DÉBAT PUBLIC

NOUVEAUX RÉACTEURS NUCLÉAIRES ET PROJET PENLY

Clarification des controverses techniques

Note de synthèse
Novembre 2022

Débat public organisé par

LA CNDP commission nationale du débat public

Sommaire

Présentation générale de la démarche

Introduction 4
Identification des principales questions controversées 4
Méthode d'analyse des points de vue exprimés 5

Introduction générale

Argumentations présentées au titre de la question 1 8
- Introduction 9
- L'atteinte de la neutralité carbone 10
- L'indépendance énergétique 13
- Le fonctionnement en suivi de charge des réacteurs avec des ENR intermittentes 13

Argumentations présentées au titre de la question 2 15
- Introduction 15
- Les économies financières 16
- Robustesse de la filière 16
- Sûreté 17

Argumentations présentées au titre de la question 3 18
- Introduction 18
- Le programme EPR 2 prend-il en compte les problèmes techniques rencontrés sur le parc des réacteurs de deuxième génération ? 19
- Dans quelle mesure le programme EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience technique et projet associé à la construction des EPR en France et dans le monde ? 21
- Retour d'expérience organisationnel sur la construction de l'EPR de Flamanville 22

Argumentations présentées au titre de la question 4 25
- Introduction 26
- Les conséquences des évolutions de conception entre EPR et EPR 2 sur le niveau de sûreté 26
- Le choix d'une puissance de 1670 MWe et son insertion dans le réseau et dans le mix électrique 28

Argumentations présentées au titre de la question 5 31
- Introduction 32
- L'approvisionnement en uranium naturel 33
- Recyclage de l'uranium et du plutonium 34
- L'entreposage des combustibles usés en attente de retraitement ou de stockage 36
- La production de déchets radioactifs, en particulier des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue et leur stockage. 37

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 6 39
- Introduction 40
- La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à l'augmentation de la température de l'eau et de l'air 42
- La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à l'évolution du niveau de la mer 43
- La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à la diminution du débit des rivières et des fleuves 43
- La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à la tension sur les ressources naturelles 44
- La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à d'autres effets du changement climatique 45
- Comment modéliser les effets du changement climatique ? 45

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 7 47
- Introduction 48
- Dispositifs généraux visant à limiter la vulnérabilité des réacteurs dans le cadre de la sûreté nucléaire 48
- Dispositifs généraux visant à limiter la vulnérabilité des réacteurs dans le cadre de la sécurité nucléaire 49

Annexe 1

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES 51

Annexe 2

LISTE DES RESSOURCES CITÉES DANS LA CLARIFICATION DES CONTROVERSES 52
- Q1 : Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires ? 52
- Q2 : Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques ? 52
- Q3 : Le programme de réacteurs EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération ? 52
- Q4 : Est-ce que l'EPR 2 est le bon choix de réacteur ? 52
- Q5 : Quel est l'impact du programme de nouveaux réacteurs sur le « cycle du combustible » et la gestion des déchets ? 53
- Q6 : La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique est-elle suffisamment réduite ? 53
- Q7 : La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux risques sociétaux (attentats, malveillance) ou géopolitiques (guerres) est-elle suffisamment réduite ? 53

LE GLOSSAIRE DU DÉBAT EN LIGNE 53

Présentation générale de la démarche

INTRODUCTION

La démarche de « clarification des controverses », dont le résultat est présenté ici, intervient dans le cadre du débat public nouveaux réacteurs nucléaires et projet Penly, qui se déroule du 27 octobre 2022 au 27 février 2023.

Elle vise à apporter au public non spécialiste mais soucieux de disposer d'une bonne information technique les informations permettant de comprendre les différences d'argumentations exprimées par des experts ou des organismes institutionnels, sur des questions relevant de ce programme.

Cette démarche a été initiée par la commission particulière du débat public (Cpdp) chargée d'organiser le débat. Y ont participé les établissements, entreprises ou associations suivants : l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), le Centre National pour la Recherche Scientifique (CNRS), EDF, France Nature Environnement (FNE), Global Chance, Greenpeace, Orano et la Société Française d'énergie nucléaire (SFEN).

IDENTIFICATION DES PRINCIPALES QUESTIONS CONTROVERSÉES

La lecture de la documentation disponible et les entretiens réalisés avec les parties prenantes ont fait apparaître sept thèmes principaux de controverse concernant le programme de nouveaux réacteurs nucléaires et le projet Penly qui font l'objet des sept questions de cette synthèse

1. Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires ?

Cette question regroupe les interrogations sur les critères justifiant le programme présenté dans le dossier de saisine, à savoir :

- L'atteinte de la neutralité carbone de la France, aux échéances fixées ;
- L'indépendance énergétique ;
- Le fonctionnement en suivi de charge des réacteurs avec des ENR intermittentes.

2. Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques ?

3. Le programme de réacteurs EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération ?

Cette question englobe :

- Le retour d'expérience technique et « projet » associé à la construction des EPR en France et dans le monde ;

- La prise en compte des problèmes techniques rencontrés sur le parc des réacteurs de deuxième génération ;
- La capacité industrielle disponible pour réaliser le programme en lien avec la question 2, dans le respect des critères de qualité, délais et coûts annoncés.

4. Est-ce que l'EPR 2 est le bon choix de réacteur ?

Cette question englobe :

- Les conséquences des évolutions de conception entre EPR et EPR 2 sur le niveau de sûreté ;
- Le choix d'une puissance de 1 670 MWe et son insertion dans le réseau et le mix électrique ;
- Les solutions alternatives.

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

Cette question englobe, au regard des besoins en investissements et en exploitation :

- L'approvisionnement en uranium naturel ;
- Le recyclage de l'uranium et du plutonium produits par le retraitement des combustibles EPR 2 usés (option du DMO = mono-recyclage) ;
- L'entreposage des combustibles usés en attente de retraitement ou de stockage ;
- La production de déchets radioactifs, en particulier des déchets de haute activité à vie longue et leur stockage.

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

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

MÉTHODE D'ANALYSE DES POINTS DE VUE EXPRIMÉS

La démarche repose sur :

- **Une liste de sept questions**, numérotées de 1 à 7.
  Ces questions, établies par la Cpdp et validées en réunion avec les autres participants, couvrent les principaux thèmes de débats techniques concernant la relance d'un programme nucléaire français et le projet d'EPR 2 à Penly.

- **Les éléments d'argumentation** apportés par chaque intervenant qui le souhaitait sur chaque question, **en trois phases** :

  Phase 1 : Premier dépôt de contribution.

  Phase 2 : Réponse par un autre intervenant à un déposant de la phase 1.

  Phase 3 : Le cas échéant, réponse complémentaire du déposant initial aux argumentations déposées en phase 2 sur sa contribution.

Le tableau joint en annexe donne la liste des contributions reçues, par question, par phase et par intervenant.

Une synthèse par question, (chapitres I à VII ci-après) est établie par la Cpdp à partir des contributions reçues. Cette synthèse comprend pour chaque question un résumé, une introduction qui présente la question et son contexte, et les arguments en présence.

Concernant cette synthèse, deux points importants doivent être précisés :

1. La démarche porte sur les questions techniques qui concernent le programme de nouveaux réacteurs et l'EPR 2 en particulier. Elle n'a pas vocation à en décrire toutes les conséquences de façon précise, ce qui relèvera du débat public et le cas échéant de l'instruction des dossiers d'autorisation ultérieurs. En particulier, les impacts environnementaux (relevant du rapport d'évaluation environnementale établi par le maître d'ouvrage, non disponible à ce jour, et de l'avis de l'Autorité environnementale) et les évaluations socio-économiques, relevant d'expertises d'une autre nature, ne sont pas traités ici.
2. Elle est limitée aux argumentations techniques, à l'exclusion des arguments d'opportunité économique, politique ou éthique très présents sur ces questions, et qui relèveront du débat public lui-même : les éléments présentés ici ne prétendent évidemment pas se substituer au débat de fond qui doit avoir lieu sur chaque question, mais seulement mettre à disposition du public l'état des éléments d'argumentation technique en présence. Ce point a conduit à ne pas retenir dans la synthèse des points figurant dans certaines fiches mais relevant de prises de position en opportunité, ou d'argumentations économiques, qui auront leur place dans le débat ultérieur plus qu'ici.

La présente note a été établie par la Cpdp et sous sa seule responsabilité, après de multiples échanges avec les contributeurs de la démarche, pour traduire leur argumentation aussi fidèlement que possible. Toutes les fiches émises par les contributeurs au cours des phases d'examen successives, répertoriées dans le tableau cité plus haut, sont consultables sur le site de la Cpdp. Elles seules engagent leurs auteurs.

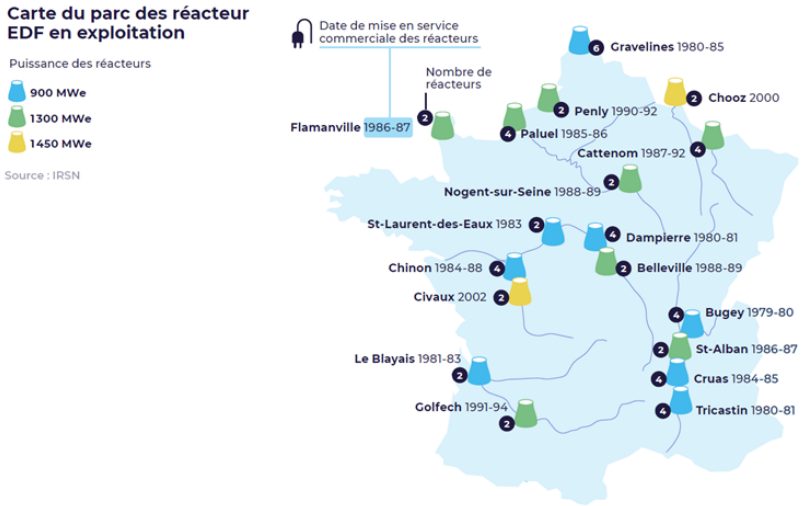
Introduction générale

L'énergie a pris une place majeure dans l'actualité depuis quelques mois : un été 2022 marqué par une vague de chaleur, conséquence du changement climatique, la guerre en Ukraine révélant plus que jamais nos dépendances énergétiques et les enjeux géopolitiques spécifiques à la sécurité nucléaire en sont deux exemples.

La France et l'Union Européenne se sont fixées des objectifs ambitieux de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. L'Union européenne a pour objectif de réduire ses émissions nettes de gaz à effet de serre d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990. La France s'est de plus dotée d'une stratégie nationale pour atteindre la neutralité carbone à horizon 2050.

Ce débat s'inscrit dans un choix sociétal plus large et a pour objectif d'éclairer les débats parlementaires sur la loi de programmation énergie climat qui définira la politique énergétique française future et la place que le nucléaire y occupera.

Le paysage nucléaire français en 2022 est représenté par la carte ci-dessous. Même dans l'hypothèse d'une prolongation des réacteurs du parc jusqu'à 60 ans d'exploitation, parmi les 56 réacteurs en exploitation en 2022, seuls 10 seront encore en fonctionnement en 2050.



Les réacteurs en activité en France sont des réacteurs de deuxième génération.

Le réacteur de Flamanville, dont la mise en exploitation est annoncée actuellement pour fin 2023, et les réacteurs prévus au programme sont de type EPR, c'est-à-dire sont des réacteurs de troisième génération. Ce sont des réacteurs à eau pressurisée dont le fonctionnement peut être résumé par le schéma ci-dessus (schéma valable dans le cadre d'un réacteur situé en bord de rivière ou de fleuve, les réacteurs sur le littoral ne présentent pas de tour aéroréfrigérante).

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 1

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

Cette première question suppose traités dans les questions suivantes, les critères de sécurité indispensables mais ne justifiant pas par eux-mêmes le lancement d'un nouveau programme. Elle regroupe les interrogations sur les critères justifiant le programme présenté dans le dossier de saisine, à savoir :

- L'atteinte de la neutralité carbone de la France, aux échéances fixées ;
- L'indépendance énergétique ;
- Le fonctionnement en suivi de charge des réacteurs avec des ENR intermittentes.

Résumé

La question de l'opportunité d'un programme de construction de nouveaux réacteurs nucléaires s'inscrit dans un débat beaucoup plus large sur le paysage énergétique de la France en 2050 : quelle consommation énergétique, avec quel mix énergétique et quel mix électrique ?

Plusieurs institutions ont proposé des scénarios pour éclairer ces choix qui apportent des éléments pour débattre de la maturité technologique, des changements sociétaux et des questions de temporalité et de coût de chaque option présentée.

Au sein du groupe de controverse, la nécessité d'atteindre la neutralité carbone est partagée par tous, cependant, le scénario optimal pour l'atteindre fait débat entre un mix électrique composé d'énergies renouvelables et d'énergie nucléaire et un mix entièrement composé d'énergies renouvelables.

La notion d'indépendance énergétique, concernant les matières premières et la maîtrise de la chaîne d'approvisionnement et de valeur fait également débat.

L'évolution du mix électrique met en tension la robustesse du réseau, les acteurs y apportent tous une attention particulière.

Cependant, pour garantir cette robustesse, certains militent pour une base de production nucléaire et d'autres pour un investissement massif dans des solutions de flexibilité et de stockage de l'électricité.

Introduction

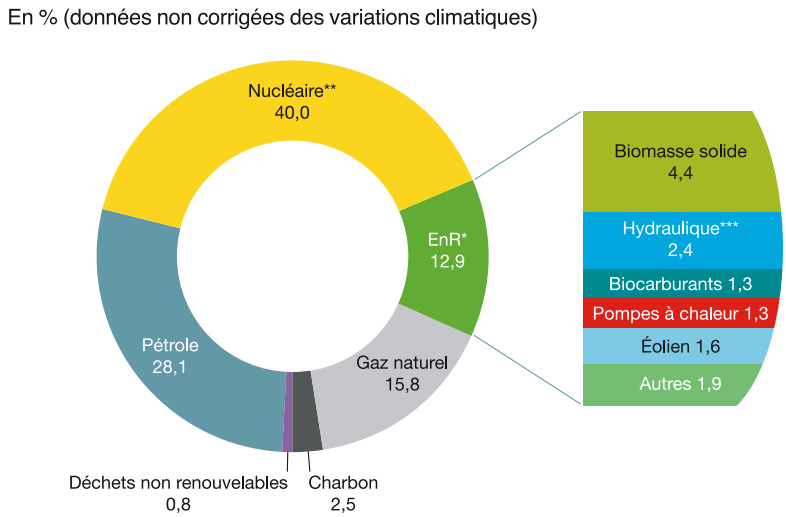
La France s'est engagée sur une trajectoire de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre définie au niveau national et européen. Au niveau national, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) a pour ambition de donner des orientations pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Au niveau européen, lancé en 2019, le pacte vert pour l'Europe engage les États vers la réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre avec pour objectif de les réduire de 55 % en 2030 par rapport à leur niveau de 1990.

Les définitions du mix énergétique et du mix électrique sont essentielles dans les stratégies de neutralité carbone. Le mix énergétique peut être représenté par le mix d'énergie primaire ou le mix d'énergie finale détaillés ci-contre pour l'année 2018. Le nucléaire représente 45 % de l'énergie primaire française, soit 17 % de la consommation finale d'énergie du pays et 69 % de la production d'électricité en France. Ainsi, si le mix électrique français est l'un des plus décarbonés d'Europe, les 2/3 de la consommation d'énergie finale en France restent d'origine fossile, et donc émetteurs de CO_2. Concernant le mix électrique, le nucléaire est la principale source d'énergie électrique en France comme le montre le graphique ci-dessous :

Les graphiques ci-dessous sont issus des données du ***ministère de la transition écologique***.

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE
Total : 2 571 TWh en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)



** EnR : énergies renouvelables.*

*** Correspond pour l'essentiel à la production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité. On inclut également la production hydraulique issue des pompages réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie, mais cette dernière demeure marginale comparée à la production nucléaire.*

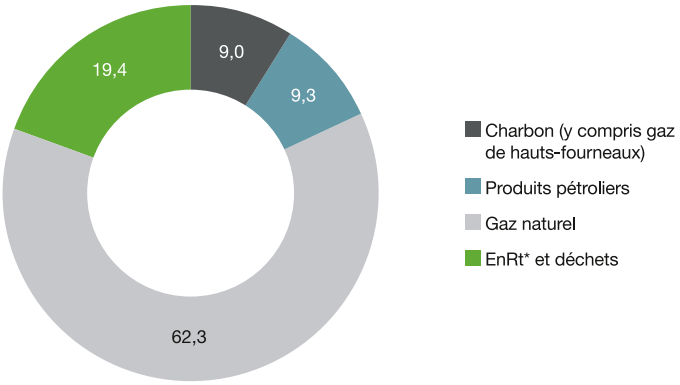
**** Hydraulique hors pompages.*

Champ : France entière (y compris DROM)

Source : SDES, Bilan énergétique de la France.

PRODUCTION THERMIQUE CLASSIQUE NETTE PAR TYPE DE COMBUSTIBLE
Total : 53 TWh en 2020

En %



** EnRt : énergies renouvelables thermiques.*
Champ : France entière (y compris DROM).
Source : SDES, Bilan énergétique de la France

La France a une balance commerciale énergétique largement déficitaire. En effet, La France a dépensé 25,2 milliards d'euros en 2020 pour s'approvisionner en pétrole et en gaz et a gagné 1,2 milliard d'euros en exportant de l'électricité.

En France, le gestionnaire du réseau électrique, RTE est l'acteur responsable de l'équilibrage du système électrique pour égaliser la production électrique de toutes natures et la demande électrique à chaque instant.

La trajectoire retenue par RTE et prévue par la SNBC est une diminution de 40 % de la consommation d'énergie finale et une augmentation de la consommation électrique de 30 % entre aujourd'hui et 2050.

L'atteinte de la neutralité carbone

La nécessité d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 est un point de départ commun aux différents argumentaires reçus de la part de tous les participants.

La controverse porte davantage sur la façon optimale d'atteindre cette neutralité carbone ; notamment, on peut distinguer deux principaux types de positionnement vis-à-vis du mix électrique souhaité : un constitué d'un socle avec nucléaire et d'énergies renouvelables et un sans nucléaire avec un mix composé uniquement d'énergies renouvelables. C'est donc l'opportunité même de la construction de réacteurs plus que le rythme du programme qui est controversé pour atteindre les objectifs de neutralité carbone.

Atteindre la neutralité carbone en 2050 implique d'avoir résolu plusieurs questions sociétales et techniques : sur la consommation d'énergie en France en 2050, sur le mix énergétique souhaité et enfin sur le mix électrique.

Consommation d'énergie en France en 2050

Développer un nouveau programme de réacteurs tel que prévu par le maître d'ouvrage assurerait à la France une puissance disponible d'électricité de 10 GW d'électricité jusqu'en 2100. Pour EDF, ce programme de réacteurs accompagné d'un développement significatif des ENR permettrait donc de s'adapter aux différents scénarios envisagés par RTE, y compris un scénario de réindustrialisation s'accompagnant d'une forte électrification des procédés industriels avec une augmentation de la consommation électrique allant jusqu'à plus de 40 % comparée aux niveaux de 2020.

D'autres scénarios décrits par ***l'ADEME*** et par ***RTE*** décrivent des augmentations de la consommation électrique plus modérées jusqu'à envisager une baisse de la consommation électrique à l'horizon 2050. Ces derniers scénarios laissent une place plus importante à la sobriété.

La controverse porte sur les effets induits du développement d'un nouveau programme nucléaire qui permettrait pour les uns de se préparer à tous les scénarios, et qui pour les autres inciterait à la consommation et empêcherait l'adoption d'un modèle plus sobre.

Pour estimer l'apport du nucléaire à l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone il faut comparer cette éventualité à celle d'arrêter le nucléaire et de se reposer principalement sur les énergies renouvelables comme le proposent certains répondants.

Mix énergétique de la France en 2050

La stratégie nationale bas carbone prévoit pour la France une électrification massive des usages et un recours à d'autres sources d'énergie pour les usages difficiles à électrifier. Lorsque l'électricité est bas carbone, l'électrification des usages contribue à la décarbonation. Comme reflété dans l'ensemble des scénarios, chacune des technologies ne peut pas être considérée individuellement sans prendre en compte l'équilibre du système. Dans des scénarios sans nouveau nucléaire, le développement important des énergies renouvelables s'accompagne du développement de moyens de flexibilités additionnels (ex : batteries, STEP, hydrogène ou gaz de synthèse). Dans les scénarios avec nouveau nucléaire, il y a lieu de prendre en compte l'ensemble des infrastructures nécessaires au fonctionnement du « cycle du combustible ».

D'autres sources d'énergie permettent également cette décarbonation comme la géothermie, la biomasse ou le biogaz ce qui pose la question, selon Global Chance, de la place accordée à l'électricité dans le mix énergétique de la France à horizon 2050.

Mix électrique de la France en 2050

Au sein du mix énergétique, la composition du mix électrique fait également débat. Sur la composition du mix électrique, deux principaux positionnements ont été observés : un positionnement pour un mix composé d'énergies renouvelables et de nucléaire et un positionnement pour un mix électrique entièrement renouvelable documenté par plusieurs scénarios, notamment par le scénario négaWatt.

Les arguments sur lesquels ils sont fondés sont de trois natures : le potentiel de décarbonation de chaque type d'énergie, la temporalité exigée par chaque stratégie et enfin le coût associé.

- **Potentiel de décarbonation**

  D'après le ***GIEC***, les médianes des émissions du nucléaire et de l'éolien sont identiques soit 12 g de CO_2/kWh avec une plus grande variabilité pour le nucléaire. Pour l'hydraulique, la médiane des émissions s'établit entre 40 et 70 g de CO_2/kWh, pour le photovoltaïque, la médiane des émissions s'établit à 41 g de CO_2/kWh.

  Une étude réalisée par EDF et rapportée par la SFEN place à 4 g de CO_2/kWh l'émission du nucléaire français. Cette valeur est inférieure à la médiane communiquée par le GIEC ce qui s'explique notamment par la prise en compte dans cette étude du fait que le processus d'enrichissement de l'uranium est réalisé en France dans le cadre du nucléaire français.

  La ***base carbone de l'ADEME*** communique quant à elle les chiffres de 10 g de CO_2/kWh pour le nucléaire, 7 g de CO_2/kWh pour l'éolien et 55 g de CO_2/kWh pour le photovoltaïque.

  Greenpeace considère cependant que le potentiel de décarbonation de l'éolien est neuf fois supérieur à celui du nucléaire.

- **La temporalité de chaque stratégie**

  Les échéances de décarbonation et l'urgence de l'action face au changement climatique placent la question de l'échelle de temps de mise en place de chacune de ces stratégies au centre des questionnements. Les premiers réacteurs nucléaires de ce programme s'il est adopté devraient voir le jour entre 2035 et 2037, si on exclut tout retard, pour un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050.

  Plusieurs opposants au programme soulignent que développer le nucléaire ne permettra pas à la France de tenir ses premiers engagements intermédiaires en 2030 et présente de plus le risque que le programme prenne du retard et que la France ne puisse pas non plus honorer ses engagements en 2050.

  À la controverse sur la capacité du nucléaire à être opérationnel en temps voulu s'ajoute une deuxième controverse sur la maturité technologique des solutions de production d'énergie, de stockage et d'adaptation du réseau nécessaires à un mix électrique entièrement renouvelable. Si certains ont confiance dans leur capacité à se développer à temps, d'autres la mettent en doute et insistent sur le fait que seuls les scénarios comportant un socle de nucléaire sont à même de permettre à la France d'atteindre ses objectifs en 2050.

- **Le coût de chaque stratégie**

  À chaque stratégie est associée un coût. Le coût du nucléaire fait l'objet de nombreuses controverses, non traitées dans ce document.

L'indépendance énergétique

Les débats sur l'indépendance énergétique conférée par le développement du nucléaire portent principalement sur l'indépendance vis-à-vis du minerai d'uranium, de sa chaîne d'approvisionnement et de sa chaîne de transformation. L'uranium naturel consommé dans les centrales nucléaires françaises est importé. Cette importation de matière première est source de dépendance vis-à-vis des principaux pays exportateurs à savoir le Canada, le Niger et le Kazakhstan. Il est très difficile d'obtenir les pourcentages exacts de la répartition des volumes importés. Orano et EDF ne communiquent pas de chiffres précis, assurant que « *L'approvisionnement en uranium naturel s'appuie sur des ressources abondantes et globalement bien réparties sur la planète. Plus de 40 % des réserves terrestres se trouvent dans des pays de l'OCDE.* » Greenpeace estime pour sa part que 45 % de l'uranium naturel provient du Kazakhstan.

EDF et la SEN estiment que cette dépendance concernant les matières premières ne signifie pas pour autant une totale dépendance énergétique. Elle peut être atténuée grâce à la diversification des sources d'approvisionnement et à la maîtrise de la chaîne d'approvisionnement. Orano garantit en effet l'approvisionnement en uranium naturel sur 20 ans ainsi que la maîtrise de la chaîne de transformation de minerai d'uranium en combustible puisque l'uranium naturel est enrichi en France.

L'importance que cette technologie reste maîtrisée par la France est une priorité pour l'ensemble des acteurs. En ce qui concerne l'ensemble du « cycle du combustible », Greenpeace met en garde sur le fait que la France ne maîtrise pas la transformation de l'U3O8 en UF6 qui intervient préalablement à l'enrichissement de l'uranium de retraitement et s'inquiète de l'utilisation de technologies venues de l'étranger qui ferait perdre à la France son indépendance sur ce segment.

La Cpdp rappelle que 8 000 tonnes d'uranium naturel sont enrichies chaque année et que 1000 tonnes d'uranium de retraitement sont susceptibles d'être recyclées chaque année.

La capacité de l'énergie nucléaire à contribuer à l'indépendance énergétique est à comparer avec celui d'un mix électrique composé essentiellement d'énergies renouvelables : une fois construits, les éoliennes et les panneaux solaires assurent une indépendance énergétique totale, ce que relèvent FNE, Global Chance et Greenpeace. Cependant leur construction nécessite également des terres rares qui ne sont pas extraites sur le sol français et implique donc une dépendance vis-à-vis des matières premières note EDF.

Le fonctionnement en suivi de charge des réacteurs avec des ENR intermittentes

Avec un mix électrique comportant de plus en plus d'énergies renouvelables, les répondants s'accordent sur le fait que les besoins en termes de flexibilité du réseau seront croissants. Les variations observées sont journalières en fonction des heures de pointe et annuelles en fonction des saisons. Pour le bon fonctionnement du réseau électrique, l'équilibre entre offre et demande doit être respecté à tout moment. Le nucléaire assure actuellement 50 % de la flexibilité saisonnière, 25 % de la flexibilité hebdomadaire et 15 % de la flexibilité journalière.

Avec un mix électrique incluant davantage d'énergies intermittentes, le nucléaire va devoir être capable d'assurer un suivi de charge (c'est-à-dire la capacité à faire varier la puissance de fonctionnement d'une centrale de façon à l'adapter aux variations de la demande des consommateurs) plus complexe. Les caractéristiques de l'EPR 2 décrites dans le dossier du maître d'ouvrage détaillent des capacités techniques permettant de passer de 25 % de charge à 100 % de charge en 30 minutes - assurant ainsi une source de flexibilité de court, moyen et long terme. La pilotabilité du nucléaire et la mise à disposition des moyens de production sont remises en question par FNE au regard des arrêts de centrale survenus cet été suite aux vagues de chaleur.

Cependant, Global Chance et FNE demandent que ce suivi de charge complexe ne se fasse pas au détriment de la sûreté. Par ailleurs, ils estiment que le facteur de charge moyen du nucléaire est amené à diminuer au profit de celui des énergies renouvelables ce qui ne manquera pas d'affecter le coût du MWh d'énergie produite.

Un scénario composé de renouvelables et de nucléaire est selon RTE plus robuste du point de vue du réseau car moins sensible aux conditions météorologiques. Cependant au moyen d'investissements dans des solutions de stockage et de pilotabilité du réseau, des mix électriques entièrement composés de sources d'énergie renouvelable sont documentés. Notamment, l'utilisation de batteries ou d'hydrogène (comme vecteur énergétique) sont des solutions privilégiées par la France. Si ces solutions ont un coût plus élevé et ne sont pas toutes matures pour le moment, la nécessité d'investir dès aujourd'hui pour les développer est soutenue par FNE, Global Chance et Greenpeace.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 2

Question 2 : Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques ?

Résumé

Les débats autour de la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques se sont concentrés autour des points suivants : savoir si un programme permet des économies financières, apporte ou non de la robustesse à la filière et à quel point il contribue à la sûreté des installations.

La relation de causalité est l'axe essentiel de controverse concernant la robustesse de la filière pour déterminer si la démonstration de la robustesse de la filière doit précéder l'idée d'un programme de réacteurs ou si c'est l'annonce même de ce programme qui permet d'apporter de la robustesse à la filière.

Enfin du point de vue de la sûreté, la construction de réacteurs sous la forme d'un programme s'accompagne d'avantages liés à la simplification des procédures et d'inconvénients en cas de détection d'anomalie, généralisable alors à tous les réacteurs du programme.

L'opportunité même du programme de relance du nucléaire a concentré la majorité des arguments. Les débats sur ces questions sont polarisés au sein du groupe de clarification des controverses entre les entités favorables à l'établissement d'un programme tel que présenté dans le dossier du maître d'ouvrage et ceux qui sont défavorables à toute forme de relance de la filière nucléaire et par conséquent à toute forme de programme. Cette polarité s'est établie au détriment des discussions sur les caractéristiques du programme comme le nombre de réacteurs qui le composent, le rythme de déploiement du programme, le caractère identique ou non des réacteurs qui le composent

Introduction

Dans le dossier de maître d'ouvrage, EDF propose de relancer la construction de centrales nucléaires sous la forme d'un programme de trois paires de réacteurs EPR 2 identiques sur les sites de Penly, Gravelines et de Bugey ou du Tricastin.

Historiquement, les réacteurs nucléaires ont majoritairement été construits dans le cadre de programmes de réacteurs identiques. Comme le précise l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) : « *Les réacteurs sont classés selon leur modèle – on parle de palier – et selon la puissance électrique qu'ils fournissent : 900 mégawatts électriques (MWe), 1300 MWe et 1450 MWe* ».

Il y a 32 réacteurs de 900 MWe : 4 réacteurs du palier CP0 (4 à Bugey) et 28 réacteurs du palier CPY (4 à Tricastin, 6 à Gravelines, 4 à Dampierre, 4 à Blayais, 4 à Chinon, 4 à Cruas et 2 à Saint-Laurent).

Les 20 réacteurs de 1 300 MWe se subdivisent en deux paliers : le palier P4 avec 8 réacteurs (4 à Paluel, 2 à Saint-Alban et 2 à Flamanville) et le palier P4 avec 12 réacteurs (2 à Belleville sur Loire, 4 à Cattenom, 2 à Golfech, 2 à Nogent sur Seine et 2 à Penly).

Les réacteurs de 1450 MWe sont au nombre de 4, du palier N4 (2 à Chooz et 2 à Civaux).

Cette question a donc pour objectif de questionner les raisons qui poussent à choisir de relancer la filière nucléaire et la construction d'EPR 2 sous la forme d'un programme de réacteurs identiques tel que cela a pu être fait par le passé.

Les économies financières

La question des économies financières induites par la construction de réacteurs nucléaires sous la forme d'un programme de paires de réacteurs a été abordée par plusieurs participants et n'est pas traitée dans le cadre de cette démarche de clarification des controverses. Elle sera traitée dans un autre cadre lors du débat, notamment lors du temps fort « Quel coût, quel financement, quelles conséquences sur les utilisateurs ? ».

Robustesse de la filière

La France n'a pas construit de programme de plusieurs réacteurs nucléaires depuis plus de 20 ans, les savoir-faire incluant aussi bien les compétences métiers que les procédés industriels ont été largement mis de côté pendant cette période. Le rapport Folz a conclu que les importants retards et les écarts de coûts et de conformité observés sur le chantier de l'EPR de Flamanville sont en partie imputables à la perte de compétence de l'ensemble de la filière électronucléaire au niveau national.

Dans sa conclusion, le ***rapport Folz*** insiste sur la responsabilité de la filière et préconise pour l'avenir « d'afficher des programmes stables à long terme de construction de nouveaux réacteurs en France et d'entretien du parc existant qui donnent aux entreprises concernées la visibilité et la confiance nécessaires pour qu'elles engagent les efforts d'investissement et de recrutement indispensables. »

L'idée de ce rapport, partagée par EDF et par la SFEN est que l'existence même d'un programme de plusieurs réacteurs nucléaires donne à la filière la visibilité nécessaire pour réaliser les investissements, les recrutements et les formations nécessaires à la réussite de ce même programme. C'est donc, pour elles, le programme qui permet la robustesse de la filière.

Cette relation de causalité ne fait pas consensus au sein du groupe de controverses. La possibilité de la reproduction de l'échec de Flamanville est au centre des oppositions au programme. Selon FNE et Global Chance la filière ne serait pas plus prête aujourd'hui qu'elle ne l'était avant le début de la construction de Flamanville pour former, embaucher et développer à large échelle des procédés de production pour de potentiels futurs réacteurs. Au moment du lancement de l'EPR de Flamanville, le même argument de pérennisation du tissu industriel que ne manquerait pas de créer le lancement d'un tel projet était avancé. Et pourtant la filière a rencontré des difficultés majeures, ce qui incite ces organisations à demander la démonstration du renouvellement de la culture industrielle française nucléaire avant d'envisager la relance d'un programme de réacteurs nucléaires. Ici c'est donc la démonstration préalable de la robustesse de la filière qui permettrait le lancement du programme.

Concernant le niveau de savoir-faire de la filière pour développer le programme, Global Chance questionne également les difficultés qui pourraient être rencontrées par ce programme spécifiquement du fait qu'aucun EPR 2 n'ait encore jamais été construit et estime que l'EPR 2 est un prototype quand EDF le présente comme une tête de série.

Sûreté

EDF et la SFEN défendent que l'EPR 2 garantit les mêmes exigences de sûreté que l'EPR et présente le grand avantage d'une construction facilité. Ils ajoutent que la construction d'EPR 2 sous la forme d'un programme de réacteurs identiques permet la standardisation des procédés de conception et de fabrication. Construire des réacteurs identiques permet de limiter la diversité des pièces à concevoir et à produire. Cela minimise donc la complexité des chaînes de fabrication et d'assemblage et limite aussi le nombre de procédures de vérification à mettre en œuvre lors de la maintenance. Tous ces critères permettent une meilleure maîtrise de l'ensemble des procédés de la construction à la maintenance et participent à la sûreté nucléaire.

Cependant, Global Chance rappelle que l'effet de série peut également poser de nombreuses contraintes en termes de sûreté, notamment dans le cas où un problème est détecté sur un réacteur, il est alors susceptible de concerner l'ensemble des réacteurs du même modèle et donc de paralyser une partie du parc.

Étant donné que les réacteurs prévus au programme sont de type EPR la prise en compte du retour d'expérience et des problèmes rencontrés sur les précédents EPR est nécessaire. La question 3 de cette clarification des controverses traitera plus en détail de la prise en compte du retour d'expérience de la construction et du fonctionnement des EPR pour l'EPR 2.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 3

Question 3 : Le programme de réacteurs EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération ?

Cette question englobe :

- Le retour d'expérience technique et « projet » associé à la construction des EPR en France et dans le monde,
- La prise en compte des problèmes techniques rencontrés sur le parc des réacteurs de deuxième génération
- La capacité industrielle disponible pour réaliser le programme en lien avec la question 2, dans le respect des critères de qualité, délais et coûts annoncés

Résumé

Le programme EPR 2 s'inscrit dans une longue lignée de programmes nucléaires industriels qui selon EDF et la SFEN sont à même de fournir un retour d'expérience technique et organisationnel pertinent pour optimiser l'ensemble des étapes allant de la conception à l'exploitation en passant par la construction. EDF détaille ainsi comment les retours d'expérience des réacteurs de deuxième génération et de type EPR ont été pris en compte, ce qui est contesté par FNE, Global Chance et Greenpeace qui soulignent des problèmes apparus sur les réacteurs de type EPR et déjà connus sur des réacteurs de deuxième génération. Ceci prouve selon eux l'incapacité d'EDF à mettre en place cette procédure de retour d'expérience. Si les difficultés majeures rencontrées sur le chantier de Flamanville font consensus au sein du groupe, la perspective d'une amélioration ne fait pas l'unanimité. L'organisation nouvelle de la filière grâce au plan EXCELL, au plan MATCH et à la création du GIFEN est saluée par les partisans au programme et les opposants en prennent acte, tout en doutant qu'elle puisse faire ses preuves et qu'elle puisse surmonter des écueils notamment le manque de main-d'œuvre et de compétence dans certains domaines clés du nucléaire comme le décrit un ***rapport gouvernemental*** cité par Global Chance.

Introduction

L'EPR 2 est un réacteur de troisième génération, il est précédé par des réacteurs de première et deuxième générations. En France, 56 réacteurs de deuxième génération sont encore en service, le premier est entré en service dans les années 1970.

Plusieurs réacteurs de type EPR sont en construction ou en fonctionnement dans le monde :

- En Finlande : Olkiluoto 3 dont le premier béton a été posé en 2005 et la mise en service commercial annoncée pour décembre 2022 ;
- En France : Flamanville 3 dont le premier béton a été posé en 2007 et la mise en service commercial annoncée pour fin 2023 ;

- En Chine : Taishan 1 dont le premier béton a été posé en 2009 et la mise en service commercial réalisée en décembre 2018 et Taishan 2 dont le premier béton a été posé en 2010 et la mise en service commercial réalisée en septembre 2019. Taishan 1 a été arrêté de juillet 2021 à août 2022 pour des problèmes de fluctuations de flux neutroniques et d'inétanchéité des crayons comme le rapporte l'IRSN dans le rapport commandé par la Cpdp : ***« Retour d'expérience des projets d'EPR dans le monde ».***
- En Angleterre : Hinkley Point dont le premier béton a été posé fin 2018 et la mise en service commercial annoncée pour 2027.

Le programme EPR 2 prend-il en compte les problèmes techniques rencontrés sur le parc des réacteurs de deuxième génération ?

Retour d'expérience sur le fonctionnement normal du parc

EDF décrit dans sa contribution les systèmes de surveillance et de contrôle réguliers et standardisés mis en place pour contrôler l'état de fonctionnement des réacteurs de deuxième génération actuellement en fonctionnement en France. En plus de la surveillance quotidienne, des arrêts de maintenance interviennent tous les 18 mois pour renouveler le combustible, surveiller l'état des composants et réaliser des essais. À ces occasions, des composants peuvent être changés si besoin. À ces visites de maintenance, s'ajoute tous les 10 ans un réexamen complet de l'installation qui peut être l'occasion d'effectuer des travaux plus approfondis pour intégrer l'expérience acquise sur l'ensemble du parc lors de la période venant de s'écouler. Cet examen est contrôlé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, seule autorité habilitée à valider que le réacteur peut reprendre son fonctionnement après les contrôles. EDF s'appuie sur cette organisation pour défendre sa capacité à intégrer systématiquement le retour d'expérience du fonctionnement des réacteurs de deuxième génération. EDF cite par exemple la prise en compte du retour d'expérience des incidents liés à des phénomènes non connus lors de la conception initiale des réacteurs du parc en exploitation comme la fissuration d'un circuit de refroidissement sur Civaux en 1998. Ce retour d'expérience a servi à mieux définir le tracé de tuyauteries et la conception de pièces spécifiques dans l'EPR.

Greenpeace et Global Chance doutent que la prise en compte des problèmes rencontrés sur le parc des réacteurs de deuxième génération soit réellement effective.

Tout d'abord, tous deux s'interrogent sur la possibilité de juger de la prise en compte ou non du retour d'expérience. En effet, étant donné la faible durée de fonctionnement des EPR dans le monde à ce jour, les problèmes de fonctionnement sur les EPR ne sont certainement pas encore tous visibles et il leur semble donc prématuré de pouvoir conclure que les problèmes rencontrés notamment sur les réacteurs de type N4 et Konvoi[1] ont été pris en compte de manière efficace et pertinente. Il en va de même pour les modifications apportées à l'EPR comparativement aux systèmes existants sur les centrales de type N4 et Konvoi.

En plus de la préoccupation sur la durée du retour d'expérience disponible, Global Chance et Greenpeace mettent en garde au sujet de plusieurs éléments techniques.

1. Ils jugent notamment que les résultats des calculs de mécanique des fluides à l'intérieur des cuves des réacteurs de grande puissance n'ont pas été vérifiés avec plusieurs méthodes différentes, ce qui rend le protocole trop léger. Ils déplorent

1 Les réacteurs de type N4 et de type Konvoi sont des réacteurs de deuxième génération de puissance respective 1450MWe et 1300MWe. Installés respectivement en France et en Allemagne dans les années 80/90 ce sont les réacteurs en fonctionnement les plus récents de ces deux pays.

que les retours d'expérience des réacteurs étrangers de type Konvoi n'aient pas été pris en compte pour la construction de l'EPR alors même que les problèmes de vibrations rencontrés sur l'EPR de Taishan et ayant pour origine des fluctuations de débit, sont de même nature que ceux observés sur les Konvoi allemands. EDF au contraire estime que ces problèmes de fluctuation de débit en entrée de cuve étaient bien connus et ne sont pas un problème nouveau sur les EPR et précise de plus, en citant l'avis IRSN 2022-00154-1 qu'ayant conscience de ce problème des modifications vont être apportées sur l'EPR 2 pour en limiter l'amplitude.

2. Ils citent aussi le manque de validation par l'expérience des programmes de calculs physiques relatifs au réacteur devant servir à déterminer la charge du cœur de l'EPR et ayant été modifié par rapport aux centrales N4 et Konvoi. Sur ce point EDF précise que les codes de calcul utilisés présentent toujours une part de variabilité qui doit être validée physiquement lors des premiers démarrages et que c'est pour cette raison que le premier cycle d'une centrale comporte une montée en puissance lente afin que tous les paramètres neutroniques[2] puissent être vérifiés.
3. Global Chance mentionne également les problèmes hydrauliques de fond de cuve détectés sur le Konvoi. Étant donné que ce type de réacteur a servi de modèle pour l'EPR 2, Global Chance s'interroge sur la possibilité que ce type de problème survienne sur de futurs réacteurs EPR 2. EDF rappelle que les fluctuations neutroniques observées sur les EPR de Taishan sont un phénomène connu qui ne remet pas en cause la sûreté du réacteur, mais limite néanmoins à ce stade les marges de fonctionnement normal, et dont le retour d'expérience sera pris en compte pour le réacteur EPR 2 en cours de conception
4. Global Chance alerte enfin sur le phénomène de corrosion sous contrainte et les problèmes de fissures apparus sur le circuit de refroidissement du palier N4.

La Cpdp rappelle que, le 21 octobre 2021, EDF a informé l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) de la détection de fissures sur un circuit d'injection de sécurité (RIS) du réacteur n°1 de la centrale de Civaux, puis de l'arrêt des trois autres réacteurs de 1450 MW de puissance électrique nette et du réacteur de Penly 1 (1300 MWe).

Au 17 novembre 2022, 10 réacteurs sont arrêtés de ce fait. L'IRSN, dans sa note d'information du 20 janvier 2022, précise la nature de l'endommagement par corrosion sous contrainte de tuyauteries connectées au circuit de refroidissement primaire. Cette corrosion sous contrainte apparaît au niveau de soudures sur ces tuyauteries soumises à des contraintes thermomécaniques. Dans son avis n°2022-00066 du 1er avril 2022, l'institut a évalué le procédé d'examen par ultrasons optimisé utilisé par EDF pour détecter ce phénomène. Le 7 juin 2022, l'ASN a déclaré : « *Il s'agit d'un événement sérieux et inédit, dont le traitement complet nécessitera plusieurs années* ». FNE souligne que le retour d'expérience devrait également prendre en compte celui provenant des réacteurs de première génération et considère que l'EPR 2 ne prend en compte ni le retour d'expérience globale de la filière, ni celui de la filière EPR.

2 La neutronique est la branche de la physique consacrée à l'étude des différents phénomènes gouvernant les populations de neutrons et leurs interactions avec la matière.

Retour d'expérience sur les accidents nucléaires

EDF a également rappelé qu'au-delà du retour d'expérience concernant les problèmes intervenus lors du fonctionnement « normal » des réacteurs, des enseignements ont également été tirés des accidents nucléaires ayant affecté des réacteurs de deuxième génération. Ces enseignements ont conduit à une mise à jour des procédés de conception et de construction des réacteurs. Tout particulièrement après l'accident de Fukushima-Daiichi, les dispositifs de sûreté ont été renforcés avec par exemple le renforcement des moyens de refroidissement de la piscine combustible.

Dans quelle mesure le programme EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience technique et projet associé à la construction des EPR en France et dans le monde ?

Retour d'expérience technique sur la construction des précédents EPR dans le monde et en France

Les autres réacteurs EPR existants en France et dans le monde ainsi que les dates clés qui leur sont associées ont été rappelés dans l'introduction.

La capacité à pouvoir effectuer un retour d'expérience sur les réacteurs de type EPR fait controverse au sein du groupe. Un consensus s'établit toutefois autour du fait que grâce à l'exploitation des réacteurs de Taishan, des anomalies ont pu être identifiées. Greenpeace et Global Chance estiment que la période disponible pour constituer un retour d'expérience est extrêmement réduite en particulier pour l'expérience en exploitation. Greenpeace juge que toute la transparence n'a pas encore pu être faite sur le retour d'expérience de Taishan et Global Chance s'appuie sur l'avis de l'IRSN du 21 juillet 2022 pour affirmer que la prise en compte du retour d'expérience sur l'EPR de Flamanville est loin d'être terminée, par exemple sur les fluctuations du débit du caloporteur en entrée de cœur et les fluctuations de flux neutroniques associées.

Selon la SFEN, le retour d'expérience est disponible et a été communiqué, ce qui a permis aux deux autorités de sûreté nationales d'échanger. Ceci va permettre à EDF et à Framatome d'établir un ensemble de solutions pour résoudre les problèmes de corrosion sous contrainte sur les lames de ressorts des grilles des assemblages combustible induits par un flux neutronique inégal. La SFEN précise que les assemblages qui seront placés en périphérie du premier cœur de Flamanville 3 bénéficieront d'évolutions de conception permettant de réduire leur sensibilité à ce phénomène.

EDF estime que la période de construction des EPR et les premières années d'exploitation des réacteurs de Taishan constituent une base intéressante à exploiter pour concevoir, construire et exploiter l'EPR 2 dans le futur. EDF cite l'exemple des soupapes du pressuriseur (PSRV) qui servent à protéger le circuit primaire contre les surpressions. Sur l'EPR de Flamanville, le choix s'était porté sur une technologie de soupapes de marque SEMPELL issues de la technologie utilisée sur les réacteurs allemands de type Konvoi. Ce choix a été questionné par l'IRSN et l'ASN notamment lorsque des désordres ont été observés dans les soupapes, tant sur Flamanville 3 que Olkiluoto 3. Pour tenir compte sur EPR 2 de ce retour d'expérience, le choix s'est porté sur la technologie des soupapes SEBIM utilisées sur le parc en exploitation (deux soupapes montées en série pour chacune des trois soupapes de sûreté) similaire à la technologie utilisée sur le palier N4.

Retour d'expérience organisationnel sur la construction de l'EPR de Flamanville

Les grandes dérives en termes de coûts et de délais pour la construction de l'EPR de Flamanville font consensus au sein du groupe de controverses. L'organisation interne en termes de gestion de projet, dénoncée par le rapport Folz comme une des causes des difficultés de l'EPR de Flamanville, fait également consensus. Au-delà du retour d'expérience technique, EDF compte également capitaliser sur l'expérience acquise au cours du chantier de Flamanville pour s'assurer que les erreurs organisationnelles passées ne seront pas reproduites. L'objectif serait alors d'avoir un plateau projet intégrant les équipes d'EDF mais également les équipes de Framatome et une implication plus en amont des fournisseurs. Selon Global Chance, la mise en place de ce plateau ne constitue pas une grande avancée puisque Framatome est détenu à 75 % par EDF. La liste de non-conformités détectées à Flamanville a encouragé EDF à mettre en place plusieurs plans d'action, notamment au niveau de ses sous-traitants. Des procédés industriels, en particulier ceux associés au forgeage des branches primaires et les gammes de fabrication des usines Framatome ont été repris pour réaliser des pièces répondant à un cahier des charges précis.

Instructions techniques de l'ASN et de l'IRSN sur le projet de réacteurs EPR NM et EPR 2

EDF a sollicité, le 15 avril 2016, l'avis de l'ASN sur les principales options de sûreté d'un projet de nouveau modèle de réacteur, appelé EPR Nouveau Modèle (EPR NM). Le dossier d'options de sûreté (DOS) présente le référentiel de sûreté applicable à ce projet de réacteur et les principales options de conception à l'étude. L'ASN a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur ce dossier, en vue de la tenue d'une réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires. L'IRSN a rendu un avis en janvier 2018 (Avis/IRSN N° 2018-000013) sur l'EPR NM. EDF a ensuite informé l'ASN par courrier du 30 janvier 2018 de son intention de faire évoluer la configuration technique retenue dans le dossier d'options de sûreté du projet de réacteur EPR NM. La nouvelle configuration technique retenue est appelée EPR 2. L'ASN a rendu son avis en juillet 2019 (Avis n° 2019-AV-0329) sur la base de la configuration EPR NM. Depuis, d'autres échanges ont eu lieu entre l'ASN, l'IRSN et EDF pour expertiser les nouvelles options choisies dans la configuration EPR 2. Un courrier de l'ASN (Référence courrier : CODEP-DCN-2021-040400) confirme la possibilité de l'application d'une démarche d'exclusion de rupture à certaines tuyauteries des circuits primaire et secondaire principaux.

La Cpdp rappelle que le dossier d'options de sûreté fait partie du processus d'autorisation d'une Installation Nucléaire de Base (INB). La transmission de ce dossier à l'ASN n'est pas obligatoire mais est vivement conseillée pour commencer le dialogue avec l'autorité et son support technique, l'IRSN. La transmission de ce dossier se situe pendant la phase d'études du projet en amont de la demande d'autorisation de création (DAC). L'ASN donne son avis sur ce document. Charge à l'exploitant d'apporter les réponses dans le dossier de demande de création de l'installation qui suivra.

Objectifs généraux de sûreté

Les avis divergent entre les membres du groupe de clarification des controverses à propos du dossier d'options de sûreté de l'EPR 2, et des avis de l'ASN sur ce dossier. Pour la SFEN, l'ASN considère que « *les objectifs généraux de sûreté, le référentiel de sûreté et les principales options de conceptions sont globalement satisfaisants* ». Pour FNE, bien loin de prendre en compte le retour d'expérience des réacteurs de deuxième génération ou des réacteurs de la filière EPR, les modifications apportées aux nouveaux réacteurs EPR 2 se sont faites aux dépens de la robustesse de l'installation et de la sûreté nucléaire.

Démarche d'exclusion de rupture

Dans son avis 2019-AV-0329 et dans son courrier CODEP DCN 2021 040400, l'ASN estime que « *la démarche d'exclusion de rupture pour les tuyauteries principales du circuit primaire et secondaire du projet de réacteur EPR 2 est acceptable* ». Pour Global Chance, l'autorisation de la démarche d'exclusion de rupture est inacceptable et constitue une régression de la sûreté nucléaire.

Logiciels utilisés pour les calculs

Global Chance et Greenpeace citent l'ASN concernant les logiciels de calculs qui « *ne sont pas tout à fait appropriés pour le calcul de la répartition de la puissance* ». Ce à quoi EDF répond en précisant avoir fait évoluer son produit entre EPR NM et EPR 2. Pour l'EPR 2, le retour à une chaudière nucléaire telle que celle installée sur l'EPR Flamanville 3 ou l'EPR anglais d'Hinkley Point C (HPC) pour des besoins d'industrialisation conduit un retour à l'instrumentation neutronique connue et validée de l'EPR.

Les capacités industrielles disponibles permettront-elles de réaliser le programme dans le respect des critères de qualité, délais et coûts annoncés ?

Les difficultés majeures rencontrées sur le chantier de la construction du réacteur Flamanville 3 font consensus au sein du groupe de clarification des controverses. EDF assure que cet échec a donné lieu à deux principaux plans : un plan pour l'excellence technique et un plan pour l'excellence humaine lié notamment à l'emploi et à la formation.

Le plan sur l'excellence de la filière nucléaire française est nommé le plan EXCELL. Son objectif est de pallier l'évidente perte de compétence industrielle et de savoir-faire de la filière française. Pour FNE, les incertitudes qui entourent la relance du programme sont trop nombreuses du fait du contexte économique concurrentiel et des exigences de sûreté qui s'ajoutent au fur et à mesure des accidents nucléaires et qui complexifient le travail des constructeurs et des exploitants. En résultent des pièces difficiles à forger ou des opérations trop complexes pour être réalisées dans des conditions économiquement acceptables. Global Chance reste dubitatif sur le succès annoncé de ce programme et cite le rapport gouvernemental intitulé « Travaux relatifs au nouveau nucléaire (PPE 2019-2028) ».

Ce rapport demande « *qu'EDF dresse un bilan des résultats de la mise en œuvre du plan Excell, y compris pour Framatome en matière de fabrications, qui fera l'objet d'un audit externe du Gouvernement en 2022 afin de constater les gains opérés et proposer des voies d'optimisation de la transformation initiée. Un audit externe sera également réalisé par le Gouvernement pour mesurer l'état de préparation de la filière, en particulier des fournisseurs sensibles, en matière de compétences et de disponibilité ainsi que d'adéquation de l'outil industriel. Cet audit portera sur le plan de charge de la filière, en particulier sur les activités sensibles, en vue d'identifier les enjeux de charge et les arbitrages à rendre en termes de priorités le cas échéant.* »

Concernant les compétences humaines, l'emploi et la formation, Global Chance et Greenpeace considèrent que l'échec de Flamanville prouve l'incapacité de la filière à pouvoir s'engager à nouveau dans la construction d'un tel programme de réacteurs. Global Chance alerte sur les compétences de la filière nucléaire en cas de relance d'un programme nucléaire en citant le rapport gouvernemental « Travaux relatifs au nouveau nucléaire (PPE 2019-2028) » qui selon Global Chance souligne un certain nombre d'interrogations et de difficultés. Ce rapport juge que *« Les travaux doivent désormais se poursuivre pour s'assurer de la disponibilité des compétences et des investissements chez les fournisseurs les plus critiques et de l'adéquation du plan de charge de la filière notamment avec les projets de construction prévus, y compris à l'export. »* De plus, ce rapport analyse les compétences et les entreprises du nucléaire et montre qu'il existe des monopoles ou quasi-monopoles pour 12 segments industriels sur 16, une capacité industrielle insuffisante pour 6 segments et des métiers en tension pour 6 segments notamment. Trois segments sont identifiés comme particulièrement à risques car cumulant plusieurs facteurs de risques : tuyauterie-soudage, chaudronnerie et process nucléaire (circuit primaire et échangeurs).

Ces analyses ont été complétées par celles du GIFEN qui conclut que, suivant le segment considéré, les entreprises sont plus ou moins confiantes dans leur capacité à assumer la charge de la construction de nouveaux réacteurs. Sur les segments de la climatisation/ventilation, du contrôle-commande ou des générateurs par exemple, les entreprises estiment que le risque est modéré voire inexistant. A contrario, sur les segments de la chaudronnerie/forges, de l'électricité/instrumentation, de l'ingénierie, de la logistique, des essais/contrôles, du process nucléaire, de la radioprotection, de la robinetterie et surtout de la tuyauterie-soudage, à date, le risque est vu comme élevé (de 30 % à 75 % des répondants suivant le segment) de ne pas être en mesure d'assumer la charge liée à la construction de nouveaux réacteurs.

EDF défend de son côté son programme MATCH porté par le groupement professionnel de la filière nucléaire, le GIFEN. Ce groupement, créé en 2018 par 5 grands donneurs d'ordre (EDF, ORANO, CEA, Framatome, Andra), regroupe 24 industriels et les 4 associations historiques de la filière (le Groupe Intersyndical de l'Industrie Nucléaire, le GIIN, l'Association des Industries Français Exportateurs du Nucléaire, l'AIFEN, le Partenariat France Monde Électricité, le PFME, le Forum Atomique Industriel Français, le FAIF) qui ont fusionné au sein du GIFEN. Le GIFEN porte l'ambition de faire renaître cette filière au plus haut niveau avec le programme nommé Match dont le but est d'analyser les besoins en compétence sur une échelle de 10 ans pour la filière et de sécuriser les recrutements au sein des entreprises du nucléaire, en particulier pour les plus petites entreprises. Ainsi, EDF et la SFEN estiment que, malgré la perte en compétence de la filière ces dernières années, de nouveaux organismes et outils sont aujourd'hui en place et visent à retrouver le plus haut niveau de rigueur, de qualité et d'excellence dans la filière électronucléaire française.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 4

Question 4 : Est-ce que l'EPR 2 est le bon choix de réacteur ?

Cette question englobe :

- Les conséquences des évolutions de conception entre EPR et EPR 2 sur le niveau de sûreté
- Le choix d'une puissance de 1670 MWe et son insertion dans le réseau et le mix électrique
- Les solutions alternatives

Résumé

Le dossier du maître d'ouvrage ainsi que les avis de l'ASN et de l'IRSN détaillent longuement les caractéristiques techniques de l'EPR 2 ainsi que la suite logique de choix qui ont conduit à passer de l'EPR à l'EPR 2 en passant par l'EPR NM.

Les évolutions entre l'EPR et l'EPR 2 et leurs conséquences sur la sûreté du réacteur sont un point de controverse. Pour EDF et la SFEN, ces évolutions permettent de simplifier le projet tout en garantissant le même niveau de sûreté. Ce projet reçoit une forte opposition de la part de FNE, Global Chance et Greenpeace. Notamment pour Global Chance, ces évolutions sont majoritairement dictées par une volonté de réduction des coûts et se sont faites au détriment de la sûreté.

La puissance de 1670 MWe proposée par le maître d'ouvrage ne fait pas non plus consensus, des craintes étant exprimées sur le niveau de sûreté et le rendement associés à un réacteur de si forte puissance alors que le maître d'ouvrage défend la possibilité de bénéficier des retours d'expérience des EPR de puissance similaire et l'optimisation de la puissance délivrée au regard du foncier occupé. La question des solutions alternatives a fait l'objet d'une argumentation très polarisée entre ceux qui soutiennent l'EPR 2 et n'envisagent pas d'alternative possible dans un futur proche et ceux pour qui le nucléaire n'est pas la bonne solution pour l'avenir énergétique du pays, quelle que soit sa forme, et donc quelle que soit la technologie retenue.

Introduction

De nombreux sujets et arguments sont communs aux questions 3 et 4. L'IRSN considère que le cœur du réacteur EPR 2 est comparable à celui de l'EPR de Flamanville et détaille l'ensemble des différences dans le rapport ***Les alternatives à l'EPR 2*** publié en octobre 2022 suite à une saisine de la CNDP en juillet 2022. Les principales différences entre l'EPR et l'EPR 2 sont les suivantes :

Caractéristiques principales	EPR	EPR 2
Puissance	4 500 MWth (1 600 MWe)	4 590 MWth (1 670 MWe)
Trains de sauvegarde	4 trains de sauvegarde	3 trains de sauvegarde
Concept « two-room » (possibilité d'accès au bâtiment du réacteur en fonctionnement)	Oui	Non
Enceinte extérieure	Double paroi en béton avec un liner métallique intérieur	Simple paroi épaisse en béton avec liner métallique intérieur

Le rapport IRSN cité ci-dessus dresse un panorama des alternatives au réacteur EPR 2 parmi lesquels figurent :

- Les autres types de réacteurs à eau sous pression de troisième génération :
  - Le réacteur AP1000 américain
  - Le réacteur APR1400 coréen
  - Le réacteur HPR1000 chinois
  - Le réacteur VVER1200 russe
  - Les réacteurs de quatrième génération : plusieurs types existent à différents niveaux de maturité et dans différents pays.
- Les petits réacteurs modulaires : les « SMR » sont des réacteurs de puissance inférieure à 300 MWe dont la fabrication peut être faite en grande partie en usine. Les concepts de SMR sont nombreux à travers le monde (projets NUWARD en France, NUSCALE aux USA, KLT en Russie, HTR-PM en Chine, SMART en Corée du Sud...). Plus d'une soixantaine de SMR sont en développement dans le monde à des stades plus ou moins avancés.

Les conséquences des évolutions de conception entre EPR et EPR 2 sur le niveau de sûreté

Critères techniques influençant la sûreté de l'EPR 2

EDF rappelle dans sa contribution les principales étapes qui ont conditionné les évolutions de l'EPR vers l'EPR 2 :

En avril 2016 : EDF a sollicité l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les principales options de sûreté d'un projet de nouveau modèle de réacteur, appelé EPR Nouveau Modèle. L'ASN a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur ce dossier.

L'IRSN a rendu un avis le 19 janvier 2018 (Avis/IRSN N° 2018-000013) sur les options de sûreté de l'EPR NM émettant notamment des réserves sur la puissance envisagée (1750 MWe).

EDF a ensuite informé l'ASN par courrier du 30 janvier 2018 de son intention de faire évoluer la configuration technique retenue dans le dossier d'options de sûreté du projet de réacteur EPR NM. La nouvelle configuration technique retenue est appelée EPR 2. L'ASN a rendu son avis en juillet 2019 (Avis n° 2019-AV-0329) sur la base de la configuration EPR NM. L'ASN avait considéré que le recours à une démarche d'exclusion de rupture pour le réacteur EPR 2 n'était pas suffisamment justifié et qu'EDF devait définir les options retenues pour la conception, la fabrication et le suivi en service des tuyauteries concernées. Depuis qu'EDF a complété son dossier, l'ASN a complété son avis et dans un courrier de septembre 2021 (référence courrier : CODEP-DCN-2021-040400) elle confirme la possibilité de l'application d'une démarche d'exclusion de rupture à certaines tuyauteries des circuits primaire et secondaire principaux.

Pour traiter des choix technologiques de l'EPR 2 et de leur impact sur la sûreté du réacteur, les participants au groupe de controverse se sont largement appuyés sur les avis rendus par l'ASN et l'IRSN sur le dossier d'options de sûreté présenté par EDF. C'est dans l'interprétation de ces avis et les conclusions qu'ils permettent d'en tirer que résident les points de désaccord. Nous ne traiterons pas dans ce paragraphe la controverse sur l'influence de la puissance du réacteur sur le niveau de sûreté du réacteur, ce point de controverse faisant l'objet d'un paragraphe ci-dessous dédié.

EDF et la SFEN défendent que les choix techniques pour l'EPR 2 intègrent les retours d'expérience des précédents réacteurs, des accidents nucléaires et que les innovations apportées sont de nature à simplifier la construction et à améliorer le niveau de sûreté.

Intégration du retour d'expérience des accidents nucléaires et notamment de l'accident de Fukushima Daiichi. La capacité de parer à l'accident grave avec des innovations comme le récupérateur de corium est pour EDF la caractéristique même d'un EPR. La SFEN souligne également les procédures supplémentaires et la création de la force d'action rapide nucléaire d'EDF (FARN) qui découlent du retour d'expérience de l'accident de Fukushima. Global Chance doute cependant de la capacité de l'EPR 2 à résister aux accidents graves en s'appuyant sur un rapport de 2007 du CEA et de l'IRSN intitulé « ***R & D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : bilan et perspectives*** » qui, à propos des réacteurs de deuxième génération, expliquait *« Toutefois, dans le cas des centrales existantes, les accidents graves n'ont pas été considérés lors de leur conception »*. Suite à ce point, EDF a précisé que ce rapport traite bien des réacteurs de deuxième génération et non pas des EPR. De plus dans le cadre du programme Grand Carénage et à l'occasion du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MW, EDF a retenu comme orientation générale de tendre vers les objectifs de sûreté nucléaire fixés pour les réacteurs de troisième génération, dont le réacteur de référence pour EDF est l'EPR de Flamanville 3. Global Chance soutient cependant que les réacteurs, même ceux de troisième génération, ne sont pas conçus pour parer l'accident de perte de refroidissement puisque dans ce cas le cœur fond et même s'il existe un récupérateur de corium cela constitue tout de même un accident grave.

Discussion des principales différences :

- D'après EDF, le retour d'expérience a conduit à retenir une architecture en trois trains de sauvegarde pour l'EPR 2 au lieu de 4 dans l'EPR tout en maintenant le même objectif de disponibilité et de sûreté. Selon Global Chance, 3 trains de sûreté ne peuvent pas assurer le même niveau de sûreté que 4 trains et cette décision est dictée par une volonté de réduction des coûts et s'effectue au détriment de la sûreté.
- De même, selon EDF le retour d'expérience a conduit à privilégier une maintenance des systèmes de sauvegarde lorsque le réacteur est à l'arrêt en raison de moindres contraintes imposées sur la maintenance, notamment les exigences liées à la requalification des systèmes. Ce point n'a pas suscité de commentaires de la part d'autres entités du groupe de controverse.
- EDF détaille le fait que la conception de l'EPR 2 retient le concept « d'enceinte renforcée » qui consiste, pour le bâtiment réacteur, en une enceinte de confinement à paroi unique épaisse précontrainte, dont l'ensemble de la surface interne est recouvert par un liner métallique assurant l'étanchéité de l'ouvrage. Cette option de conception permet selon EDF de simplifier et de faciliter la construction tout en assurant le même niveau de protection. Selon Global Chance, cette décision est dictée par une volonté de réduction des coûts et s'effectue au détriment de la sûreté.

D'autres évolutions de conception visant selon EDF et la SFEN à améliorer le niveau de sûreté ont été introduites sur l'EPR 2 et sont détaillées dans le rapport de l'IRSN commandé par la CNDP *« Les alternatives au réacteur EPR 2 »*.

Global Chance met en garde contre les anomalies observées sur Flamanville étant donné que l'EPR 2 est un héritier de l'EPR, en s'appuyant sur l'avis de l'IRSN n° 00154 du 21 juillet 2022. Ces éléments et la réponse d'EDF sur les solutions envisagées pour faire face à ces anomalies ont fait l'objet d'un paragraphe détaillé dans la question 3.

Greenpeace et FNE mettent quant à eux en doute le réacteur dans sa totalité ; pour Greenpeace, l'EPR 2 n'est pas techniquement résilient et pour FNE, les arguments techniques avancés ne sont pas une preuve de robustesse, ils répondent avant tout à des obligations légales.

Le choix d'une puissance de 1670 MWe et son insertion dans le réseau et dans le mix électrique

La puissance du réacteur en débat

Avec une puissance de 1670 MWe, l'EPR 2 tel que défini dans le dossier du maître d'ouvrage serait le plus puissant du parc français et l'un des plus puissants au monde. EDF explique avoir fait le choix de cette puissance pour atteindre un objectif de 10 GWe de puissance nucléaire installée avec un minimum de réacteurs, limitant ainsi le foncier nécessaire pour implanter de nouveaux réacteurs. Cette puissance, caractéristique du palier EPR et très proche de la puissance de 1600 MWe de celui de Flamanville en construction permet également de bénéficier des retours d'expérience des précédents EPR construits.

L'IRSN avait émis un avis (Avis/IRSN N° 2018-000013) concernant les options de sûreté de l'EPR NM en 2018 qui envisageait une puissance de 4 850 MWth (1750 MWe) : *« Compte tenu de ces éléments, non exhaustifs, l'IRSN estime que l'augmentation du niveau de puissance*

Présentation
Q1
Q2
Q3
Q4
Q5
Q6
Q7
Annexe 1
Annexe 2

thermique du cœur est de nature à réduire les marges de sûreté et n'y est donc pas favorable ». EDF avait suite à cet avis fait évoluer la puissance du réacteur alors nommé EPR 2 vers une puissance similaire aux précédents.

Selon l'avis de Global Chance, cette puissance est de nature à causer des dysfonctionnements et à être un danger pour la sûreté. La puissance des réacteurs nucléaires devrait dans l'absolu être limitée à 1200 MWe comme ceux qu'EDF a présentés à la République tchèque. FNE émet également des réserves concernant l'augmentation de puissance et fait l'hypothèse que cette augmentation de puissance se traduise par une baisse de l'énergie fournie rapportée à la puissance installée comparativement aux réacteurs de plus faible puissance installée. EDF conteste cette hypothèse en se fondant sur les réacteurs EPR de Taishan en Chine et d'Olkiluoto en Finlande qui fonctionnent à pleine puissance sans toutefois se prononcer sur le rendement.

L'insertion du nucléaire dans le mix électrique

Ce point a été peu traité par les membres du groupe de controverses. La Cpdp estime que cela est sûrement lié au fait que ce point a déjà été abordé dans la question 1 du dossier de controverses. Face à l'évolution du mix électrique et à la pénétration des renouvelables, la bonne intégration du réacteur EPR 2 dans le mix électrique est justifiée par EDF par le fait que cette insertion était une caractéristique présente dès les étapes de conception du réacteur pour un fonctionnement normal intégrant un maximum de production solaire en milieu de journée et le caractère aléatoire de la production éolienne. De plus, des scénarios plus inhabituels sont également anticipés comme de fortes journées d'ensoleillement pour lesquelles le réacteur a la capacité de s'arrêter pendant 48 h pour laisser la priorité aux énergies renouvelables tout en restant en capacité d'être relancé rapidement.

Les solutions alternatives

Cette question a fait l'objet d'une argumentation très polarisée entre ceux qui soutiennent l'EPR 2 et n'envisagent pas d'alternative possible dans un futur proche et ceux pour qui le nucléaire n'est pas la bonne solution pour l'avenir énergétique du pays quelle que soit sa forme et donc quelle que soit la technologie retenue.

Pour la SFEN, les alternatives à l'EPR sont à trouver dans la recherche et le développement de futures technologies de réacteurs comme les petits réacteurs modulaires ou les réacteurs à neutrons rapides. Pour EDF, la souveraineté énergétique du pays à court et moyen terme empêche toute alternative de réacteurs qui ne seraient pas de technologie française. De fait, les seules alternatives seraient sur les réacteurs de troisième génération français intégrant le meilleur retour d'expérience, et de façon complémentaire le petit réacteur modulaire Nuward. Pour FNE, Global Chance et Greenpeace, l'alternative à l'EPR 2 est le développement des énergies renouvelables et un mode de vie plus sobre.

Des solutions alternatives sous forme d'autres réacteurs nucléaires

Pour EDF et la SFEN, l'EPR 2 est le seul choix possible pour un réacteur nucléaire en France dans un futur proche.

- **Alternative au sein de la catégorie des réacteurs de troisième génération** : EDF et la SFEN excluent cette possibilité au nom de la souveraineté nationale. La SFEN juge même que les réacteurs étrangers ne sont pas adaptés aux normes de l'ASN.
- **Alternatives françaises :**
  - Réacteurs à neutrons rapides : peu de discussions ont porté sur cette technologie au sein du groupe de clarification des controverses. La Cpdp note que l'IRSN estime dans son rapport *« Les alternatives au réacteur EPR 2 » : « qu'en l'état actuel des développements, les réacteurs de quatrième génération n'apparaissent pas être une alternative aux réacteurs EPR 2 ».*
  - Petits réacteurs modulaires (Small Modular Reactor - SMR): malgré les programmes de recherche en cours (projet Nuward), EDF estime que leur puissance est trop faible (10 réacteurs SMR Nuward pour une paire d'EPR 2) pour constituer la source principale d'énergie nucléaire et c'est pourquoi ils doivent être davantage considérés comme des sources complémentaires d'énergie nucléaire. Global Chance estime que ces réacteurs présentent un réel intérêt comme source d'énergie dans des zones isolées mais que l'électricité qu'ils pourraient produire serait significativement plus chère et que les réductions de coûts promises grâce à l'effet de série n'ont pas encore pu être prouvées. Ce point, en dehors du cadre de la présente analyse et donc non soumis à contre argumentation devra être repris séparément dans le cadre du débat. Le fait que les SMR ne soient pas encore une alternative mature pour le nucléaire fait consensus parmi les entités s'étant exprimées sur le sujet.

Des solutions alternatives sous forme d'autres sources d'énergie

FNE, Global Chance et Greenpeace ont tous trois précisé à l'occasion de la question 4 qu'ils voyaient une incohérence dans le fait de se poser la question des moyens techniques avant de questionner la demande en énergie et le choix des sources énergétiques permettant de satisfaire cette demande. Selon eux la demande en énergie doit absolument intégrer une exigence de sobriété et pour y répondre l'énergie produite devrait être majoritairement de nature renouvelable. Ils estiment que l'alternative à l'EPR 2 serait de ne pas construire de nouveaux réacteurs nucléaires et de miser majoritairement sur les énergies renouvelables et sur la sobriété.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 5

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

Cette question englobe, au regard des besoins en investissements et en exploitation :

- L'approvisionnement en uranium naturel
- Le recyclage de l'uranium et du plutonium produits par le retraitement des combustibles EPR 2 usés (option du DMO = mono-recyclage)
- L'entreposage des combustibles usés en attente de retraitement ou de stockage
- La production de déchets radioactifs, en particulier des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue et leur stockage.

Résumé

La question initiale portait sur l'impact d'un programme de nouveaux réacteurs sur le « cycle du combustible ». Cette question a fait l'objet d'un débat détaillé à propos de chaque étape du « cycle du combustible ».

L'approvisionnement en uranium a peu fait l'objet de controverses, quelques acteurs seulement s'étant exprimés sur les questions du besoin en uranium de l'EPR 2, des sources d'approvisionnement et de l'échelle de temps d'approvisionnement. La Cpdp émet l'hypothèse que cela est dû au fait que ce sujet a déjà fait l'objet de discussions dans la question 1.

La question du mono-recyclage est largement controversée au sein du groupe autour des sujets suivants : l'intérêt économique du mono-recyclage, sa faisabilité technique et industrielle, les enjeux de sûreté et les questions éthiques. La question du multi-recyclage, encore à l'état d'étude en France, a fait l'objet de prises de positions plus concises.

La majorité des points de vue exprimés traitent de la production de déchets radioactifs, en particulier des déchets de haute activité, et du projet Cigéo de stockage géologique des matières radioactives de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Les points de vue couvrent un ensemble de thématiques : le principe même du stockage géologique, la capacité d'accueil du site, et les risques associés du projet.

Introduction

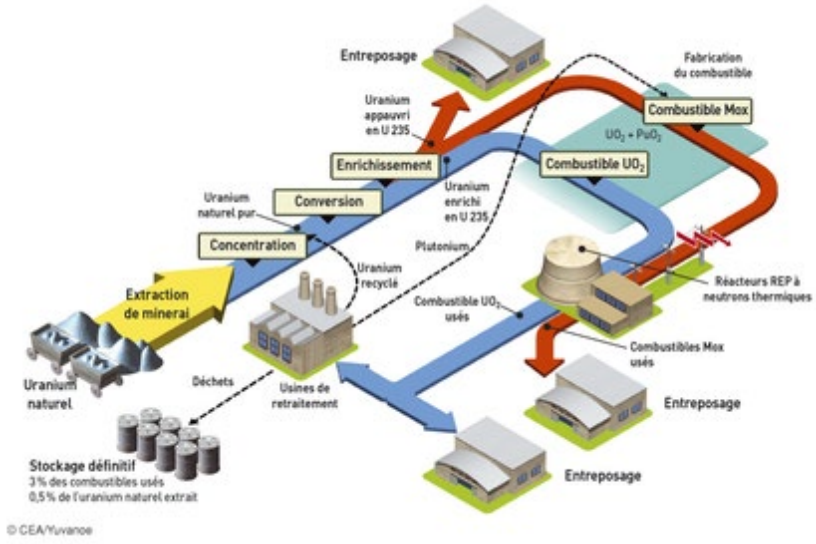
Lors d'un précédent débat public sur le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs, une ***démarche de clarification des controverses*** semblable s'était tenue.

Les EPR 2 étant des réacteurs à eau pressurisée, ils seraient amenés à utiliser le même type de combustible que les réacteurs aujourd'hui en fonctionnement dans le parc et donc à utiliser les mêmes types d'installations pour le traitement des matières à entreposer ou des déchets à stocker que celles utilisées actuellement, le schéma ci-dessous reste donc valable dans son principe.

En France, les installations suivantes existent :

- des usines de conversion et une usine d'enrichissement de l'uranium,
- une usine de fabrication de combustible d'oxyde d'uranium (UOX),
- des usines de retraitement du combustible usé,
- une usine de fabrication de combustible d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium MOX pour les 22 réacteurs français qui utilisent du MOX comme combustible sur les 24 ayant l'autorisation de le faire,
- des installations d'entreposage d'uranium, de combustibles usés et de déchets radioactifs,
- des installations de stockage de déchets radioactifs.

Le schéma du CEA ci-dessous détaille les différentes étapes du « cycle du combustible » et les différentes installations nécessaires pour l'opérer.



La ***Programmation Pluriannuelle de l'Énergie*** (PPE) française en vigueur (approuvée par décret du 21 avril 2020) prévoit que « *la stratégie de traitement-recyclage du combustible nucléaire sera préservée sur la période de la PPE et au-delà, jusqu'à l'horizon des années 2040. À cette fin, le moxage (chargement de combustible MOX dans le cœur du réacteur) d'un certain nombre de*

réacteurs 1300 MW sera entrepris et des études seront menées en vue du déploiement du multi-recyclage des combustibles dans les réacteurs du parc actuel ». Elle indique que « concernant la gestion des déchets radioactifs, des filières de gestion à long terme sont d'ores et déjà établies pour les déchets TFA (très faible activité) et FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte) qui représentent la très grande majorité des volumes de déchets radioactifs. La mise en œuvre de solutions de gestion à long terme doit se poursuivre pour les déchets FA-VL (faible activité à vie longue) et HA-MAVL (haute activité et moyenne activité à vie longue) qui, dans l'attente, font l'objet d'une gestion par entreposage. Selon la décision qui sera prise ultérieurement en matière de construction de nouveaux réacteurs nucléaires, la question d'une extension ou de nouvelles capacités de stockage géologique pour accueillir les déchets générés par le nouveau parc se posera ».

L'approvisionnement en uranium naturel

Besoins en uranium de l'EPR 2

La question des besoins en uranium naturel de l'EPR 2 n'a pas suscité beaucoup de débats au sein du groupe de clarification des controverses. EDF et la SFEN évoquent deux raisons qui leur font dire que les besoins en uranium de l'EPR 2 seront inférieurs à ceux des précédents réacteurs du parc.

La première raison réside dans le fait que d'après le maître d'ouvrage, l'EPR 2 consomme a minima 5 % de moins d'uranium au MWh produit que les réacteurs de deuxième génération actuels. Selon la SFEN, le gain de l'EPR serait de 17 % par rapport aux réacteurs de seconde génération de 1300 MWe en s'appuyant sur un rapport du Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaires (CSSIN) sur le projet EPR datant de 2007 qui précise que « ce gain est dû d'une part aux caractéristiques spécifiques de l'EPR, d'autre part aux performances élevées des gestions combustibles qui pourront être mises en œuvre sur l'EPR, et enfin à l'effet du meilleur rendement thermodynamique de l'installation ».

La deuxième raison a trait au développement du recyclage du combustible usé qui permet de réduire les quantités d'uranium à importer pour faire fonctionner les réacteurs. L'objectif annoncé par la SFEN est un doublement d'ici 2030 de la proportion d'énergie nucléaire produite à partir de matières recyclées. Aujourd'hui, le combustible MOX permet d'après Orano de réduire de 10 % les besoins d'uranium naturel grâce au recyclage de plutonium. D'après Orano, la reprise prochaine du recyclage de l'uranium de retraitement permettra une réduction de 10 à 15 % supplémentaires et diversifiera plus encore les sources d'approvisionnement en uranium.

Sources d'approvisionnement en uranium

La France importe tout l'uranium nécessaire au fonctionnement des centrales nucléaires. Cette dépendance à l'égard de pays tiers fait apparaître deux principaux sujets de débat : un débat sur la dépendance énergétique de la France, déjà largement traité dans la question 1 de cette synthèse de clarification des controverses et un débat éthique et géostratégique. Le point de divergence principal concerne le pourcentage d'uranium en provenance de chaque pays. Orano indique assurer à ses clients 20 ans de visibilité grâce à un portefeuille de réserves et ressources diversifié. La diversité des sources d'approvisionnement prend en compte d'après

EDF les risques géopolitiques et contribue à sécuriser l'approvisionnement alors que Greenpeace questionne la pertinence éthique et stratégique d'un approvisionnement en uranium provenant d'après ses données à 45 % du Kazakhstan.

Échelle de temps de disponibilité des ressources d'uranium

Orano et la SFEN sont les seules entités ayant mentionné l'échelle de temps en ce qui concerne l'approvisionnement en uranium naturel du programme de nouveaux réacteurs nucléaires. Les chiffres avancés sont différents en fonction des organisations et selon les conventions choisies (réserves ou ressources par exemple). Orano indique des ressources connues représentent 100 ans de consommation mondiale (la SFEN indique 135 ans de minerais à moins de 135 USD/kg) et jusqu'à 250 ans avec les ressources estimées, donnée partagée par la SFEN. Sur le sol français, il y a 2 ans de stock d'uranium naturel, ainsi qu'un stock d'uranium appauvri.

Recyclage de l'uranium et du plutonium

Comme rappelé en introduction, la France est engagée dans une démarche de mono-recyclage et étudie la possibilité de faire du multi-recyclage. Comme nous l'avons vu dans l'introduction, le combustible en sortie de centrale est composé de 4 % de déchets ultimes, de 95 % d'uranium de retraitement qui peut être recyclé et d'1 % de plutonium qui peut également être recyclé.

Mono Recyclage

Les controverses entourant les questions économiques du recyclage ne sont pas traitées dans le cadre de cette question.

Intérêt lié à l'économie de combustible

Concernant le recyclage du plutonium sous la forme de combustible MOX, Global Chance questionne sa pertinence économique malgré les 10 % à 15 % d'économie d'uranium qu'il engendre selon Orano.

Concernant le recyclage de l'uranium de retraitement (URT), Orano bien que ne disposant pas d'installation pour le convertir en UF6, estime que recycler l'URT permet de réduire de 4 % la masse totale des déchets ultimes et estime que l'URT est une matière première stratégique et annonce un redémarrage du recyclage de l'uranium à partir de 2023. Pour Global Chance, recycler l'URT n'a pas de sens économiquement, surtout si les réserves d'uranium naturel sont abondantes. Global Chance considère de plus que les capacités de recyclage ne sont pas aux rendez-vous et qu'en moyenne seulement 11,8 % de l'URT produit a pu être recyclé. Global Chance déplore par ailleurs que l'uranium appauvri ne soit pas traité par centrifugation en France.

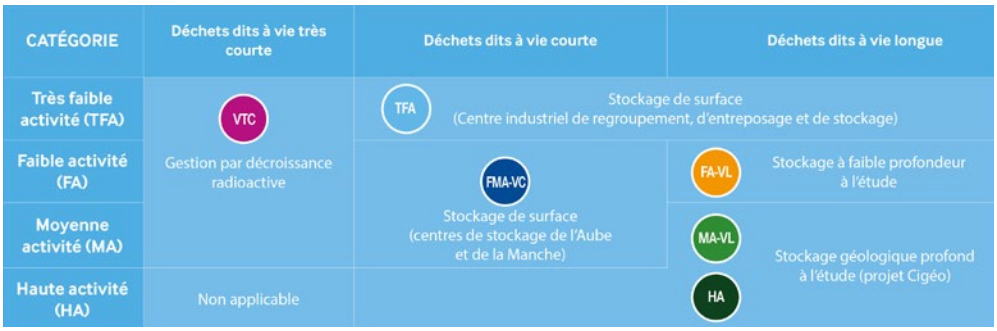
Intérêt lié au stockage

Les liens entre le recyclage des combustibles usés et le stockage des déchets ultimes sont fréquemment évoqués par les membres du groupe. Une des raisons pour laquelle EDF se déclare favorable au recyclage du combustible usé est en effet le gain de place en termes de stockage, avec une réduction d'un facteur de 3 à 5 du volume des déchets ultimes de haute activité. Selon Global Chance qui conteste ces chiffres, le facteur serait plus proche de 1.

En cas de mono-recyclage, le volume de déchets change mais également leur nature : moins de combustibles usés, des combustibles MOX et pas de combustible UOX. Global Chance souligne que le MOX nécessite un espace de stockage plus important. D'après l'Andra, le nombre d'alvéoles est proportionnel au nombre d'assemblages combustibles à stocker. Néanmoins, ces combustibles usés se distinguant par leur énergie thermique, cela nécessite d'adapter la distance entre les alvéoles et le nombre de colis de combustible usé par alvéole. Global Chance déplore de ne pas pouvoir accéder à des informations à ce sujet qui permettraient de juger plus précisément des besoins de stockage en cas de mono-recyclage.

Faisabilité technique et industrielle

Les problèmes actuels rencontrés par l'usine Melox de Marcoule font consensus. Greenpeace indique qu'elle produit du combustible MOX à hauteur de 25 % de sa capacité seulement. Orano prévoit d'atteindre 70 tonnes par an d'ici fin 2022 contre 51 en 2021. Orano et EDF ont mentionné un plan d'investissement de 80 millions d'euros d'ici 2025 pour améliorer la production. Ce plan intègre des opérations de maintenance et de la formation ainsi que la création d'un nouvel atelier prévu par Orano à Malvési dont le niveau de production de combustible MOX sera de 100 tonnes par an à partir de 2025. Des capacités supplémentaires d'entreposage créées sur le site de La Hague pour prendre en compte les rebuts sont également envisagées. Orano confirme que les capacités de l'usine de Melox pourront être adaptées à la taille du parc.



Enjeux de sûreté

Global Chance met en garde contre la toxicité des rebuts MOX, 10 fois plus élevée que celle d'un combustible UNE irradié alors qu'EDF rappelle les règles légales et strictes auxquelles Orano est soumis dans le cadre de la sûreté nucléaire.

Questions géopolitiques et éthiques

L'enrichissement de l'uranium de retraitement anciennement réalisé en Russie est pour Global Chance une potentielle dépendance géopolitique supplémentaire pour l'ensemble de la production d'énergie nucléaire française.

La question éthique est également abordée par FNE qui souligne son opposition totale au recyclage notamment dans le but de préserver les générations futures et de ne pas leur léguer des déchets radioactifs et préconise une autre gestion de l'actuelle quantité de déchets radioactifs.

EDF indique que les réacteurs REP comme de futurs EPR 2 peuvent fonctionner aussi bien avec du combustible à base d'uranium naturel qu'avec du combustible à base d'uranium de retraitement ou encore du combustible MOX, le besoin en uranium naturel étant toutefois moindre dans le second cas. La Cpdp observe que des aménagements particuliers sont à prévoir soit pour le « moxage » des REP non équipés pour fonctionner avec du MOX, soit pour le ré-enrichissement de l'uranium de retraitement.

Au nom de la même obligation éthique, EDF et l'Andra défendent la nécessité de décider maintenant du devenir de ces déchets produits et ne pas laisser aux générations futures la gestion des déchets d'un programme de réacteurs qu'elles n'auraient pas choisi. L'Andra cite notamment l'exemple de la Suède qui a récemment fait le choix du stockage géologique de ses déchets.

Multi-recyclage

Les avis sont tranchés sur la question du multi-recyclage et assez concis. EDF et Orano conformément à ce qui est prévu dans la PPE ont pour objectif de participer aux travaux engagés dans ce cadre pour étudier sa faisabilité industrielle, dans la perspective de sa mise en œuvre si elle est décidée à l'avenir. FNE et Global Chance s'opposent par principe à cette solution.

L'entreposage des combustibles usés en attente de retraitement ou de stockage

La question de l'entreposage des déchets radioactifs a été en partie abordée dans la partie sur le recyclage. Ces deux questions sont liées. Cependant d'autres acteurs se sont exprimés sur ces deux sujets avec des angles de vue différents.

La CNDP rappelle que les déchets radioactifs sont de plusieurs natures, résumées dans le tableau ci-dessous de l'Andra. A chaque type de déchet doit correspondre une solution de gestion dédiée.

Solutions de stockage sur les installations CSA et CIRES

Les déchets TFA et FMA-VC issus de six nouveaux réacteurs EPR 2 constituent de faibles volumes en proportion de l'ensemble des déchets produits par le parc nucléaire actuel ; c'est pourquoi l'Andra et EDF considèrent que compte tenu des capacités actuelles des centres de stockage TFA et FMA-VC, des augmentations de capacités (par extension ou création) seront nécessaires, indépendamment de la décision de construction de nouveaux réacteurs EPR 2. La temporalité de ces augmentations de capacité dépend de multiples facteurs, mais EDF estime, à ce jour, qu'elles se situeront vers 2040 pour le Cires et vers 2060 pour le CSA (centres de stockage de l'Andra dans l'Aube). Ils estiment que la présence des déchets issus des nouveaux réacteurs nucléaires prévus au programme avancerait d'environ 12 mois la nécessité de renouveler les capacités du CSA prévu aujourd'hui pour 2060 et que l'impact sur le stockage des TFA serait principalement concentré autour du démantèlement à horizon 2100.

Solutions d'entreposage sur le site de La Hague

Si les deux installations précédentes n'ont pas suscité de controverses, ce n'est pas le cas pour le site de la Hague. Un premier consensus s'établit autour du fait que les piscines d'entreposage de La Hague seront saturées à horizon 2030 avant même le démarrage du nouveau programme de réacteurs nucléaires, le cas échéant. De plus, comme souligné par EDF et Global Chance, à l'échelle du nouveau programme s'il est réalisé, la production des combustibles usés et des déchets pourrait commencer dès les années 2040 et jusqu'à 2100 et après, période pendant laquelle les installations de retraitement telles que nous les connaissons aujourd'hui auront été démantelées. EDF précise que, pour elle, la réponse aux besoins complémentaires de capacités d'entreposage de combustibles usés passe dans un premier temps par des dispositions transitoires (densification des piscines actuelles de La Hague et étude d'un entreposage à sec transitoire de combustibles usés refroidis), et à plus long terme par l'installation d'entreposage centralisé sous eau en projet à La Hague, dont la mise en service est envisagée en 2034. Ce développement répond à la demande du Ministère de la transition écologique et de l'ASN de poursuivre les « travaux liés à la mise en œuvre de nouvelles capacités d'entreposage centralisées sous eau » (Décision du 21 février 2020, à la suite du débat public de 2019 sur le PNGMDR).

Orano compte maintenir le site de La Hague au plus haut niveau de sûreté et en augmenter la capacité de 30 % afin de suivre l'évolution du parc. EDF souhaite, en plus des piscines de désactivation et d'entreposage du combustible qui seront attenantes à chaque EPR 2, développer à la Hague une installation d'entreposage de combustibles MOX en attente de multi-recyclage.

Global Chance met en garde contre le vieillissement des installations et milite pour que soit considérée la possibilité de faire de l'entreposage à sec des combustibles usés.

La production de déchets radioactifs, en particulier des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue et leur stockage.

La majorité des points de vue exprimés concernent le projet Cigéo de stockage géologique des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité vie longue (MAVL). Les points de vue couvrent un ensemble de thématiques : la capacité d'accueil du site, le principe même du stockage géologique et les risques associés au projet.

La capacité d'accueil du site

Soulignant que le nouveau programme change peu les ordres de grandeur des quantités de déchets pressentis pour être stockés sur ce site (de l'ordre de 5 % pour les déchets MAVL et moins de 20 % pour les déchets HA), Orano et la SFEN anticipent la possibilité pour les déchets HA et MAVL issus de six EPR 2 d'être également stockés à Cigéo.

Selon EDF et l'Andra, il n'y a pas d'éléments techniques rédhibitoires empêchant la prise en compte des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue de six nouveaux réacteurs EPR 2 dans Cigéo. L'Andra souligne que si le choix était fait de stocker dans Cigéo ces déchets liés au fonctionnement de ces EPR 2, elle devra mener les études nécessaires pour leur autorisation de mise en stockage suivant le processus réglementaire d'autorisation.

A contrario pour FNE, la question de la capacité d'accueil est loin d'être une question résolue. Orano de son côté affirme que les déchets HA et MA/VL pourront être entreposés sur le site de La Hague avant leur stockage définitif à déterminer.

Le principe même du stockage géologique et les risques associés au projet

FNE, Greenpeace et Global Chance s'accordent pour affirmer leur opposition totale au projet Cigéo et n'envisagent pas comme une possibilité le fait que les déchets HA et MAVL y soient stockés.

FNE dénonce notamment sa dangerosité pour l'environnement et les populations. L'Andra assure que stocker en profondeur les déchets HA et MAVL est la solution de gestion à long terme la plus sûre compte tenu de la couche argileuse choisie qui a la propriété de retenir la majorité des radionucléides et ralentir le déplacement des éléments radioactifs mobiles vers la surface. L'Andra précise également que la sûreté repose aussi sur le choix de principe et de dispositions de conception et d'exploitation et par les évaluations et contrôles nombreux et réguliers, notamment de l'ASN.

Sur le plan de la responsabilité et de l'éthique, comme indiqué précédemment, EDF considère que le projet Cigéo constitue une solution de stockage des déchets permettant de garantir aux générations futures une option de gestion pour le très long terme qui les libère de toute contrainte de gestion active.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 6

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

Résumé

Tous les membres du groupe de clarification des controverses portent une grande attention aux enjeux du changement climatique et à son impact sur l'éventuel nouveau programme de réacteurs nucléaires.

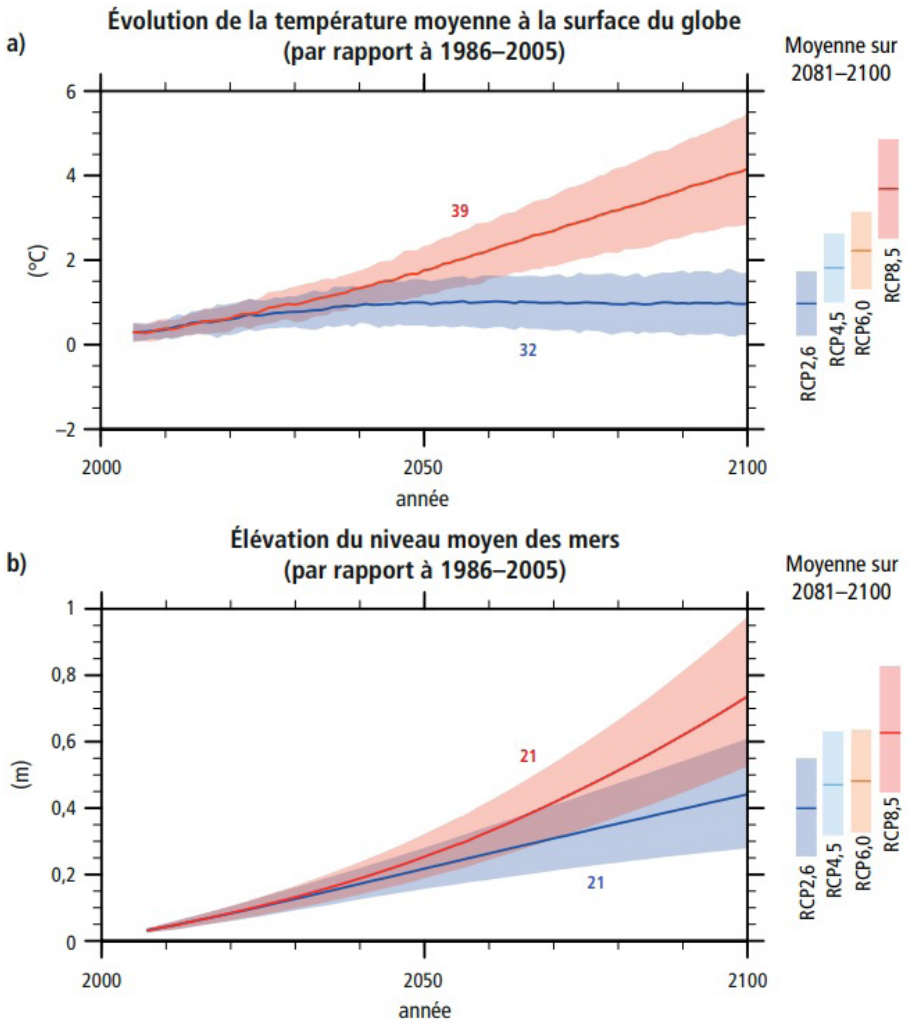
Les controverses principales se sont concentrées autour des principaux effets documentés du changement climatique à savoir: l'augmentation de la température de l'eau et de l'air, l'élévation du niveau de la mer, la baisse du débit des rivières et des fleuves, les modifications du cycle de l'eau ainsi que les impacts sur la biodiversité et les ressources naturelles.

Pour chacun de ses éléments, la principale question est de savoir si les dispositions prises par le porteur du projet permettent ou non de réduire suffisamment la vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique.

Introduction

Le changement climatique est au cœur des préoccupations du XXIe siècle et l'urgence d'un plan pour y faire face fait consensus au sein du groupe. Les rapports du GIEC de 2014 et de 2021 et leurs scénarios ont été largement cités par les membres du groupe. La Cpdp rappelle ci-dessous certains résultats issus des scénarios du GIEC présentés dans les rapports de ***2013*** et ***2021*** :

Le rapport de 2013

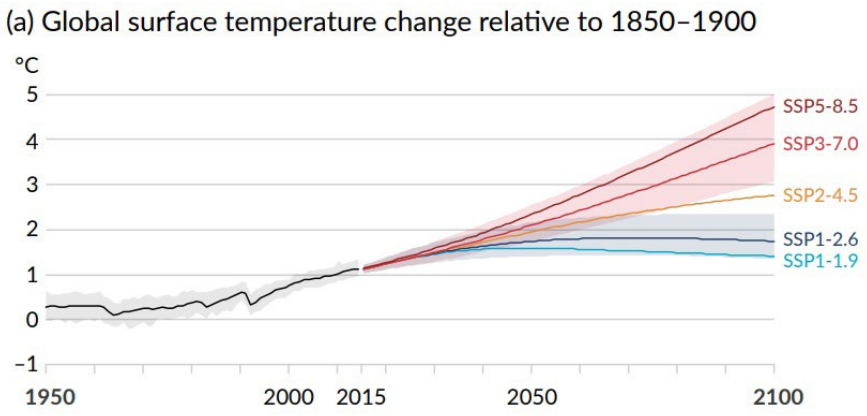


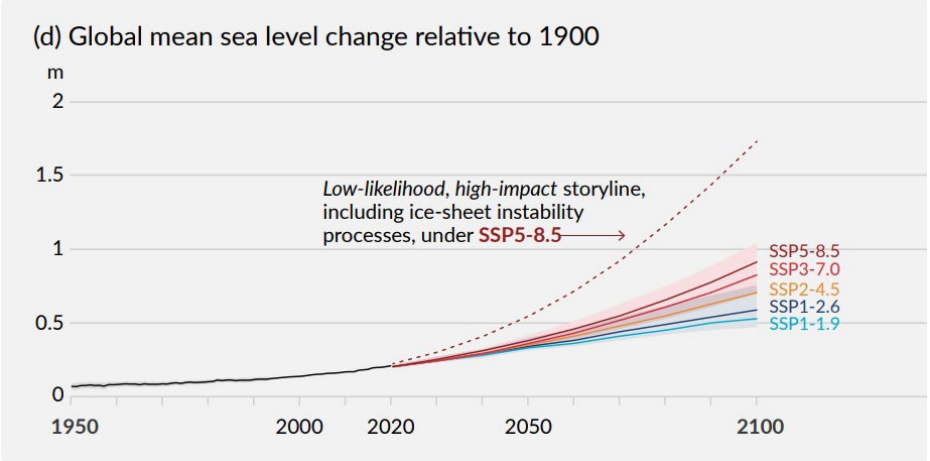
Le rapport de 2021

Les impacts du changement climatique sont déjà visibles du grand public, notamment à la suite de l'épisode caniculaire de l'été 2022.

Ce point fait consensus mais pas l'importance de son impact sur le parc en exploitation d'EDF. Pour FNE, Global Chance et Greenpeace, cet épisode a révélé au grand public la vulnérabilité du parc face à l'aléa climatique.

La SFEN chiffre les pertes de production annuelles moyennes liées aux contraintes climatiques à 0,4 % de la production électrique des centrales. La SFEN s'appuie également sur des exemples de centrales existantes et estime que, si les centrales sont vulnérables aux changements climatiques, des solutions d'ingénierie sont disponibles pour leur permettre de s'adapter à leur environnement. La SFEN cite notamment la centrale nucléaire de Palo Verde aux États-Unis qui n'est située ni près du littoral ni près d'un fleuve et qui utilise pour son refroidissement les eaux usées de la ville de Phoenix.





La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à l'augmentation de la température de l'eau et de l'air

FNE, Global Chance et Greenpeace alertent sur le fait que le fonctionnement des centrales en cas de forte chaleur est dangereux du point de vue de la sûreté nucléaire.

Selon Greenpeace, des températures élevées peuvent avoir des conséquences sur le fonctionnement des ventilations, des matériels de sûreté et plus globalement sur les capacités de refroidissement des systèmes de sûreté assurant l'évacuation de la puissance du réacteur. Des hausses de température peuvent ainsi entraîner l'arrêt de centrales, ou le choix de déroger aux arrêtés fixant les conditions de rejet d'eau de refroidissement, comme ce fut le cas pendant l'été 2022. Ce phénomène sera amené à s'amplifier à l'avenir écrit Greenpeace qui cite le rapport ***Changement climatique: la sécurité énergétique mise en péril***, de l'Organisation Météorologique Mondiale. Ce rapport estime à 15 % les centrales nucléaires existantes qui sont déjà situées dans des zones à fort stress hydrique, une part qui devrait passer à 25 % au cours des 20 prochaines années".

Face à ces préoccupations, EDF et la SFEN déclarent qu'ont été mises en place des solutions de résilience des installations nucléaires grâce au plan ADAPT et au plan « grand chaud » qui permettraient aux centrales de fonctionner en cas de canicule. La SFEN et EDF rappellent que des contraintes réglementaires strictes encadrent le fonctionnement des centrales en cas de forte chaleur afin de garantir la sûreté nucléaire et la préservation de l'environnement. Les centrales peuvent donc continuer de fonctionner malgré les risques de dépassement du seuil de température de rejet pour assurer la continuité du réseau. EDF garantit que ces autorisations exceptionnelles s'accompagnent d'une surveillance de l'environnement accrue et qu'aucune conséquence négative n'a pour l'instant été observée.

De façon générale, EDF considère dans ses modélisations les températures de l'eau et de l'air données par le GIEC. Dans les modélisations réalisées pour établir sa démarche de sûreté, EDF déclare utiliser des températures d'air et d'eau dont la période de retour est supérieure à 10 000 ans, en se plaçant à l'horizon 2100 pour tenir compte du changement climatique.

Tous les sites ne sont pas égaux face à ce phénomène ; le fait que les sites en bord de rivière sont plus impactés que ceux en bord de mer fait consensus et EDF précise que pour les EPR 2 qui seraient implantés près d'une rivière, des systèmes supplémentaires sont en cours de conception, comme des tours aéroréfrigérantes humides (ce qui permet de limiter les prélèvements et le réchauffement de l'eau) et des aéroréfrigérants de purge.

Indirectement, ces modifications de température entraînent des modifications plus générales du cycle de l'eau et ont de nombreuses conséquences. FNE met en garde contre l'augmentation de la fréquence d'événements météorologiques avec des vents violents qui pourraient mettre en danger le réseau de manière plus régulière dans le futur. Le risque de perte d'alimentation électrique externe est une condition de fonctionnement qu'EDF confirme étudier systématiquement dans la conception des centrales nucléaires. EDF précise que, étant donné les données de Météo France sur lesquelles ils s'appuient, aucune tendance significative sur la fréquence et l'intensité des tempêtes n'est prévue à l'horizon 2050 ou 2100.

La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à l'évolution du niveau de la mer

Greenpeace et Global Chance alertent également sur l'élévation du niveau de la mer qui pose un double problème économique et de sûreté. En termes de sûreté tout d'abord car les centrales en bord de mer seront impactées par l'élévation du niveau de la mer. Global Chance alerte sur ce point en s'appuyant sur l'exemple de ***l'inondation de la centrale du Blayais***.

Pour rappel, en 1999, une inondation de la centrale du Blayais avait conduit à la perte des alimentations électriques de la centrale et au démarrage des groupes diesel de secours.

Pour parer aux inondations, EDF annonce qu'il construira les EPR 2 avec les précautions suivantes : les mesures de protection contre le risque d'inondation en bord de mer sont basées sur le niveau marin le plus haut qui est calculé à partir du niveau marin maximal théorique (associé à une marée de coefficient 120) auquel on ajoute une surcote millénale (c'est-à-dire une hausse exceptionnelle du niveau d'eau, associée à des conditions de tempête, qui n'a lieu que tous les 1 000 ans en moyenne), et une marge de 1 mètre permettant de couvrir l'augmentation potentielle du niveau marin associée au changement climatique. Il est à noter qu'en plus de ce cumul (marée maximale + surcote extrême + marge de 1 mètre), les franchissements dus aux vagues sont aussi analysés et pris en compte à la conception.

Global Chance émet des réserves sur les modèles qui prédisent ces inondations et estiment qu'ils présentent des failles au niveau de la surcote millénale. En effet d'après Global Chance, les mesures de protection sont notamment établies en fonction de la surcote millénale, c'est-à-dire une valeur dépassée en moyenne une année sur mille par des données enregistrées par les marégraphes qui offrent généralement des données sur trente ans qui sont extrapolées sur mille ans. Selon Global Chance, la représentativité de ces données est donc contestable dans un contexte de changement majeur du climat dans lequel on s'attend à des événements qui ne se sont encore jamais produits.

Un problème économique se pose également car comme mentionné par Greenpeace, pour prendre en compte ces élévations du niveau de la mer documentées par le GIEC, des contraintes s'imposent sur la conception et la construction des centrales. Comme indiqué en introduction, la controverse autour des conséquences économiques de l'évolution du niveau de la mer n'a pas été approfondie dans le cadre de cette synthèse.

La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à la diminution du débit des rivières et des fleuves

Global Chance s'appuie sur les données de L'Office Français de la Biodiversité qui estime que le débit des fleuves et des rivières pourrait baisser en moyenne de 10 % à 40 % avec des pics de 70 % en cas de forte canicule à l'horizon 2070. La conséquence sur la production et la rentabilité est directe. Global Chance rappelle ainsi que RTE estime à 3 % le temps d'arrêt annuel des centrales dus à l'eau jusqu'en 2050 sachant que d'après RTE, 71 % des arrêts des centrales en périodes de sécheresse sont dus à un débit insuffisant des fleuves pour les refroidir. La controverse autour des conséquences économiques de la diminution du débit des rivières et des fleuves n'est pas approfondie dans le cadre de cette synthèse.

Global Chance alerte sur l'horizon à laquelle sont faites ces estimations puisque les centrales nucléaires doivent fonctionner jusqu'en 2100 et que les effets du changement climatique

pourraient s'être accentués bien davantage d'ici là. Greenpeace émet ainsi le souhait que des études complémentaires soient réalisées pour évaluer le temps restant avant qu'il n'y ait plus assez d'eau dans les fleuves pour refroidir les centrales et avant que les centrales situées en bord de mer ne soient submergées.

Pour faire face à la diminution du débit des fleuves et des rivières, EDF et la SFEN précisent que pour des sites en bord de rivière, le refroidissement serait réalisé avec un circuit fermé de refroidissement via des tours aéroréfrigérantes. De plus, des systèmes supplémentaires spécifiquement dédiés à la limitation de l'apport thermique en rivière (aéroréfrigérant de purge) sont en cours de conception, afin de limiter l'impact environnemental du fonctionnement des réacteurs en cas de faible débit des rivières, qui serait dû, par exemple, à une sécheresse. De plus, les systèmes de prélèvements d'eau nécessaires au refroidissement de l'installation EPR 2 telle qu'imaginée par EDF sont conçus sur la base des évaluations du niveau d'étiage. Ce niveau d'étiage est calculé à partir du niveau le plus bas observé sur 1 000 ans diminué de 15 %. Ceci conduit à un évènement ayant une période de retour de l'ordre de 10 000 ans.

La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à la tension sur les ressources naturelles

Le changement climatique modifie la disponibilité et l'accès aux ressources naturelles. La disponibilité de l'eau douce est un point de controverse entre les participants. Pour le site de Penly, Global Chance s'inquiète de la quantité d'eau qui sera prélevée dans l'Yères et estime que, du point de vue des ressources en eau douce, les sites choisis pour le programme ne permettent pas d'assurer de bonnes conditions de sûreté. Les besoins en eau douce atteindront leur maximum lors de la période de construction d'après EDF et, en fonction du résultat des études environnementales, EDF prévoit d'adapter les sources d'eau douce.

EDF précise que pour Penly la solution retenue combine plusieurs sources d'approvisionnement dont des prélèvements d'eau dans l'Yères, la récupération d'eau de pluie, la récupération d'eau issue de la STEP (station d'épuration des eaux usées) de Saint-Martin-en-Campagne et la récupération d'eau de drainage. Cette solution permet selon EDF de diversifier l'approvisionnement en eau douce, en réutilisant et valorisant en priorité l'eau disponible (eau de STEP et eau de pluie), avec des prélèvements dans l'Yères pour compléter les besoins.

Cette tension liée au stress hydrique et aux ressources en eau est un problème qui dépasse le secteur de la production électronucléaire. Comme le rapporte Global Chance, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) chiffre dans son ***rapport du 11 octobre 2022*** que 87 % de l'électricité mondiale est produite à partir de systèmes thermiques, nucléaires et hydroélectriques qui dépendent directement de la disponibilité en eau. Les pourcentages de centrales de chaque type déjà situées en situation de stress hydrique sont détaillés dans le rapport.

Global Chance cite le rapport de l'OMM et précise que dans le même temps, 33 % des centrales thermiques qui dépendent de la disponibilité de l'eau douce pour le refroidissement sont déjà situées dans des zones de stress hydrique élevé. C'est également le cas pour 15 % des centrales nucléaires existantes, une part qui devrait passer à 25 % au cours des 20 prochaines années. 11 % de la capacité hydroélectrique est également située dans des zones soumises à un fort stress hydrique. Et environ 26 % des barrages hydroélectriques existants et 23 % des barrages projetés se trouvent dans des bassins hydrographiques qui présentent actuellement un risque moyen à très élevé de pénurie d'eau.

La vulnérabilité des réacteurs prévus au programme face à d'autres effets du changement climatique

Si les impacts sur l'élévation de la température de l'eau et de l'air, les modifications des niveaux de la mer et des débits des fleuves ont été les plus discutés, d'autres effets du changement climatique ont également été mentionnés. Greenpeace rappelle que le changement climatique accentuera certainement les tensions géopolitiques sur fond de compétition pour les ressources naturelles et FNE mentionne l'impact du programme sur la biodiversité et le fait que l'installation de nouveaux réacteurs sur le site de Penly aurait pour effet une péjoration du littoral. Sur le sujet de l'impact de la centrale sur le milieu, EDF a répondu que, dans l'hypothèse où le projet serait décidé, ce sera le rôle de l'étude d'impact environnemental menée pour un nouveau projet comme l'EPR 2 de répondre aux questionnements sur la disponibilité de l'eau, de son débit et des incidences sur l'environnement, notamment le milieu aquatique et que des adaptations du projet pourront en découler. EDF précise de plus que l'état initial de l'étude d'impact s'appuie notamment sur une caractérisation de l'évolution du milieu naturel en l'absence du projet. Pour ce faire, des projections hydro-climatiques sont réalisées sur les principaux paramètres influençant l'analyse des incidences sur l'environnement (débit des cours d'eau ou températures d'eau par exemple)

Comment modéliser les effets du changement climatique ?

Afin de prendre en compte ces divers impacts dus au changement climatique, plusieurs démarches sont entreprises par EDF sur des échelles de temps différentes : de la prise en compte en amont lors de la conception à la prise en compte lors d'une veille continue jusqu'à la réflexion sur des futures solutions d'ingénierie qui permettraient d'envisager un fonctionnement des centrales dans des conditions plus extrêmes.

EDF déclare que ses méthodes et ses hypothèses pour anticiper l'effet du changement climatique reposent sur des modèles du GIEC et de laboratoires indépendants. Les opposants au programme remettent en cause la capacité d'EDF à anticiper dans ses modèles les effets d'un changement climatique à horizon 2100 dont l'ampleur est encore largement inconnue aujourd'hui.

Conception des centrales

EDF explique que, dès la conception des centrales, les effets du changement climatique sont intégrés. C'est notamment le cas pour la prise en compte de l'élévation du niveau marin comme détaillé plus haut. EDF dit s'appuyer sur le rapport 2014 du GIEC pour ces modèles et dit s'attacher à démonter que sa conception est robuste vis-à-vis des données du rapport du GIEC de 2022 qui sont en cours d'analyse.

Global Chance insiste pour que EDF modélise les effets du changement climatique sur les centrales nucléaires avec les données les plus récentes en s'appuyant sur les scénarios du GIEC les plus récents. Cet avis est partagé par Greenpeace qui demande qu'EDF mette à disposition pour ce débat une étude poussée et sérieuse sur l'impact de l'élévation du niveau des mers pour les sites de Penly et Gravelines prenant en compte toutes les hypothèses du GIEC, y compris le scénario le plus pessimiste qui prévoit une élévation d'un mètre du niveau des océans avec une surcote qui pourrait dépasser plusieurs mètres lors de tempêtes majeures.

Global Chance et le CNRS soulignent la difficulté des prévisions en matières climatiques en raison de la présence de phénomènes non linéaires qui ont pour conséquence que les impacts à horizon 2100 du changement climatique sont techniquement difficiles à anticiper sur la base de données actuelles. EDF dit pourtant s'y préparer au mieux en se projetant sur le long terme avec des périodes de retour de 10 000 ans.

Veille continue

Une fois les centrales nucléaires conçues, EDF indique qu'il dispose d'une démarche de veille continue afin de mettre régulièrement à jour les prévisions climatiques avec les données observées.

Le plan ADAPT par exemple mentionné ci-dessus permet déjà de réaliser des stress tests sur les centrales existantes, notamment sur la centrale de Chooz, qui permettent à EDF d'avoir une vision des impacts jusqu'en 2050, ce qui reste cependant insuffisant selon Global Chance au vu des incertitudes.

ARGUMENTATIONS PRÉSENTÉES AU TITRE DE LA QUESTION 7

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

Remarque préalable sur le risque sismique et les risques autres que ceux mentionnés aux questions 6 et 7 :

Le risque sismique, au même titre que les risques d'origine naturelle ou humaine autres que ceux mentionnés aux questions 6 et 7, n'a finalement pas été intégré dans les questions : en effet les réacteurs sont dimensionnés pour résister à un séisme majoré de sécurité adapté au site d'implantation et être robuste pour un séisme extrême défini dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (stress tests).

La façon de déterminer les séismes et de concevoir l'installation est définie dans des guides de l'ASN. La controverse pourrait porter sur le niveau de ces aléas. Ceci est examiné en détail lors de l'instruction technique des dossiers par l'autorité de sûreté nucléaire, avec l'appui de spécialistes en sismologie, en génie civil et en mécanique.

La démarche est la même pour les autres risques externes, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine. La discussion est individualisée pour chaque site d'implantation. Bien qu'essentielles, ces questions ne sont pas intégrables aisément dans les délais de notre débat public, notamment par la diversité des experts et des situations locales qui seraient concernés.

Résumé

La nécessité de prendre en compte des risques sociétaux et géopolitiques dès la conception des centrales nucléaires et jusque dans leur exploitation et dans les plans d'intervention fait consensus au sein du groupe.

Les débats portent sur la capacité des centrales à faire face à ces risques sociétaux et sur le degré de protection apporté par les solutions proposées par le maître d'ouvrage face à ces menaces.

Les risques sociétaux abordés sont de différents types : malveillances internes, externes et notamment la chute d'avion, le risque de cyberattaque, de destruction des digues anti-inondation sont les principaux mentionnés.

Les discussions autour des mesures visant à limiter la vulnérabilité des centrales ont concerné des dispositifs précis conçus pour répondre à des risques précis mais également des dispositions plus générales ayant pour objectif de limiter l'impact de tous les types de risque. Des éléments de conception du réacteur pour limiter les rejets dans l'environnement ou les plans d'urgence envisagés en cas d'accident ont fait l'objet de débats.

Introduction

Les centrales nucléaires peuvent être la cible d'actes malveillants en particulier dans un contexte d'instabilité politique. L'exemple de la situation de la centrale de Zaporijia déclarée « *intenable* » dans le contexte de guerre qui l'entoure par l'AIEA a placé cet enjeu au centre de l'actualité.

La question de la vulnérabilité des réacteurs nucléaires face aux risques sociétaux pose la question de la définition de ces risques sociétaux. Chaque participant au groupe de controverse a choisi d'aborder les risques qui lui semblaient pertinents, cela implique donc que tous n'aient pas mentionné les mêmes risques. Certains ont simplement mentionné ces risques, d'autres ont également joint une évaluation de la capacité des réacteurs nucléaires prévus au programme à y répondre.

Quelques définitions du ***glossaire de l'AIEA*** permettent néanmoins d'appréhender cette notion :

La sûreté nucléaire est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires, ainsi qu'au transport des matières radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.

La sécurité nucléaire comprend les mesures de prévention, de détection et de réaction au vol, au sabotage, à l'accès non autorisé, au déplacement illégal de matières nucléaires ou à tout autre acte malveillant concernant des matières nucléaires. Les actes de malveillance concernent d'une part le vol ou le détournement de matières nucléaires, d'autre part les actes de sabotage ou agressions pouvant porter atteinte à la santé des personnes ou à l'environnement, notamment par relâchement de substances radioactives.

Dispositifs généraux visant à limiter la vulnérabilité des réacteurs dans le cadre de la sûreté nucléaire

Si un incident intervenait, EDF et la SFEN estiment que certaines caractéristiques techniques de l'EPR 2 le rendent résilient et préviennent l'éventualité d'un accident nucléaire, notamment grâce aux diesels de secours d'une autonomie de 100 heures, à la source d'eau froide indépendante d'une autonomie de 100 heures également et en dernier recours et en cas de fusion du cœur grâce au récupérateur de corium.

EDF et la SFEN rappellent qu'en cas de menace, d'incident ou d'accident des plans d'intervention sont également bâtis pour pallier toute éventualité. Ces plans d'urgence se déclinent en plan d'urgence interne (PUI) élaboré par l'exploitant, plan particulier d'intervention (PPI) élaboré par les autorités locales et plan particulier de protection (PPP) et visent à protéger le personnel, le public et l'environnement. EDF et la SFEN rappellent le rôle primordial et la responsabilité de l'État et la réalisation d'exercices conjoints entre la puissance publique et l'exploitant pour protéger convenablement les installations nucléaires. En cas de situation accidentelle, la Force d'action rapide nucléaire (FARN) d'EDF peut intervenir sous 24 h. Cependant malgré ces plans d'action, FNE juge que le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur présenté en 2014 par le Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) met en doute la capacité collective de la société à répondre à un accident nucléaire de taille majeure.

Sur le plan de la sûreté, il faut également mentionner que FNE a questionné la vulnérabilité des réacteurs face aux erreurs qui pourraient être commises par les employés, ce point n'a cependant pas fait débat.

Dispositifs généraux visant à limiter la vulnérabilité des réacteurs dans le cadre de la sécurité nucléaire

Afin de prévenir tout accident nucléaire, EDF et la SFEN expliquent que dès la conception de la centrale, la possibilité d'occurrence de ces risques sociétaux et géopolitiques est prise en compte, notamment d'après une liste de menaces de référence qui est confidentielle.

Le fait que cette liste de menaces soit confidentielle est signalée par Greenpeace et Global Chance comme étant un frein majeur à l'appréciation de sa pertinence et de son exhaustivité, ce qu'ils déplorent.

Malveillance interne

Global Chance alerte sur la possibilité d'une malveillance venue de l'intérieur de la part d'un employé, de son plein gré ou sous la menace d'un chantage. Le risque et la vulnérabilité des nouveaux réacteurs face à une grève des employés ont également été mentionnés par ce même acteur.

EDF assure être conscient de cette possibilité et en tenir compte dans la conception des centrales. Greenpeace souligne cependant que malgré la prise en compte de cette éventualité, il reste difficile de l'empêcher totalement et cite l'exemple de la centrale nucléaire Doel 4 en Belgique qui avait fait l'objet d'un sabotage en 2014.

Malveillance externe

Certains types de malveillance externe ont été plus débattues que d'autres.

La vulnérabilité des réacteurs nucléaires face au risque de chute d'un avion a tout particulièrement été l'objet d'une controverse. EDF rappelle à ce titre que la chute intentionnelle d'un avion commercial est bien prise en compte dans le registre des menaces et par conséquent dans les paramètres de conception et que les installations nucléaires sont protégées par le code de la défense nationale, et que cette défense est partagée entre l'État et l'exploitant. Global Chance conteste cette information et soutient que seule est incluse la chute de petits avions de type avion de plaisance.

De même le risque d'infiltration de personnes externes est sujet à controverse et est mentionné par Global Chance et Greenpeace. EDF précise que la conception des mesures de protection intègre ce paramètre et qu'un plan de sécurité nucléaire est en place. Ce plan est composé de plusieurs niveaux de sécurité et d'accréditation. De plus, les centrales sont surveillées par une unité spéciale du GIGN : le Peloton Spécialisé de Protection de la Gendarmerie (PSPG) pour prévenir l'infiltration de personnes externes dans le site. Cette éventualité reste pourtant, selon Greenpeace, difficile à maîtriser puisque des survols de drones ont eu lieu en 2013 malgré l'interdiction de survol et ont conduit à l'installation d'un radar dans le Cotentin.

Le risque de cyberattaque et de destruction des digues anti-inondation a également été mentionné par Global Chance, ce à quoi EDF a répondu que la conception des mesures de protection tenait compte de cette possibilité.

Risques géopolitiques

FNE et Greenpeace alertent sur les risques géopolitiques qui peuvent concerner les centrales nucléaires. FNE rapporte les propos de l'AIEA caractérisant la situation à la centrale de Zaporijia en Ukraine d'« intenable » et Greenpeace cite la WENRA (association d'autorités de sûreté nucléaire des pays de l'Europe de l'ouest) qui estime qu'aucune installation nucléaire n'est conçue pour faire face à une guerre bien que les centrales nucléaires soient théoriquement protégées par la convention de Genève et soient protégées par la dissuasion nucléaire comme le rappelle la SFEN.

Autres risques évoqués

Les risques encourus par d'autres installations nucléaires ont été abordés par plusieurs participants bien que cette question porte sur les réacteurs nucléaires prévus au programme uniquement.

Global Chance a mentionné la vulnérabilité d'autres installations nucléaires comme les sites d'entreposage et de stockage des déchets radioactifs, notamment le site de la Hague et l'installation de stockage Cigéo si celle-ci venait à être construite. Cette vulnérabilité de Cigéo s'explique selon Global Chance par les transports de matières hautement radioactives vers le site et par la présence d'un ensemble de systèmes pouvant faire l'objet de malveillance comme les systèmes de ventilation.

Concernant les piscines d'entreposage, Orano assure que l'enceinte métallique qui recouvre les piscines d'entreposage d'Orano La Hague peut résister à la chute de petit engin volant de type drone. La chute directe d'un avion gros-porteur sur les piscines n'est pas possible selon Orano car la configuration des bâtiments qui l'entourent forme une barrière de protection.

Concernant le transport, Orano explique que des dispositions particulières sont en vigueur pour chaque catégorie de déchets. Concernant le projet Cigéo, l'Andra explique que des dispositions de protection physique spécifiques sont prévues pour couvrir l'ensemble des menaces identifiées, en concertation avec les autorités compétentes.

L'ensemble de ces choix et dispositions de sûreté feront l'objet d'une instruction notamment par l'ASN et l'IRSN ou par le Haut Fonctionnaire de Défense et de Sécurité pour les dispositions de sécurité nucléaire dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

Le risque sismique a également été évoqué. Cependant, comme précisé dans l'intitulé de la question, la Cpdp a choisi de ne pas le traiter dans cette synthèse.

Annexe 1

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES

Questions / Déposant	1 – Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires?	2 – Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques ? (3 paires dans le programme présenté)	3 – Le réacteur EPR 2 face au retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération ?	4 – Est-ce que l'EPR 2 est le bon choix de réacteur ?	5 – Quel est l'impact du programme de nouveaux réacteurs sur le cycle du combustible et la gestion des déchets ?	6 – La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique est-elle suffisamment réduite ?	7 – La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux risques sociétaux (attentats, malveillance) ou géopolitiques (guerres) est-elle suffisamment réduite ?
Andra							
Cycle 1					X		
Cycle 2					X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)		X (vers Global Chance)
Cycle 3							
CNRS							
Cycle 1							
Cycle 2						X (Aucune entité en particulier n'a été mentionnée dans cette réponse)	
Cycle 3							
EDF							
Cycle 1	X	X	X	X	X	X	X
Cycle 2	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	X (vers FNE et Global Chance)	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	X (vers Global Chance)	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)
Cycle 3	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	X (vers Global Chance)	X (vers Global Chance et Greenpeace)	X (vers Global Chance)	X (vers Global Chance et Greenpeace)		X (vers Global Chance)
FNE							
Cycle 1	X	X	X	X	X	X	X
Cycle 2	X (vers EDF)		X	X (vers EDF)	X (vers Andra et Orano)		
Cycle 3							
Global Chance							
Cycle 1	X	X	X	X	X	X	X
Cycle 2	X (vers EDF)	X (vers EDF)	X (vers EDF)	X (vers EDF)		X (vers EDF)	X (vers EDF)
Cycle 3	X (vers EDF)	X (vers EDF)	X (vers EDF)	X (vers EDF)	X (vers Andra, EDF et Orano)	X (vers EDF)	X (vers Andra, EDF et Orano)
Greenpeace							
Cycle 1	X		X	X	X	X	X
Cycle 2	X (vers EDF)		X (vers EDF)			X (vers EDF)	X (vers EDF)
Cycle 3							
Orano							
Cycle 1					X		
Cycle 2					X (vers Global Chance et Greenpeace)		X (vers Global Chance)
Cycle 3					X (vers Global Chance)		
SFEN							
Cycle 1	X	X	X	X	X	X	X
Cycle 2	X (vers Global Chance, Greenpeace et FNE)	X (vers FNE)	X (vers Global Chance et Greenpeace)	X (vers Chance)	X (vers Greenpeace)	X (vers FNE, Global Chance et Greenpeace)	
Cycle 3							

Cycle 1 : Argumentation ; **Cycle 2 :** Contre-argumentation ; **Cycle 3 :** Réponse aux contre-arguments

Annexe 2

LISTE DES RESSOURCES CITÉES DANS LA CLARIFICATION DES CONTROVERSES

Q1 : Pourquoi lancer la construction de nouveaux réacteurs nucléaires ?

Titre : *Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)*
Auteur : Ministère de la transition écologique et solidaire

Titre : *Pacte vert pour l'Europe*
Auteur : Conseil européen

Titre : *Transition(s) 2050*
Auteur : ADEME

Titre : *Futurs énergétiques 2050*
Auteur : RTE

Titre : *Energy Systems*
Auteur : GIEC

Titre : *Base Carbone ADEME*
Auteur : ADEME

Q2 : Pourquoi lancer la construction de nouvelles centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs identiques ?

Titre : *Chiffres clés de l'énergie - édition 2021*
Auteur : Ministère de la transition écologique et solidaire

Titre : *La construction de l'EPR de Flamanville*
Auteur : Jean-Martin Folz

Q3 : Le programme de réacteurs EPR 2 prend-il en compte le retour d'expérience de la construction des EPR et de l'exploitation des réacteurs de deuxième génération ?

Titre : *Retour d'expérience des projets d'EPR dans le monde*
Auteur : IRSN

Titre : *Travaux relatifs au nouveau nucléaire (PPE 2019-2028)*
Auteur : Gouvernement français

Q4 : Est-ce que l'EPR 2 est le bon choix de réacteur ?

Titre : *Les alternatives au réacteur EPR 2*
Auteur : IRSN

Titre : *R&D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : Bilan et perspectives*
Auteur : IRSN et CEA

Q5 : Quel est l'impact du programme de nouveaux réacteurs sur le « cycle du combustible » et la gestion des déchets ?

Titre : *Débat public plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs – clarification des controverses techniques*
Auteur : CNDP

Titre : *Stratégie française pour l'énergie et le climat. Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023, 2024-2028*
Auteur : Ministère de la transition écologique et solidaire

Titre : *Classification des déchets radioactifs*
Auteur : Andra

Q6 : La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux effets du changement climatique est-elle suffisamment réduite ?

Titre : *Changements climatiques 2014 – Rapport de synthèse*
Auteur : GIEC

Titre : *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*
Auteur : GIEC

Titre : *Changement climatique: la sécurité énergétique mise en péril*
Auteur : Organisation Météorologique Mondiale

Titre : *Rapport sur l'inondation du site du Blayais*
Auteur : IRSN

Q7 : La vulnérabilité des réacteurs nucléaires prévus au programme face aux risques sociétaux (attentats, malveillance) ou géopolitiques (guerres) est-elle suffisamment réduite ?

Titre : *Éléments de sécurité et de non-prolifération*
Auteur : IRSN

LE GLOSSAIRE DU DÉBAT EN LIGNE EST TÉLÉCHARGEABLE AUX ADRESSES SUIVANTES :

https://www.debatpublic.fr/nouveaux-reacteurs-nucleaires-et-projet-penly/glossaire
https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2022-11/PenlyEPR-glossaire.pdf

Débat public nouveaux réacteurs nucléaires et projet Penly
244, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris
nouveaux-reacteurs-nucleaires@debatpublic.fr
www.debatpublic.fr/nouveaux-reacteurs-nucleaires-et-projet-penly