



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

ANNEXE - L'EPR, OÙ EN EST-ON ?

Amaury Alibert, Cyprien Buret, Mekki Ben Hamidouche, Camille Odent

UV - Génie Nucléaire



Table des matières

1	État du parc nucléaire et Fonctionnement	2
1.1	État du parc	2
1.2	Présentation de l'EPR	2
1.3	Les améliorations de l'EPR	3
2	Le cas de Flamanville	4
2.0.1	Le projet initial	4
2.0.2	Évolution du projet	5
2.0.3	La réaction du public	5
2.0.4	Comparaison avec la Finlande et la Chine	6
3	Comment faire mieux ?	6
3.1	Gestion du site industriel	6
3.2	Baisse de maîtrise technique	6
3.3	Travail sur l'image publique	6
	Références	7

1 État du parc nucléaire et Fonctionnement

1.1 État du parc

Le parc nucléaire mondial est réparti essentiellement sur 3 continents : L'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie. Au total, ce sont 441 réacteurs qui sont en service et près de 54 en construction :

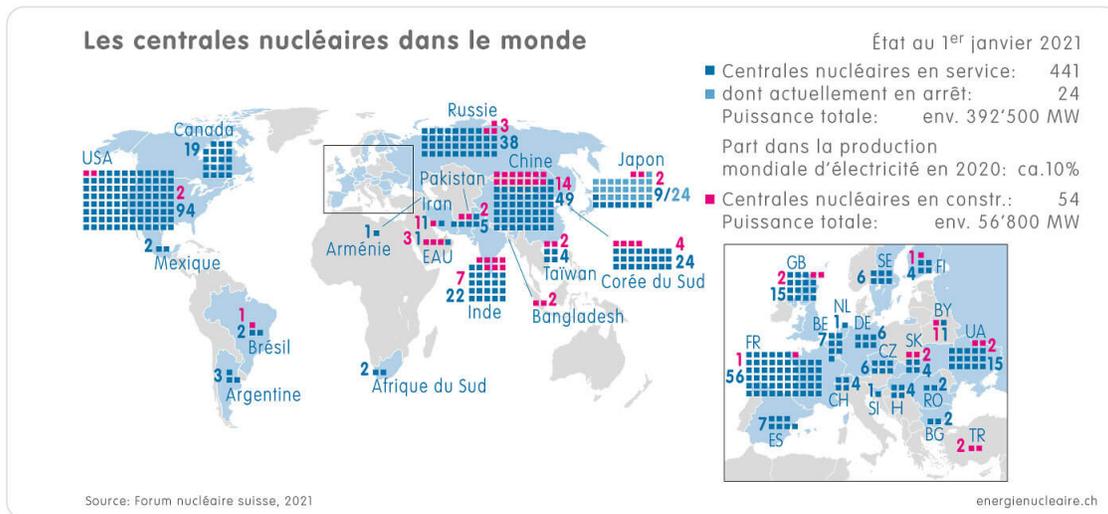


FIGURE 1 – Les réacteurs nucléaires dans le monde en 2021

Le fonctionnement physique des réacteurs nucléaires dans le monde entier est identique (on chauffe de l'eau pour produire de la vapeur et ainsi faire tourner une turbine). Cependant, les technologies permettant de fissionner les noyaux d'uranium, et ainsi créer de la chaleur, diffèrent. Cela nous permet de distinguer 4 principaux types de réacteurs en activité : le REP (réacteur à eau pressurisé), le REB (réacteur à eau bouillante), le PHWR (réacteur à eau lourde pressurisé) et le RBMK (réacteurs de grande puissance à tubes de force).

Les réacteurs de type REP sont les plus répandus à travers le monde. Sur les 441 réacteurs en activité, 294 réacteurs, soit deux tiers de l'ensemble sont de type REP. Ils sont utilisés partout dans le monde : aux États-Unis, en Europe et en Asie. [1]

1.2 Présentation de l'EPR

L'EPR (European Pressurized Reactor) est un réacteur de 3^e génération. Il fonctionne sur le même principe qu'un REP (Réacteur à Eau Pressurisée) qui équipe aujourd'hui une grande majorité de centrales en France et dans le monde.

Son fonctionnement est le suivant : La réaction se fait à partir d'atomes d'uranium naturel enrichi qui vont subir une fission. Celle-ci va produire des neutrons et de la chaleur. Les neutrons produits vont alors créer une réaction en chaîne en fissionnant d'autres atomes d'uranium. La réaction est modérée par de l'eau contenant du bore. La chaleur produite est ensuite transportée vers le générateur de vapeur et réchauffe l'eau du circuit secondaire. La suite ne diffère que peu avec n'importe quelle centrale thermique.

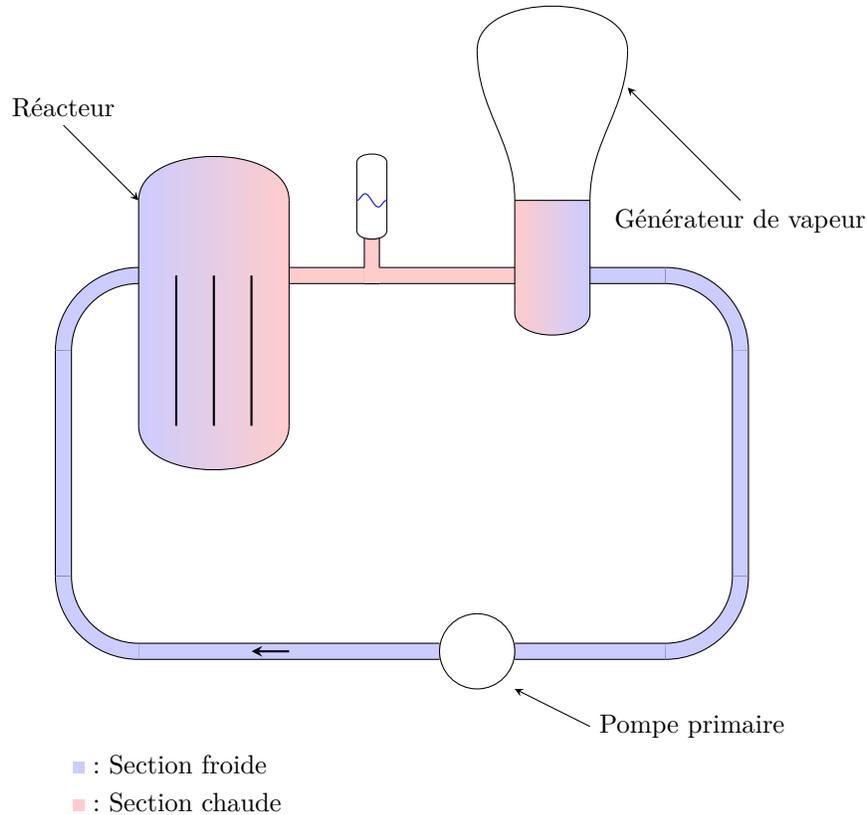


FIGURE 2 – Circuit primaire d'un REP (simplifié)

Les EPR sont le fruit d'une collaboration entre l'entreprise française Framatome et le constructeur allemand Siemens. Trois réacteurs sont actuellement en fonctionnement (2 en Chine et 1 en Finlande) et trois autres sont en construction (1 à Flamanville, à 2 Hinkley Point (UK)). 14 autres réacteurs sont en projet (Inde, France, UK).

1.3 Les améliorations de l'EPR

Tout d'abord un point notable est que la puissance électrique nette des réacteurs EPR a été grandement augmentée par rapport aux premières générations (la puissance de l'EPR est de 1600MW avec un taux de rendement de 36% alors que les REP les plus récents sont à 1450MW pour 34% de rendement). De plus, ces réacteurs permettent un recyclage plus efficace du MOX (combustible fait à partir des déchets nucléaires). Cependant, les améliorations les plus drastiques ont trait à la sécurité du bâtiment réacteur : [2]

- **Ajout d'une double enceinte** L'EPR est équipé d'une première enceinte en béton recouvert à l'intérieur d'une couche d'acier étanche et d'une seconde enceinte en béton armé. L'acier permet une meilleure résistance aux conditions extrêmes engendrées par un accident. La redondance de l'enceinte permet de limiter les fuites ou les intrusions en cas d'endommagement d'une des enceintes. Le béton armé de la seconde enceinte permet lui de se protéger des attaques extérieures telles qu'une attaque aérienne.

- **Amélioration du récupérateur de corium** Le récupérateur de corium est une sorte de dalle permettant l'étalement du produit de fusion du réacteur créée lors d'un accident et permettant ainsi un refroidissement optimal. Dans les EPR, du béton sacrificiel et une porte fusible en acier sont rajoutés pour entrainer le magma radioactif vers une chambre d'étalement dédiée.

- **Ajout d'absorbeurs d'hydrogène** Ils permettent de réduire les risques d'explosion. En effet, lorsque la température du cœur augmente, de l'hydrogène est produit par l'interaction entre la gaine du combustible et l'eau. Or, l'hydrogène est un élément particulièrement explosif et une explosion risquerait de détériorer l'enceinte de confinement.

- **Ajout de vannes de relâchement** En cas de risques, des vannes ont été ajoutées au niveau du pressuriseur afin de créer une chute brutale de la pression du circuit la brèche du réacteur.

- **Ajout d'un nouveau train de sécurité** Trois trains de sécurité étaient déjà présents sur les anciens modèles de REP, ceci correspondant aux systèmes de sauvegarde et de supports utilisés pour refroidir le cœur en cas d'urgence. L'EPR a été lui, pourvu de quatre trains indépendants permettant d'assurer en permanence le fonctionnement d'au moins un d'entre eux en cas de dysfonctionnement.

L'ensemble de ses améliorations, tant en productivité qu'en sécurité a permis d'allonger la durée de vie d'un EPR à 60 ans, contre 40 ans pour un réacteur normal. La fréquence de fusion du cœur a aussi pu être chiffré à moins de 10^{-5} [3], soit moins d'une fusion du réacteur tout les 100 000 ans contre une fusion tous les 20 000 ans pour les réacteurs normaux (5.10^{-5}), selon les chiffres de la commission européenne .

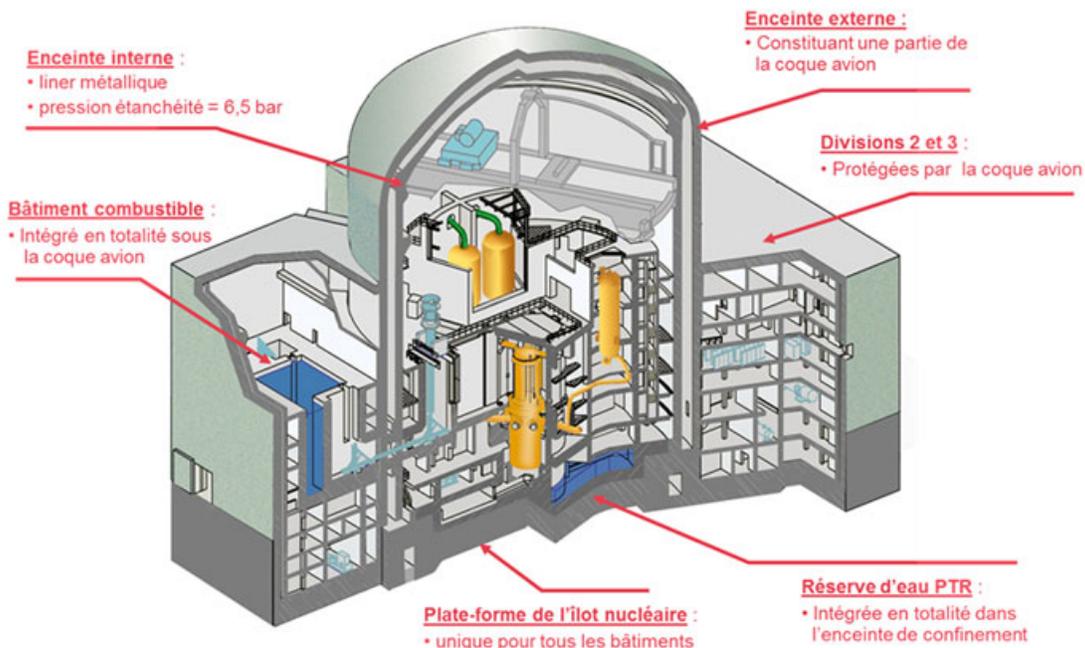


FIGURE 3 – Vue en coupe d'un EPR

2 Le cas de Flamanville

2.0.1 Le projet initial

Le projet commence en 2005 avec la loi d'orientation de politique énergétique, en particulier l'article 4 fixe une des priorités de l'État par "maintenir l'option nucléaire ouverte à l'horizon 2020 en disposant, vers 2015, d'un réacteur nucléaire de nouvelle génération opérationnel permettant d'opter pour le remplacement de l'actuelle génération." [4]. S'ensuit un débat public dans la région de Flamanville qui aboutit sur l'acceptation du projet. En 2006, EDF prend la décision officielle de construire l'EPR à Flamanville. Elle prévoit un chantier de 4 ans et demi et un budget de 3 Milliard d'euros. Le premier béton est coulé en décembre 2007 et la fin du chantier est prévue pour 2012.

2.0.2 Évolution du projet

Actuellement, 10 ans après la date prévue pour la fin du chantier, le budget est estimé à 12,4 Milliard d'euros, soit 4 fois plus que le budget initial et l'EPR devrait être opérationnel fin 2023 [5]. Ces écarts sont dus à de nombreux événements survenus sur le chantier et dans le monde. Tout d'abord, des événements extérieurs ont engendré des contrôles supplémentaires de l'ASN : l'accident nucléaire de Fukushima et l'arrêt du réacteur Taishan 1.

Au niveau du chantier lui-même, le premier gros incident industriel à été la découverte de fissures au niveau du radier, la dalle en béton qui constitue la base du bâtiment réacteur. Après ça, de nombreux autres incidents ont lieu. En particulier, des soudures ont souvent dû être refaites, car non conformes tout au long du chantier, jusqu'à très récemment. [6] En effet, en 2019 EDF découvrait des soudures défectueuses dans le circuit primaire principale, la solution pour y remédier vient d'être acceptée par l'ASN en octobre 2021. La crise sanitaire explique en partie ce délai. Ils ont en outre observé la présence d'amas de caillou dans le béton de la piscine combustible et un défaut dans la cuve [7], une non-homogénéité du métal, trop concentré en carbone, qui pourrait entraîner des problèmes mécaniques pour le fond et le couvercle de la cuve. Ce dernier incident fait partie de plusieurs problèmes de qualité survenus sur des réalisations de l'entreprise Creusot Forge.



FIGURE 4 – Bâtiment réacteur de l'EPR de Flamanville en construction

Il est important de noter que la majeure partie des tests de sécurité sont des simulations réalisées numériquement et n'ont donc pas encore d'applications concrètes. Pour finir, des problèmes de normes entre la France et l'Allemagne sur les soupapes du pressuriseur ont entraîné, elles aussi, des surcoûts et des retards.

Ce projet est un fiasco industriel, et non nucléaire, qui démontre la perte de compétences françaises dans ce domaine.

Le projet a aussi fait face à des soucis organisationnels, en particulier en début de chantier. Les rôles n'avaient pas été clairement défini sur ce projet. Ce qui a le plus manqué, c'est un chef de projet bien défini. En 2011, suite à deux accidents mortels sur le chantier, c'est l'organisation sur le terrain qui a été mise en cause.

2.0.3 La réaction du public

Un débat public a été organisé en 2005, il a permis un échange d'information entre les experts de la filière et la population. Le bilan et les avis exprimés sont publiés sur le site de la CNDP [8]

Ce qui a soulevé le plus de débat, c'est que la sphère politique considérait le projet comme sûr avant le débat public, ce qui n'a pas été bien accepté par le public. Encore actuellement, les organisations antinucléaires telles que Greenpeace s'exprime au travers de la presse et de manifestations. Ils ont ainsi bloqué les chantiers à plusieurs reprises comme lors de manifestations en octobre 2016. [9]

2.0.4 Comparaison avec la Finlande et la Chine

La situation de Flamanville, bien qu'extrême, n'est malheureusement pas un cas isolé. Les autres réacteurs mis en service en Chine et en Finlande ont connu de nombreux rebondissements, souvent liés aux mêmes causes (mauvaise conception des cuves notamment). À titre de comparaison, les deux réacteurs chinois ont eu 5 ans de retard et celui de Finlande aura mis 12 ans de plus que ce qui était initialement prévu, avec un budget double.

3 Comment faire mieux ?

3.1 Gestion du site industriel

Tout d'abord, ce qui fût mis en lumière lors du fiasco de Flamanville est la mauvaise gestion du chantier. En effet, sans même aborder la notion du nucléaire, on remarque que de nombreuses failles opérationnelles ont fortement impacté le déroulement de la construction. Une estimation des coûts particulièrement faible, un suivi du projet catastrophique, et une confusion entre maître d'œuvre et maître d'ouvrage ont conduit à un chantier de piètre qualité. On peut donc facilement imaginer qu'une meilleure prise en charge et un meilleur accompagnement de la construction pourrait amener à une réduction des délais et des coûts. Avec l'annonce de l'EPR 2, EDF semble aller dans la bonne direction. En effet, grâce au retour d'expérience acquis par la construction des 6 réacteurs actuels, les plans vont être simplifiés pour mieux s'adapter aux exigences d'un bâtiment industriel.

3.2 Baisse de maîtrise technique

Un autre élément présent non seulement lors de la construction de Flamanville, mais également lors de la mise en place de l'usine de Taishan en Chine est la malfaçon détectée dans la cuve du bâtiment réacteur. Cette cuve, qui est l'élément le plus important du bâtiment entier et qui ne peut pas être modifiée après installation, est le reflet de la maîtrise industrielle française en matière de nucléaire. En effet, cette cuve est créée en France par les équipes de Creusot Forge et les incidents qui y sont liés montrent une perte flagrante de personnel qualifié au sein de cette industrie. Cela démontre la nécessité de revitaliser le secteur de l'industrie nucléaire et d'améliorer les formations disponibles, notamment celles des techniciens. [10]

3.3 Travail sur l'image publique

Le nucléaire a sans cesse mauvaise presse et déchaîne toujours autant les passions. La sécurité est au cœur des débats et la construction des EPR est chahutée par des militants qui refusent le développement de ce secteur. Pourtant, les améliorations des EPR concernent majoritairement la sécurité des installations. Une communication plus importante sur ce sujet pourrait rassurer la population et ainsi permettre aux différents projets de gagner en popularité.

Références

- [1] SFEN. Le nucléaire dans le monde. URL <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-monde>.
- [2] IRSN. Présentation et historique du projet epr, . URL https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/reacteur-epr/Pages/1-presentation-historique-EPR-Flamanville.aspx#.YefHNC_p09Z.
- [3] IRSN. Epr risk-informed activities at irsn, . URL https://www.irsn.fr/EN/Research/publications-documentation/Publications/DSR/SESPRI/Documents/georgescu-PSA-epr-Risk-Informed_paperfinal.pdf.
- [4] Legifrance. Titre ier : Stratégie énergétique nationale. (article 7), 2005. URL <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT00000813253/>.
- [5] Jean-Martin FOLZ. La construction de l'epr de flamanville, 2019. URL <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/271429.pdf>.
- [6] Capital. Edf : le chantier du réacteur epr de flamanville face à de nouveaux déboires, 2021. URL <https://www.capital.fr/entreprises-marches/nucleaire-le-chantier-du-reacteur-epr-de-flamanville-face-a-de-nouveaux-deboires-1397266>.
- [7] Natura Sciences. Cuve de l'epr : comprendre la polémique. URL <https://www.natura-sciences.com/energie/cuve-epr-flamanville-falsifications945.html>.
- [8] CPDP. Compte rendu du débat public sur le projet de centrale électronucléaire epr "tête de série" à flamanville, 2005-2006. URL <https://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-epr/docs/pdf/bilan-du-debat/compte-rendu-p1-72.pdf>.
- [9] Le Monde. Des milliers de manifestants contre l'epr de flamanville.
- [10] EDF. Fiche presse 2021 : Le réacteur epr de flamanville, 2021. URL https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/carte-des-implantations/centrale-flamanville%203%20-%20epr/fiche_presse_trame_construction_vdef2021_def.pdf.