

Nucléaire de “4^e génération” : l’utopie comme stratégie de survie

Yves Marignac, directeur de WISE-Paris

Notre modèle énergétique est en crise: de menace de pénurie de pétrole en risque climatique majeur, c’est l’équilibre même de notre système économique, dont la croissance énergivore est le moteur, qui est remis en cause. Dans le bal des prétendants à incarner la filière salvatrice, l’industrie nucléaire se pose volontiers en unique alternative “réaliste” au problème d’effet de serre.

A l’appui de cette affirmation, elle développe deux arguments. En premier lieu, face à une demande d’énergie en forte croissance, l’énergie nucléaire est la seule source d’énergie abondamment disponible qui ne produise pas de gaz à effet de serre. Cet argument s’articule avec un discours sur le caractère soutenable de l’industrie nucléaire. Tout en affirmant les qualités de ses équipements actuels, l’industrie est confrontée sur ce terrain à une forte contestation, qu’elle tente aujourd’hui de contourner par des promesses technologiques.

Ses efforts portent dans ce domaine sur la conception de réacteurs du futur, regroupés sous l’appellation générique de “4^e génération”. La principale initiative est celle du “Forum International Génération IV”, initié en 2000 par les Etats-Unis, rejoints par une dizaine de pays (Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Corée du Sud, France, Japon, Royaume-Uni, Suisse) plus l’Union européenne (via Euratom).

Des groupes de travail regroupant les “meilleurs experts” de l’industrie nucléaire au niveau international ont été constitués pour élaborer dans un premier temps une liste d’objectifs à atteindre, avec des critères de comparaison des systèmes envisageables, permettant dans un deuxième temps de sélectionner les plus prometteurs d’entre eux.

Les objectifs ont été fixés en avril 2001. Sans caractère contraignant, ils désignent huit résultats en matière de “durabilité”, de sûreté, de fiabilité et de compétitivité, vers lesquels les systèmes de la “Génération IV” – censés décrire des filières intégrées, et non les seuls réacteurs – doivent tendre :

- Caractère durable :
 - réduire l’impact environnemental et favoriser l’utilisation efficace des ressources,
 - minimiser les déchets nucléaires et réduire la charge de leur gestion à long terme,
 - présenter des garanties accrues contre la diversion ou le vol de matières nucléaires,
- Sûreté et fiabilité :
 - exceller en matière de sûreté et de fiabilité,
 - présenter une probabilité et un degré très faibles de dommage du cœur,
 - éliminer le besoin de mesures d’urgence hors du site,
- Compétitivité :
 - présenter un net avantage de coût “cycle de vie” sur les autres sources d’énergie,
 - présenter un niveau de risque financier comparable aux autres projets énergétiques.

Entre avril 2001 et octobre 2002, les groupes de travail ont examiné différents concepts applicables pour finalement en retenir six, jugés comme les plus aptes à remplir ces objectifs. Il s’agit de filières conventionnelles ou non, de réacteurs de taille très variable, dont les usages peuvent aller au-delà de la produc-

tion électrique, et qui reposent pour cinq d'entre elles sur un cycle "fermé" non seulement du plutonium mais des autres actinides mineurs (**Tableau 1**).

Utopie technologique ou perspective réaliste ?

Il faut pour en juger, engager le débat sur des bases moins simplistes que l'industrie nucléaire ne le propose aujourd'hui, et en particulier développer une réflexion sur :

- les effets systémiques : comment l'énergie nucléaire, considérée non plus comme une production en soi, mais comme une composante du système énergétique, s'insère dans celui-ci pour apporter plus largement une réponse adaptée aux besoins de la société ;
- sur une vision dynamique du système, au lieu de la superposition de deux images statiques, celle de la situation actuelle et celle d'un futur, jugé désirable, de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre par le recours massif à un nucléaire propre, économique et sûr, sans considération pour la question cruciale de la trajectoire entre les deux.

Ces réflexions peuvent s'articuler autour de trois questions : la **légitimité** du nucléaire comme moyen, son **efficacité** comme instrument et sa **pertinence** comme stratégie de lutte contre l'effet de serre (ou tout autre problème de développement durable auquel il prétendrait apporter une solution globale).

Quelle légitimité ?

C'est aujourd'hui le point central du débat. L'industrie nucléaire se voit ainsi contrainte, tout en défendant le caractère soutenable du nucléaire actuel, d'admettre le contraire en promettant le développement de nouvelles filières qui le seront vraiment. Derrière ce paradoxe apparent, les critères développés pour la Génération IV répondent-ils réellement à cette logique ?

Plus économe en matières premières, plus "propre", plus sûr, non proliférant et moins cher que les autres filières énergétiques : les critères fixés par le Forum apparaissent comme le recyclage moderne des promesses des pionniers du nucléaire, lorsque dans les années 50 ils lançaient le programme *Atoms for Peace* et annonçaient une énergie maîtrisée, abondante et "trop peu chère pour être facturée"...

Le principe de réalité s'est révélé rude. Outre son coût, l'industrie nucléaire s'est heurtée successivement à plusieurs problèmes majeurs, dont aucun n'a jusqu'ici trouvé de solution définitive : les passerelles entre le nucléaire civil et militaire, le risque d'accident majeur, l'accumulation de déchets radioactifs à vie longue et la menace terroriste internationale.

La trop lente pénétration de ces problématiques dans la réflexion des experts de l'industrie se reflète dans les critères retenus, leur hiérarchie et les filières qu'ils conduisent à promouvoir.

- La non *prolifération* reste un objectif affiché, mais considéré comme acquis. La crise du système de contrôle de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) face aux évolutions en Corée du Nord, en Irak ou au Brésil, ne se reflète pas dans la sélection des filières dont cinq sur six développent l'option, par nature proliférante, d'un "cycle" du plutonium.
- Le risque *d'accident majeur*, révélé par Three Miles Island et surtout Tchernobyl – ce dernier postérieur à la conception de la plupart des réacteurs exploités dans le monde aujourd'hui – concentre les efforts de ce que l'industrie dénomme 3^e génération, qui désigne des versions avancées des filières actuelles, dont fait partie l'EPR d'Areva. La 4^e génération ne vise pas en soi une diminution supplémentaire de la probabilité d'accident, considérant que ce niveau revient, même si on ne peut le démontrer formellement, à rendre inutile toute mesure de protection hors du site.
- Les questions du *combustible* et des *déchets*, pour lesquelles la 3^e génération n'apporte aucune rupture, sont au cœur des réflexions sur la Génération IV. Il s'agit à la fois de promouvoir une utilisation plus efficace des matières nucléaires et de réduire drastiquement l'inventaire final des déchets. Malgré l'échec patent de Superphénix et du retraitement du combustible (seuls EDF en Europe et les exploitants japonais restent aujourd'hui engagés dans cette voie), quatre des six concepts incluent des réacteurs à neutrons rapides, et cinq sur six reposent sur un cycle fermé, visant au "recyclage" non seulement du plutonium mais de l'ensemble des actinides.
- Enfin, cette sélection de filières qui impliquent une gestion plus complexe d'installations, d'entrepôts et de transports de matières hautement dangereuses en plus grand nombre reflète l'absence de prise en compte de la *menace terroriste*, qui n'apparaît pas dans les critères initiaux – rédigés avant le 11 septembre 2001 –, même si elle est mentionnée depuis.

Au final, les objectifs de la Génération IV ne sont pas l'expression directe des attentes de la société mais la vision particulière qu'en ont les ingénieurs du nucléaire, centrés aujourd'hui sur le problème des déchets et de la valorisation des matières réutilisables. Si les groupes de travail avaient réuni, au lieu des 100 meilleurs experts de l'industrie nucléaire, les 100 meilleurs experts mondiaux du terrorisme, il est probable qu'ils auraient produit une vision très différente du nucléaire du futur – voire de l'avenir du nucléaire. Ils auraient dû, en fait, comme les experts du développement, de l'environnement ou de la finance, être associés à la réflexion.

L'industrie nucléaire a reproduit ici le processus sur lequel elle s'est appuyée dans les années 60 et 70, où ses orientations technologiques ont été décidées par ses experts, convaincus de cerner les critères d'acceptabilité du nucléaire et d'apporter les réponses technologiques adéquates. Les mêmes causes provoquant les mêmes effets, les filières développées sous la bannière Génération IV – du reste pour l'essentiel inspirées de concepts déjà essayés dans les années cinquante – se trouveront confrontées au même problème de légitimité.

Quelle efficacité ?

La légitimité n'est en tout état de cause pas la seule question à poser. Si tout le monde s'accorde sur le très faible niveau d'émissions de gaz à effet de serre engendrées par la production de kilowatt-heures nucléaires, l'efficacité de cet outil pour réduire les émissions ne se mesure pas selon ce seul critère. La production nucléaire s'insère en effet toujours dans un système énergétique global dont seule la diminution du total des émissions compte – par comparaison avec d'autres options.

La question est beaucoup moins simple qu'il n'y paraît, et les situations actuelles démontrent d'importantes limites à l'efficacité du nucléaire contre les émissions. Ainsi les Etats-Unis, producteurs de 30 % de l'électricité nucléaire dans le monde, sont aussi les émetteurs de plus de 25 % des émissions mondiales de carbone, sans perspective de diminution. La France, qui avec près de 80 % de son électricité d'origine nucléaire pousse aussi loin que possible cette solution, n'apparaît pas pour autant en mesure de stabiliser ses émissions, comme le Protocole de Kyoto l'y engage, entre 1990 et 2010 – sans parler de l'objectif de réduction d'un facteur 4 des émissions à l'horizon 2050.

Ces chiffres ne constituent pas une démonstration: en particulier, l'évolution des émissions est très contrastée dans les pays qui n'ont pas recours au nucléaire, montrant que les déterminants fondamentaux sont ailleurs que dans ce choix de filière. Ils suggèrent cependant une additionnalité, et non une substitution, du nucléaire et des énergies fossiles. Le développement de ces énergies dans la seconde moitié du siècle dernier montre d'ailleurs que le nucléaire a moins freiné la croissance des énergies fossiles au niveau mondial qu'accélééré l'explosion de la consommation d'énergie, apparaissant comme une composante, et non une alternative, de ce mode de développement trop gourmand en énergie.

Plus finement, deux phénomènes limitent considérablement l'efficacité du nucléaire pour une baisse à long terme des émissions dans les systèmes énergétiques actuels:

- d'une part, l'effet de substitution du nucléaire est aujourd'hui limité par des contraintes de différents ordres à une partie relativement faible de l'ensemble des sources d'émissions de gaz à effet de serre, c'est-à-dire la production d'électricité en base;
- d'autre part l'introduction du nucléaire, qui abaisse le palier des émissions par substitution d'une partie de la production fossile, s'accompagne en général, par une série d'effets structurels et systémiques, d'un effet "rebond" sur d'autres pans du système énergétique.

Quelle pertinence ?

La réponse de l'industrie nucléaire est d'étendre le champ du nucléaire, pour augmenter l'effet de substitution: ainsi les concepts de la Génération IV sont fortement axés sur la possibilité d'utiliser la chaleur produite pour des process industriels, pour la production d'hydrogène (qui se développerait massivement pour les transports), le dessalement ou même la gazéification du charbon. Outre qu'il est à craindre que l'effet "rebond" sur les émissions non substituées augmente en proportion, la pertinence d'une telle stratégie doit être examinée dans sa globalité.

Pour réduire massivement les émissions de gaz à effet de serre, face aux scénarios qui reposent sur une politique énergétique en rupture, combinant le développement des renouvelables avec des efforts non seulement d'efficacité énergétique mais aussi de sobriété sur les usages de l'énergie (voir par exemple le scénario développé pour l'association négaWatt pour la France), une stratégie s'appuyant sur le nucléaire représenterait une rupture non moins importante.

Il s'agirait en effet, pour atteindre les niveaux d'émissions jugés "soutenables", de multiplier d'un facteur 10, voire davantage, la capacité du parc actuel qui compte environ 440 réacteurs. Le problème de maîtrise des risques, comme celui du niveau d'investissement à consentir et des infrastructures nécessaires deviennent d'une toute autre ampleur lorsqu'il s'agit de raisonner sur 4000, 5000 voire 7000 réacteurs répartis dans le monde, dont la moitié environ devraient être construits avant l'avènement de la Génération IV. La faisabilité d'un tel développement, le risque d'échec et ses conséquences, les modes d'organisation que cela suppose doivent être évalués, et surtout comparés selon les mêmes critères aux scénarios dits "alternatifs", qui s'avèrent globalement dans cette comparaison moins périlleux et plus acceptables.

Face à l'effet de serre, l'industrie nucléaire n'offre pas une solution de continuité. Cette notion apparaît pourtant comme une des clés du succès de son discours : l'utopie technologique qu'elle nous propose n'est pas, contrairement à une vision plus traditionnelle du progrès scientifique et technique comme vecteur de transformation de la société – qui suscite aujourd'hui beaucoup de méfiance –, une utopie du changement. Au contraire, les promesses de l'industrie nucléaire dessinent fondamentalement une continuité ; à l'opposé des discours sur l'indispensable sobriété énergétique, elles offrent une justification pour ne pas remettre en cause les habitudes de consommation.

Un faux nez ?

Ces questions sont en fait secondaires pour l'industrie nucléaire. L'AIEA elle-même reconnaît que le nucléaire ne peut répondre dans les délais et avec l'ampleur nécessaires à la réduction des émissions. Et la Charte du Forum Génération IV affirme en préambule, non pas que l'industrie nucléaire est la solution pour répondre de façon soutenable à une demande de plus en plus forte d'énergie, mais que sa contribution doit être reconnue.

Le nucléaire n'est pas engagé comme il veut le faire croire dans une renaissance mais bien confronté à une logique de survie. Il faudrait, selon les projections qu'on peut tirer des statistiques mêmes de l'AIEA, construire plusieurs dizaines de gros réacteurs avant 2010 et plus d'une centaine supplémentaires avant 2020 pour seulement maintenir la capacité du parc nucléaire actuel à ces échéances.

On en est aujourd'hui très loin au vu des commandes et des prévisions, et la capacité nucléaire va donc décroître pendant que la capacité installée d'autres filières, comme le gaz ou plus marginalement l'éolien, se développe rapidement. Le nucléaire voit ainsi sa part dans la production mondiale d'électricité diminuer inexorablement, restant cantonné à une contribution à la marge à la consommation finale d'énergie dans le monde, autour de 2-3 % environ.

Une utopie aux effets pervers

La Génération IV a donc comme fonction essentielle de créer la perspective d'avenir indispensable pour enrayer ce déclin. Mais cette utopie technologique, mobilisatrice pour l'industrie et mobilisée par elle, pervertit totalement le débat sur le nucléaire et sa place dans les stratégies énergétiques. Par une sorte de dialectique, si la 4^e génération apporte la caution nécessaire à la poursuite de projets nucléaires – autrement dit, à la construction de réacteurs de 3^e génération –, elle se présente aussi comme son prolongement inévitable : le recours dans les prochaines années aux filières actuelles repose sur la croyance dans une solution future à leurs problèmes, et porte l'engagement de mettre cette solution en œuvre.

On voit clairement ce mécanisme à l'œuvre en France aujourd'hui. Tout d'abord, l'industrie s'emploie, ce qui semble paradoxal, à repousser l'horizon de la 4^e génération bien au-delà du délai nécessaire au développement de nouvelles filières, et en tous cas bien au-delà des échéances fixées par le Forum Génération IV : celui-ci vise clairement à développer des réacteurs "accessibles au marché" en 2030 au plus tard, en fait entre 2015 et 2025 selon les concepts parmi les six retenus. En France, EDF, CEA, Areva et DGEMP s'entendent pour faire croire au contraire que ces réacteurs nouveaux ne pourront être mis en service industriel avant... 2040 ! Il s'agit bien de justifier, par défaut, le déploiement de réacteurs EPR pour faire face aux besoins du renouvellement du parc, essentiellement entre 2020 et 2030 ; ce prolongement des filières actuelles justifiant à son tour la poursuite des options actuelles, en particulier en terme de retraitement.

L'Andra a publié fin 2004 un important inventaire des déchets et matières valorisables qui dessine une projection en 2020. En poursuivant le mode de gestion actuel, c'est-à-dire le retraitement de 850 tonnes environ de combustible irradié d'EDF par an à La Hague, qui nous est aujourd'hui présenté comme le moyen de réduire le problème des déchets à celui des colis vitrifiés, enfermant les seuls produits de fission et actinides mineurs (séparés de l'uranium et du plutonium censés être réutilisés), on voit en réali-

té se gonfler les stocks de matières “en attente” de traitement et de réutilisation : par catégorie, ils sont au mieux stabilisés (48 tonnes de plutonium séparé, 10 500 tonnes de combustible UOX usé...), au pire en forte croissance (de 520 à 2 350 tonnes de MOX irradié entre 2002 et 2020, de 16 000 à 25 000 tonnes d’uranium de retraitement...).

Or, dans le même temps, le “stock” d’années-réacteurs, c’est-à-dire les années d’exploitation restantes des réacteurs disponibles pour, officiellement, gérer ces matières, s’épuise : en particulier les réacteurs utilisant le combustible MOX sont les 900 MWe mis en service entre 1980 et 1988, pour lesquels une durée de vie de 40 ans en moyenne est loin d’être assurée aujourd’hui. En d’autres termes, l’industrie nucléaire française est engagée, depuis les années quatre-vingt, dans une gestion des matières dangereuses qui exclut la possibilité d’une sortie du nucléaire.

L’EPR, même s’il est conçu pour utiliser le cas échéant jusqu’à 100 % de MOX, reste insuffisant pour mettre en œuvre le “recyclage” global de l’uranium et du plutonium que décrit la doctrine française. Dans le long terme, le parc d’EPR, malgré sa durée de vie annoncée de 60 ans, n’est donc qu’une transition : la solution “finale” au problème des déchets ne peut venir que de l’introduction, plus tard, de nouveaux réacteurs. Dans cette vision, les EPR doivent, dans la continuité du parc actuel, poursuivre l’accumulation de matières dites “valorisables”, stock stratégique pour amorcer le “cycle fermé” de la Génération IV – renforçant ainsi le fait-accomplis nécessaire à la justification de ces filières du futur. En d’autres termes, la mauvaise performance de l’EPR ou des réacteurs similaires, devient aux yeux des ingénieurs nucléaires un plus car il permet, au prix de l’accumulation de dizaines de tonnes de plutonium pour des dizaines d’années, de préparer au mieux la génération suivante de réacteurs.

En conclusion : un double danger

Mais cette “4^e génération”, dans son développement même, n’est rien d’autre que l’avatar moderne de l’utopie fondatrice du nucléaire – le rêve d’une énergie inépuisable, sûre et pas chère –, paradoxalement ressuscitée par l’échec du parc nucléaire actuel à tenir ces mêmes promesses.

Pour porter cette utopie, l’industrie nucléaire s’emploie à incarner une solution unique et globale au problème majeur des politiques énergétiques, le changement climatique, en esquivant les questions de légitimité, d’efficacité et de pertinence qui se posent si on considère l’ordre de grandeur du développement du nucléaire que cette stratégie suppose. Peu importe d’ailleurs que cette perspective soit irréaliste, car l’enjeu est ailleurs : il s’agit à travers ce discours de maintenir une perspective suffisante pour enrayer le déclin et assurer la survie de l’industrie nucléaire.

L’utopie technologique sous-jacente est dès lors porteuse d’un double danger. Face au changement climatique, elle conforte d’abord l’idée qu’une rupture de politique énergétique – et à travers elle de mode de vie – est peut-être évitable ; elle distord l’évaluation comparée des alternatives et contribue ainsi à retarder le transfert de priorité, et de moyens, vers des solutions plus tangibles. Mais elle nous entraîne surtout, face aux risques nucléaires, dans une irresponsable fuite en avant, où leur augmentation certaine à court terme serait le prix à payer pour leur improbable solution à long terme. ■

yves.marignac@wise-paris.org

Tableau 1: Les concepts et filières retenus dans le cadre du projet “Génération IV”

Type	Puissance	Temp.	Utilisation	Combustible	Date
GFR <i>Gas-cooled Fast Reactor</i> Réacteur rapide refroidi au gaz (hélium)	288 MWe (600 MWth)	850 °C	<i>Principalement</i> - Electricité - Gestion des actinides <i>Option:</i> - Production d'hydrogène - Chaleur	Matrice carbone, voire nitrure. Utilisation de l'uranium fertile et incorporation des actinides. Cycle fermé, avec recyclage total des actinides Unité de retraitement et fabrication sur site.	2025
LFR <i>Lead Fast Reactor</i> Réacteur rapide refroidi au plomb (ou plomb-bismuth) eutectique	<i>3 options:</i> 50-150 MWe (120-400 MWth) 300-400 MWe 1200 MWe	550 °C ou 800 °C	- Electricité - Production d'hydrogène - Dessalement - Gestion des actinides	Matrice métal ou nitrure Utilisation de l'uranium fertile et incorporation des actinides. Cycle fermé, avec recyclage total des actinides. Centres de traitement nationaux ou régionaux.	2025
MSR <i>Molten Salt Reactor</i> Réacteur à sels fondus	1000 MWe	700 °C à 800 °C	- Electricité - “Combustion” de déchets	Combustible liquide (fluorure). Mix variable d'uranium, plutonium et actinides mineurs. Cycle fermé. Pas de fabrication de combustible.	2025
SFR <i>Sodium Fast Reactor</i> Réacteur rapide refroidi au sodium	<i>2 options:</i> 150-500 MWe 500-1500 MWe	520 °C à 550 °C	- Electricité - Gestion des actinides	Matrice oxyde ou métal. Utilisation de l'uranium fertile et incorporation des actinides. Cycle fermé, avec recyclage total des actinides. Centres de traitement du combustible à proximité des réacteurs ou centralisés, selon option de taille.	2015
SCWR <i>Super-Critical Water-cooled Reactor</i> Réacteur super-critique à eau légère	1700 MWe	550 °C	- Electricité <i>A terme:</i> - Gestion des actinides	<i>2 étapes:</i> 1) Spectre thermique: - Matrice oxyde. - Uranium. - Cycle ouvert. 2) Spectre rapide: - Cycle fermé, avec recyclage total des actinides. - Usines de traitement centralisées.	2025
VHTR <i>Very High Temperature Reactor</i> Réacteur haute-température refroidi à l'hélium	600 MWth	1000 °C ou plus	Chaleur: - Production d'hydrogène - Gazéification du charbon <i>Option:</i> - Electricité en cogénération	Matrice oxyde. Uranium. Cycle ouvert (sans retraitement du combustible).	2020

Source: US DOE / GIF, “A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems”, décembre 2002