

FLAMANVILLE



Février 2024

La construction de la nouvelle centrale a débuté en 2007. Elle devait s'achever en 2012. Finalement, sa mise en service par EDF devrait intervenir mi-2024. Pourquoi un tel décalage dans les délais, entraînant des surcoûts importants ? Retour sur les dix-sept années d'un chantier hors normes, qui s'est déroulé sous les projecteurs de l'actualité et sous le contrôle de deux organismes, l'ASN et l'IRSN, en charge de la sûreté et de la sécurité nucléaire.

Document réalisé par Pierre Lefèvre

L'histoire de l'EPR commence en 1986, lorsque EDF esquisse les contours d'un nouveau réacteur, le REP2000, en prévision du remplacement des réacteurs en fonctionnement. Sa conception doit permettre de faire évoluer la technologie du dernier modèle alors en construction le N4. Mais, en cette même année 1986, survient l'accident de Tchernobyl. Il entraîne un brusque coup de frein au développement du nucléaire dans le monde. Face à un marché atone, les acteurs industriels se regroupent pour rationaliser leurs coûts et augmenter leurs chances de remporter des contrats. Le français Framatome et l'allemand Siemens créent une filiale commune en 1989, Nuclear Power International (NPI), pour travailler ensemble sur une technologie de réacteur commune. Dans le même temps, l'Allemagne poursuit son propre programme pour développer un nouveau réacteur qui doit succéder au Konvoi B, dernier modèle allemand en fonctionnement.

En 1992, l'ensemble de ces projets converge en un seul et même programme qui rassemble les électriciens, les constructeurs et les autorités de sûreté nationales des deux pays. Il porte le nom de « European pressurized water reactor » (EPR). Dans l'après-Tchernobyl, le principal objectif de ce programme est l'amélioration globale de la sûreté en réduisant la probabilité d'une fusion du cœur et en minimisant les rejets radioactifs en cas d'accident.

Toutefois, le projet marque le pas avec l'arrivée au pouvoir, en France et en Allemagne, de coalitions défavorables au nucléaire. Par ailleurs, en France, le parc nucléaire est alors en surcapacité et la construction d'un nouveau réacteur n'est pas une nécessité. L'Allemagne se retire finalement du projet. La France, elle, temporise. Le ciel s'éclaircit en 2002, avec l'arrivée d'une nouvelle majorité politique, favorable au nucléaire. Les deux grands acteurs de la filière nucléaire française, EDF et AREVA, se font alors concurrence et entendent tous les deux s'imposer sur le marché. A la suite d'un appel d'offre, Areva signe avec l'électricien finlandais TVO la construction d'un réacteur à Olkiluoto, en Finlande. Le chantier démarre en 2007.

« Voir les caractéristiques détaillées de l'EPR figées par la seule prise en compte des prescriptions du régulateur finlandais », commente Jean-Martin Folz, ancien PDG

de PSA, dans un rapport majeur sur l'EPR commandé par EDF, datant de 2019 (source : EDF).

Par ailleurs, EDF a l'ambition d'exporter l'EPR avec une stratégie commerciale différente de celle d'Areva. Ce dernier veut vendre des réacteurs « clés en main », tandis qu'EDF propose son expertise d'architecte ensemblier, c'est-à-dire tout à la fois de concepteur, de constructeur et d'exploitant, avec pour conséquence la capacité de tirer les enseignements des chantiers et de l'exploitation et d'intégrer ainsi les améliorations à l'ensemble du parc.

DES PERTES DE SAVOIR-FAIRE

Selon la Cour des comptes, auteur en juillet 2020 d'un autre rapport décisif sur l'EPR, cette concurrence se fait à coup de surenchères et dans l'impréparation « sur la base de références techniques erronées et d'études détaillées insuffisantes, avec une estimation en termes de délai et de coût complètement irréaliste ». EDF annonce finalement, en juin 2004, la construction de l'EPR à Flamanville. Le chantier est prévu pour se dérouler en seulement 54 mois, soit 4 ans et demi, alors que le temps moyen de construction d'un réacteur est, à cette époque, de 110 mois, pour un budget estimé entre 3,2 et 3,3 milliards d'euros. Le chantier est lancé en décembre 2007.

En réalité, le budget et le délai ne cesseront de s'allonger. Le chantier est marqué par une succession d'incidents dont le nombre et l'ampleur sont exceptionnels (voir graphique), juge Jean-Martin Folz. Certes, la réalisation de l'EPR est complexe. « Dans un EPR, modifier une simple pompe peut nécessiter de redimensionner un tableau électrique, qui lui-même va modifier les bilans thermiques et imposer de revoir les gaines de ventilation, etc. Il y a très rapidement un effet domino, car toute l'installation est extraordinairement dense » explique, le 12 mai 2022, Frédéric Jobert, directeur associé en charge du nucléaire chez BCG, au journal « Les Echos ».

Il n'est donc pas surprenant de voir des décalages dans de tels projets, mais le niveau atteint à Flamanville est tel que la complexité ne peut en être la seule raison. Par ailleurs, « celle-ci aurait dû être anticipée », rappelle Jean-Martin Folz. En outre, bien que l'EPR soit une tête de série avec des nouveautés, ce chantier ne présente pas d'innovations technologiques majeures.

Alors, comment expliquer tous ces aléas ? Le rapport de la Cour des comptes et celui de Jean-Martin Folz égrènent les nombreux dysfonctionnements : défaut dans le suivi du projet, organisation d'ingénierie complexe répartie entre EDF et Framatome avec un centre en France et un autre en Allemagne, études de détails pas assez avancées au démarrage du chantier, contexte réglementaire forcément en évolution au cours de la longue construction. Par ailleurs, il n'y a pas eu de directeur de projet nommé à temps plein avant 2015. Ce rôle a été assuré par divers responsables. En outre, EDF a voulu assurer à la fois le rôle de maître d'ouvrage et de maître d'œuvre. Ces deux rôles

sont très différents et habituellement clairement séparés. Le premier est le futur exploitant et commanditaire du projet. C'est lui qui définit le besoin, le budget et les délais et est responsable devant l'ASN.

Autre difficulté pointée par les rapports : EDF a choisi d'avoir un nombre réduit de contractants pour réaliser le chantier, mais ces mêmes contractants ont ensuite délégué des tâches à des sous-traitants qui ont eu recours, à leur tour, à d'autres sous-traitants et ainsi de suite... Il a pu ainsi y avoir jusqu'à quatre intermédiaires, lesquels n'ont eu aucun lien contractuel avec EDF qui ne les contrôlait pas. EDF a en effet délégué la maîtrise d'œuvre et les responsabilités d'ingénierie et de contrôle de leurs sous-traitants aux entreprises avec lesquelles il était directement en contrat, mais elles n'en avaient pas toujours les compétences. En outre, Les contrats ont été passés au forfait, ce qui a nécessité des renégociations permanentes compte tenu des dérapages du chantier et, forcément, des crispations dans les relations avec les contractants.

De plus, les relations entre EDF et Areva ont été difficiles jusqu'en 2018, date à laquelle EDF a pris le contrôle de la construction de l'EPR. Elles ont été également une source de dysfonctionnements d'autant plus importants que Areva avait la charge du réacteur et de l'ensemble de la chaudière. Enfin, dernier point et non le moindre : la perte de savoir-faire, qui a été accentuée par la délégation successive des travaux à des sous-traitants étrangers.

Au chapitre des savoir-faire, Frédéric Garcias, maître de conférences en management à l'université de Lille, pointe dans sa thèse ainsi ce qu'il appelle le « désapprentissage ». En effet, 20 ans séparent le chantier de l'EPR de celui de la dernière centrale de Civaux, dans la Vienne, mise en service en 1999. Auparavant, ces savoir-faire étaient parfaitement maîtrisés, ce qui a permis à EDF de sortir des centrales à la chaîne dans les années 1970 à 1980. En quelques décennies, la France s'est dotée d'un parc de 58 réacteurs à régime forcé avec en 1981, une pointe de 8 mises en service de réacteurs cette année-là. Ensuite, plus rien, mise à part la centrale de Civaux. En 1998, dans son rapport à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) de 1998, le député de Haute-Savoie Claude Birraux alertait déjà sur l'impératif pour la France de lancer la construction d'un nouveau réacteur au plus tard en 2010 : « la difficulté de cette hypothèse réside dans le trou d'une dizaine d'années qu'elle implique, qui se traduira par une perte de compétence en matière de recherche et une dégradation du savoir-faire des industriels » « En dix ans d'inactivité, ajoute-t-il, les équipes se délitent, ne serait-ce qu'à cause des départs à la retraite non remplacés ». De fait, les savoir-faire à tous les échelons depuis les ouvriers jusqu'aux équipes de management se transmettent « en faisant » et ce sont les projets qui permettent de les maintenir. Du coup, EDF a perdu sa capacité « à organiser et à contrôler des chantiers de cette ampleur » ajoute la Cour des comptes.

TROP DE CARBONE POUR LA CUVE

Difficile de pointer une étape de la construction plutôt qu'une autre pour expliquer le retard. Mais trois problèmes se sont révélés importants. Ils concernent le fond de cuve, le couvercle du réacteur et des soudures. Trois éléments essentiels à la sûreté de l'EPR.

La cuve est l'équipement majeur du réacteur notamment parce qu'elle contient le combustible nucléaire et constitue la seconde barrière de confinement de la radioactivité. Et pourtant son couvercle et son fond ont présenté au départ des anomalies qui ont modifié la tenue mécanique de l'acier. En cause : le pourcentage de carbone contenu dans l'acier qui devrait être en principe de 0, 2 % et qui, ici, s'élevait à 0,3 % dans certaines zones. Une différence bien faible semble-t-il, mais cette concentration accrue de carbone change la capacité de l'acier à se déformer sans rompre et à résister à la propagation d'une fissure. En somme, pour le dire plus simplement, l'acier devient plus « cassant ».

Certes, dans toutes les industries, certaines pièces présentent des défauts de fabrication. Elles sont alors contrôlées et vite sorties du process. Pour l'EPR, rien de tel ! Alors que l'acier du fond de cuve et celui du couvercle ont été forgés respectivement en 2006 et 2007 par Creusot Forge à la demande d'Areva, ce n'est que fin 2014 que les anomalies ont été détectées. Trop tard : ces pièces étaient déjà installées dans le bâtiment réacteur depuis janvier 2014 et il aurait fallu casser le bâtiment pour les remplacer. Cela aurait provoqué la fin de l'EPR.

La mise en service et l'utilisation de la cuve du réacteur ont finalement été autorisées par l'ASN en 2018 après un vaste programme comportant 1700 essais. L'Autorité a toutefois imposé le remplacement du couvercle entre 15 et 18 mois après la mise en service du réacteur. Le choix d'EDF de mettre en service un couvercle qui sera irradié reste cependant étonnant. Il deviendra un déchet radioactif alors qu'il aurait été possible de décaler de quelques mois la mise en service du réacteur pour disposer d'un couvercle définitif. « Le matériau ne sera que faiblement irradié » avance Seif Eddine Jaouadi, chargé de communication de la centrale de Flamanville. Il n'empêche : ce sera un déchet faiblement radioactif de plus, qui aurait sans doute pu être évité.

DES SOUDURES NON CONFORMES

Un autre dysfonctionnement grave est intervenu sur une centaine de soudures des tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur du réacteur et, en particulier, sur les huit soudures de traversée, les bien nommées puisqu'elles soudent les tuyaux qui traversent l'enceinte de confinement du réacteur. Il fallait donc que ces soudures soient irréprochables. Or, une grande partie de l'ensemble des soudures

principales d'évacuation de la vapeur du réacteur présentait des défauts de fabrication qui n'avaient pas été détectés lors des contrôles de fin de fabrication. Bernard Doroszczuk, président de l'ASN, rappelle, qu'en juillet 2015, Framatome et un organisme mandaté par l'ASN ont échangé sur les écarts de qualité des soudures. Pourtant, les tuyaux comportant des défauts ont quand même été installés dans le bâtiment du réacteur en avril 2015 et février 2016. Ce n'est qu'en janvier 2017 qu'EDF a informé l'ASN des écarts de qualité. Finalement, l'électricien a décidé de remettre à niveau les soudures. Les opérations ont commencé fin novembre 2020 et la dernière réparation a été réalisée en novembre 2021. Aujourd'hui, l'ASN estime que toutes les soudures sont d'un niveau satisfaisant.

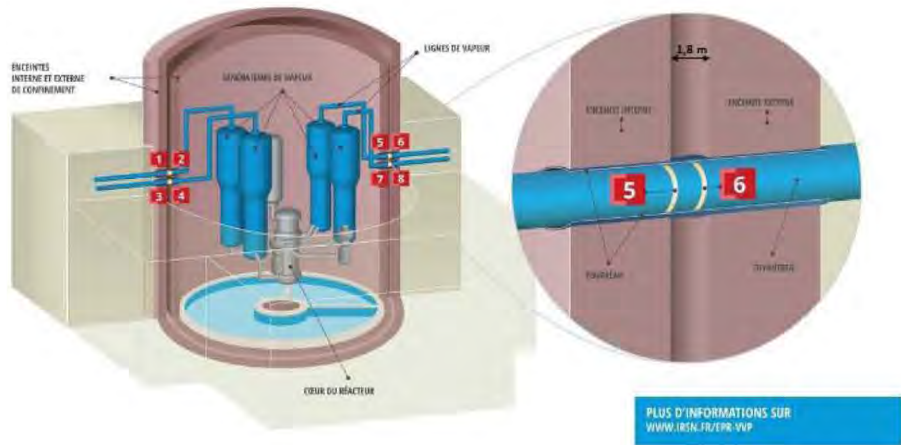
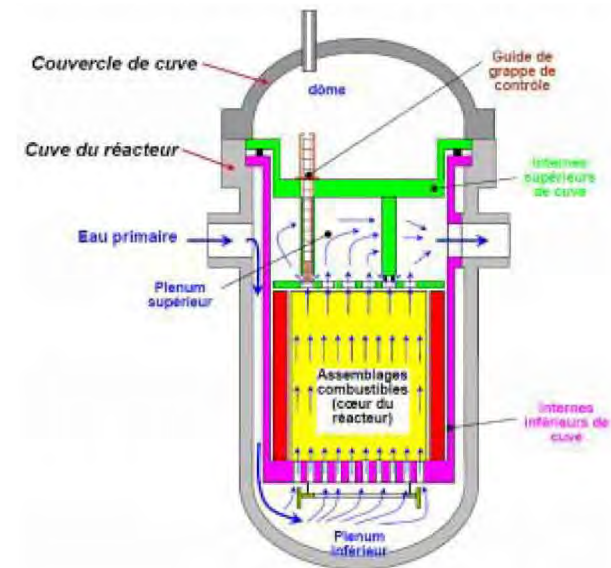


Schéma des huit soudures de traversées particulièrement difficiles d'accès (source IRSN)

Il reste un dernier sujet pour lequel EDF a trouvé une parade transitoire, mais qui demandera d'être traité par la suite et nécessitera un arrêt important : il s'agit d'un défaut de circulation de l'eau sous haute pression dans la cuve identifiée sur l'EPR chinois Taishan 1. En effet, l'eau arrive par les bords de la cuve et descend jusqu'au fond. Un dispositif de répartition et de stabilisation du débit devrait garantir, en principe, un débit le plus homogène possible sur l'ensemble de la surface du cœur du réacteur. Mais « le dispositif ne couvre cependant pas toute la surface d'entrée de l'eau dans le cœur et n'assure pas pleinement son rôle » explique Julien Collet, directeur général adjoint de l'ASN. Conséquence pour l'EPR : une dissymétrie de vitesse de débit qui entraîne des mouvements d'oscillation du cœur et des vibrations anormales au niveaux des assemblages du combustible. A Taishan, en Chine, cela a entraîné une usure prématurée de certaines grilles pour les 8 assemblages le plus exposées au phénomène (situées tous les quarts de cercle). Le risque ? Si la grille frotte trop, elle se dégrade et génère de petits morceaux métalliques qui peuvent perforer la paroi des crayons et générer des fuites radioactives. La solution trouvée par EDF : fabriquer les assemblages de périphérie

dans un alliage plus rigide qui se déforme moins sous l'effet des oscillations. Ces assemblages renforcés permettent de limiter les conséquences du phénomène, mais cela n'empêche pas le phénomène. Tous les assemblages feront donc l'objet d'un examen approfondi à l'occasion des arrêts programmés du réacteur et seront remplacés si cela s'avère nécessaire. Enfin, EDF étudie actuellement un nouveau dispositif qui devrait limiter les variations de flux d'eau et mieux les répartir.



Coupe de la cuve avec le flux hydraulique (source : EDF)

Dernier tour de chauffe

Le démarrage du réacteur est désormais très proche. EDF a achevé, le 10 décembre 2023, dix semaines d'essais dont « le bilan a été jugé satisfaisant » rapporte Alain Morvan, directeur du projet de l'EPR Flamanville. Ces essais visaient à vérifier le bon fonctionnement de la chaudière à la pression et à la température qui sera la sienne avec un réacteur en fonctionnement. Par ailleurs, EDF a testé la turbine et tous les systèmes de l'installation, notamment électrique. Des simulations de coupure électrique avec le réseau ont également été effectuées pour vérifier que les systèmes de secours prenaient bien le relais. Les résultats de ces essais doivent encore être dépouillés et analysés par l'ASN pour donner son autorisation au chargement du combustible. Il devrait intervenir prochainement selon le planning d'EDF. Le démarrage devrait donc intervenir au premier semestre 2024, avec le début de la réaction nucléaire au sein du réacteur. C'est elle qui produira de la chaleur destinée à faire tourner les turbines pour produire de l'électricité. La montée en puissance du réacteur sera toutefois progressive : il y aura tout d'abord le début de la réaction nucléaire au sein du réacteur qui atteindra ensuite graduellement 25 % de sa puissance courant 2024. C'est à ce moment-là que le réacteur sera raccordé

au réseau. Puis le réacteur passera par étape à 50, 60 et 80 % de sa puissance pour atteindre 100 % entre fin 2024 et début 2025, précise Alain Morvan, « si tous les critères exigés par la réglementation ont été vérifiés et conformes. ». Le réacteur produira alors de l'électricité pendant 15 à 18 mois avant son premier arrêt. Celui-ci durera plusieurs mois pour changer le couvercle de la cuve, mais aussi « certains échangeurs de chaleur destinés à refroidir l'eau qui alimente le réacteur avec l'eau de mer ». Les échangeurs actuellement en place ont en effet été sous-dimensionnés par rapport à une eau de mer plus chaude prévisible dans les années à venir en raison du changement climatique. Un problème qui ne devrait pas se poser avant plusieurs années, mais face auquel EDF a choisi toutefois de remplacer les échangeurs dès le premier arrêt programmé du réacteur. On ne peut que souhaiter, désormais, que le chargement des combustibles marque la fin de l'échec du chantier de l'EPR. Pour autant, chacune des étapes devra être examinée par les experts de l'IRSN et validée par l'ASN.

UN EPR À LA SÛRETÉ RENFORCÉE

Le réacteur EPR est une évolution des derniers réacteurs français N4 à eau sous pression et des réacteurs allemands Konvoi. Plus puissant que son prédécesseur, avec une capacité de production de 1600 MW contre 1450 MW pour le N4, il ne présente pas d'innovations technologiques majeures. Conçu en prenant en compte les enseignements tirés des accidents de Three Miles Island aux Etats-Unis et de Tchernobyl en Ukraine, il est considéré, en particulier par EDF, comme plus sûr que ces prédécesseurs grâce à l'utilisation de technologies largement éprouvées et de quelques nouveautés qui permettent notamment d'avoir une probabilité de fusion du réacteur dix fois plus faible, selon l'ASN.

FAIRE FACE AUX COUPURES D'ALIMENTATION

Une coupure totale d'alimentation électrique d'une centrale peut ainsi vite tourner au cauchemar et entraîner la fusion du cœur du réacteur, car la circulation de l'eau n'est plus assurée et la température du réacteur augmente rapidement alors. Pour limiter ce risque au maximum, l'EPR dispose de 4 systèmes d'alimentation de secours redondants, depuis des générateurs diesel jusqu'à des batteries destinées notamment à alimenter le système de contrôle commande, le « cerveau » de la centrale. Ils sont séparés spatialement sur le site pour limiter les effets simultanés d'agressions externes, telles que des inondations, des explosions ou des incendies.

Ce système est renforcé par des procédés de refroidissement des réservoirs d'eau pour refroidir les générateurs de vapeur, le cœur du réacteur et la piscine où sont stockés les combustibles. Cette piscine est, en outre, située dans un bâtiment séparé du réacteur et protégée par une double coque de béton.

LIMITER LES RADIATIONS

Si, malgré tout, l'accident majeur, c'est-à-dire la fusion du cœur, survenait, l'EPR dispose de moyens pour limiter les impacts radiologiques pour la population et l'environnement. En fondant, le cœur se transforme en un magma de 3000°C environ, hautement radioactif et extrêmement corrosif, capable de traverser la coque en acier d'une cuve et la dalle de béton qui la supporte. En cas de rupture de la cuve, le cœur en fusion serait dans le cas de l'EPR, recueilli dans un récupérateur, une sorte de vaste baignoire sur la dalle en béton du bâtiment du réacteur situé sous la cuve. Un réservoir d'eau attendant constitue le système de refroidissement ultime pour notamment refroidir le cœur en fusion dans le récupérateur.

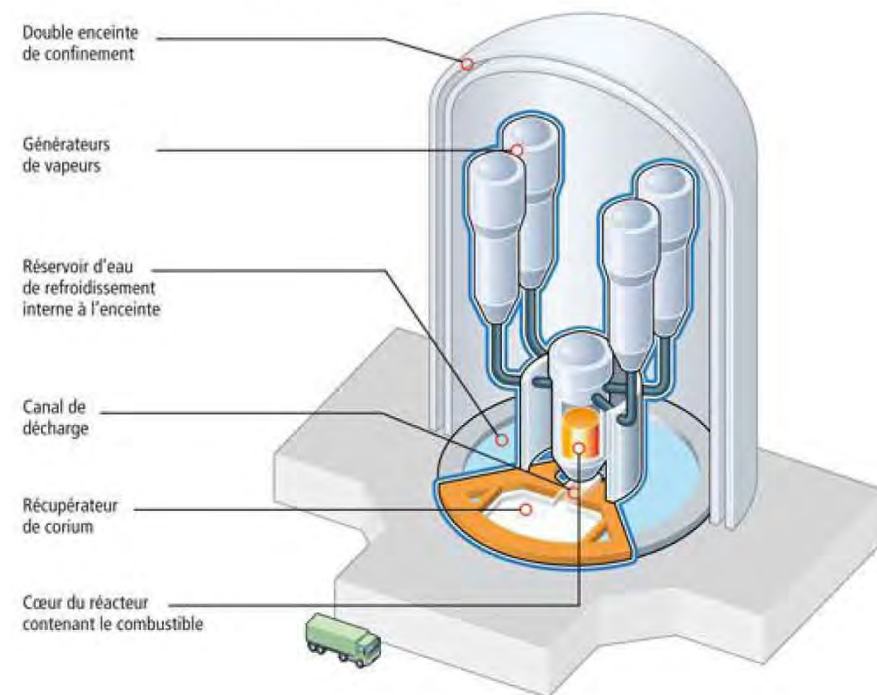


Schéma du récupérateur du cœur en fusion (source IRSN)

Une double enceinte protectrice de béton de 2,6 mètres d'épaisseur doit protéger le réacteur notamment d'agressions externes en particulier des chutes d'avion ou des explosions et confine toute la matière nucléaire à l'intérieur. Cette protection assure également le confinement des matières radioactives si la première enceinte cédait.

	Pays	Puissance (MWe)	Coût	Etat actuel
Taishan	Chine	1660		Mise en service en 2018 (dépassement de 5 ans)
(2 EPR)	Chine	2x 1660	Mis en service en 2018 et 2019	Mise en service en
	Finlande			
Olkiluoto-3	Finlande	1600	Mis en service en 2022	En chantier depuis 2018
Hinkley Point C				
(2 EPR)	Royaume Uni	2x1650	En chantier depuis 2018	
Fin du chantier prévue au mieux en 2029				



NB : Il faudrait faire une carte équivalente en mettant les chiffres du tableau directement sur la carte

Avec des petites pastilles pour indiquer les faits générateurs de surcoûts et/ou de délais supplémentaires (source : livre sur EPR Flamanville : « un chantier sous tension », Le Monde, Les Echos, l’Usine nouvelle.)

Avril 2007

- Coût prévisionnel : 3,3 milliards d’euros
- Fin du chantier prévue en 2012

Décembre 2008

- Coût prévisionnel : 4 milliards d’euros
- Fin du chantier toujours prévue en 2012
Travaux de renforcement de la dalle de béton (le radier) sur laquelle est construit le bâtiment réacteur (fissuration du béton, « épingles de liaison » des ferrillages internes du béton armé oubliés, en violation du plan d’exécution)

Octobre 2010

- Coût prévisionnel : 5milliards
- Fin du chantier : 2015
Difficultés multiples dans le génie civil. Problème de soudage du liner (la coque métallique intérieure d’étanchéité de l’enceinte interne) avec un taux de malfaçons importantes. L’entreposage en bordure de mer pour son pré-assemblage a créé des corrosions et réduit l’épaisseur du métal.

Juillet 2011

- Coût prévisionnel : 6 milliards d’euros
- Fin de chantier : 2016

Décembre 2012

- Coût prévisionnel : 8,5 milliards
- Fin de chantier : 2016
EDF se donne une marge de sécurité pour répondre aux demandes éventuelles de l’ASN après l’accident de Fukushima pour avoir les meilleurs standards de sûreté

Novembre 2014

- Coût prévisionnel : 8,5 milliards
- Fin de chantier : 2017
Difficultés d’Areva à livrer des équipements tels que le couvercle et les structure internes de la cuve du réacteur (selon EDF)

- Fin de chantier : 2018
Révélation par l'ASN d'anomalie dans la composition de l'acier du fond de la cuve et de son couvercle

- **Coût prévisionnel :** 11 milliards d'euros
- **Fin de chantier :** 2020

Ecarts de qualité sur les soudures du circuit d'évacuation de la vapeur vers les turbines qui ne sont pas conformes au principe d'exclusion de rupture

- **Coût prévisionnel** : 12,4 milliards d'euros
- Fin de chantier : 2023

Décision par EDF de reprise des soudures de traversée par robot téléopéré

- **Coût prévisionnel** : 19,1 milliards d'euros
- **Fin de chantier** : 2023
Nouvelle évaluation de la cour des comptes des dérives budgétaires alors qu'EDF évalue toujours le coût à 12,4 milliards

- **Coût prévisionnel** : 19,1 milliards d'euros
- Fin de chantier : fin 2024

EDF reporte le calendrier en raison de la complexité de la reprise des soudures

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

