

# EPR2 : améliorer la constructibilité de l'EPR grâce au retour d'expérience

Par Gabriel OBLIN

Directeur du Projet EPR2 du groupe EDF

L'EPR2 est une version optimisée et industrialisée de l'EPR. Il capitalise sur les forces de l'EPR : la même puissance, et les mêmes performances de sûreté et environnementales parmi les plus élevées au monde. Il prend également en compte le retour d'expérience des EPR précédents et du parc en exploitation, pour en faciliter la construction ; des enseignements tirés à la fois par EDF et la filière industrielle française mobilisée vers le retour à l'excellence, *via* le « plan excell ».

La différence avec l'EPR réside donc principalement dans le fait que l'EPR2 sera plus facile à construire, dans des délais optimisés et donc plus compétitif. La construction sera facilitée en :

- simplifiant le *design* ;
- standardisant les équipements ;
- renforçant la préfabrication dans les usines ;
- associant au plus tôt les fournisseurs ;
- adaptant les organisations et relevant l'enjeu des compétences ;
- transformant en profondeur et en digitalisant l'ingénierie d'EDF.

EDF vise de démarrer les premiers travaux sur le site de Penly (Normandie) mi-2024. Les projets suivants sont prévus à Gravelines (Hauts-de-France) et Bugey (Auvergne-Rhône-Alpes).

## Introduction

« Nous allons, pour la première fois depuis des décennies, relancer la construction de réacteurs nucléaires dans notre pays et continuer de développer les énergies renouvelables (...) pour garantir l'indépendance énergétique de la France, pour garantir l'approvisionnement électrique de notre pays et atteindre nos objectifs, en particulier la neutralité carbone en 2050 ». Cette volonté exprimée par le président de la République, Emmanuel Macron, le 9 novembre 2021, devrait se traduire l'été prochain par le lancement du premier chantier de construction de réacteurs EPR2 sur le site de Penly (Normandie). L'aboutissement d'un projet porté par EDF et la filière nucléaire française remobilisée, tirant les enseignements des chantiers EPR dans le monde et de l'exploitation du parc nucléaire actuel.

## Génèse du programme

S'inscrivant pleinement dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2019-2028, et conformément à la demande formulée en 2018 par le président de la République de « travailler à l'élaboration d'un programme de nouveau nucléaire, en prenant des engagements fermes sur le prix pour qu'il soit plus compétitif », EDF et la filière nucléaire française ont remis au Gouvernement, en mai 2021, une pro-

position industrielle de construction de trois paires de nouveaux réacteurs de type EPR2 en France. Ces réacteurs seraient implantés sur les sites de Penly (Normandie), Gravelines (Hauts-de-France) et Bugey (Auvergne-Rhône-Alpes).

Dès le 10 février 2022, dans le cadre d'un discours sur le volet « Énergies » de France 2030 à Belfort, le président de la République a réaffirmé vouloir consolider la place de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique français, et a fait part, au-delà de sa volonté, de mettre en œuvre immédiatement un programme de nouveaux réacteurs nucléaires à travers le lancement du projet de construction de trois paires d'EPR2.

Le débat public sur le « Projet d'une première paire de réacteurs EPR2 sur le site de Penly dans le cadre de la proposition d'EDF pour un programme de nouveaux réacteurs nucléaires en France » s'est tenu d'octobre 2022 à avril 2023. Après l'analyse du bilan du débat et des recommandations émises par la Commission nationale du débat public, EDF en tant que maître d'ouvrage, a décidé de poursuivre la préparation du programme EPR2 et a déposé les demandes d'autorisation pour Penly auprès des administrations concernées (demande d'autorisation de création et demande d'autorisation environnementale). Ces demandes vont être instruites dans le cadre de la nouvelle loi d'accélération du nucléaire en France. La construction de



Figure 1 : Vue d'architecte des 2 futurs EPR2 en exploitation sur le site de Penly en Normandie  
(Copyright : Didier Marc (PWP) et Kardham Architecture).

la première paire pourrait débuter à l'été 2024, après l'obtention de l'autorisation environnementale.

### Le réacteur EPR2, une version optimisée et industrialisée de l'EPR

L'EPR2 est une version optimisée et industrialisée de l'EPR. D'une puissance de  $2 \times 1\,670$  MWe, chaque paire de réacteurs produira chaque année l'équivalent de 50 % de la consommation électrique d'une région comme l'Île-de-France.

L'EPR2 reconduit les principaux atouts de l'EPR, c'est-à-dire des performances techniques, de sûreté et environnementales parmi les plus élevées au monde. Réacteur de troisième génération, l'EPR2 bénéficie des meilleurs standards de sûreté disponibles et intègre par exemple dès la conception le retour d'expérience de Fukushima. Ce réacteur offre également un meilleur rendement que le parc actuel et des performances environnementales accrues (possibilité d'utiliser du combustible issu du retraitement du combustible usé (MOX), optimisation des rejets et déchets pour un même volume de production, etc.).

La différence avec l'EPR réside donc principalement dans le fait que l'EPR2 sera plus facile à construire, dans des délais optimisés et donc plus compétitif, grâce

à l'intégration du retour d'expérience des EPR dans le monde et du parc français en exploitation.

L'EPR2 est également conçu pour s'intégrer dans le futur mix énergétique français à l'horizon 2035, à forte composante en énergies renouvelables. La possibilité de faire varier son niveau de production d'électricité en fonction de la consommation le rend très complémentaire de la production solaire et éolienne.

Enfin, l'EPR2 prend en compte, dès sa conception, l'évolution des facteurs externes en lien avec le changement climatique, particulièrement les températures d'air et d'eau, les niveaux d'eau en bord de mer et le débit des fleuves. L'objectif est qu'il soit résilient à ces

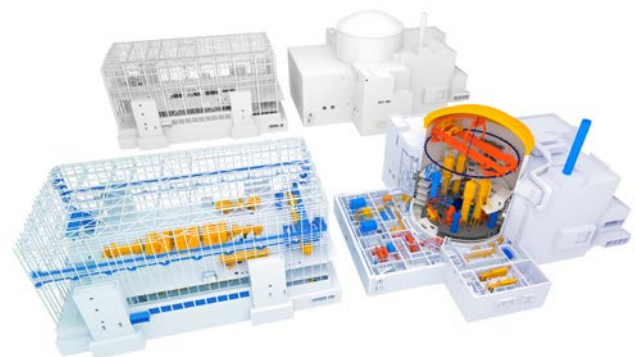


Figure 2 : Vue en coupe de la salle des machines et de l'îlot nucléaire d'une paire d'unités de production EPR2.

évolutions sur toute sa durée de fonctionnement, d'au moins 60 ans.

## Améliorer la constructibilité des EPR2 grâce aux enseignements tirés par EDF et la filière

Le réacteur EPR2 est issu du travail approfondi mené par EDF et la filière nucléaire afin de tirer les enseignements des chantiers et de l'exploitation des EPR dans toutes leurs dimensions : technique, industrielle et socio-organisationnelle. L'objectif : optimiser et industrialiser l'EPR afin de le rendre plus simple à construire et donc plus compétitif.

Pour ce faire, EDF et la filière ont travaillé sur les axes suivants.

### Simplifier le *design* pour améliorer la constructibilité et optimiser l'exploitation future

Les principales évolutions du *design* de l'EPR2 ont un impact direct sur le génie civil et donc le planning de construction et le coût du réacteur.

Le *design* a été simplifié, avec l'appui des entreprises du secteur, en supprimant les singularités de génie civil et en favorisant des structures plus simples à construire, par exemple en alignant les murs d'un local à l'autre ou d'un étage à l'autre. La constructibilité de l'enceinte du réacteur EPR2 a également été améliorée (une enceinte à paroi unique en béton avec un revêtement métallique au lieu des 2 parois béton de l'EPR) en conservant le même niveau de sûreté et les mêmes performances de confinement et de résistance aux agressions externes que l'EPR.

Certains couloirs et salles ont été agrandis afin de faciliter les activités en phase de montage puis en phase d'exploitation.

Des simplifications ont également été apportées au *design* suite à l'abandon de certaines options demandées par les électriciens allemands lors de la conception de l'EPR car non utilisées par les exploitants français, par exemple la possibilité de faire de la maintenance dans le bâtiment réacteur lorsque celui-ci fonctionne à pleine puissance (concept "two-rooms").

### Stabiliser la conception pour éviter les cycles de modification

Suite au retour d'expérience de Flamanville 3, dès la phase de *basic design*, EDF a fait valider les principaux choix de conception de l'EPR2 et s'est accordé avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) sur les règles appliquées en matière de sûreté. L'objectif : disposer d'un référentiel de conception stabilisé et ainsi éviter les reprises d'études en phase de réalisation.

Dès 2016, EDF a ainsi fait le choix de remettre à l'ASN le Dossier d'options de sûreté (DOS) qui, après instruction, a abouti à un avis positif de l'Autorité sur les principaux choix de conception de l'EPR2. EDF a ensuite

transmis, dès février 2021, le Rapport préliminaire de sûreté de la première paire d'EPR2 sur le site de Penly afin de permettre à l'ASN d'anticiper l'instruction longue de ce document. Les conclusions de l'ASN sur le rapport de sûreté définitif constitueront en effet l'une des pièces essentielles à l'obtention du décret d'autorisation de création (DAC).

### Standardiser les équipements sur la durée et répliquer dès que possible

En s'appuyant notamment sur le plan excell lancé par EDF avec les entreprises de la filière nucléaire française, les équipes EPR2 ont réduit significativement le nombre de références d'équipements au profit de modèle standards de l'industrie, déjà dans les catalogues des fournisseurs. Une démarche qui permet à la fois de générer des gains de coûts (achats en volume des références sélectionnées), de maintenance et d'exploitation (avec des pièces suivies, disponibles rapidement chez les fournisseurs) et de durée de construction.

Ainsi, le nombre de références de portes sur l'installation a été divisé par 3 passant de 294 à 89, et la standardisation du catalogue de tuyauterie a été réduit à 2 nuances d'acier et 2 épaisseurs par diamètre, ce qui a permis de réduire de 40 % le nombre références utilisées sur l'EPR2.

Enfin, afin de limiter les risques industriels, le choix a été fait d'utiliser les mêmes équipements de la chaudière que pour les EPR précédents.

### Construire en série et par paire

Afin de retrouver les bonnes pratiques qui ont fait le succès de la construction en un temps record du parc français actuel dans les années 1970-1980, les EPR2 sont construits par paire au sein d'un programme.

Construire en série offre l'opportunité de faire des achats d'équipements ou de prestations pour l'ensemble du programme et donc de tirer le plein bénéfice du volume induit par la construction de 6 réacteurs.

Réaliser ce programme, c'est aussi la possibilité pour la filière nucléaire française de bénéficier d'un effet d'apprentissage, permettant d'optimiser ses process industriels, ses techniques et la durée de construction à chaque nouveau chantier.

### Renforcer la préfabrication dans les usines et modulariser

La durée de construction de l'EPR2 est également optimisée en faisant appel autant que possible à la préfabrication en usine d'équipements complets (avec l'objectif de réduire de 30 % le nombre de soudures réalisées directement sur le chantier) ou à la modularisation.

Ces techniques, déjà en partie mises en œuvre sur la construction des EPR de Hinkley Point C en Grande-Bretagne, permettent également de réduire les interfaces sur le chantier et donc les risques dus à la coactivité et de gagner du temps de construction sur le chantier.

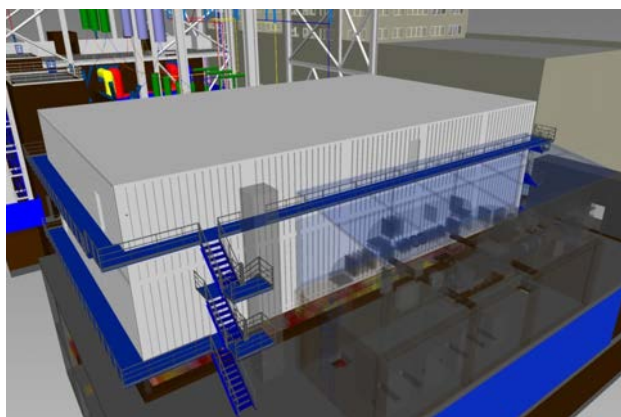


Figure 3 : Le bâtiment électrique non classé de sûreté de l'EPR2 a été intégralement modularisé avec des modules entièrement équipés qui seront livrés directement sur site.

### Associer au plus tôt les fournisseurs

EDF a fait le choix d'associer les industriels dès la phase de conception de l'EPR2, afin de bénéficier de

leur expérience. Des groupements d'entreprises spécialisées dans le génie civil ou encore le montage électromécanique ont ainsi « mis à l'épreuve » la constructibilité du *design* conçu par les équipes d'EDF, relevé le *challenge* des grandes phases du planning du chantier et apporté leurs méthodes industrielles afin de les appliquer à l'industrie nucléaire.

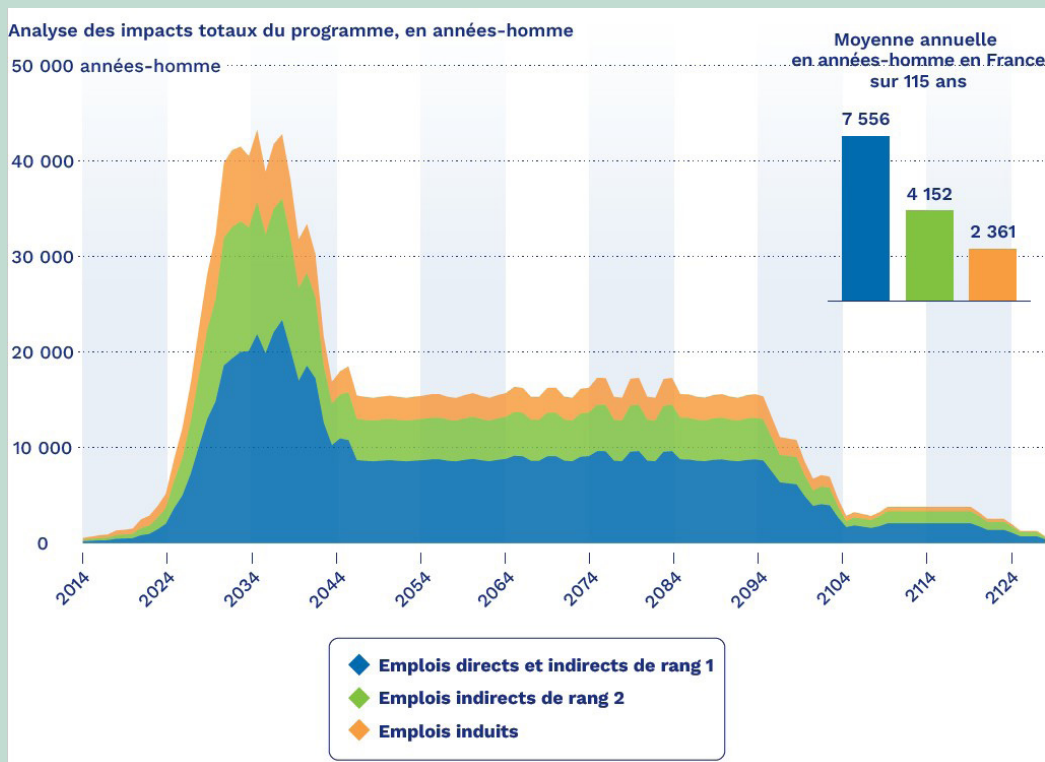
Côté contractualisation, l'EPR2 bénéficie du retour d'expérience des projets EPR dans la rédaction des marchés et la sélection des fournisseurs. Les appels d'offres EPR2 ont ainsi été lancés suffisamment tôt, autant que possible pour les trois paires du programme, afin d'assurer la robustesse et l'optimisation de l'estimation du coût du programme mais aussi donner la visibilité nécessaire à la filière pour s'engager dans la durée et que les entreprises puissent investir aussi bien dans l'outil industriel que dans les compétences, et enfin sécuriser le *design* en disposant au plus tôt des retours des études fournisseurs.

## L'emploi généré par le programme EPR2

Le programme de trois paires d'EPR2 générera des emplois sur l'ensemble de la filière industrielle française. Il mobilisera jusqu'à 30 000 emplois par an pendant sa phase de construction, et environ 10 000 emplois par an pendant son exploitation.

Ces emplois, en grande majorité basés en France, seront répartis sur tout le territoire, dont une part importante dans le département hébergeant les réacteurs et les départements limitrophes.

Sur le seul chantier de la première paire de réacteurs EPR2 à Penly, on estime que 3 000 salariés seront mobilisés en moyenne chaque jour, avec un pic à plus de 7 500.



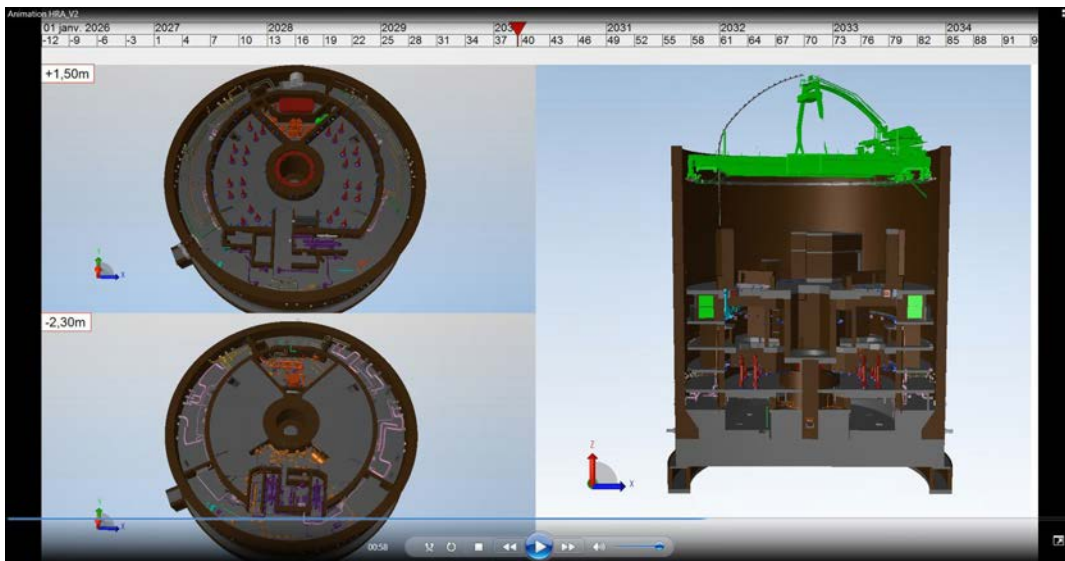


Figure 4 : Visuel issu de la maquette 4D du réacteur EPR2.

Par ailleurs, EDF a entrepris de transformer ses relations contractuelles avec ses fournisseurs au profit d'une relation plus partenariale. EPR2 déploie progressivement ce nouveau modèle de contractualisation plus équilibré, qui intègre les fournisseurs dans les enjeux du projet, dans son système d'information et dans son approche collaborative ; l'objectif étant de favoriser la capacité à produire dans les délais et « bon du premier coup ».

### Adapter les organisations

Les enseignements tirés de l'EPR de Flamanville ainsi que les recommandations formulées par Jean-Martin Folz en 2019 ont amené EDF à renforcer la gouvernance de ses grands projets nucléaires.

Ainsi, au printemps 2022, une gouvernance de projet éprouvée dans d'autres grands projets industriels aéronautiques et automobiles a été mise en place, distinguant des rôles clairs entre maîtrise d'œuvre (MOE) et maîtrise d'ouvrage (MOA). Si la MOE est en charge de l'exécution du projet, la mission de la MOA est de représenter les intérêts du client, en répondant de la valeur créée par le Projet (respect des coûts, délais, qualité) et de sa réalisation, et de sécuriser, au niveau national et européen, le cadre juridique et financier du programme.

En complément du retour d'expérience technique, un retour d'expérience socio-organisationnel a également été mené à Flamanville 3 par 3 sociologues, en 2019 et 2020 afin d'apporter des enseignements sur les sujets organisationnels, de méthode, d'outil et de compétences. Cela a notamment amené EDF à placer la responsabilité au plus proche des chantiers : ainsi, la direction de Projet EPR2 est aujourd'hui basée sur le futur chantier de Penly, de façon à simplifier les processus de décision.

### Transformer en profondeur et digitaliser l'ingénierie d'EDF

EDF innove en intégrant les nouvelles technologies à son ingénierie nucléaire. L'EPR2 est ainsi le premier

réacteur à être conçu entièrement de façon numérique, au sein d'un outil permettant de capitaliser l'ensemble des données sur toute la durée de vie du réacteur : de sa conception à sa déconstruction. Cette gestion sous forme *data centric* permet de limiter les erreurs dans la mesure où la donnée numérique devient la source unique de données partagées entre EDF et ses fournisseurs.

Pour EPR2, EDF utilise également la simulation 4D, qui permet de visualiser les différentes phases de construction par le biais d'une maquette 3D qui évolue dans le temps et ainsi d'avoir une vision précise de l'avancement du chantier. Cette simulation permet notamment de détecter des anomalies dans l'ordonnancement du montage et de mieux préparer les interventions avant même de lancer la construction.

En synthèse, lancer la construction d'EPR2 en France est un choix stratégique fort pour conserver une industrie dynamique à long terme, capable de construire des réacteurs nucléaires au meilleur niveau de performance.

Ce programme EPR2, grâce aux enseignements tirés des chantiers EPR dans le monde et du parc en exploitation sera un formidable levier pour la réindustrialisation de la France, sa souveraineté énergétique et la lutte contre le changement climatique.