

GLOBAL CHANCE

Fiches du cycle 1 de la phase « Controverses » du débat CNDP EPR2-Penly de 2022

*

Table des matières

Introduction	1
Question 1 : Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires ?	2
Question 2 : Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques (3 paires dans le programme présenté) ?	4
Question 3 : Le programme des réacteurs EPR2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération.....	6
Question 4 - Est-ce que l'EPR2 est le bon choix de réacteur ?.....	8
Question 5 - Quel est l'impact du programme de nouveaux réacteurs sur le cycle du combustible et la gestion des déchets ?.....	10
Question 6 - La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique est-elle suffisamment réduite ?.....	12
Question 7 - La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux risques sociétaux (attentats, malveillance) ou géopolitiques (guerres), est-elle suffisamment réduite ?.....	14

*

Introduction

La Commission nationale du débat public (CNDP) a organisé à la demande d'EDF un débat public concernant le programme de construction de six réacteurs EPR2 de 1650 MW de puissance électrique nette, dont la première paire serait située sur le site de Penly qui abrite déjà deux réacteurs de 1300 MW.

Ce débat s'est déroulé de novembre 2022 à fin février 2023.

La Commission particulière (CPDP) chargée de ce débat « EPR2-Penly », présidée par Michel Badré, a organisé, en amont du débat lui-même, une phase préparatoire dite de « mise en évidence des controverses » consistant à demander aux experts désignés par les différentes parties prenantes du débat (entreprises et associations) de répondre à sept questions sur les principaux enjeux techniques du programme proposé par EDF.

Le Cycle 1 de cet exercice était constitué des réponses aux sept questions de chaque partenaire. Ensuite, en Cycle 2, chaque partenaire le désirant pouvait répondre à la position exprimée par les autres (par exemple EDF commentant une fiche Cycle 1 de Global Chance) et enfin, en Cycle 3, le partenaire concerné par une réponse en Cycle 2 pouvait commenter cette réponse (par exemple Global Chance commentant la réponse d'EDF à la fiche Global Chance du Cycle 2).

L'ensemble des fiches ainsi établies figurent sur le site « CNDP EPR2-Penly ».

Nous présentons dans cette note les sept fiches du Cycle 1 de Global Chance.

Question 1 : Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires ?

*

EDF justifie le lancement d'un nouveau programme nucléaire par quatre arguments : l'indépendance énergétique, l'augmentation de la consommation d'électricité, la contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (« décarbonation »), une production « pilotable » qui accompagne le développement des énergies renouvelables.

L'argument de l'indépendance énergétique nous rappelle très exactement les arguments avancés pour justifier le « Programme Messmer » d'accélération massive de la construction de réacteurs nucléaires en réponse au choc pétrolier de 1973-74, instaurant la politique du « tout électrique-tout nucléaire » conduisant au développement massif du chauffage électrique et à la « pointe d'hiver » annuellement redoutée encore plus aujourd'hui.

C'est donc de la politique énergétique qu'il faut discuter et, à cet égard, dans sa présentation du programme EPR2, EDF rappelle bien que la consommation finale d'énergie doit baisser de 40% en 2050 par rapport à 2012 (mais oublie le 20% en 2035). Le premier instrument est donc la maîtrise des consommations : « consommer moins et consommer mieux » est le premier facteur de l'indépendance énergétique. Cela doit s'appliquer évidemment à toutes les consommations, y compris celle d'électricité. De plus, l'indépendance apportée par le nucléaire est toute relative puisque l'uranium est entièrement importé et que l'électricité d'origine nucléaire ne représente qu'une fraction de la consommation énergétique finale (18% aujourd'hui).

EDF présente ensuite deux arguments : l'augmentation de la consommation d'électricité et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'augmentation de la consommation d'électricité serait justifiée par le passage de l'usage des combustibles fossiles à l'usage de l'électricité dans presque tous les secteurs. Alors que l'on sait très bien que, hors électricité, les énergies renouvelables, solaire thermique, géothermie, biomasse, réseaux de chaleur, biogaz, biocarburant, peuvent répondre de façon très importante à de nombreux besoins de chaleur et de carburant. D'autre part, l'hydrogène produit par l'électricité renouvelable pourra satisfaire les usages dans l'industrie et certains transports. Si l'on peut admettre une certaine augmentation de la part de l'électricité en pourcentage, sa baisse en valeur absolue apparaît très clairement dans des scénarios de l'ADEME, RTE et négaWatt.

Quant à la « décarbonation » à l'horizon 2050 (engagement de la France), la construction de 6 EPR2 sur la période 2037-2050 ne fera qu'augmenter les émissions de gaz à effet de serre d'une quantité notable, bien avant sa « compensation » bien tardive de leur fonctionnement prévu pour 60 ans, alors qu'elle sera assurée dès aujourd'hui par la mise en œuvre avec une amplitude croissante par la construction beaucoup plus rapide d'installations éoliennes (sur terre et en mer) et photovoltaïques (centrales et toitures).

Enfin, le nucléaire a toujours été considéré comme devant fonctionner en base, pour des considérations techniques et de sûreté mais aussi de coût. La modulation de la production nucléaire pour répondre aux variations de production des énergies renouvelables non thermiques deviendrait de plus en plus pénalisante avec l'augmentation de la production des énergies renouvelables. Ajoutons que les centrales à biomasse, déchets et gaz renouvelable, peuvent fonctionner sans variabilité mais aussi servir à compenser la variabilité des éoliennes et du photovoltaïque, en complément des moyens de stockage (STEP et autres) qui se développent rapidement. Ce que l'on peut craindre est que la construction de nouveaux

réacteurs ne bloque de fait le développement des énergies renouvelables afin d'assurer une place suffisante au nucléaire

Nous n'aborderons pas ici le coût du programme nucléaire envisagé, à notre avis très supérieur à celui d'un programme d'économies d'électricité et de production par les énergies renouvelables.

Au vu des problèmes de sûreté des réacteurs nucléaires, de leur vulnérabilité intrinsèque en cas de perte du refroidissement, de leur vulnérabilité, avec celle des industries du combustible nucléaire, aux agressions extérieures naturelles dues aux bouleversements climatiques et aux agressions malveillantes du fait des risques sociaux et géopolitiques, présentés dans les questions précédentes, nous considérons que la France ne doit pas lancer un nouveau programme nucléaire.

Question 2 : Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaire sous la forme d'un programme de réacteurs identiques (3 paires dans le programme présenté) ?

*

Le dossier du maître d'ouvrage nous fournit les éléments suivants :

- Un programme de construction de trois paires de réacteurs EPR2.
- Des propositions d'implantations : Paire 1 à Penly, Paire 2 à Gravelines, Paire 3 à Bugey ou Tricastin.
- Une mise service industriel de la première paire à l'horizon 2035-2037.
- 3 à 4 ans entre chaque paire et 18 mois environ entre les réacteurs d'une même paire.

1. Le choix de l'EPR2 : nous traitons ce point dans nos réponses aux questions 3 et 4.

2. La capacité industrielle de la filière française à maîtriser le programme industriel proposé, en termes de compétences, qualité, coûts et délais, fait l'objet d'un chapitre important du dossier du maître d'ouvrage. On en retire une impression favorable mais ce sont des annonces qui ne seront vérifiées que par l'expérience. D'autre part, le premier EPR2 construit serait le prototype d'une nouvelle filière et il est prématuré aujourd'hui de se convaincre d'une réussite considérée comme acquise aux yeux de ses promoteurs qui annoncent d'emblée la construction rapprochée de quatre autres EPR2.

A cet égard, il est bon de rappeler ce qu'Areva écrivait en 2003 sur l'EPR¹ :

« L'EPR, sûr, fiable, compétitif et respectueux de l'environnement est prêt à être construit. Décider prochainement d'en réaliser un premier exemplaire, c'est : pérenniser les compétences et le tissu industriels nucléaires français ; confirmer et affermir à l'international la position de leader de notre industrie ; conforter la compétitivité et la sûreté du parc actuel, tout en assurant la préparation de son renouvellement ; préserver, pour notre pays, la maîtrise de ses choix énergétiques ». On sait ce qu'il en a été ... L'EPR de Flamanville n'a toujours pas démarré.

3. Le choix du site de Penly est largement expliqué dans le dossier du maître d'ouvrage. Un point important reste en question : d'après nos informations, il faudrait construire à terme une ligne THT de 400 kV d'un coût estimé à 2 milliards d'euros. D'autre part, des travaux considérables devraient être réalisés pour l'aménagement du site, estimés à une durée de trois ans et demi : agrandissement de l'espace disponible, reprofilage de la falaise par décalage du pied de falaise et création de la terrasse de préfabrication, agrandissement de la plateforme de front de mer, terrassements au niveau des futures installations.

4. De façon générale, le choix des sites présenté par la maître d'ouvrage pose problème eu égard aux bouleversements climatiques qui ne feront que s'aggraver dans les années et les décennies qui viennent. Il faut se projeter en effet sur la situation qui régnera dans les années de construction jusqu'en 2035-2037, suivie par une durée une exploitation de soixante ans, puis du démantèlement et de la gestion des déchets.

Nous traitons ce problème de la vulnérabilité aux bouleversements climatiques dans notre réponse à la question 7, mais on voit tout de suite que les sites des projets envisagés posent tous des problèmes : pour la questions de la disponibilité de l'eau de refroidissement pour les réacteurs qui seraient implantés sur un fleuve (Bugey et Tricastin), pour la montée des eaux de la mer pour les sites côtiers (Penly et Gravelines), pour les besoins en eau douce, très importants pendant la période de construction des sites côtiers notamment.

¹ « Tout sur l'énergie nucléaire », Bertrand Barré, édition Areva.

Dans le cas de Penly, cette eau douce serait prélevée sur le petit fleuve côtier la Yères, long de 40 km, qui se jette dans la Manche à Criel-sur-Mer, à quelques kilomètres du site de Penly et en zone d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Le document du maître d'ouvrage nous dit que la consommation mensuelle d'eau douce serait d'environ 7000 mètres cubes et atteindrait 10 000 mètres cubes par mois au plus fort des travaux de génie civil².

Quel sera son débit dans 10, 20, 30 ans et plus ?

Qu'il s'agisse de la filière choisie pour les réacteurs, de leur puissance, de leur sûreté et de leur sécurité, ainsi que de la vulnérabilité des sites choisis aux bouleversements climatiques annoncés, nous considérons que le programme présenté par le maître d'ouvrage n'est pas acceptable.

² Dans son document pour la construction de deux EPR à Sizewell au Royaume-Uni, EDF déclare une consommation d'eau douce une demande d'eau douce pour les travaux d'aménagement et de construction allant jusqu'à 4000 mètres cubes par jour.

Question 3 : Le programme des réacteurs EPR2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération.

*

La conception d'EPR2 est issue de celle de l'EPR. Celui de Flamanville n'ayant pas démarré (ni encore reçu l'autorisation des essais de démarrage) et les autres EPR, de Finlande et de Chine, après des démarrages récents, étant aujourd'hui en panne ou fonctionnant à faible puissance, le retour d'expérience sur les EPR est très faible. Cette note examine les questions de sûreté. Celles-ci ne sont pas traitées dans le dossier du maître d'ouvrage.

Nos commentaires sont basés sur l'avis de l'ASN du 16 juillet 2019 (2019-AV-0329) qui porte sur le dossier d'options de sûreté (DOS) des deux projets EPRNM et EPR2

Notons d'emblée le « Considérant » suivant : « *Considérant que le projet de réacteur EPR NM doit prendre en compte les enseignements tirés de la conception, de la réalisation, des essais et des premières années de fonctionnement des réacteurs de type EPR situés en France et à l'étranger* ».

Les options de conception : « *L'ASN considère qu'il **aurait été souhaitable** que la prise en compte du retour d'expérience conduise à réinterroger plus largement la conception, par exemple pour réduire les risques de bipasse du confinement inhérents à la conception de certains systèmes de sûreté ou encore pour rendre plus robuste la conception de systèmes participant à la gestion à long terme des accidents avec fusion du cœur* ».

L'enceinte de confinement : Le réacteur EPR possède une enceinte de confinement composée de deux parois de béton : une paroi externe en béton armé et une paroi interne recouverte intérieurement d'une peau métallique (liner), configuration considérée alors comme indispensable pour résister à des accidents internes et à des atteintes extérieures telles que les chutes d'avion. L'enceinte de confinement des projets EPRNM et EPR2 est une enceinte à simple paroi épaisse en béton précontraint dont la face interne est revêtue d'une peau d'étanchéité métallique. L'ASN donne son accord au principe de cette solution.

Nous considérons que cette « simplification » est dictée par la réduction des coûts plutôt que par une « amélioration » de la sûreté.

L'instrumentation du cœur du réacteur : L'ASN considère que l'instrumentation neutronique de référence du cœur prévue pour le projet de réacteur EPRNM ne permet pas de disposer d'informations suffisamment précises sur la distribution de puissance interne au cœur et ne répond pas aux dispositions du guide du 18 juillet 2017 susvisé. L'ASN considère que ce n'est pas acceptable. Qu'en est-il pour EPR2 ?

Récupérateur ou stabilisateur de corium : Dans l'EPR, une innovation importante destinée à améliorer la sûreté est constituée d'un « récupérateur » de corium situé au fond de l'enceinte de confinement, permettant de recueillir et de refroidir le cœur fondu (corium) après le percement éventuel du fond de cuve du fait de la fusion du cœur³. Dans les projets EPRNM et EPR2, EDF retient l'installation d'un « stabilisateur » de corium mais précise : « *Sur la base du retour d'expérience des projets EPR en cours, la conception de récupération et de*

³ « Accidents graves des réacteurs à eau de production d'électricité ». IRSN-2008/98, 15 décembre 2008.

stabilisation du corium est optimisée pour le projet EPR NM. L'objectif est de permettre une fabrication et une installation plus simples, tout en préservant le même niveau de sûreté »⁴.

On constate ici encore le souci de simplification, acceptable à condition que la sûreté soit, sinon améliorée, du moins égale ce qui est loin d'être le cas. Curieusement, le dispositif du « système de récupération et de stabilisation » prévu par EDF pour le projet EPR NM et EPR2 n'est pas mentionné dans le dossier du maître d'ouvrage.

La prise en compte des agressions :

Les agressions d'origine interne : sur deux points, le jugement de l'ASN est sévère :

- Incendie : « *Les principes de conception présentés dans le dossier d'options de sûreté en matière de maîtrise des risques dus à l'incendie sont trop généraux pour pouvoir déterminer si la conception qui découlera de ces principes sera acceptable* ».

- Explosion : « *Le dossier d'options de sûreté ne présente pas les dispositions de conception associées à la maîtrise du risque d'explosion* ».

Les agressions d'origine externe : l'avis de l'ASN ne traite que deux sujets : la chute accidentelle d'aéronef et le séisme. Cela nous paraît très restrictif : il faudrait au moins distinguer les agressions externes naturelles et les agressions externes accidentelles ou malveillantes.

Agressions externes naturelles : la question des séismes est traitée dans l'avis de l'ASN (annexe 1, 5.2.2) : « *L'ASN considère que les méthodes du domaine de conception étendu doivent être fondées sur des méthodes déterministes qui représentent les phénomènes physiques étudiés ainsi que le comportement des structures. Les critères retenus peuvent tenir compte du caractère extrême de la situation étudiée. La méthode « design extension seismic capacity » n'est ainsi pas acceptable* ».

Nous traitons dans la réponse à la question 6 la vulnérabilité des réacteurs aux bouleversements climatiques.

Agressions externes aléatoires ou malveillantes : seule est prise en compte que chute accidentelle d'un avion militaire ou d'un avion commercial. Bien que cela relève de la sécurité et non de la sûreté et donc « secret défense », il est légitime que le citoyen s'interroge sur l'effet du choc frontal d'un avion gros porteur sur le bâtiment réacteur et le bâtiment combustible (« piscine » des combustibles irradiés), les conduites d'eau de refroidissement, les cuves de carburant des diesels, les transformateurs, les lignes électriques...), et sur la vulnérabilité de l'installation à une attaque par drone ou à une cyber-attaque, voire à des conflits sociaux ou militaires.

L'exclusion de rupture

Par lettre à EDF du 15 septembre 2021⁵, le président de l'ASN écrit :

« *A la suite des compléments et des engagements que vous avez transmis à l'ASN en réponse à son avis en référence, je considère désormais que le recours à la démarche d'exclusion de rupture des tuyauteries principales des circuits primaire et des lignes de vapeur secondaires sur les réacteurs EPR2 est acceptable* ».

Cette position est inacceptable.

Si les simplifications proposées par EDF apparaissent comme favorables pour la construction et l'exploitation du réacteur, nous considérons qu'elles constituent une régression de la sûreté nucléaire.

⁴ EDF, dossier d'options de sûreté, volume 2 (4.2.3).

⁵ CODEP-DCN-2021-040400

⁶ Celui du 16 juillet 2019 étudié dans cette note.

Question 4 - Est-ce que l'EPR2 est le bon choix de réacteur ?

*

EPR signifie « *Evolutionary Power Reactor* » (Réacteur de puissance évolutionnaire) : EPR2, comme les EPR actuellement démarrés ou en construction et tous les 56 réacteurs en fonctionnement du parc d'EDF, est de la filière des réacteurs à uranium enrichi (REP ou PWR), construits par Framatome. En poursuivant dans cette filière et du même modèle, EDF se placerait dans une situation, signalée et redoutée par l'ASN depuis son origine⁷ : l'occurrence d'une situation incidentelle ou accidentelle, la « **panne de mode commun** », touchant l'ensemble du parc, voire son arrêt d'urgence. Cette faiblesse est illustrée aujourd'hui par la détection de fissures dues à une « corrosion sous contrainte » qui paralyse une partie du parc nucléaire d'EDF.

Les réacteurs en fonctionnement et les réacteurs futurs de la même filière, dont l'EPR, ne sont pas conçus pour parer l'accident grave. L'IRSN écrit⁸ : « *La recherche concerne les réacteurs en fonctionnement et les réacteurs futurs. Les phénomènes de base sont les mêmes pour les réacteurs à eau sous pression actuels ou en projet. Toutefois, dans le cas des centrales existantes, les accidents graves n'ont pas été considérés lors de leur conception. Les modifications envisageables de l'installation sont donc restreintes et les recherches menées dans ce cadre ont essentiellement pour objectif de trouver des moyens de limiter les conséquences d'un éventuel accident grave* ». L'accident le plus « classique » est la perte du refroidissement du réacteur (« LOCA, *Loss of coolant accident* » en anglais), illustré par l'accident grave de Three Mile Island en 1979 et l'accident majeur de Fukushima en 2011. La conception d'EPR2 hérite directement de celle de l'EPR. Or, celui de Flamanville n'a pas encore démarré et on ne peut ignorer les problèmes qu'il rencontre encore, comme c'est le cas des EPR d'Olkiluoto et de Taishan.

Extraits de l'avis de l'IRSN n° 00154 du 21 juillet 2022 concernant l'EPR de Flamanville :

Anomalie de conception : « *A cet égard, l'IRSN estime que la conception thermohydraulique du cœur d'un réacteur devrait également spécifier des requis sur les fluctuations de débit en entrée du cœur. En tout état de cause, l'IRSN estime que la présence indésirable et non anticipée de fluctuations de flux neutronique (FFN) est la conséquence d'une anomalie de conception du plenum inférieur des cuves des réacteurs de type EPR* ».

Des modifications « provisoires » du contrôle-commande : « *À défaut de pouvoir supprimer la cause des FFN à court terme, EDF a prévu des modifications du contrôle-commande pour l'EPR FA 3 afin de limiter les aléas d'exploitation susmentionnés* ».

Limites et insuffisances : « *Les analyses d'EDF le conduisent à pénaliser les seuils de surveillance et de protection du cœur pour prendre en compte l'impact des FFN, ce qui conduit à réduire les limites du domaine d'exploitation du réacteur* »... « *Ainsi, l'IRSN estime que l'utilisation, dans la démonstration de sûreté, de données dont EDF ne peut, à ce stade, justifier ni le conservatisme ni l'impact sur l'analyse de sûreté n'est pas satisfaisant* ».

⁷ Déclaration du président de l'ASN (alors direction générale de la sûreté nucléaire, André Claude Lacoste lors de son allocution du 3 avril 2003 devant l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques).

⁸ « R & D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : bilan et perspectives », IRSN et CEA, La Documentation française, Paris, Janvier 2007.

*« Compte tenu de ce qui précède, l'IRSN conclut que les résultats de la démarche susmentionnée **ne peuvent constituer une démonstration de sûreté pérenne acceptable** ».*

L'EPR est lui-même l'héritier direct des réacteurs du palier N4 de 1500 MW : Chooz B1 et B2, Civaux 1 et 2. Le 21 octobre 2021, EDF a informé l'ASN de la détection de fissures sur un circuit de refroidissement de secours du réacteur n°1 de la centrale de Civaux, puis de l'arrêt des trois autres réacteurs de 1500 MW de puissance électrique nette et du réacteur de Penly 1 (1300 MW). Aujourd'hui, 12 réacteurs sont arrêtés de ce fait.

Le 7 juin 2022, l'ASN a déclaré : *« Il s'agit d'un événement sérieux et inédit, dont le traitement complet nécessitera plusieurs années »*⁹. Qu'en est-il pour l'EPR ?

L'EPR a été conçu comme combinant les N4 français de 1500 MW et le Konvoi allemand de 1300 MW. Une puissance de 1650 MW fut choisie, en faisant le réacteur le plus puissant au monde. Le concepteur et constructeur Westinghouse a construit un petit nombre de réacteurs de 1300 MW dans les années 1980, puis est redescendu à 1000 MW pour son réacteur AP-1000 de IIIème génération. La Chine, qui a acheté deux réacteurs EPR, a choisi pour son développement propre d'un réacteur de troisième génération, le modèle Hualong 1 (ou HPR-1000) d'une puissance de 1090 MW. Il n'est pas impossible que cette **course à la puissance**, une spécialité française, soit à l'origine des défauts de conception constatés sur l'EPR.

*« Le mois dernier, EDF a proposé au gouvernement tchèque son réacteur à eau pressurisée EPR1200 Ge III+ à ČEZ (l'exploitant national) dans le cadre d'une réunion de pré-appel d'offres pour l'unité 5 de la centrale nucléaire de Dukovany », s'est exprimé Xavier, directeur exécutif groupe en charge de la direction ingénierie et projets nouveau nucléaire (EDF)*¹⁰.

Ne serait-il pas raisonnable que, si l'on veut absolument construire de nouveaux réacteurs EPR en France, leur puissance soit limitée à 1200 MW ?

⁹ Réunion du HCTISN du 7 juin 2022.

¹⁰ <https://www.sfen.org/rgn/epr-1200-republique-tcheque/>

Question 5 - Quel est l'impact du programme de nouveaux réacteurs sur le cycle du combustible et la gestion des déchets ?

*

1. Le recyclage de l'uranium de retraitement et du plutonium

L'extraction chimique simultanée, de l'uranium, du plutonium, et des solutions de dissolution est obtenue par plusieurs cycles d'extraction chimique.

2.1 L'uranium de retraitement

La teneur en uranium de l'uranium de retraitement (Urt) obtenu par les séparations chimiques ne dépasse pas 99,5%. L'Urt a une teneur en ^{235}U supérieure à celle de l'uranium naturel (environ 0,84% au lieu de 0,718%) mais il est accompagné de produits de fission et de transuraniens, dont une fraction va être fluorée, lors de l'obtention de l'UF₆.

Ces teneurs résiduelles entraînent une contamination des procédés d'enrichissement. Pour cette raison l'uranium de retraitement n'a pas été enrichi en France, ni par le procédé de diffusion gazeuse ni par centrifugation. En outre, cet Urt comporte des isotopes artificiels (^{236}U et ^{232}U par décroissance) qui sont *neutrophages*, ce qui nécessite une augmentation du taux d'enrichissement en ^{235}U à 4,2% environ pour être équivalent à de l'uranium naturel enrichi à 3,7%.

Ce recyclage ne présente donc pas un grand intérêt économique du fait de la surconsommation en unités de travail de séparation (UTS) qu'il entraîne et des contaminations inévitables des appareillages.

Le recyclage de l'uranium de retraitement a cependant été réalisé. L'enrichissement a été fait principalement en Russie¹¹ et un total de 1 370 assemblages combustibles à l'Urt enrichi (environ 640 tonnes) a été utilisé dans les réacteurs de la centrale de Cruas (Rapport Areva 2015). Ces assemblages sont entreposés en piscine dans l'attente du stockage définitif.

1.2 Le plutonium

La fabrication du combustible MOX est complexe et coûteuse. Un tonnage significatif de crayons combustibles MOX est rebuté chaque année. Ces crayons de MOX rebuté sont rassemblés sous la forme de pseudo-assemblages (17 x 17 crayons) qui sont entreposés à La Hague, à UP2-800. Fin 2020, il y avait 315 tonnes de MOX rebuté entreposés dans la piscine NPH (Andra 2022).

Ce plutonium, qui ne pourra être récupéré qu'au moyen d'un retraitement difficile, compte tenu des risques de criticité présentés par la charge en plutonium, pose des problèmes d'entreposage à La Hague dans un contexte national de saturation des capacités d'entreposage.

Les assemblages MOX irradiés (2 350 tonnes fin 2020) sont également entreposés à La Hague et seraient stockés en l'état dans Cigéo. Compte tenu de l'énergie thermique dégagée, le conteneur de stockage ne contient qu'un seul assemblage alors que les UOX en contiennent quatre. Ainsi les MOX occuperaient quatre fois plus d'alvéoles de stockage que les UOX.

Le tableau suivant compare les matières nucléaires résiduelles et les transuraniens formés dans des assemblages à uranium naturel enrichi (UNE) et à oxyde mixte (MOX), irradiés à un taux de combustion de 45 GWj/t et refroidis 3 ans.

¹¹ 4 196 tonnes d'Urt ont été exportées et 296 t d'Urt enrichi importées, de 2001 à 2011. Les derniers assemblages en Urt enrichi se trouvaient encore chargés en 2013 à Cruas (11 tonnes).

Caractéristiques	UNE	MOX	MOX/UNE
Masse d'actinides	1,24 kg/t	6,04 kg/t	4,87
Activité des actinides	328 TBq/t	3 549 TBq/t	10,82
Masse de plutonium	11,21 kg/t	66,61 kg/t	5,94
Activité du plutonium	4 842 TBq/t	38 433 TBq/t	7,94
Masses (Pu + actinides)	12,45 kg/t	72,65 kg/t	5,84
Activités (Pu + actinides)	5 170 TBq/t	41 982 TBq/t	8,12
Dose par µg de métal lourd (ingestion)	0,12 mSv/µg	1,05 mSv/µg	8,75
Puissance thermique des Pu + actinides	0,53 kW/t	5,06 kW/t	9,6

Taux de combustion = 45 GW/t, Temps de refroidissement = 3 ans

L'usage du MOX se traduit par une faible consommation du plutonium (23,0%) car le plutonium est un mauvais choix en tant que combustible pour les réacteurs à neutrons thermiques. L'activité des actinides est près de 11 fois supérieure dans le MOX ce qui lui confère une toxicité supérieure d'un facteur 8,75.

Au nom d'une économie d'uranium naturel, le MOX entraîne en pratique d'énormes complications à toutes les étapes qui vont de la fabrication au stockage définitif.

2. L'entreposage des combustibles irradiés

Les retards de plus d'une décennie, pris par EDF sur la mise en chantier d'un entreposage centralisé conduisent aujourd'hui au recours systématique au retraitement des combustibles irradiés. Cette pratique conduit à un excédent important de plutonium : 66,4 tonnes fin 2021 soit plus de 7 fois les besoins annuels pour le combustible MOX.

La solution provisoire consistant à un entreposage compacté en piscine au moyen de nouveaux paniers utilisant un matériau neutrophage apporte une première réponse qui devrait être complétée par un stockage modulaire à sec qui pourrait recevoir les assemblages irradiés qui ont connu, dans les piscines de La Hague, des refroidissements plus importants (IRSN).

3. Pas de retraitement dans un éventuel programme EPR2

Le retraitement produit, comme nous l'avons vu, un tonnage de plutonium très important au point que les entreposages de plutonium sont pratiquement saturés. Des entreposages supplémentaires doivent être réalisés. L'excès de plutonium produit, alors même qu'il ne pourra pas être utilisé dans des réacteurs à neutrons rapides car leur construction a été abandonnée, conduira à traiter cette matière nucléaire comme un *déchet*, au même titre que les actinides mineurs.

D'autre part, le stockage définitif des déchets HA et MA-VL issus du retraitement n'apporterait pas de gains significatifs en matière stockage définitif par rapport au stockage en l'état des combustibles irradiés.

Nous considérons que, si un programme EPR2 était mis en œuvre, cela devrait se faire sans le retraitement des combustibles irradiés.

Question 6 - La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique est-elle suffisamment réduite ?

*

La démarche d'EDF en rapport à la vulnérabilité des réacteurs au bouleversements climatiques consiste à partir de conception actuelle des EPR2, basée sur des références milléniales et à s'appuyer sur une « veille climatique » pour apporter éventuellement les modifications nécessaires. Cette approche est dangereuse, parce que les bouleversements climatiques annoncés par le GIEC à court et moyen terme sont d'une ampleur et d'une vitesse d'apparition très supérieure à toute référence historique et que, de ce fait, les modifications qui s'avèreraient nécessaires seraient très probablement impossibles à réaliser.

La question posée doit donc être étudiée, non pas en référence au « connu » mais en se projetant dans les situations futures présentées par le dernier rapport du GIEC.

Faute de pouvoir examiner tous les aspects de cette vulnérabilité, nous avons concentré cette note sur ce qui nous paraît le plus important :

L'impact des modifications du cycle de l'eau sur les centrales nucléaires.

L'océan couvre 71% de la surface de la Terre, contient environ 97% de l'eau et a absorbé 93% de la hausse globale de la température liée au changement climatique. Les océans et la cryosphère sont interconnectés aux autres composantes du système climatique mondial par le cycle de l'eau, l'échange d'énergie et de carbone. Les réponses projetées de l'océan et de la cryosphère, au passé et au présent, induites par le réchauffement climatique en cours liés à l'activité de l'homme comprennent des rétroactions climatiques avec des changements majeurs visibles à l'échelle des décennies, voire des millénaires qui ne peuvent être évités et sont irréversibles. Les centrales nucléaires qui sont des machines thermiques qui utilisent l'eau comme moyen de refroidissement seront impactées par ces changements majeurs attendus du cycle de l'eau à l'échelle mondiale.

Ces impacts sont de trois types :

Hausse du niveau de la mer : le dernier rapport du GIEC (6^{ième} rapport) estime la hausse du niveau de la mer en France à $0,63 \text{ m} \pm 0,26$ d'ici à 2100 dans le cas du scénario SSP 3-7.0 (scénarios de rivalités régionales), qui fait peser un risque important aux infrastructures localisées sur les côtes. La tempête Martin de décembre 1999 qui a fait frôler la catastrophe à la centrale du Blayais en Gironde par une inondation est une illustration de ce risque pour les centrales nucléaires situées sur le littoral français, notamment celles de Penly et de Gravelines, situées au ras de l'eau. Les calculs du risque d'inondation sont étudiés avec des modèles qui comportent des failles. Les mesures de protection sont notamment établies en fonction de la surcote millénaire, c'est-à-dire une valeur dépassée en moyenne une fois à chaque mille ans. Or, les données enregistrées par les marégraphes offrent généralement des données vieilles de trente ans qui sont extrapolées sur mille ans. Cette représentativité est contestable dans un contexte de changement majeur du climat dans lequel on s'attend à des événements qui ne se sont jamais encore produits. Toutes les infrastructures construites aujourd'hui sur les côtes sont ainsi menacées.

Hausse de la température des rivières : Les centrales nucléaires doivent être refroidies continuellement pour pouvoir fonctionner en toute sécurité. Elles sont toutefois tenues de respecter des limites réglementaires maximales de température de leurs rejets d'eaux dans les rivières, afin de ne pas mettre en danger la flore et la faune. Pour fonctionner en cas de forte chaleur, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et le ministère de la Transition énergétique doivent accorder une dérogation ou limiter la production des centrales. C'est ce qui s'est passé cet été sur quatre centrales nucléaires. Ces dernières ont ainsi pu relâcher des eaux

dépassant les 30°C dans les rivières, quitte à gravement perturber la faune et la flore. Le problème des rejets d'eau chaude inhérents au fonctionnement des centrales reste entier en période de canicule et de sécheresse. Il devrait aller en s'aggravant notamment pour les EPR2, plus puissants (et donc nécessitant plus d'eau) dont une paire serait construite sur le Rhône, à Tricastin ou au Bugey.

Baisse des débits des fleuves et rivières : D'après RTE, 71% des arrêts des centrales en périodes de sécheresse sont dus à un débit insuffisant des fleuves pour refroidir les centrales. Or le projet Explore 2070, porté par l'Office Français de la Biodiversité, anticipe une baisse du débit moyen annuel des cours d'eau en France à l'horizon 2070 pouvant aller de 10% à 40% avec des évaluations jusqu'à 70% durant les périodes d'été. Les travaux récents de RTE sur les futurs énergétiques s'arrêtent à l'échéance de 2050 et estiment 3% de temps d'arrêts potentiels dus à l'eau à cette échéance. Cette estimation n'est pas pertinente pour les EPR2 qui auraient une durée de fonctionnement jusqu'entour de 2100 et donc une contrainte sur l'eau beaucoup plus élevée. En effet, les changements climatiques et la probable pénurie d'eau associée interviendront surtout sur la seconde moitié du siècle. À ces échéances, l'évolution du débit des fleuves aura un impact majeur pour le secteur nucléaire qui reste en France le premier préleveur d'eau (64% du prélèvement en 2012) et le second secteur consommateur d'eau (22% de la consommation d'eau en 2012) avec, en cas de pénurie lourde, des questions d'arbitrage pour l'usage de l'eau (irrigation, consommation des habitants, des animaux et d'autres industries), voire des discussions difficiles avec les pays voisins (la Suisse pour le Rhône).

S'ajoute la vulnérabilité des centrales aux tempêtes dont on sait qu'elles seront plus violentes et plus fréquentes du fait des bouleversements climatiques : perte du réseau électrique, difficultés d'accès des secours (force d'action rapide d'EDF), rupture de canalisations d'alimentation en eau, inondations...

Pour traiter la question du risque climatique, il faut prendre conscience que tout projet d'infrastructure conçu dans les années 2000 et 2010, doit être maintenant revisité en tenant compte des travaux du GIEC les plus récents, ce que ne fait pas EDF.

Question 7 - La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux risques sociétaux (attentats, malveillance) ou géopolitiques (guerres), est-elle suffisamment réduite ?

*

Nous devons nous projeter non seulement sur un programme de réacteurs qui démarreraient sur la période 2035-2050, pour fonctionner 60 ans, mais aussi sur l'ensemble des activités industrielles du combustible et des déchets radioactifs.

Les réacteurs

- **Attaque frontale** du réacteur par bombe, missile, ou avion gros porteur détruisant l'enceinte de confinement. Le degré de vulnérabilité est lié à la force de l'agression et surtout à la résistance de l'enceinte de confinement. A titre d'exemple, l'enceinte de confinement en béton armé des réacteurs de la centrale de Zaporijia est beaucoup plus épaisse que celle des réacteurs EPR et, a fortiori, celle des EPR2 (voir la réponse à la question 3).

- **Perte de refroidissement** : que le réacteur soit en fonctionnement ou à l'arrêt, le cœur doit être refroidi, ce qui nécessite une alimentation en eau et en électricité.

La perte d'électricité peut provenir de la conjugaison de la perte du réseau électrique (sabotage, bombardement ou artillerie), du non fonctionnement des diesels de secours (panne, sabotage interne, manque de carburant, notamment par destruction des cuves de carburant par sabotage ou bombardement). La fourniture d'eau de refroidissement peut être empêchée par l'endommagement des tuyauteries d'apport par les mêmes agressions.

- **Destruction des protections contre l'inondation** par brèches dans les protections naturelles, digues ou barrages (exemples vécus aux centrales du Blayais et du Tricastin en France, sans agression malveillante).

- **Cyber-attaque sur le contrôle commande du réacteur** conduisant à l'impossibilité de piloter le réacteur, notamment sur le fonctionnement des barres de contrôle et les systèmes de refroidissement normal ou de secours. Les cyber-attaques contre des installations nucléaires sont loin d'être une fiction : en 2010 déjà, les centrifugeuses d'une usine iranienne d'enrichissement d'uranium ont été victimes d'un *malware*¹², tout comme la centrale nucléaire indienne de Kudankulam en 2019.

- **Affaiblissement ou défection du personnel** de maintenance et, ou d'exploitation du fait d'une crise majeure à l'extérieur : grève générale ou mouvements populaires majeurs, crise sanitaire majeure, accident majeur sur le territoire avec évacuation de la population, conflit armé.

- **Sabotage interne** par une personne infiltrée dans les personnels de maintenance ou d'exploitation.

- **Chantage** exercé sur un membre du personnel d'exploitation ou de maintenance susceptible de pouvoir provoquer un accident.

Les industries du combustible

Les vulnérabilités sont de même nature mais très nettement réduites dans le cas où le retraitement des combustibles irradiés serait supprimé.

En effet, l'usine de retraitement de La Hague et ses « piscines » d'entreposage des combustibles irradiés est un site de risque majeur car celles-ci ne sont pas bunkérisées et très vulnérables aux attaques extérieures, notamment aériennes (avion ou drone). Il en est de même pour les entreposages de plutonium (80 tonnes fin 2021), les transports de plutonium et

¹² Malware est un terme générique utilisé pour désigner une variété de logiciels hostiles ou intrusifs.

les usines de fabrication du combustible MOX et, de façon générale, les transports de matières radioactives et leurs différents entreposages.

Les déchets radioactifs

Tous les sites d'entreposage de déchets radioactifs sont des vulnérabilités mais celle-ci est majeure avec le projet Cigéo qui, s'il était mis en œuvre, verrait sa construction et son exploitation se poursuivre pendant au moins un siècle avec en permanence, les transports de déchets à vie longue de haute et moyenne activité, une installation de surface pour les accueillir et les conditionner, des installations en profondeur nécessitant des ventilations permanentes à partir de la surface propices à tout sabotage ou attaque du type que nous avons décrites.