des transports, peuvent se traiter en se reposant sur une « intendance qui suivra », expose aux mêmes déconvenues que ceux qui dans notre histoire ont eu les mêmes illusions.



Réfléchir aux besoins en termes scientifiques

Les intervenants de la table ronde vont vous parler très concrètement des enjeux techniques de l'électronucléaire dans ce nouveau contexte. Je voudrais terminer mon introduction par une invitation à réfléchir aux besoins en termes de recherche scientifique. Et d'abord celle de la temporalité de cette recherche.

Par « court moyen terme » nous qualifions les recherches, souvent de nature incrémentale, qui peuvent être menées en parallèle au développement des technologies auxquelles elles se rattachent. Par « moyen-long terme », celles qui sont nécessaires avant même qu'on puisse envisager le développement d'une technologie qu'elles rendraient possible. Nous qualifions d'« atemporel » les recherches de nature fondamentale dont on ne sait ni si elles conduiront à une technologie, ni dans quel délai.

Les technologies en rupture à échéance de 30 ans ne seront possibles que si on lance aujourd'hui les recherches à moyen terme nécessaires

Les trois types de recherche sont nécessaires, les trois nécessitent un pilotage de nature différente, du plus directif et souvent industriel pour la recherche à court terme, au plus libéral orienté par des projets incitatifs pour les programmes de recherche fondamentale.

Les technologies à mettre en œuvre aujourd'hui pour la transition énergétique sont celles qui sont actuellement disponibles et leur optimisation se fera par des recherches à court-moyen terme. Les technologies en rupture à échéance de 30 ans ne seront possibles que si on lance aujourd'hui les recherches à moyen long terme nécessaires. Et les ruptures ne sont par nature pas prévisibles et ne peuvent se produire que grâce à une recherche fondamentale de haute qualité, qui soit avertie des préoccupations générales du problème de l'énergie et s'y

intéresse. Engager le pays, pour ce qui est des besoins énergétiques, dans des choix qui reposeraient sur des ruptures scientifiques hypothétiques et à venir me semble aussi raisonnable de que de sauter d'un avion en espérant tisser le parachute dans la durée de la chute.

Mon propos n'est certainement pas de stériliser l'innovation, mais de la séquencer dans l'action.

Dans la LTECV, et dans les engagements du président de la république, le nucléaire reste une proportion importante de notre électricité : il faut réfléchir à ce qui le rend durable, rentable et sûr. Pour être rentable et sûr, il faut qu'il repose sur une industrie solide qui sait attirer des compétences aussi bien chez les techniciens que chez les ingénieurs, et que le renouvellement des générations permette de capitaliser le retour d'expérience. Dans les engagements du pays, la lutte contre les émissions de CO₂ est présentée comme une priorité : l'honnêteté vis-à-vis du citoyen demande que toutes les mesures proposées, y compris dans leurs conséquences systémiques, soient évaluées à l'aune de ce critère qu'on lui présente comme essentiel.

Savoir attirer des compétences

Réfléchir aux enjeux techniques du nucléaire dans le cadre de la PPE, c'est tout simplement se demander comment on passe de l'ordre du discours à celui de l'action, et comment on peut construire une trajectoire réaliste depuis la situation où nous nous trouvons vers celle où nous voulons nous rendre. La construction d'une trajectoire n'est pas « l'intendance », le « travail laborieux de l'ingénieur tâcheron », c'est tout simplement ce qui nous permettra d'évaluer le réalisme de nos objectifs.

Dans une question aussi cruciale pour notre pays que celle de l'énergie, nous ne pouvons pas faire l'économie de cette réflexion.

■ Yves BRÉCHET

Haut-commissaire auprès du CEA

La place de Framatome

Framatome est un chaudiériste de réacteurs nucléaires de près de 14 000 salariés dans le monde (dans 20 pays). Nos collaborateurs sont des spécialistes des réacteurs et sont au service de l'activité de construction de réacteurs, la fourniture d'instrumentation et de contrôle commande, la fabrication de gros composants, la fourniture de combustibles et de services à la base installée (maintenance aux réacteurs en exploitation) au profit d'EDF et de plus de 250 réacteurs dans le monde.

Ces activités d'Areva ont été restructurées, regroupées dans une nouvelle structure et cédée pour près de 2,5 Milliard d'Euros à EDF (75,5%), Mitsubishi Heavy Industries (19,5%) et Assystem (5%). Aujourd'hui nous réalisons 3,3 Milliard d'Euros de chiffre d'affaire annuel sans dettes. Cette année, notre excédent brut d'exploitation devrait dépasser 400 Million d'Euros et le cash-flow créé devrait excéder 200 Million d'Euros.

Framatome c'est une vision : « des hommes, des femmes et des technologies performants pour des centrales nucléaires sûres et compétitives à travers le monde ». Ce sont aussi des valeurs : la Sécurité/Sûreté qui est notre valeur principale, le Futur, la Performance, l'Intégrité et la Passion.

Le paysage mondial

En Allemagne, les centrales fermeront d'ici 2023. Nous accompagnons cette évolution et dès aujourd'hui 80% des services de la base installée allemande sont au service de l'exportation.

Aux États-Unis, 13 réacteurs ont récemment fermé ou annoncé leur fermeture. Les industriels ferment les centrales lorsque la réglementation ne leur permet pas d'être compétitifs avec le gaz de schiste. Mais progressivement, les États

ajustent leurs réglementations afin de subventionner les centrales dont ils ont besoin. En même temps, les industriels font des efforts pour baisser les coûts. Dans ce contexte, Framatome est intervenu sur 90% des extensions de durée de vie des centrales nord américaines.

Dans le monde, les Anglais, Indiens, Chinois et Russes investissent et la capacité installée augmente, principalement chez nos concurrents russes et chinois.

La place de Framatome

Il y a une place pour Framatome moyennant l'implémentation de nos priorités stratégiques :

Notre métier c'est **la technologie et l'expertise** :

- Notre priorité est d'attirer des talents afin de maintenir nos compétences et les fidéliser en donnant des perspectives.
- Nous conduisons un programme de structuration du savoir afin de devenir une **référence mondiale** dans la gestion du savoir d'ici 10 ans.

Nous sommes un industriel focalisé sur la performance dans l'exécution :

- La priorité est le démarrage des EPRs pour montrer qu'ils fonctionnent. La grande nouvelle est la première divergence de notre réacteur à TAISHAN.



- Le basic design de l'EPR est bon. Les marges du réacteur lui permettent d'être robuste et sûr.
- Il convient de stabiliser la réglementation et la conception lors d'un projet. L'introduction d'un nouveau code après la fabrication (ex. ESPN sur Flamanville) n'est pas une pratique industrielle.
- L'application de l'ingénierie système permet de sécuriser la gestion des exigences le long de la vie du produit.
- La phase de réalisation est compliquée par le manque de confrontation à la réalité de nos conceptions détaillées. Il convient maintenant d'en tirer le retour d'expérience dans les 2 prochaines années.
- On améliore notre compétitivité grâce à l'excellence opérationnelle et à l'augmentation de la charge des sites (priorité à nos sites français).

Les estimations du prix par MWh seront dans ces conditions sans doute proches de 60€/MWh.

- Pour être agile, les coûts de structure diminuent de 450 Million d'Euros à moins de 200 Million d'Euros. Cet effort permet de dégager des marges de manœuvres pour investir dans la technologie et l'outil de production.
- Notre carnet de commande est de 14 Milliard d'Euros et nous mettons en place une « digital factory » pour développer de nouvelles solutions sûres et compétitives.

- Nous souhaitons bénéficier d'un effet d'échelle en nous **développant à l'international** :
 - En Amérique du Nord,
 - En Europe Centrale qui est dépendante de la technologie russe et où Framatome peut se positionner comme une alternative européenne,
 - En plaçant des briques technologiques sur les constructions neuves (ex. Turquie, Finlande ...).

Pour maintenir cet environnement industriel, nous devons idéalement être alimentés par une paire de centrales neuves tous les 5 ans. Le plus important est de donner des signes d'encouragement aux hommes et femmes afin de maintenir notre expertise.

Nous avons en France un outil industriel formidable. C'est dommage de ne pas s'en servir.

Tant que nous n'avons pas les idées claires sur le stockage de l'électricité, outre les énergies renouvelables, il faut prolonger et construire des centrales nucléaires. Autant donc l'organiser dans les meilleures conditions possibles.

■ Bernard FONTANA
Président du comité exécutif
de Framatome

Les effets sanitaires de la production d'énergie

Les effets sanitaires de la production d'énergie sont souvent à la une des médias mais, bizarrement, on en parle peu dans les enceintes professionnelles. L'impact de ces questions sur ce que pensent les citoyens est fortement influencé par des propos de personnes majoritairement opposées au nucléaire.

Je vais essayer de rester factuel et vous montrer que dans bien des cas il vaut mieux retourner aux données de base. Je commencerai par revenir sur l'évaluation des conséquences de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986. Après une irradiation massive pendant un temps bref, comme celle qui a touché un nombre important de « liquidateurs », peuvent survenir des troubles d'autant plus graves que la dose de rayonnement reçue a été plus élevée. On parle de « syndrome aigu de rayonnement » pour les cas les plus graves, survenant pour des doses supérieures à environ 700 mSv (milli sieverts ; le sievert est une unité qui prend en compte la dangerosité des rayonnements et un indice de fragilité des tissus irradiés).

Après une telle irradiation apparaissent d'abord des signes qui évoquent la grippe, puis un temps de latence. Ensuite, dans un délai d'autant plus court que la dose a été forte, on peut se trouver face à trois situations :

Tchernobyl

À Tchernobyl on a compté 137 syndromes aigus des rayonnements au moment de l'accident et 134 hospitalisations avec 28 décès en quelques semaines. Vingt ans plus tard, parmi les 137 syndrome on a eu à déplorer 33 décès supplémentaires dont 11 par cancer. On est très loin des centaines de milliers de victimes annoncées par « les prêcheurs d'apocalypse ».

Un sujet souvent rapporté de manière tendancieuse, voire mensongère, concerne les malformations « radioinduites » résultant d'une irradiation in utero de l'embryon et du fœtus. En effet, une irradiation pendant la grossesse peut entraîner des malformations non héréditaires. Mais ces malformations non héréditaires obéissent à des mécanismes à seuils, c'est-à-dire qu'on ne les voit jamais en dessous d'une dose de l'ordre de 100 millisieverts sur le fœtus, le risque étant maximum le neuvième jour de la grossesse et pendant les neuf semaines qui suivent.

Les malformations héréditaires radioinduites, transmissibles à la descendance, sont évidemment les plus à craindre. Elles ont été mises en évidence chez la souris, la drosophile et d'autres animaux mais elles n'ont jamais été observées dans l'espèce humaine, notamment dans la descendance des personnes exposées à Tchernobyl ou à Hiroshima et Nagasaki. On est donc pas sûr qu'elles existent et si cela était le cas, ces malformations devraient être extrêmement rare.

D'autres effets des rayonnements surviennent, apparemment au hasard, pour des doses qui peuvent être plus faibles, de l'ordre de 50 à 100 millisieverts. Il s'agit de cancers radioinduits, touchant notamment la thyroïde. A Tchernobyl on a compté environ 7000 cancers de la thyroïde. Ils touchent des enfants ayant pratiquement tous moins de 10 ans. Les doses qui ont déclenché ces cancers sont très mal connues, faute de mesures en temps utile. Parmi ces cas de cancer thyroïdien on a eu à déplorer 20 décès. C'est douloureux mais ce ne sont heureusement pas les 100.000 décès parfois annoncés. Ces cancers n'ont pas été constatés chez les adultes. Il n'y a eu ni leucémie ni autres cancers en excès.

Actuellement la recherche et développement dans ces domaines concerne notamment la recherche d'une signature moléculaire sur des cancers radio induit.

En pratique les conséquences les plus graves de Tchernobyl ne sont pas dues aux effets du rayonnement mais à des effets « psycho-sociaux », c'est-à-dire aux désorganisations sanitaires qui en résultent. Ce sont les lourds effets d'une communication nulle qui a réduit à néant la confiance que les citoyens avaient dans leurs autorités. Il y eut 115 000 évacués dont des milliers d'évacuations non justifiées, qui ont eue de graves conséquences psychologiques. Chez les liquidateurs la principale cause de décès est le suicide et on a également constaté une augmentation significative des interruptions volontaires de grossesse.

Fukushima.

La population a été très peu irradiée pour des raisons qui tiennent à la célérité avec laquelle les japonais ont évacué les zones contaminées. Il faut aussi noter que les vents n'ont soufflés vers l'intérieur des terres que pendant 48 heures. Ce sont les intervenants qui sont allés dans la centrale pour essayer de contenir les dégâts qui ont été touchés. Une centaine de personnes ont reçu une dose dépassant le seuil des 100 milli Sievert, dose à partir de laquelle on voit apparaître des cancers radioinduits.

Il y a eu trois décès (une personne emportée par le raz-de-marée, une chute mortelle et un probable accident cardiaque). Les rayonnements ionisants ne sont pas en cause.

Quant aux effets sociaux, on est plus du tout dans le cas d'un pays pauvre comme à Tchernobyl, mais dans la troisième puissance économique du monde. Le contexte

est cependant dramatique : 28.000 morts ou disparus du fait du raz-de-marée, mais la presse ne s'est intéressée qu'aux morts par irradiation ou susceptibles de voir apparaître, dans le futur, un cancer radio induit. Il y a eu 100 000 évacués du fait de l'accident nucléaire, un système de santé désorganisée, 500 kilomètre carré de sols à décontaminer, une communication médiocre - mais bien meilleure qu'à Tchernobyl. Point important, à la suite de cet accident la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a recommandé de ne pas évacuer les personnes pour lesquelles la dose reçue dans l'année ne dépassait pas 20 milli Sievert les dégâts liés aux déplacements massifs des populations risquant d'avoir des conséquences sanitaires plus graves que la radioactivité, comme on l'a vu à Tchernobyl.

En conclusion, résumons quelques points importants.

- **Centrales nucléaires françaises.** Leur impact sur les populations est d'environ de 15 micros sievert par an, des milliers de fois moins que les doses qui pourraient induire des cancers.
- **Faibles doses.** On ne peut pas calculer leur impact avec des coefficients de doses observés pour des fortes doses (notamment après les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki). Les mécanismes biologiques de défense contre les rayonnements ne sont pas les mêmes après forte et faible dose. Une relation linéaire sans seuil n'est pas adaptée.
- **Conséquences sanitaires comparées des modes de production d'énergie.**

Effets de la production d'électricité par source primaire d'énergie (morts/TWh)					
	Morts par accidents		Effets dus à la pollution		
	dans le public	chez les professionnels	morts	maladie grave	maladie non grave
lignite	0,02	0,1	32,6	298	17676
charbon	0,02	0,1	24,5	225	13288
gaz	0,02	0,001	2,8	30	703
petrole	0,03		18,4	161	9551
biomasse			4,63	43	2276
nucléaire	0,003	0,019	0,052	0,22	

	TWh	Morts par TWh	Morts
charbon	779	24,5	19087
gaz	461	2,8	1292
petrole	70	18,4	1285
biomasse	169	4,63	780
Nucléaire	831	0,074	61

Source : Electricity generation and health Anil Markandya, Paul Wilkinson. Lancet 2007; 370: 979-90

Dans ces tableaux, la mortalité du tableau est donnée par TéraWatt heures produits (TWh). L'écart entre le lignite + charbon par rapport au nucléaire est considérable. On estime à plus de 2000 le nombre de morts enregistrés chaque année dans les mines de Chine. Le charbon fait chaque année plus de morts en Ukraine que n'a pu en faire l'accident de Tchernobyl.

- **Hydraulique.** Dans le monde, l'hydraulique repose sur 48 000 grands barrages. C'est 20 % de l'électricité produite avec une densité énergétique (puissance disponible rapportée à la surface au sol occupée) médiocre de 4 watts par mètre carré. C'est pourquoi la surface totale occupée par les barrages est considérable : 75 000 km². Les populations déplacées pour de telles installations ont parfois atteint des chiffres considérables, notamment pour le barrage des Trois Gorges en Chine. Au plan sanitaire on peut voir apparaître des maladies à vecteur comme par exemple le paludisme que l'on a vu apparaître au Laos.
- **Énergies renouvelables permanentes.** La biomasse n'offre qu'une faible densité énergétique, de l'ordre du watt par mètre carré ce qui signifie qu'il faut des territoires vastes pour obtenir des apports significatifs. Il y a aussi le problème de la compétition avec les cultures alimentaires qui ne touche pas les pays très riches, mais qui est très significative pour les pays pauvres.
- **Énergies renouvelables intermittentes.** Leurs problèmes sont la pré-

visibilité, la stabilité des réseaux et le risques de black-out. Si un black-out se prolonge il peut avoir des conséquences sanitaires dramatiques. Des accidents de circulation, des gens bloqués dans les ascenseurs, des malades dont la survie repose sur des dispositifs consommateurs d'électricité... La remise en marche peut être très difficile s'il s'agit de black-out concernant des pays entiers comme la France ou, pire, l'ensemble de l'Union européenne. Il est donc impératif de disposer d'un système de production d'énergie qui permette de remédier au plus vite aux situations les plus graves

Pour ce qui est des éoliennes il faut mentionner le bruit et les atteintes aux sites. Les accidents sont rares mais la densité énergétique est faible.

- **Précarité énergétique.** Le dernier élément à relever en ce qui concerne les faits sanitaires est la précarité énergétique. En France, plus de 3 000 000 de ménages dépensent plus de 10% de leurs revenus pour l'énergie, dans des immeubles mal isolés, mal chauffés, humides. Cela peut entraîner des maladies telles que l'asthme ou aggraver d'autres pathologies pulmonaires. Dans certaines régions on enregistre une surmortalité hivernale liée à la précarité énergétique. En Angleterre elle serait la source de 40 000 décès prématurés.

Le pire pour l'énergie c'est d'en manquer !

■ **André AURENGO** : Membre de l'Académie de Médecine ; Membre de l'Académie des Technologies.

Le parc nucléaire Français

La France compte 58 réacteurs répartis en 19 centrales et un EPR en construction. Le nucléaire fournit près de 80% de la production d'électricité en France.

Le parc nucléaire français et ses 23.000 salariés portent la 3^{ème} filière industrielle française avec 220.000 emplois directs au sein de 2 600 entreprises de toutes tailles et avec des exportations annuelles à hauteur de 6Mds€ de biens et services. Par ailleurs, les retombées économiques des 19 centrales bénéficient aux territoires dans lesquels elles sont ancrées, tant par les emplois directs et indirects créés que par le milliard d'euros de recettes annuelles engrangées par les collectivités.

Afin d'exploiter ses centrales dans la durée, EDF doit assurer une sûreté permanente, rehausser le niveau de sûreté de ses centrales tous les 10 ans sous contrôle de l'ASN, mener un programme de R&D de grande envergure, ou encore maintenir et renouveler les compétences du tissu industriel..

EDF s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique de la France. L'objectif de ramener la part du nucléaire à 50 % dans le mix énergétique relève de la décision et de la responsabilité du politique. Dans ce cadre, EDF a la conviction que poursuivre l'exploitation du parc existant après 40 ans constitue un atout indispensable pour réussir la transition énergétique. En effet, le nucléaire revêt d'importants avantages :

- 1) C'est une source d'énergie décarbonée. Grâce à son mix de production nucléaire, hydraulique et ENR, la France est l'un des pays d'Europe les mieux placés dans la transition énergétique avec la Suède en matière d'émissions de CO₂. Anticiper la fermeture de réacteurs conduirait nécessairement à l'augmentation des émissions de CO₂ en France et en Europe.
- 2) C'est une source d'énergie sûre et transparente : la sûreté est avant tout de la responsabilité de l'exploitant. En plus d'un contrôle interne réalisé au quotidien par une filière de contrôle indépendante au sein de l'exploitant, les installations nucléaires font l'objet de près de 600 inspections annuelles

par l'ASN, d'une obligation de déclarer tout événement au sein d'une installation, d'enquêtes parlementaires (7 rapports depuis 2012), de contrôles de la Cour des Comptes (10 publications depuis 2012), de rapports d'évaluation fréquents de la part des organismes d'Etat, etc.

- 3) La flexibilité du nucléaire facilite l'intégration des EnR dans le système électrique. Le développement massif de l'éolien et du solaire photovoltaïque nécessite un mix de production pilotable comme le nucléaire pour garantir la sécurité d'approvisionnement.
- 4) C'est la solution la plus compétitive à ce jour pour préserver le pouvoir d'achat des consommateurs, notamment dans un pays qui compte 12 millions de personnes vivant sous le seuil de pauvreté et 5,6 millions de ménages exposés à la précarité énergétique. Principalement grâce au nucléaire, les prix de détail de l'électricité en France sont parmi les moins chers d'Europe.

Dans tous nos scénarios, le nucléaire existant reste plus compétitif que tout autre moyen alternatif neuf. Avec un coût restant à engager de l'ordre de 32€ / MWh, la production du parc nucléaire en exploitation est de loin la base la moins coûteuse d'une électricité décarbonée. C'est la raison pour laquelle EDF a lancé le Grand Carénage, vaste programme d'investissements de 45,6Mds€ d'ici 2025.

Ce programme regroupe un ensemble de

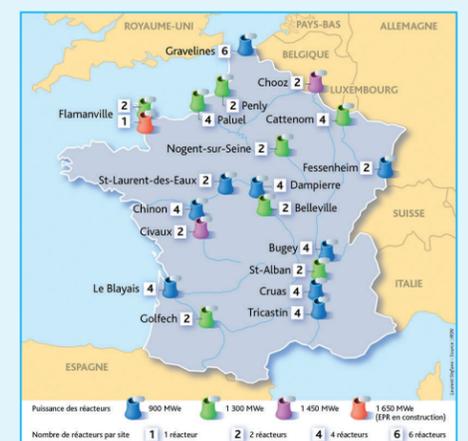
projets qui se déroulent de façon continue dans le temps et qui concernent l'ensemble du parc existant, notamment :

- Les réexamens décennaux, un « permis de produire » des centrales et d'améliorer leur niveau de sûreté pour se rapprocher de celui des réacteurs EPR de 3^{ème} génération.
- Les modifications post-Fukushima ;
- Ou encore les opérations de remplacement ou de rénovations de gros composants.

Et comme les 32€ / MWh intègrent tous les coûts restant à engager, dont ceux du Grand Carénage, ce qui « paye » les dépenses du Grand Carénage, c'est la production supplémentaire qu'il permet et il représente un investissement particulièrement rentable.

Concernant le nouveau nucléaire, la construction des 4 premières unités EPR est entrée dans sa dernière phase. En Chine, le démarrage de la première des deux unités de Taishan est effectif. Cette réussite résulte de l'expérience française de Flamanville dont les difficultés de chantier sont en partie propres à toute réalisation d'une tête de série.

Afin de pérenniser les atouts du nucléaire dans le mix électrique de demain, la filière française s'est restructurée et a renouvelé son aptitude à construire des réacteurs neufs pour faire face à la fermeture de réacteurs. Les perspectives



d'avenir pour la filière française sont prometteuses puisque les capacités nucléaires mondiales devraient doubler d'ici 2030 selon le scénario établi par l'Agence Internationale de l'Energie en conformité avec les engagements de la COP 21.

La perspective de tels projets à l'international assure la continuité industrielle française. Toutefois comme dans toute industrie, on ne peut guère envisager d'entretenir durablement l'attractivité de la filière nucléaire à l'export sans une activité domestique.

En conclusion, EDF a la conviction que le parc nucléaire français est un levier indispensable dans la transition énergétique. Poursuivre l'exploitation des réacteurs au-delà de 40 ans et développer le nouveau nucléaire, c'est permettre la montée progressive des EnR en garantissant dans la durée un approvisionnement en électricité quasi intégralement décarboné et continu grâce à la flexibilité du nucléaire. C'est aussi bénéficier d'une source d'énergie sûre et compétitive.

■ **Olivier LAMARRE**
Directeur Adjoint de la Division Production Nucléaire d'EDF

Enjeu technique du nucléaire dans le cadre de la PPE

Une politique nationale de l'Énergie nécessite de prendre en compte de nombreux critères, dont les principaux sont pour moi :

- L'indépendance et la sécurité d'approvisionnement,
- La maîtrise des prix et les emplois nationaux qu'elle procure
- La nécessité de lutter contre le réchauffement climatique.

Ce sont là les objectifs énoncés dans le titre 1^{er} de la Loi de Transition Énergétique pour une Croissance Verte (la LTECV).

Sans vouloir apporter une réponse « à l'emporte-pièces », il me semble que la réponse à la question que pose notre colloque, ce matin, doit rester cohérente avec la satisfaction des trois critères que je viens de rappeler.

Une autre contrainte que les spécialistes connaissent bien est la longueur des cycles de temps qui caractérise l'énergie, et probablement encore davantage le nucléaire, pour lequel le cycle temporel d'une génération de réacteurs est de l'ordre du siècle. C'est une contrainte « amont » aux trois principales que je viens de rappeler. C'est aussi une contrainte que nous ne devons pas perdre de vue quand nous analysons la PPE et son horizon temporel de deux quinquennats : penser une politique énergétique nécessaire en effet de se projeter à 30 ou 50 ans, bien au-delà de l'univers temporel politique.

Je voudrais aussi souligner une autre singularité de l'énergie et du climat, à savoir leur caractère éminemment planétaire. Ceci veut dire que la préparation d'une politique nationale énergétique ou climatique ne peut se concevoir sans être à l'écoute de ce que pense le reste du monde, spécialement quand on est une puissance de taille moyenne, comme la France. Dans ce domaine éminemment stratégique, la force de notre exemple ne sera pas, de mon point de vue, suffisante pour entraîner le monde entier.

Les objectifs de la LTECV

La LTECV, publiée le 17 août 2015, soutient, dans son article 2, le déploiement de processus sobres en émission de gaz à effets de serre et de polluants atmosphériques. Elle se focalise par conséquent sur la baisse de la consommation d'énergies fossiles, sur la nécessité de faire des économies d'énergie notamment en augmentant l'efficacité énergétique, et troisièmement, elle se focalise sur le développement des énergies renouvelables.

Comme cela est exposé dans le document de présentation de cette LTECV publié sur le site du Ministère de la transition écologique et solidaire, les objectifs de la loi sont les suivants (je cite les 5 premiers) :

- 1) réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40% entre 1990 et 2030 et diviser par 4 ces émissions entre 1990 et 2050.
- 2) réduire la consommation énergétique finale de 50% en 2050 par rapport à 2012.
- 3) réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30% en 2030, toujours par rapport à la référence de 2012.
- 4) porter la part de énergies renouvelables à 23% de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32% en 2030.
- 5) porter (je cite toujours) la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50% à l'horizon 2025.

La LTECV prévoit la mise en place d'outils de pilotage, tant au niveau national qu'au niveau local, notamment une stratégie nationale bas carbone (la SNBC) et une programmation pluriannuelle de l'énergie (la PPE). De fait, le décret du 27 octobre 2016, relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie répond à cette exigence. La loi prévoit encore une sorte de « point d'étape », de révision de cette PPE avant fin 2018. C'est cette PPE révisée qui est actuellement soumise au débat public.

Ceci dit, le texte du débat public parle non pas de la PPE mais des PPE, principalement celle dite continentale bien sûr, qui concerne la France métropolitaine hors la Corse, mais il existe également des PPE pour les ZNI, les zones non interconnectées, la Corse, la Réunion, la Guyane, la Martinique, la Guadeloupe, Wallis et Futuna et St Pierre et Miquelon. Je pense, même si ces PPE pour les ZNI ne semblent pas concernées par le débat public, qu'il serait bon de ne pas les oublier, parce le nucléaire peut être aussi une bonne solution bas carbone pour ces zones non interconnectées, notamment par l'utilisation de « *Small Modular Reactors* », comme les étudient la plupart des pays nucléaires.

Beaucoup de prises de position sur la relation « nucléaire et PPE » ont pu brouiller le message de la LTECV et de la PPE. Si je m'en tiens aux documents officiels publiés, je note, pour ce qui concerne la stratégie pour le nucléaire, que :

- il faut attendre la seconde phase de la PPE pour prendre des décisions sur le nucléaire ; celles-ci seront fonction du niveau de déploiement constaté des Énergies Renouvelables, mais aussi fonction de l'évolution de la demande en électricité.
- il faut aussi prendre en compte les décisions de l'ASN sur la prolongation au-delà de 40 ans de certains réacteurs du pallier 900 MW, décisions attendues fin 2018.
- en tout état de cause, les décisions de fermeture ne devront pas remettre en cause la sécurité d'approvisionnement, ni conduire à une augmentation des émissions de CO₂ du parc de production d'électricité.

Conserver une proportion significative de nucléaire

Ces textes officiels montrent à l'évidence les enjeux du nucléaire, en particulier les enjeux techniques, dans le cadre de la PPE, pour espérer réussir la transition énergétique. À un horizon de 50 ans, il est tout d'abord clair que conserver une proportion significative de nucléaire dans le mix énergétique est indispensable, pour plusieurs raisons :

- L'augmentation de l'usage des nouvelles technologies numériques, conjuguée à une réduction volontariste de la consommation d'énergies fossiles, risquent de se traduire par une augmentation de la demande en électricité.
- Compte tenu de l'intermittence des Énergies renouvelables, à l'exception de l'hydraulique, et de l'absence de certitude de posséder un jour un stockage de l'électricité suffisant et compétitif, le système électrique a besoin d'une énergie pilotable pour équilibrer à tout instant consommation et ressources.
- Si l'on ne veut pas augmenter les émissions de gaz à effet de serre, le recours au gaz, fût-il naturel, est exclus pour apporter cet équilibrage.

Rappelons en effet, pour fixer les idées, que la production d'un kWh d'électricité à l'aide de charbon amène à rejeter 800 grammes de CO₂ dans l'atmosphère. En utilisant le cycle combiné gaz, on peut diviser par 2 ces rejets, soit 400 grammes, mais il faut comparer cette performance à l'état actuel du parc de production d'électricité français qui rejette moins de 70 grammes de CO₂ par kWh produit, sachant que nucléaire et renouvelables en rejettent quasiment 0 ! Ré-augmenter la production d'électricité d'origine gazière serait juste contraire au principe de lutte contre le réchauffement climatique.

L'âge moyen des 58 réacteurs du parc est de 34 ans en 2018, ce qui mécaniquement entraîne que le nombre de réacteurs âgés de moins de 40 ans va diminuer rapidement. Ainsi ne seront-ils plus que 30 en 2025, et il est indispensable d'arrêter avant 2020 une stratégie définissant ceux dont la durée de fonctionnement devra atteindre 50, voire 60 ans, et à quelles conditions. Cette stratégie devra aussi définir les moyens de production qui remplaceront les réacteurs au moment où ils seront mis à l'arrêt définitif. Aussi longtemps que les moyens de stockage n'auront pas bénéficié d'une rupture technologique, et donc que le couple renouvelable stockage

ne sera pas devenu pilotable, la nécessité de garantir l'approvisionnement fera que ces nouveaux moyens de production reposeront sur la technologie nucléaire.

Dans ces conditions, l'un des enjeux du nucléaire dans le cadre de la PPE est d'être capable d'assurer un suivi de charge et, dans une moindre mesure, de stabilisation de la fréquence du réseau, ce qui demande probablement que la technologie des réacteurs et des combustibles nucléaires progresse dans ce sens.

Deux autres enjeux du nucléaire sont son acceptabilité par le public et la sécurité d'approvisionnement en uranium naturel. Pour y répondre, la PPE maintient la politique de traitement et de recyclage du combustible usé. Avec la fermeture à terme des réacteurs de 900 MW, il est nécessaire d'étudier sans tarder la capacité des paliers 1300, 1450 MW et EPR à utiliser du combustible Mox. Il faut en effet rappeler que l'usage de combustible Mox réduit de manière marginale la dépendance nationale vis-à-vis de l'Uranium naturel et confine de manière sûre les déchets radioactifs ultimes de moyenne et haute activité.

Le traitement-recyclage permet de maintenir l'équilibre entre tranches fonctionnant avec du combustible UOx et tranches fonctionnant avec du combustible Mox. Elle permet aussi aux équipes françaises de maintenir leur avance en termes de compétences sur la fermeture du cycle. Elle ouvre la voie à cette dernière, qui pourrait être totalement opérationnelle grâce à un déploiement de réacteurs à neutrons rapides. Outre les avantages du traitement-recyclage qui confine de manière sûre les déchets ultimes de moyenne et haute activité, la fermeture du cycle grâce au multi-recyclage peut assurer l'indépendance électrique à notre pays sur de nombreux siècles du fait des stocks d'uranium appauvri que nous possédons sur notre territoire.

L'importance du e renouvellement des compétences

Le dernier enjeu, et je terminerai par lui, est peut-être le plus important. C'est l'enjeu lié aux compétences et surtout au renouvellement des compétences nucléaires. Qu'on le désire ou non, le nucléaire fera partie de notre mix énergétique pendant encore au moins plusieurs décennies et, pour que sa sûreté soit assurée, il est indispensable que la France possède des compétences au meilleur niveau. Bien plus, le nucléaire constitue le socle de notre indépendance énergétique, et représente notre garantie ultime en cas de nouveau choc énergétique, similaire à ce que la France a connu, grâce au multi-recyclage et aux réacteurs à neutrons rapides pour lequel nous avons le leadership mondial. La PPE doit donc faire en sorte de ne pas détourner nos jeunes ingénieurs et techniciens d'une filière industrielle qui représente près de 250.000 emplois et qui assure notre indépendance, ce qui n'est le cas d'aucune énergie renouvelable intermittente aujourd'hui.

■ Daniel VERWAERDE

Membre de l'Académie des technologies, ancien Administrateur général du CEA

LE SCÉNARIO NEGATEP

Un scénario réaliste et efficace qui repose sur des technologies matures sans remettre fondamentalement en question les modes de vie.

www.sauvonsleclimat.org

Nucléaire et renouvelables : coût de l'éviction et du stockage

Le mix électrique français est très largement « décarboné », ce qui est un atout dans un contexte de lutte contre le réchauffement climatique. C'est largement le produit de l'Histoire et des diverses transitions impulsées par les pouvoirs publics depuis des décennies. À la sortie de la Seconde Guerre mondiale on a fait appel aux centrales à charbon et aux centrales hydrauliques. C'est l'époque de la construction des grands barrages, dans les Alpes en particulier. Au moment de la régression du charbon (les années 1960) on a massivement investi dans des centrales fonctionnant au fioul, le pétrole étant alors abondant et à bas prix sur le marché international. Lors des chocs pétroliers (1974 et 1979) on s'est tourné à grand pas vers le nucléaire au nom de l'indépendance énergétique et pas du tout pour des raisons environnementales. En 1974 le nucléaire ne représentait que 8% de la production d'électricité et il couvre aujourd'hui de l'ordre de 75% de cette production (72% en 2016). Comme l'hydraulique permet de satisfaire 12% environ des besoins d'électricité et que les autres renouvelables (éolien et photovoltaïque) fournissent 6% de cette production, l'électricité produite en France est à 93% « décarbonée ». Le thermique classique (gaz, charbon et fioul) ne représente que 7% de l'électricité produite. En France toute réduction de la part du nucléaire qui ne serait pas compensée par un développement des renouvelables conduirait à un accroissement de la production thermique classique (au gaz en général) donc à plus d'émissions de CO₂, comme ce fut d'ailleurs le cas fin 2016 avec l'arrêt de plusieurs réacteurs nucléaires suite à une demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN).

La promotion des énergies renouvelables du type solaire et éolien peut se

justifier car elles sont décarbonées mais à condition que ces énergies se substituent à des énergies carbonées et non au nucléaire qui est décarboné. Cette promotion se fait malheureusement via des tarifs d'achat exagérément rémunérateurs, comme le rappelle un rapport récent de la Cour des Comptes (avril 2018), qui montre que les engagements déjà pris du fait des « feed-in tariffs » en vigueur va conduire à un surcoût cumulé de 121 milliards d'euros pour le consommateur d'électricité (jusqu'en 2044, avec un pic vers 2022). C'est de l'ordre de 5 à 6 milliards d'euros par an de surcoût dans les prochaines années, certes sensiblement moins qu'en Allemagne (25 milliards d'euros en 2017). Le système coûteux mis en place engendre de plus deux effets pervers qui ne doivent pas être sous-estimés : cela exerce un « effet d'éviction » sur le parc nucléaire et cela risque de coûter cher en stockage dès lors que la part des EnR dans le mix électrique va dépasser un certain seuil. Ces deux effets peuvent être mis en évidence à travers deux études économétriques que nous avons menées.

1. Effet d'éviction

Une première étude menée par Jacques Percebois et Stanislas Pommeret sur des données horaires françaises de 2015 (parue dans the Energy Policy en mai 2018) montre que l'injection à « prix d'offre » nul d'électricité solaire et éolienne rémunérée hors marché a fait chuter les prix sur le marché de gros, ce qui s'est traduit, ceteris paribus, par un manque à gagner de 3,913 milliards d'euros pour les producteurs d'électricité conventionnelle (nucléaire et thermique gaz ou charbon) ; à cet « effet revenu » négatif s'ajoute 1,020 milliard d'euros de manque à gagner du fait d'un « effet de substitution » (les EnR se substituant à de l'électricité conven-



tionnelle). Certes une partie des gains des EnR profite aussi aux producteurs d'électricité conventionnelle qui produisent du renouvelable. Comme les prix sur le spot ne sont plus assez rémunérateurs, il a fallu mettre en place en 2017 un « marché de capacité » qui permet de financer les coûts fixes des centrales, le marché « energy only » n'étant plus à la hauteur. Les consommateurs finals sont les perdants puisqu'ils ne profitent pas beaucoup de la baisse du prix spot en raison des taxes destinées à financer les renouvelables (la CSPE correspondante s'est élevée à 3,559 milliards d'euros en 2015). C'est le nucléaire qui a été victime de cette éviction au niveau du « merit order ». Ce que certains nomment « flexibilité » n'est en fait rien d'autre qu'une éviction...

2. Coût à venir du stockage

Une seconde étude, menée par les mêmes auteurs et en voie de publication, montre qu'au-delà d'un certain seuil de pénétration du renouvelable intermittent dans le mix électrique français (de l'ordre de 30%), et en l'absence d'échanges accrus d'exportation vers les pays limitrophes, le coût du stockage et déstockage de cette électricité sous forme de « power-to-gas » et « gas-to-power » risque d'être élevé avec les rendements actuels de cette

technologie. Si l'on suppose que la part du nucléaire est plafonnée à 50% de la production d'électricité sur la base des chiffres de 2015 et que ce sont les renouvelables (un mix variable solaire et éolien) qui compensent cette réduction, le surcoût du stockage (et déstockage) peut varier selon les scénarii retenus (27 scénarii dans l'étude) entre 6,3 et 31,6 milliards d'euros par an, ceci même dans l'hypothèse où le coût « sortie centrale » des EnR serait inférieur au coût du nucléaire. Il est donc impératif d'améliorer les rendements de ce stockage sous forme d'hydrogène ou de méthane ou, à défaut, de ne pas remplacer trop vite du nucléaire par des renouvelables intermittentes. La seconde solution est la plus logique, d'autant que le coût de production du nucléaire en activité demeure aujourd'hui largement compétitif. Toute fermeture anticipée de centrales nucléaires reviendrait donc à détruire de la valeur.

Il manque aujourd'hui une vision cohérente des choix publics à long terme dans le secteur de l'électricité. Espérons que les débats autour de la PPE permettront d'y voir plus clair.

■ Jacques PERCEBOIS
Professeur Emérite à l'Université de Montpellier (CREDEN)

La question énergétique est une question éminemment politique

Changement climatique, indépendance énergétique, choix politiques, avenir du pays tant au niveau économique, social et industriel, que la place de la science dans notre société et au sein de la Nation. Voilà les grandes questions que le pays doit se poser et auxquelles il doit répondre.

Ce débat, souffre bien souvent de trop d'approximations, d'informations incomplètes, erronées voire biaisées. Trop souvent, alors que nous sommes face à des décisions de la plus haute importance, la démagogie et des enjeux uniquement politiques viennent parasiter une réflexion qui nécessite calme, détermination et confiance dans l'avenir.

Le nucléaire civil est ainsi l'objet d'enjeux qui échappent trop souvent à la politique et à l'intérêt général pour se perdre dans le champ d'une morale bon marché, le « bien » d'un côté contre le « mal ».

Dans de telles conditions, il devient très compliqué d'aborder sereinement des questionnements qui sont d'une importance essentielle pour notre avenir col-

lectif. Alors que tous les scénarii du GIEC place l'énergie nucléaire comme indispensable à la lutte contre le réchauffement climatique, que la construction de réacteurs repart à la hausse dans le monde, que la France est en tête quant à son savoir-faire industriel, technologique et scientifique ; nous voilà confrontés depuis des années à un discours qui remet en cause la place de la science dans notre société et considère bien souvent nos scientifiques comme des apprentis-sorciers plutôt que comme des hommes et des femmes de progrès. Pasteur, Pierre et Marie Curie, pour ne citer qu'eux, auraient-ils encore leurs places parmi-nous aujourd'hui ?

Si je comprends les difficultés, voire les angoisses que peuvent provoquer l'ampleur des progrès scientifiques, notamment au niveau éthique dans un certain nombre de domaines, nous devons néanmoins rester confiants dans notre capacité à interroger la nature de ce progrès et de ce qu'il représente pour l'Humanité.

Jamais dans notre histoire nous n'avons probablement été confrontés à de tels défis. Neuf milliards d'êtres humains sur

la Terre d'ici trente à quarante ans, nous devons nous nourrir, nous vêtir, travailler, avoir de l'énergie... Nos civilisations s'en trouveront transformées et il faut nous préparer à ces chocs qui ne manqueront pas de survenir. Nous ne parlons pas d'avenir lointain à plusieurs siècles, mais d'une temporalité que nous pouvons déjà toucher du doigt et qui concernera directement nos enfants et petits-enfants.

Des mesures sont à prendre rapidement. Nombreuses sont celles et ceux qui nous mettent en garde face à l'effondrement de la biodiversité ou qui nous décrivent la sixième extinction de masse des espèces vivantes.

Ces défis, c'est à nous qu'il revient de les relever. Nous savons que la lutte contre le réchauffement climatique est une priorité. Mais il faut dire les choses clairement, est-ce compatible avec nos modèles démocratiques occidentaux et nos libertés individuelles ? Peut-on continuer à promouvoir la totale liberté de circulation des biens, des marchandises et des Hommes dans ce cadre ? C'est une vraie question politique et philosophique. Peut-on continuer sur

le chemin de la consommation, comme modèle de société, sans en mesurer les conséquences ?

Il y a des courants de pensée qui prônent la limitation drastique des naissances pour diminuer la population mondiale dans les décennies à venir. Mais qui en décidera ? Sur quels critères ? La question migratoire est déjà brûlante d'actualité et nous interroge au quotidien dans notre conscience d'Homme. Elle n'ira qu'en s'accroissant.

L'énergie sera au cœur de ces interrogations encore plus qu'elle ne l'est aujourd'hui. Il faut donc l'aborder avec la hauteur de vue nécessaire afin de ne pas céder à la facilité qui est toujours la première marche de l'abandon pour se terminer en renoncement. La question énergétique est une question éminemment politique.

■ Claude NICOLET
Attaché parlementaire de Christian HUTIN, Député du Nord, Membre de la commission des Affaires étrangères

Décarboner l'habitat



En France plus de la moitié des bâtiments sont antérieurs à 1975. Les émissions du secteur ont cru de 4,5 % en 2015 (25,4 % des émissions de CO₂). Globalement 56 % du chauffage du secteur résidentiel repose encore sur le fuel (13 %) et le gaz (43 %).

La réduction des émissions de gaz à effet de serre devra se faire en diminuant la consommation énergétique des bâtis et en adoptant les sources d'énergies les moins productrices de GES.

Comme les actions à réaliser sont souvent onéreuses, elles doivent être réalistes et prendre en compte leur efficacité en termes de coût d'émission de gaz à effet de serre évité sur les constructions neuves et plus encore sur les rénovations. Les postes à travailler sont l'isolation et l'étanchéité à l'air, la ventilation contrôlée et la bonne utilisation des sources de chaleur. Pour éviter les déceptions trop nombreuses actuellement il faut améliorer

la qualité des réalisations, ce qui veut dire choix adaptés des interventions, coordination et organisation des travaux, formation des intervenants, recherche de meilleurs produits et procédés et surtout imposer à la fin des chantiers des contrôles et mesures qui garantissent les résultats.

Les fossiles fournissent encore plus de 48% de l'énergie utilisée dans le bâtiment, essentiellement pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS). Diminuer cette utilisation est une priorité absolue, ce qui veut dire ne plus privilégier le gaz dans la future RT, établir le diagnostic de performance énergétique en termes d'énergie finale et de réformer la réglementation sur les certificats d'économie d'énergie et la cogénération gaz. Les énergies à privilégier pour le chauffage et l'ECS devraient notamment faire l'objet de réglementations et soutiens différenciés selon la localisation du bâti.

Les énergies à privilégier dans le bâtiment devraient être l'énergie solaire thermique, les réseaux de chaleur dans les zones urbaines et les systèmes à base de pompes à chaleur. Pour le solaire thermique, il faut retravailler l'ensemble de la filière et de ses encouragements car tous les bâtiments peuvent en profiter. Dans les zones urbaines, les réseaux de chauffage qui permettent d'utiliser les déchets non valorisables, les chaleurs fatales et la biomasse dans de bonnes conditions environnementales, sont à privilégier. Des classements par zones pourraient être envisagés pour éviter la multiplication de petits foyers souvent plus polluants. Les pompes à chaleur, s'appuyant dès que c'est possible, sur la géothermie devraient être favorisées. En aucun cas, les combustibles fossiles, y compris le gaz, ne doivent faire l'objet d'encouragements.

En résumé Sauvons le climat suggère¹ :

- De modifier la RT 2012 afin de supprimer l'usage des énergies fossiles dans le bâti neuf. La seule contrainte doit être de limiter les émissions de CO₂ par m², et les performances énergétiques doivent être mesurées sur la base de la consommation énergétique finale, seule pertinente.
- D'introduire dans la RT2012 que l'obligation de construire des bâtiments à énergie positive ainsi que les objectifs

calendaires de ce déploiement, soient au préalable accompagnés d'une évaluation de leurs conséquences en termes d'émissions de GES (bilan global), de coût pour la collectivité et d'impact social.

- De privilégier dans le bâti existant la rénovation des bâtiments économes avec chauffage au fuel puis au gaz, et en mettant en œuvre au départ les programmes d'isolation thermique les plus efficaces, sans objectifs irréalistes et en fonction des performances en énergie finale.
- De considérer comme programme national vital la professionnalisation du secteur de la rénovation, et le développement de technologies innovantes pour l'isolation dans le bâti existant et une gestion « intelligente » de l'énergie : c'est une urgence compte tenu du niveau actuel de l'industrie de la rénovation.

■ Christian LEBRUN

Directeur de recherches au CNRS

1. Cf. synthèses des orientations de Sauvons le Climat

À propos des transports routiers électriques...

Les transports sont responsables en France de 135 Mt d'émissions de CO₂, soit 42 % de nos émissions (316 Mt en 2016). À ce chiffre il conviendrait de rajouter l'essentiel des émissions des raffineries (26 Mt).

De grands progrès permettent maintenant d'envisager l'électrification des transports routiers notamment grâce :

- Aux batteries au lithium, avec une sécurité et une capacité de stockage sans cesse améliorées, et des coûts de fabrication décroissants (actuellement 180 €/kWh, et d'ici 5 ans moins de 100 € sachant qu'il faut 40 kWh pour une voiture de type Zoë).
- À l'amélioration de la technique des moteurs électriques qui permet d'obtenir des rendements de plus de 90% et des moteurs de plus en plus légers.
- Aux progrès de l'informatique qui permettent un contrôle très fin de la conduite et de la gestion de l'énergie.

C'est donc une véritable révolution du transport routier se prépare. Des investissements gigantesques sont en cours. On estime par exemple que la production de batteries va passer de 103 GWh en 2017 à quelques 300 GWh en 2022 (Bloomberg). Une entreprise comme la «gigafactory» de Tesla produira 35 GWh par an de batteries soit de quoi équiper plus d'un demi-million de voitures. On estime que dans 5 ans, près de 10 % des quelque 100 millions de voitures produites annuellement seront électriques

et il semble probable que les poids lourds, bus et camions, ne resteront pas en dehors de cette évolution.

Les impacts

L'impact de cette évolution sur les émissions de CO₂ peut, dans le cas de la France, correspondre à une baisse des émissions de CO₂ de l'ordre de 80 %.

Que représente une telle évolution en termes de production d'électricité ? Si on prend l'hypothèse de 31 millions de véhicules électriques, que ceux-ci font 14.000 km par an et qu'on admet qu'il faille produire 18 kWh pour faire 100 km (au niveau d'une centrale électrique pour obtenir 15 kWh d'énergie mécanique), cela fait à peu près 80 TWh/an d'électricité, soit la production de 8 réacteurs nucléaires. L'essentiel des recharges se faisant la nuit ces recharges n'impacteront que très progressivement le réseau.

Le recours à l'hydrogène

Le recours à l'hydrogène ne semble pas être une solution. En effet, si l'hydrogène est obtenu par électrolyse (rendement 60 %), est ensuite comprimé, transporté et finalement utilisé pour alimenter une pile à combustible qui produira l'électricité qui fera fonctionner le moteur électrique, les calculs montrent qu'il faudra finalement pour 100 km produire 80 kWh d'électricité pour fournir 15 kWh d'énergie mécanique. Le calcul ci-dessus montre qu'il faudra alors produire 350 TWh d'électricité, ce qui est proche notre production nucléaire actuelle (384 TWh en 2016)...

Un choix étrange

En France, l'éolien ou le photovoltaïque se substituent à un mix énergétique très décarboné. De ce fait ils évitent peu d'émissions et le coût de la tonne de carbone qu'ils évitent se situe entre 250 et 500 Euros.

Une pompe à chaleur permet d'obtenir le même résultat pour un coût de 80 Euros, un résultat qui pour une large part, pourra être comptabilisée comme une énergie renouvelable.

Avec les 120 milliards engagés dans l'éolien et le photovoltaïque près du tiers des foyers français pourraient être équipés de pompes à chaleur et la France devenir un « très bon élève » selon les critères européens.

Comment justifier un tel choix ?

La situation Française

L'évolution des transports en France peut être extrêmement rapide. La RATP a commandé 1000 bus électriques pour fin 2020, et elle prévoit pour les recharger la nuit d'équiper 17 centres d'une puissance de 10 MW. Par ailleurs on assiste à la mise en place, sans doute un peu lente, d'un réseau de recharges rapides (43 kW) et ultrarapide (150 kW pour les réseaux Tesla ou Via Flex-E) ce qui va permettre de pallier la relative lenteur de la recharge.

Industriellement le principal problème en France est la faiblesse des investissements réalisés dans le domaine des composants de batteries qui reste entre les mains de fournisseurs asiatiques.

Alors que nous avons l'électricité la plus décarbonée des grands pays industriels il est regrettable de constater que nous risquons fort de rester à l'écart de la production d'un composant essentiel de la chaîne de mobilité verte. Plutôt que d'investir des dizaines de milliards d'euros dans les ENR électriques qui, dans notre pays, ne servent qu'à remplacer le nucléaire ne serait-il pas plus avisé d'allouer ces capitaux à la mise en place d'une chaîne de fabrication de batteries ?

■ Frédéric LIVET membre

du Conseil Scientifique de Sauvons le Climat

RECHARGE RAPIDE ?



Des scénarios mondiaux pour limiter le réchauffement climatique

UNE ANALYSE D'UN RAPPORT DU GIEC ET DES PROPOSITIONS EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ

Le GIEC produit régulièrement un rapport sur l'évolution du climat, ses conséquences et les politiques possibles pour en limiter les conséquences indésirables. Pour ce faire il est doté d'une structure regroupant, essentiellement, trois groupes d'auteurs¹, chacun chargé de la rédaction d'une partie du rapport : Le dernier rapport complet du GIEC, le rapport AR5, a été publié en 2014 et a servi de référence lors de la COP21. Les recommandations du Groupe 3 ont un caractère politique.

Ses recommandations reposent en effet sur des scénarios susceptibles d'inspirer les politiques des états pour limiter la hausse de la température moyenne de surface de la terre (GMST). Les scénarios dépendent des présupposés idéologiques de leurs auteurs, par exemple de la part relative des différentes techniques de production d'électricité sans émission de dioxyde de carbone : énergies renouvelables, énergie nucléaire, captage stockage du CO₂ résultant de la combustion des combustibles fossiles.

L'Allemagne avec sa décision de sortir du nucléaire par un recours massif aux énergies renouvelables et le maintien du charbon, la France avec le maintien d'un fort nucléaire, un développement raisonnable des énergies renouvelables et la suppression du charbon représentent deux trajectoires assez radicalement différentes. On pourrait donc attendre du Groupe 3 du GIEC qu'il présente de façon équilibrée ces deux options. Ce n'est pas le cas.

Les « scénarios » officiels du GIEC donnent une importance majeure au maintien de la production d'électricité par des centrales utilisant des combustibles fossiles (charbon ou gaz) associée à un captage stockage du gaz carbonique (CSC) produit par la combustion. Ces

scénarios prévoient un stockage compris entre 15 et 50 Mds de tonnes de CO₂ en 2100, entre 50 et 15 mille fois plus que ce que l'on sait faire. Au contraire ces scénarios limitent fortement l'appel au nucléaire quand ils ne le suppriment pas totalement.

Cette surprenante situation peut s'expliquer si l'on regarde les nationalités des auteurs et éditeurs du rapport du Gr3 (Ar5) :

- Aucun français parmi les co-présidents et vice-présidents
- Pour les 16 chapitres, 8 auteurs français, 73 allemands
- En ce qui concerne les auteurs principaux (*lead authors*) : 5 français, 27 allemands, 14 anglais, 9 italiens
- Auteurs du chapitre 6 (transformation pathways (scenarios)) : 1 français, 8 allemands
- Auteurs du chapitre 7 systèmes énergétiques : 0 français, 8 allemands
- Auteurs du résumé pour décideurs : 2 français (appartenant l'un à l'OCDE, l'autre à l'Université de Princeton), 16 allemands.

La faiblesse de la représentation française est d'autant plus choquante que la France est, sans contexte, le pays ayant la plus grande expérience dans le domaine nucléaire avec d'excellents résultats sur le plan des émissions de CO₂. On ne peut que s'étonner du manque d'intérêt du gouvernement français de l'époque pour un rouage essentiel du GIEC.

En réaction aux orientations clairement partiales du rapport du Groupe 3 un groupe international GISOC (*Global Initiative for Saving Our Climate*) a été créé pour vérifier si le développement de la production nucléaire ne pourrait pas diminuer significativement le recours à la CSC, jugée déraisonnable. Le groupe a publié deux articles dans la revue à comité de



lecture « *International Journal of Global Energy issues (IJGE)* »² et essaie d'obtenir que ses travaux soient pris en compte dans le prochain rapport du GIEC (AR6).

Les scénarios de GISOC supposent une multiplication de la puissance éolienne mondiale par 80, de la puissance solaire par 300, et de la puissance nucléaire par 50, le recours aux combustibles fossiles disparaissant en 2060. Dans ces conditions la hausse de la température moyenne de l'atmosphère serait limitée à 2 °C, éventuellement à 1,5 °C si la technique de capture du CO₂ dans l'atmosphère par la biomasse progresse suffisamment.

Une augmentation de la puissance nucléaire d'un facteur 50 suppose l'utilisation généralisée de réacteurs surgénérateurs (de type Super-Phénix) en 2100. La cadence de construction de réacteurs proposée est de 100 GWe/an entre 2020 et 2040 et de 300/an en 2100.

Ces chiffres peuvent paraître irréalistes. Et pourtant... L'exemple français montre qu'ils n'ont rien d'impossible. Il s'agirait, à partir de 2025 de généraliser à l'ensemble des grands pays industriels l'effort entrepris par notre pays entre les années 1975 et 2000 pour limiter le réchauffement climatique à une valeur « vivable » ...

■ Hervé NIFENECKER
Président d'honneur, Fondateur du collectif
Sauvons le Climat

1. Les Rapports d'Evaluation (Assessment Report) du GIEC sont rédigés par 4 « groupes » : le Groupe 1 pour les aspects scientifiques ; le Groupe 2 pour les impacts du changement climatique et l'adaptation ; le Groupe 3 pour l'atténuation du changement climatique. Ce dernier groupe est politiquement le plus important puisque c'est celui qui est chargé d'émettre des recommandations pratiques ; le Groupe 4 rédige la synthèse du rapport

2. "How much can nuclear energy do about Global Warming ?" Int. J. Global Energy Issues, Vol. 40, Nos. 1/2, 2017 et "Nuclear energy and bio energy carbon capture and storage, keys for obtaining 1.5°C mean surface temperature limit" Int. J. Global Energy Issues, Vol. 40, Nos. 3/4, 2017

Réduire à 50 % la part du nucléaire

VRAIE OU FAUSSE BONNE IDÉE ?

Une telle réduction aurait des conséquences : sur la sécurité d'alimentation en électricité du pays qu'il deviendrait difficile d'assurer sans accroître les émissions de CO₂, l'immobilisation de capitaux qui seraient nécessaires et plus utiles pour décarboner habitat et transports, les prix de l'électricité, la balance commerciale, etc.

Par quoi remplacer le tiers de la capacité nucléaire actuelle (63 GW) sans accroître les émissions de CO₂, les énergies renouvelables souffrant de multiples limites ? Telle est la question que l'on doit se poser.

Les sources d'énergie électriques renouvelables adaptables à la demande, hydraulique et biomasse, sont limitées par la saturation des sites hydrauliques existants et la pluviométrie annuelle et, pour la biomasse, par son renouvellement annuel et les usages concurrents : chaleur, biocarburants.

Seules les énergies éoliennes et photovoltaïques (PV) ont le potentiel de développement requis. Mais elles souffrent d'un

handicap majeur : elles ne produisent pas en fonction de la demande mais quand il y a du vent et/ou du soleil ! De plus, elles fonctionnent très peu en temps équivalent à leur pleine puissance : 2 000 heures/an pour l'éolien terrestre, 1 100 pour le PV, à comparer aux 7 000 du nucléaire. Pour remplacer 21 GW de nucléaire, il faut donc construire 84 GW d'un mix 60 % éolien / 40 % PV dont la puissance garantie ne sera que de... 0,5 GW lors des nuits glaciales d'hiver contre 19,5 GW pour les 21 GW de nucléaire remplacé. Cet écart est beaucoup trop important pour être comblé par des importations ou des effacements et devra être compensé par au moins 15 GW de moyens de pointe fonctionnant au gaz, émetteurs de CO₂...

Bon à savoir

En raison de son fonctionnement intermittent un ensemble de fermes éoliennes de même puissance qu'une centrale nucléaire fournira entre 4 et 5 fois moins d'énergie que cette centrale.

Qu'en est-il du risque systémique de devoir arrêter une partie du parc nucléaire ? Il peut être quantifié par l'arrêt de tous les réacteurs d'un site (soit moins de 5,5 GW pour le plus important). L'Autorité de sûreté nucléaire l'estime de son côté à « une dizaine de réacteurs » soit 11 GW. Ces pertes de capacité sont toutes deux compensables par les importations et effacements... à condition de conserver 63 GW de nucléaire ! Elles ne le sont plus avec 21 GW en moins, des moyens d'appoint au gaz devenant alors indispensables.

Résumons : réduire à 50 % la part du nucléaire en conservant la même sécurité d'alimentation implique de construire 84 GW de moyens éoliens et

PV sécurisés par 15 GW de moyens au gaz, qui augmenteront les émissions de CO₂ et coûteront... 100 Mds € en investissements (largement importés !).

On est loin du conseil avisé de Benjamin Disraeli : « Réformer ce qu'il faut, conserver ce qui vaut ».

■ Georges SAPY :
Administrateur du collectif
Sauvons le Climat

ALLOCUTION DU Président

La prochaine Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (ou PPE) est en plein débat.

Pour « *Sauvons le Climat* », il est très clair que la priorité absolue de cette PPE doit être la protection du climat, par la diminution drastique des émissions de gaz à effet de serre, et en premier lieu du CO₂. Comment pousser chaque acteur, chaque entreprise, chaque collectivité à faire les bons choix ? En intégrant dans les prix le coût des impacts climatiques – par exemple en donnant un coût croissant à la tonne de CO₂ émise – et en laissant faire le marché et l'innovation ? En dirigeant tout au niveau des États et en fixant de multiples objectifs, plans d'actions et incitations ? La deuxième voie a été préférée jusqu'à présent mais avec une efficacité quasi nulle malgré un coût exorbitant !

La France bénéficie pourtant d'une situation favorable avec un mix électrique parmi les plus performants au monde, fait de nucléaire et de renouvelables. Le plus dur reste à faire : les transports et l'habitat restant très émetteurs. Ces deux secteurs pourraient s'appuyer davantage sur une électricité déjà fortement décarbonée.

Pourquoi alors prendre le risque de fragiliser ce qui a bien marché ? Comment harmoniser durablement nucléaire et renouvelables ? Comment donner les bons signaux d'investissements et ne pas faire exploser les factures énergétiques ? Comment et quand renouveler les installations existantes ? Comment assurer la sécurité et l'acceptation de toutes les composantes de notre mix ?

Nous avons posé la question aux meilleurs spécialistes du domaine.

■ Claude Jeandron

Politique énergétique de l'Union Européenne

UNE BRÈVE ANALYSE

Jusqu'au début des années 2000, l'établissement du marché de l'énergie et la sécurité d'approvisionnement étaient au centre de la politique énergétique de l'Union. L'énergie nucléaire bénéficiait quant à elle d'une approche plus globale sous le chapeau du Traité Euratom. En 2007, cette politique s'est élargie à la problématique du changement climatique, lorsque les dirigeants européens se sont accordés sur la cible des 3x20 : atteindre, au niveau global de l'Union pour 2020 :

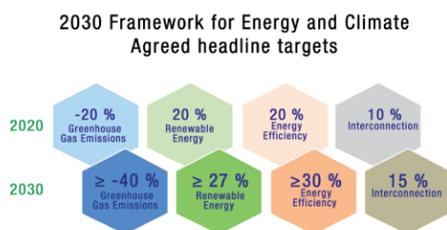
(1) une réduction des GES de 20 % par rapport à 1990,
(2) un recours à 20 % d'énergies renouvelables,
(3) un accroissement de l'efficacité énergétique de 20 %.

En 2009, ces objectifs ont été traduits en textes législatifs, en particulier sous forme de cibles nationales contraignantes.

En 2014, des cibles plus ambitieuses ont été élaborées pour 2030, à savoir :

1) 40 % de réduction de GES ;
2) 27 % d'énergies renouvelables ;
3) une amélioration de l'efficacité énergétique de 27 %.

Il est à noter que cette fois la cible de 27 % d'énergies renouvelables contraignante au niveau de l'Union, n'a pas été dès l'abord déclinée quantitativement



de manière contraignante au niveau national, la cible européenne devant être atteinte par un mécanisme de concertation et de bonne gouvernance entre les États Membres.

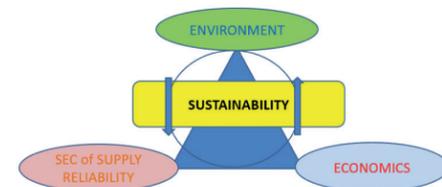
Fin 2016, la Commission a proposé un très large paquet de textes législatifs appelé le Paquet Énergie-Climat, visant à concrétiser les grandes lignes d'action de l'Union de l'Énergie, permettant d'atteindre les cibles, et qui peuvent être synthétisées comme suit : 1) Diversification et sécurité d'approvisionnement par la solidarité et la confiance ; 2) Marché intérieur de l'énergie intégré grâce à des infrastructures améliorées ; 3) Efficacité énergétique ; 4) Action pour le climat – décarbonisation et numéro un mondial des énergies renouvelables ; 5) Recherche, innovation et compétitivité.

On comprend aisément à la lecture de ce qui précède, d'une part l'ambition louable de l'Union Européenne, mais aussi, d'autre part la très grande complexité de ce qui est proposé, résultant de la combinaison d'une multitude d'angles d'attaque. En particulier, proposer la cible de réduction de GES répond à un objectif climatique, mais la cible énergies renouvelables n'est qu'un moyen, parmi d'autres, d'y parvenir, nécessaire peut-être, mais probablement pas suffisant. La complexité est aussi renforcée du fait que chaque État Membre reste maître de ses choix énergétiques, un domaine où existent de fortes divergences de vue.

Dès lors il est sans doute utile de revenir aux piliers fondamentaux d'une Politique Énergétique. Un texte très ré-

cent de l'Union Européenne indique que l'Union de l'Énergie a pour but de rendre l'énergie plus sûre, abordable et durable. Il nous semblerait plus adéquat de considérer la notion de durabilité dans un sens plus large, en termes de durabilité sociétale, au-delà de la durabilité environnementale. Cela revient à considérer les piliers de la Politique Énergétique comme étant la protection de l'environnement, la sécurité et la fiabilité de l'approvisionnement, et l'économie. Au centre se trouve la durabilité au bénéfice de la société, résultant d'un bon équilibre des piliers.

Beyond CO₂... Global Challenges A better Triangle for Energy Policy



Chaque forme ou source d'énergie peut s'analyser en termes de points forts et faibles à l'aune des trois piliers du triangle ci-dessus. Si le poids relatif de chaque pilier reste tributaire de l'importance relative que chacun (État Membre ou individu) voudra lui donner, ce triangle devrait cependant aider à alimenter un débat sain sur le mix énergétique, non biaisé par des a priori rendant parfois le dialogue difficile entre les parties.

■ Marc DEFFRENNES

Administrateur du collectif
Sauvons le Climat

Références :

https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_fr

https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/third-report-state-energy-union_en.pdf

https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/annex-1-updated-roadmap-energy-union-november-2017_en.pdf

L'expérience allemande

UNE POLITIQUE AMBITIEUSE QUI REPOSE SUR PLUSIEURS PARIS

L'Allemagne poursuit une politique, amorcée au début des années 2000, de promotion des ENRs et de désengagement du nucléaire. Elle se présente comme pionnière en matière d'ENRs, tout particulièrement d'énergies renouvelables électriques intermittentes. C'est l'Energiewende.

Le succès de cette politique reposait sur plusieurs paris :

- L'arrivée à maturité du stockage de masse de l'énergie produite à partir d'électricité.
- La capture et séquestration du carbone (CSC). Le stockage de masse à des coûts abordables en est encore au stade de la R&D tandis que l'opinion allemande s'oppose au CSC.
- L'espoir que les pays voisins n'adoptent pas une politique identique...

Quand elle arrivée aux affaires en 2005, Angela Merkel a tout d'abord, décidé d'étaler dans le temps – jusqu'en 2035 – le rythme de fermeture des réacteurs nucléaires, mais, après Fukushima, elle est revenue à l'échéancier initialement affiché par son prédécesseur. L'abandon du nucléaire se déroule comme prévu et

il est tout à fait exclu que l'opinion allemande revienne sur cette décision, tant la peur du nucléaire civil est forte dans l'opinion.

Un regard sur la politique allemande est d'autant plus d'actualité que le développement des EnRs est l'un des objectifs de notre LTECV.

Rappelons d'abord que la structure du système énergétique allemand est très différente de celle du système français :

- L'Allemagne est une fédération de 16 Länder (provinces) qui, chacun, a gardé des pouvoirs importants en matière énergétique au point qu'on peut dire qu'il y a 17 (16+1) politiques énergétiques : la Bavière mise sur le solaire, les provinces du nord sur l'éolien offshore tandis que la Rhénanie, la Lusace et la Saxe restent attachés au charbon et au lignite, ce qui explique la difficulté de l'Allemagne à prendre des décisions.
- Autre spécificité allemande : une approche décentralisée de l'Energiewende. Les banques régionales et les caisses d'épargne locales jouent un rôle essentiel dans le financement. 46 % des installations ENRs sont entre les mains des particuliers, 900 coopératives citoyennes sont actives dans le domaine des ENRs et seuls 13 % sont la propriété des 4 grands énergéticiens.

En 2016, le nouveau gouvernement CDU, CSU, SPD, redéfinissait ainsi les objectifs de l'Energiewende pour les années 2020, 2030, 2040, 2050 (référence 1990) :

- Émission de gaz à Effet de Serre : - 40 %, -55 %, -70 %, -80/-95 %
- Énergies renouvelables dans consommation globale 18 %, 30 %, 45 %, 60 %
- Énergies renouvelables dans consommation. électricité 35 %, 50 %, 65 %, 80 %
- Efficacité énergétique consommation globale -20 % en 2020 et -50 % en 2030
- Efficacité énergétique consommation électricité -10 % en 2020 et -25 % en 2050
- Efficacité énergétique consommation Bâtiment : - 80 % en 2050

Le gouvernement allemand est sur le point de réviser de tels objectifs, aujourd'hui considérés comme irréalistes, notamment pour ce qui est des émissions de CO₂ et de l'évolution de la consommation d'énergie.

Le principal succès – mesuré bien sûr à l'aune des critères de succès que s'est donné le pays – est sans aucun doute le développement des renouvelables électriques qui ont représenté en 2017 36 % de la consommation totale d'électricité.

Les défis : les émissions de CO₂ par le secteur électrique ont cessé de diminuer depuis plusieurs années malgré le déver-

sement de plusieurs centaines de milliards d'euros pour la promotion des ENRs intermittentes. La principale cause est le rôle que continuent à jouer dans l'approvisionnement électrique le charbon et le lignite, gros émetteurs de CO₂. Les allemands refusent – avec la Pologne – toute taxation du carbone au niveau européen. Quant à la consommation totale d'énergie, elle s'est remise à croître et le prix moyen de l'électricité payée par les particuliers était de 0,27 euros/kWh en 2017 contre 0,15 euros/kWh en France (source : OFATE).

En septembre 2017 un chercheur de l'université de Düsseldorf, Justus Haucap chiffrait (Kosten der Energiewende) à 520 milliards d'euros le coût de ce tournant énergétique (150 pour la période 2000-2015 et 370 pour la période 2016-2025) : subventions directes aux ENRs, coût de réseaux, prix négatifs, taux d'intérêt préférentiels, etc.

Cette politique bénéficie cependant d'un large soutien de la population (95 % d'opinions favorables). L'Allemagne dispose sans aucun doute des moyens qui lui permettent une telle expérience. Ce n'est pas le cas de ses voisins ! Les allemands (tout comme les français) se rendent-ils bien compte qu'ils sont en train de dépenser des fortunes colossales sans gain pour l'environnement ?

■ Pierre AUDIGIER

Administrateur du collectif
Sauvons le Climat