

N°15 23 DECEMBRE 2022



CAHIER D'ACTEUR

NOUVEAUX RÉACTEURS
NUCLÉAIRES ET PROJET PENLY

27.10.2022
27.02.2023



Le point de vue de l'Académie des sciences.

L'Académie des sciences se consacre, depuis sa création en 1666, au développement des sciences et conseille les autorités gouvernementales en ce domaine.

Indépendante et pérenne, placée sous la protection du Président de la République, elle est l'une des cinq académies siégeant à l'Institut de France.

L'Académie des sciences exerce cinq missions fondamentales : encourager la vie scientifique, promouvoir l'enseignement des sciences, transmettre les connaissances, favoriser les collaborations internationales et assurer un rôle d'expertise et de conseil.

Contact : Académie des sciences

23 Quai de Conti, 75006 Paris

+33 (0)1 44 41 43 19

<https://www.academie-sciences.fr/fr/>

À l'occasion des débats sur la politique énergétique de la France, l'Académie des sciences a sans cesse rappelé la nécessité de prendre en compte quatre facteurs déterminants : (1) la sécurité d'approvisionnement ; (2) la stabilité du réseau électrique ; (3) la viabilité économique de la stratégie adoptée ; (4) le maintien de capacités souveraines. Les événements récents soulignent la nécessité d'une politique énergétique de long terme et sa mise en pratique cohérente avec les ambitions de neutralité carbone affichées pour la France en 2050. Dans notre pays, l'énergie nucléaire a toute sa place et doit continuer de jouer un rôle central.

Le débat sur la construction d'une première paire d'EPR2 (Evolutionary Power Reactor 2) à Penly s'inscrit dans le cadre d'un programme de relance du nucléaire en France. L'Académie des sciences considère que ce débat repose sur trois points : (1) l'avenir du nucléaire de fission en France ; (2) le choix spécifique des EPR2 pour le soutenir ; (3) le choix de Penly pour implanter les deux premiers et apporte ici ses éclairages, forte de son expertise sur cette énergie.



RECONSTRUIRE LA FILIERE NUCLEAIRE

À l'occasion des débats sur la politique énergétique de la France, l'Académie des sciences (AS) a toujours appelé à la prise en compte de quatre facteurs déterminants : (1) la sécurité d'approvisionnement, c'est-à-dire la capacité à répondre à la demande ; (2) la stabilité du réseau électrique pour assurer à chaque instant l'égalité entre la consommation et la production en maintenant fréquence et tension ; (3) la viabilité économique de la stratégie adoptée ; (4) le maintien de capacités souveraines, limitant la dépendance aux importations. Les événements récents soulignent la nécessité d'une politique énergétique de long terme et sa mise en pratique cohérente. Dans notre pays, l'énergie nucléaire a toute sa place et doit continuer de jouer un rôle central.

Ainsi, l'AS a expliqué en 2021 en quoi il était nécessaire de construire dans l'immédiat de nouveaux réacteurs de puissance de type REP-Gen3 (Réacteur à Eau Pressurisée de 3ème génération). Il s'agit (1) de faire face à la fermeture des REP-Gen2 du parc actuel, qui doit se produire assez brutalement (effet falaise) en 2050, même avec une extension de leur durée de vie à 50 ou 60 ans, voire plus ; (2) de maintenir une contribution élevée d'énergie nucléaire dans le Mix électrique jusque vers la fin du siècle, tout en préparant l'émergence de réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération (RNR-Gen4), seuls à pouvoir assurer indépendance et souveraineté énergétique, et fermer le cycle du combustible. *Voir l'encart sur les publications récentes de l'AS.*

Le débat public ouvert sur la construction d'une première paire d'EPR2 (Evolutionary Power Reactor 2) à Penly s'inscrit dans le cadre d'un programme de relance du nucléaire qui pose trois questions : (1) l'avenir du nucléaire de fission en France ; (2) le choix spécifique des EPR2 pour le soutenir ; (3) le choix de Penly pour implanter les deux premiers.

Les documents d'EDF, maître d'ouvrage, et de l'IRSN, saisi comme expert à l'appui du débat, sont très détaillés et complets. Ils sont objectifs et présentent les contraintes à la hauteur des nécessités, tant la hantise de dérives (délais et coûts) est grande.

L'AS apporte ici des compléments résultant de son expertise et de ses réflexions sur cette énergie.

L'AVENIR DU NUCLEAIRE EN FRANCE

La politique Française en matière d'énergie nucléaire est évoquée dans plusieurs lois,

ENCART : Quelques publications récentes de l'Académie des sciences sur l'énergie nucléaire :

[Fermer Fessenheim et d'autres réacteurs est un contre-sens - Avis de l'Académie des sciences - Paris, le 7 juillet 2020 \(academie-sciences.fr\)](#)

[Considérations sur l'électronucléaire actuel et futur - Rapport de l'Académie des sciences du 14 juin 2021 \(academie-sciences.fr\)](#)

[L'apport de l'énergie nucléaire dans la transition énergétique, aujourd'hui et demain | Rapports, ouvrages, avis et recommandations de l'Académie | Assurer un rôle d'expertise et de conseil \(academie-sciences.fr\)](#)

[Les réacteurs nucléaires modulaires de faible puissance \(SMR\) : état des lieux et perspectives - Avis et rapport de l'Académie des sciences - Octobre 2022 \(academie-sciences.fr\)](#)

(1991, 2006 et lois énergie-climat) et leur mise en œuvre est déclinée dans des documents programmatiques révisables : Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). Ces lois obligent la France à rechercher l'indépendance énergétique, pratiquer le mono-recyclage du plutonium et de l'uranium du combustible usé et viser la fermeture du cycle du combustible, qui consiste en la mise en œuvre du multi-recyclage de ces matières grâce à la mise en place d'un parc de RNR. La loi de 2006 prévoit la réalisation d'un prototype de RNR-Gen4.

Au début des années 2000, les industriels du nucléaire font ainsi fonctionner le parc de 58 réacteurs (puissance installée totale de 60 GWe) en recyclant plutonium et uranium de retraitement dans les réacteurs de 900 MWe avec des taux de combustion du combustible de 50 GWj/t. Le CEA, de son côté, engage le programme Astrid, un projet de prototype RNR-Gen4, refroidi au sodium.

Cependant, la PPE de 2020 (décret du 21 avril) comporte deux mesures modifiant le paysage : (1) la réduction à 50 % de la part du nucléaire dans le Mix électrique à l'horizon 2035, avec la fermeture de 14 réacteurs ; (2) l'arrêt du programme Astrid. Les conséquences sont importantes et très préjudiciables au développement harmonieux du nucléaire, comme l'AS s'en est fait l'écho à plusieurs occasions. La réduction de la part du nucléaire touche spécifiquement les réacteurs de 900 MWe et modifie les conditions de recyclage du plutonium (en faisant appel aux réacteurs de 1300 MWe) ainsi que l'aval du cycle du combustible usé (en faisant un appel accru à l'entreposage). En 2020, deux réacteurs sont fermés à Fessenheim. L'arrêt d'Astrid diminue drastiquement les recherches sur les RNR en France et repousse au siècle prochain leur déploiement. Pour limiter l'accumulation prévisible du combustible usé (qui contient le plutonium) et garder les compétences en matière de retraitement qu'impliqueront les

RNR-Gen4, la PPE invente le multi-recyclage du plutonium et de l'uranium dans de futurs EPR. Ce multi-recyclage n'a jamais été réalisé et n'est prévu qu'après 2050. Les industriels du nucléaire se réorganisent pour prendre en compte les dispositions de cette PPE et le CEA réoriente ses recherches sur les RNR.

Parallèlement, EDF est engagé depuis 2014 dans les visites décennales (VD) des réacteurs de 900 MWe construits entre 1979 et 1988 (grand carénage). En France, les réacteurs ne sont autorisés à fonctionner que pendant dix ans, entre deux VD. La VD4 appelle, sur le plan technique, le remplacement ou la rénovation de gros composants ainsi que des modifications supplémentaires pour garantir un niveau de sûreté rendu indispensable depuis Fukushima (disponibilité d'eau et d'électricité en cas d'accident). Les VD sont des opérations très lourdes. L'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) a autorisé le fonctionnement des réacteurs de 900 MWe après leur VD4 jusqu'à 50 ans. De son côté, Orano est confronté aux problèmes de la fourniture du combustible qui nécessite des usines opérationnelles pour enrichir l'uranium naturel, retraiter du combustible usé et fabriquer du combustible neuf. Ces usines devront être mises à niveau vers 2040 ou être remplacées pour mettre en œuvre le multi-recyclage du combustible usé.

Dans certains scénarios énergétiques, notamment ceux de RTE (Réseau de Transport d'Électricité), l'énergie nucléaire apparaît comme un élément important du futur Mix électrique pour minimiser les risques de pénurie d'électricité tout en assurant une production électrique décarbonée. C'est dans ces conditions que le Président de la République, dans son discours de Belfort, préconise de poursuivre l'exploitation des REP au-delà de 40 ans, de construire immédiatement par paires, 6 nouveaux EPR, puis 8 supplémentaires. Pour mettre en œuvre cette politique, le choix d'EDF s'est porté sur les EPR2. A ce jour, rien n'est changé dans les autres dispositions de la PPE sinon que le mono-recyclage du plutonium doit être assuré au moins jusqu'en 2040, date à laquelle les usines actuelles du cycle du combustible seront à rénover ou doivent être remplacées. La PPE doit être révisée en 2023.

Même si l'absence d'une véritable stratégie électronucléaire depuis plus de 20 ans et si les retards pris dans la construction de nouveaux réacteurs ont été préjudiciables à l'industrie nucléaire française, les

perspectives de prolongation des réacteurs actuels et de construction de nouveaux réacteurs sont conformes à la position que l'AS a exprimée. Cependant, ces décisions doivent être incluses dans une vision précise de ce que devrait être la part du nucléaire dans le Mix électrique de demain qui fait défaut aujourd'hui.

L'AS souhaite que les lois sur le nucléaire actuellement en préparation définissent une politique et des stratégies claires à long terme pour guider la reconstruction de la filière nucléaire et du cycle du combustible. La perspective de disposer désormais d'énergie électronucléaire au moins jusqu'à la fin du siècle est un prérequis. Plus précisément, il s'agit de savoir : (1) quelle proportion d'énergie nucléaire entrera dans le Mix électrique ; (2) si les RNR doivent être déployés ou non, en assumant ou non, la poursuite du nucléaire sur au moins cent ans. Comme le pas de temps de l'industrie nucléaire est de l'ordre de la quinzaine d'années sans aléa, des décisions doivent être prises rapidement en conséquence.

LE CHOIX DES EPR2 POUR POURSUIVRE L'ELECTRONUCLEAIRE DE PUISSANCE

L'EPR2 est un réacteur simplifié par rapport aux EPR déjà construits (2 en Chine, 1 en Finlande) ou en cours de construction (1 en France, 2 au Royaume Uni) ou dont la construction est décidée (2 au Royaume Uni). L'EPR de Flamanville a été le révélateur des exigences préalables au lancement de la construction (disposer d'études détaillées avancées, planifier au regard de la réglementation, construire les réacteurs par paires) et des erreurs à éviter absolument (délais et coûts mal calculés et annoncés de façon inappropriée). Le retour d'expérience (Rex) sur l'EPR, le réacteur le plus puissant au monde, est aujourd'hui conséquent et la construction des EPR2 en bénéficiera grandement.

ENCART : Le Comité de Prospective en énergie de l'AS.

Présidé par Marc FONTECAVE, professeur au Collège de France, ce Comité mène une réflexion de fond sur l'énergie afin de proposer son expertise scientifique et ses recommandations auprès des décideurs et d'éclairer au mieux chaque citoyen sur cette thématique de perpétuelle actualité. Venant de clore son cycle de réflexion sur l'énergie nucléaire dont la place et les perspectives ont grandement évolué ces dernières décennies, le comité a souhaité participer au débat public organisé par la CNDP sur l'avenir français de cette filière.

Comme l'EPR, l'EPR2 (actuellement en design à 25 %) est un réacteur de 1650/1700 MWe construit pour 60 ans, avec une disponibilité de 90 %, 241 assemblages, un cycle de rechargement de 18 mois par tiers, et les équipements pour satisfaire le référentiel de sûreté de l'AIEA. Par rapport à l'EPR, les simplifications impliquent une seule enceinte de confinement en béton doublée d'un liner métallique (au lieu de deux en béton avec liner), 3 trains de sauvegarde (au lieu de 4) et des travaux de maintenance seulement possibles à l'arrêt, c'est-à-dire sans possibilité d'accès à l'enceinte en cours de fonctionnement. Ces évolutions ont été approuvées par l'ASN. En revanche, l'EPR2 bénéficiera d'une meilleure architecture et sera doté des derniers équipements issus du Rex de l'EPR concernant, par exemple, l'ancrage des assemblages de combustible. EDF est en ordre de bataille (plan Excell) selon un calendrier serré dans lequel le premier béton sera coulé à Penly en 2028 avec un design détaillé à 70 %. Le Groupement des Industriels Français de l'Energie Nucléaire (GIFEN) est en soutien d'EDF. Le premier EPR2 en fonctionnement est prévu pour 2037.

Les 6 premiers EPR2 seront alimentés avec du combustible classique UOX (oxyde enrichi en ^{235}U à 4-5 %) et éventuellement du MOX pour mono-recyclage (oxyde mixte d'uranium appauvri et de plutonium). Le multi-recyclage du plutonium n'est envisagé que dans les EPR2 suivants, mis en œuvre après 2050. Entre temps, le mono-recyclage du plutonium sera poursuivi dans les réacteurs de 900 MWe et quelques réacteurs de 1300 MWe. L'EPR2 acceptera aussi les assemblages du nouveau combustible dont seront dotés tous les réacteurs de la prochaine décennie. Ce combustible doit améliorer la flexibilité du réacteur en régime normal (de 100 à 25% de la puissance nominale) et renforcer la sûreté en cas d'accident grave. La flexibilité est d'autant plus nécessaire que le réseau électrique sera couplé aux sources d'énergie renouvelable intermittentes (éolien, solaire) en quantité croissante.

Ainsi l'EPR2 peut injecter sur le réseau une puissance considérable permettant le pilotage de l'équilibre demande-production. Il s'inscrit dans la politique de retraitement en

conservant les mêmes caractéristiques que les REP actuels, sans produire de nouveaux déchets. A terme, un parc homogène d'EPR2 assurera l'avenir de l'énergie nucléaire, comme celui de 1980 l'a fait sur un temps plus long.

LE CHOIX DE PENLY

L'implantation des réacteurs de puissance, dont la vie est de 60 ans, doit tenir compte des conséquences du changement climatique tel qu'évaluées notamment dans les rapports du GIEC. Il s'agit d'avoir suffisamment d'eau pour contrôler la température de l'eau de rejet et le choix de l'implantation des EPR2 à Penly, en bord de mer est judicieux. Les travaux d'EDF montrent que cette implantation ne pose pas de problème particulier au regard des analyses environnementales déjà menées. Les modifications prévues sont minimes par rapport au programme global. Les EPR2 de Penly pourraient ainsi constituer la tête de série du programme électronucléaire du XXI^e siècle.

CONCLUSION

La France s'apprête à lancer un programme de construction de 6 réacteurs nucléaires de forte puissance, à la suite d'une longue période d'attente pendant laquelle on a contempné le vieillissement du parc actuel imposé par une politique de diminution de l'électronucléaire avec une perte de compétences aujourd'hui préjudiciable. La réalisation de ce programme et son extension, couplée à la prolongation de la vie des réacteurs du parc actuel, évitera un effet falaise et assurera la contribution de l'électricité nucléaire au Mix électrique jusqu'à la fin du siècle. Il permettra également de préparer l'énergie nucléaire du prochain siècle, qui, selon la loi, devrait reposer sur les RNR.

Pour ces raisons, l'AS estime que la France mènera à bien sa relance de l'industrie électronucléaire en se dotant de stratégies claires définies à moyen et long terme. La construction des EPR à Penly est conforme aux recommandations qu'elle a exprimées dans ses rapports et avis de juillet 2021.

