

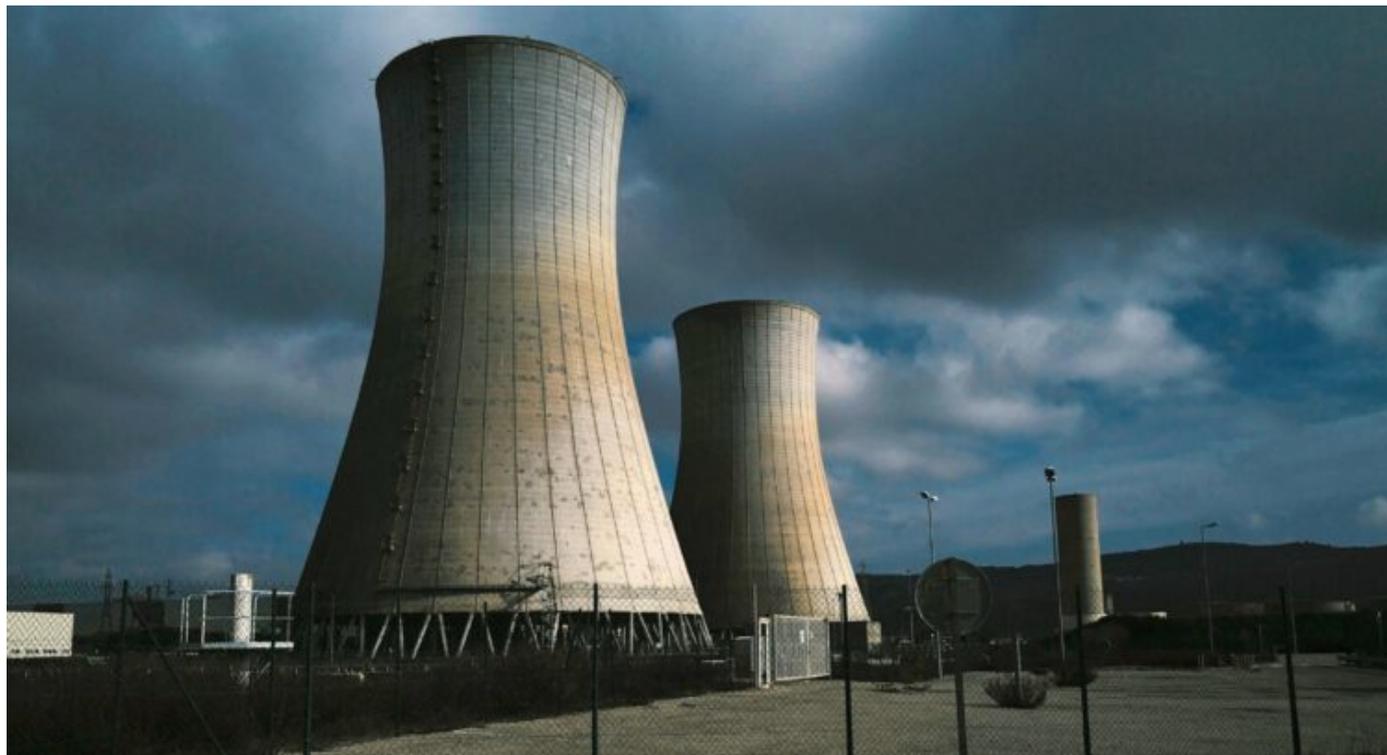
Rénover le parc nucléaire français

PUBLIÉ LE 25 AVR 2023 À 09H00

MODIFIÉ LE 25 AVRIL 2023

PAR THOMAS ALLARD

Noé DANIEL - ADS ENS PSI



Crédit photo : OLIVIER CHASSIGNOLE/AFP - M. TUMELAIRE.

Les tours autoréfrigérantes permettent d'alimenter le circuit de refroidissement de la salle des machines de la centrale. Ici, celle de Tricastin, dans la Drôme.



En attendant la livraison des EPR 2, EDF va devoir composer avec des centrales vieillissantes. En 2022, divers dysfonctionnements ont entraîné l'arrêt de près de la moitié des réacteurs. Le défi de l'énergéticien : prolonger leur durée de vie de dix ans.

Plus puissants, plus économes, plus durables, plus efficaces... Telles sont les promesses des réacteurs EPR attendus comme la prochaine révolution du parc nucléaire français. Avec eux, la France espère faire face au défi énergétique qui l'attend : la sortie des énergies fossiles, qui ne sera possible qu'en augmentant la production électrique. D'après le Haut-Commissaire au plan, notre consommation électrique devrait augmenter de 35 à 47 % d'ici à 2050.

Et l'atome pourrait fournir jusqu'à la moitié de cette énergie, selon les projections du gestionnaire du Réseau de transport d'électricité (RTE). Mais voilà, les sauveurs de l'atome se font attendre : le chantier de l'EPR de Flamanville, commencé en 2007, ne cesse d'être retardé et, fort de ce retour d'expérience, le gouvernement table déjà sur la prochaine génération, les réacteurs EPR 2.

L'État prévoit d'en construire entre 6 et 14. Les premiers devraient être mis en service à Penly, entre 2035 et 2037. *“Nous pourrions alors faire cohabiter l'ancien parc nucléaire et le nouveau, le temps que les EPR 2 montent en puissance. Et nous pourrions procéder à la fermeture du parc actuel en l'échelonnant dans le temps”*, explique Ludovic Dupin, directeur de l'information au sein de la Société française d'énergie nucléaire (Sfen).

>> Lire aussi : *On a trouvé une nouvelle forme de glace*

LA CRISE DE LA QUARANTAINE DU PARC NUCLÉAIRE FRANÇAIS

Et avant 2035 ? La France ne pourra compter que sur son parc actuel. Problème, une partie de ce parc est vieillissante. L'année 2022 a d'ailleurs été préoccupante pour l'atome, qui n'a généré que 279 térawattheures (TWh), soit 30 % de moins que la moyenne de ces deux dernières décennies. Symbole de cette année noire, le 28 août 2022, 65 % des réacteurs nucléaires français étaient à l'arrêt. Et quand l'atome tremble, c'est toute notre filière électrique qui vacille : l'Hexagone a connu en 2022 son plus bas niveau de production électrique depuis trente ans. Alors que s'est-il passé ?

C'est d'abord une question de calendrier. De nombreuses centrales étaient en maintenance le temps de leur visite décennale : tous les 10 ans, EDF organise une batterie de tests afin de contrôler l'état de tous les éléments de chaque réacteur. Réalisées sous la supervision de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), ces visites permettent de décider de la poursuite – ou non – du fonctionnement du réacteur pour 10 ans supplémentaires.

Mais depuis quelque temps, elles ne sont pas de simples vérifications de routine : les réacteurs de 900 mégawatts électriques (MWe), les plus anciens du parc, ont fêté presque tous en même temps leur 40e anniversaire. Or ces réacteurs ont justement été initialement imaginés pour fonctionner... 40 ans. Dans ce contexte, la visite décennale devient un moment crucial, et nécessite plusieurs mois de travaux.

“Nous arrivons à une période où EDF doit réinvestir dans son outil de production afin de maintenir l'état des installations, voire les améliorer, pour que leur

ABONNEZ-VOUS

fonctionnement puisse se poursuivre”, prévient Julien Collet, directeur général adjoint de l'ASN. Lancé en 2014, le programme “Grand carénage” d'EDF nécessite des investissements de 4,7 à 24 milliards d'euros par an. Et il porte ses fruits : plusieurs réacteurs ont passé avec brio leur quatrième visite décennale. Leur prolongation jusqu'à 50 ans est en cours d'évaluation par les autorités.

>> *Lire aussi : Le bouleversement ChatGPT : quels impacts sur le monde réel ?*

Car ce sésame nécessite certains ajustements, souligne Sylvie Richard, directrice du projet Grand carénage chez EDF : *“Une centrale nucléaire est constituée de kilomètres de tuyauterie, de circuits, de pompes et de robinets. Ces éléments sont suivis régulièrement et ils peuvent être remplacés. Du côté des composants les plus massifs, les générateurs de vapeur, qui pèsent environ 400 t, sont remplacés au bout de 30 à 40 ans. Le groupe turbo alternateur qui sert à la production de l'électricité, lui, est changé partiellement, ou parfois totalement, tous les 20 à 30 ans”.*

D'autres éléments sont inamovibles. À commencer par la cuve du réacteur, l'enceinte en acier dans laquelle se trouve le combustible et où s'opère la fission nucléaire. *“Remplacer la cuve poserait d'immenses défis techniques, à exécuter dans une zone très irradiante. C'est une opération tellement compliquée qu'elle n'a jamais été réalisée dans le monde”,* confie Julien Collet. Pourtant, l'acier vieillit sous les coups de boutoir de l'irradiation : la réaction nucléaire émet des neutrons qui viennent le percuter et le fragilisent peu à peu. Des contrôles réguliers sont donc effectués. *“Des morceaux d'acier amovibles ont été placés dans chaque cuve lors de sa mise en service. Nous prélevons périodiquement ces morceaux témoins pour les analyser en laboratoire et observer avec précision ce qu'il se passe au niveau du métal”,* détaille Sylvie Richard.

Remplacer une cuve est une opération tellement compliquée qu'elle n'a jamais été réalisée dans le monde – JULIEN COLLET Directeur général adjoint de l'Autorité de sûreté nucléaire

BRUNO BOURGEOIS – ASN

DES CONTRÔLES PAR ULTRASONS

Dans le cadre des visites décennales, EDF procède à une inspection de la cuve à l'aide d'un immense robot de 12 t, piloté à distance. *“ Le robot en contrôle l'intérieur*

ABONNEZ-VOUS

via un système d'ultrasons pour s'assurer qu'aucune fissure n'est apparue au cours des dix années précédentes”, précise Julien Collet. L'enceinte en béton du bâtiment réacteur est l'autre élément de la centrale qui ne peut pas être remplacé. Elle subit des tests réguliers afin de vérifier son étanchéité (*voir infographie*).

Si les centrales les plus âgées attirent le gros de l'attention, les plus récentes se révèlent également “capricieuses”, touchées par des soucis de fissure, appelés “corrosion sous contrainte”. Cette anomalie au niveau des soudures des tuyaux de secours, utilisés en cas d'accident pour refroidir le réacteur, a été découverte pour la première fois lors de la maintenance du réacteur 1 de la centrale de Civaux, fin 2021. Dans la foulée, EDF arrêta les 12 réacteurs potentiellement concernés par cette défaillance.

>> *Lire aussi : Ordinateur quantique : Des chercheurs augmentent massivement la durée de vie d'un qubit*

“Ceux qui sont touchés sont les plus récents. Il ne s'agit donc pas d'un problème dû au vieillissement, mais d'une dégradation liée à un souci de conception”, souligne Julien Collet. *“Les tuyaux de secours des anciens réacteurs avaient une forme assez linéaire. Puis, lors de la construction de réacteurs plus récents, on a modifié cette architecture en créant des coudes : cela a entraîné l'apparition de gradients de température entre les différentes parties qui les composent. Bien qu'il s'agisse d'un acier inoxydable couramment utilisé dans l'industrie, ces contraintes thermiques ont fini par micro-fissurer l'acier”*, détaille Ludovic Dupin. Il faut alors couper la tuyauterie endommagée et la remplacer.

Si les deux réacteurs de Civaux ont été réparés au bout d'un an et produisent à nouveau du courant, à l'heure où nous écrivons ces lignes, cinq autres sont toujours à l'arrêt à cause de ces “découpages” (*voir carte p. 104*). Et ce problème devra faire l'objet d'un suivi régulier dans les années à venir, car l'architecture des tuyaux de secours ne peut pas être drastiquement modifiée.

“Nous ne pouvons pas exclure que le phénomène réapparaisse, même sur les tuyaux qui ont été réparés. Un programme spécifique de contrôle par ultrasons sera mis en place afin d'observer régulièrement, à la manière d'une échographie, la présence d'éventuelles discontinuités dans le matériau, et de détecter tout défaut dont la taille dépasse 2 mm de profondeur”, indique Julien Collet.

>> *Regarder aussi : Vidéo : L'éruption du volcan Hunga Tonga a été la plus grande explosion naturelle depuis plus d'un siècle*

FAIRE FACE À TOUS LES ALÉAS

ABONNEZ-VOUS

Enfin, le bâtiment réacteur n'est pas le seul à être scruté par EDF. Un certain nombre d'ajustements extérieurs ont également été mis en œuvre, notamment pour assurer le refroidissement en cas d'urgence. L'objectif est d'éviter à tout prix le scénario catastrophe de Fukushima en 2011, ou celui de Three Mile Island, aux États-Unis, en 1979 : l'accident avec fusion du cœur du réacteur. Car un réacteur nucléaire, même à l'arrêt, dégage une quantité importante d'énergie – il faut donc le refroidir en permanence.

“Si on perd les moyens de refroidissement du cœur, et qu'une brèche apparaît dans le circuit primaire qui circule dans le cœur, celui-ci va progressivement se vider. Le niveau d'eau dans la cuve baisse, les assemblages combustibles se découvrent et commencent alors à fondre, détaille Julien Collet. L'accident de Fukushima a mis en évidence l'importance de disposer de fonctions support robustes pour l'alimentation en eau et en électricité.”

Afin de fournir de l'électricité aux équipements critiques de la centrale en cas d'urgence, plusieurs dispositifs – comme les générateurs diesel “d'ultime secours” – ont ainsi été ajoutés (*voir infographie ci-dessus*). *“Ces générateurs sont dimensionnés de façon à résister à des aléas exceptionnels, supérieurs à ceux pour lesquels le reste de l'installation a été conçu”,* explique le directeur général adjoint de l'ASN. Un approvisionnement de secours en eau doit également être prévu pour chaque centrale. Cette source d'eau ultime, qui est souvent un pompage souterrain dans la nappe, a vocation à ne servir qu'en situation extrême.

Enfin, au cas où le cœur venait à fondre quand même, la dalle de béton située sous le réacteur a été renforcée. *“L'idée est de l'agrandir afin qu'elle puisse vraiment ralentir la traversée du corium, un magma issu de la fusion de combustibles nucléaires et d'autres éléments du cœur”,* confie Ludovic Dupin. Les réacteurs nouvelle génération – les EPR 2 –, d'une puissance de 1670 MWe, qui équiperont le parc français disposeront quant à eux d'un récupérateur de corium, une sorte de cendrier géant dans lequel le cœur fondu doit s'écouler en cas d'accident. Le tout sera ensuite confiné, puis refroidi. Mais, en attendant, c'est sur les structures bétonnées de notre parc vieillissant qu'il faut garder les yeux rivés...



ON ALERTAIT DÉJÀ EN 1997 (N°832). OLIVIER CHASSIGNOLE/AFP – M. TUMELAIRE

Forer à des kilomètres sous terre, rallier les pôles, poser un pied sur la Lune... toute l'histoire de l'humanité est jalonnée de ces défis les plus fous. Et ça n'est pas près de s'arrêter ! *Science & Vie* poursuit sa série sur les plus incroyables missions

scientifiques à venir. Ce mois-ci, il s'agit d'assurer la production d'énergie avec des réacteurs vieux de 40 ans.

ABONNEZ-VOUS

Au 17 février 2023, 23 % des réacteurs nucléaires français étaient encore en maintenance. Source : EDF

ANTOINE DAGAN

1. RÉACTEUR NUCLÉAIRE : UNE FISSION S'OPÈRE DANS LA CUVE

Composée d'acier, la cuve du réacteur ne peut être changée. Sa bonne tenue est donc essentielle. Elle contient les assemblages combustibles, aussi appelés "cœur du réacteur". C'est là que s'opère la fission des atomes d'uranium, qui produit une grande quantité de chaleur. Cela chauffe l'eau du circuit primaire à plus de 300°C. En exerçant une forte pression (155 bars), le pressuriseur empêche cette eau de bouillir.

2. DE L'EAU EST TRANSFORMÉE EN VAPEUR...

Le générateur de vapeur – d'un poids de 400 t est un échangeur qui assure la transmission de la chaleur de l'eau du circuit primaire à l'eau du circuit secondaire. Cette dernière entre alors en ébullition et la vapeur produite est acheminée vers la turbine. Un générateur peut fonctionner entre 30 et 40 ans avant d'être remplacé.

3. ... PUIS EN ÉLECTRICITÉ PAR LA TURBINE

Cette turbine est actionnée sous l'effet de la pression de la vapeur produite par le générateur. Grâce à l'énergie qu'elle fournit, l'alternateur produit un courant électrique en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique.

Cette dernière est acheminée jusqu'au réseau national. La turbine est changée, au moins partiellement, au bout de 20 à 30 ans.

L'ENCEINTE DE CONFINEMENT PROTÈGE LE RÉACTEUR

Cette enceinte en béton est le dernier rempart pouvant stopper d'éventuelles fuites radioactives vers l'environnement. Pour s'assurer qu'elle joue pleinement son rôle, des compresseurs y sont installés lors de chaque visite décennale et un test de résistance à la pression par paliers successifs – jusqu'à 4 bars – est effectué pour vérifier son étanchéité.

ABONNEZ-VOUS

EN CAS D'URGENCE, UN GÉNÉRATEUR DIESEL

Ce système de secours monté sur des plots antisismiques est placé hors du bâtiment réacteur et il est conçu pour résister aux situations extrêmes (inondation, séisme, tornade...). Utilisé uniquement lorsque la centrale fait face à une situation critique, il doit permettre de rétablir au plus vite l'alimentation électrique des dispositifs de sûreté de la centrale. Le remplacement de ce système essentiel ne pose pas de problème.

Certaines centrales nucléaires seront peut-être contraintes de s'arrêter de fonctionner lors des prochains étés. Car en rejetant une eau chaude dans des rivières déjà soumises à de rudes sécheresses, elles risquent de fragiliser encore plus les écosystèmes aquatiques. Pour éviter ces nuisances, leurs rejets thermiques sont réglementés : “ *Ces limites vont parfois obliger l'exploitant à réduire le niveau de puissance de la centrale, voire à l'arrêter* ”, note Julien Collet, de l'ASN. Reste que, pendant l'été 2022, des dérogations ont été accordées pour que les centrales continuent de fonctionner malgré des rejets thermiques dépassant les seuils...