

# **RAPPORT – PROJET TECHNIQUE**

## **Les réacteurs EPR**



**Module « Énergies » L3 SPI-SDE 2015/2016**

# SOMMAIRE

Sommaire .....	2
Introduction .....	3
I. Historique et promesses de la filière EPR .....	4
II. Différences de l'EPR par rapport aux réacteurs actuels .....	5
1. Architecture du réacteur .....	5
2. Le combustible .....	6
3. Les atouts majeurs de l'EPR .....	7
4. Les déchets .....	8
III. Les réacteurs EPR en construction ou en projet .....	9
1. En France .....	9
2. Dans le Monde .....	9
IV. Les questions de la filière EPR .....	10
1. Le coût .....	10
2. La sécurité .....	10
V. Les acteurs du projet .....	11
1. Acteurs majeurs .....	11
2. La concurrence .....	11
Futur .....	12
Résumés .....	13
1. Français .....	13
2. Anglais .....	13
Références .....	14
Annexe .....	15
1. Fondation ALCEN, <i>EPR</i> , 2015 .....	15
2. Association UARGA, <i>Le Réacteur EPR</i> , 2014 .....	20

# INTRODUCTION

Dans le cadre du module « Énergies » à l'Université d'Aix-Marseille nous avons pour travail de faire une synthèse du sujet « Les réacteurs EPR » à partir de contacts industriels et de documents récents.

Ce sujet intervient dans la problématique qui se pose aujourd'hui concernant l'ancienneté de certaines centrales nucléaires françaises de 2<sup>e</sup> génération, et les réacteurs EPR se proposent comme une relève à ces dernières.

Néanmoins suite aux accidents de Tchernobyl et de Fukushima, la perception du risque a grandement été modifiée. Il semble donc indispensable qu'une nouvelle filière de réacteur nucléaire réponde à des critères strictes en matière de sûreté et de prévention d'accident nucléaire.

Nous verrons dans ce dossier qu'en effet, un des principaux buts de la filière EPR est d'améliorer la sûreté, en plus de la rentabilité économique, par rapport aux centrales de génération actuelle.

# I. HISTORIQUE ET PROMESSES DE LA FILIERE EPR

Conçu au cours des années 1990 par Framatome (Areva) et Siemens, peu après la catastrophe de Tchernobyl, l'EPR était un projet franco-allemand de réacteur nucléaire de 3<sup>e</sup> génération qui devait répondre aux problématiques de sûreté et de rentabilité économique.

L'EPR est aujourd'hui industrialisable et plusieurs réacteurs sont déjà en construction dans le monde dont un en France.

La filière EPR promet une meilleure rentabilité économique : Areva promet une électricité 10 % moins chère, cela est dû à une durée de vie de 60 ans au lieu de 40 ans actuellement, un rendement de 36 % au lieu de 32 actuellement et à une consommation de combustion 15 % inférieure.

La deuxième promesse est une sûreté accrue. Les dispositifs de sécurités sont multipliés avec notamment une protection de la cuve du réacteur contre les radiations neutroniques : le vieillissement de l'acier sera ainsi limité. L'enceinte de confinement en béton du bâtiment réacteur est plus épaisse. Un récupérateur de corium (cœur fondu suite à un accident) est placé sous la cuve du réacteur.

## II. DIFFERENCES DE L'EPR PAR RAPPORT AUX REACTEURS ACTUELS

### 1. ARCHITECTURE DU REACTEUR

Fondamentalement, le réacteur EPR n'est pas si différent des 58 réacteurs à eau pressurisée (REP) qui sont actuellement en production en France, c'est une version modernisée.

Au sein du bâtiment réacteur se trouve la cuve du réacteur où a lieu la réaction nucléaire de fission. Le combustible se présente sous la forme de pastilles empilées dans des crayons (longues gaines rigides de 4 m de haut). Les crayons combustibles sont agencés sous forme d'assemblages de 17 par 17 crayons. Il se trouve 241 assemblages dans la cuve du réacteur EPR contre 205 pour la plupart des REP.

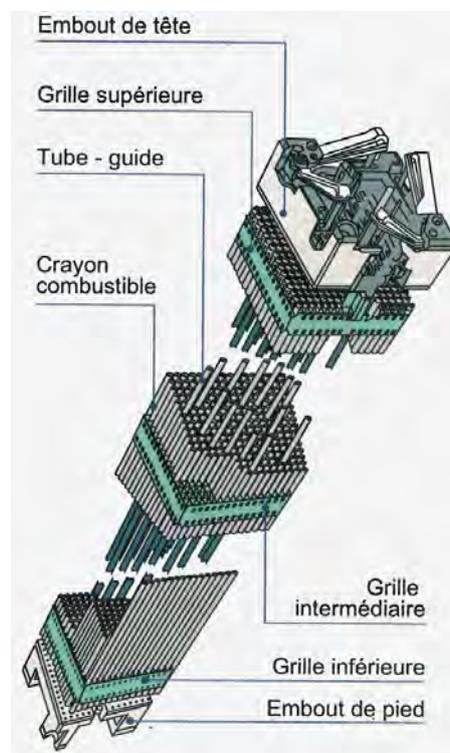


FIGURE 1 - SCHEMA D'UN ASSEMBLAGE - SOURCE : DEVELOPPEMENT-DURABLE.GOUV.FR

La fission du combustible au cœur du réacteur dégage de la chaleur qui chauffe le fluide caloporteur du circuit primaire. Ce fluide caloporteur est de l'eau sous pressions et elle joue aussi le rôle de modérateur, elle circule au sein des assemblages entre les crayons où se produit la réaction en chaîne.

Un échangeur permet ensuite de transmettre la chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire sans qu'il n'y ait d'échange de fluide. Cet échangeur joue aussi le rôle de générateur de vapeur, l'eau liquide du circuit secondaire entrant dans cet échangeur est vaporisée par la haute température de l'eau du circuit primaire (entre 296 et 330 °C). Dans l'EPR il y a quatre générateurs de vapeur.

La vapeur d'eau sortant du générateur de vapeur est ensuite utilisée pour entraîner une turbine reliée à un alternateur produisant de l'électricité.

Un circuit de refroidissement (circuit tertiaire) permet ensuite de condenser la vapeur d'eau du circuit secondaire. Ce circuit de refroidissement est relié, soit à une tour de réfrigération, soit à une source d'eau froide comme un fleuve ou une mer, soit aux deux.

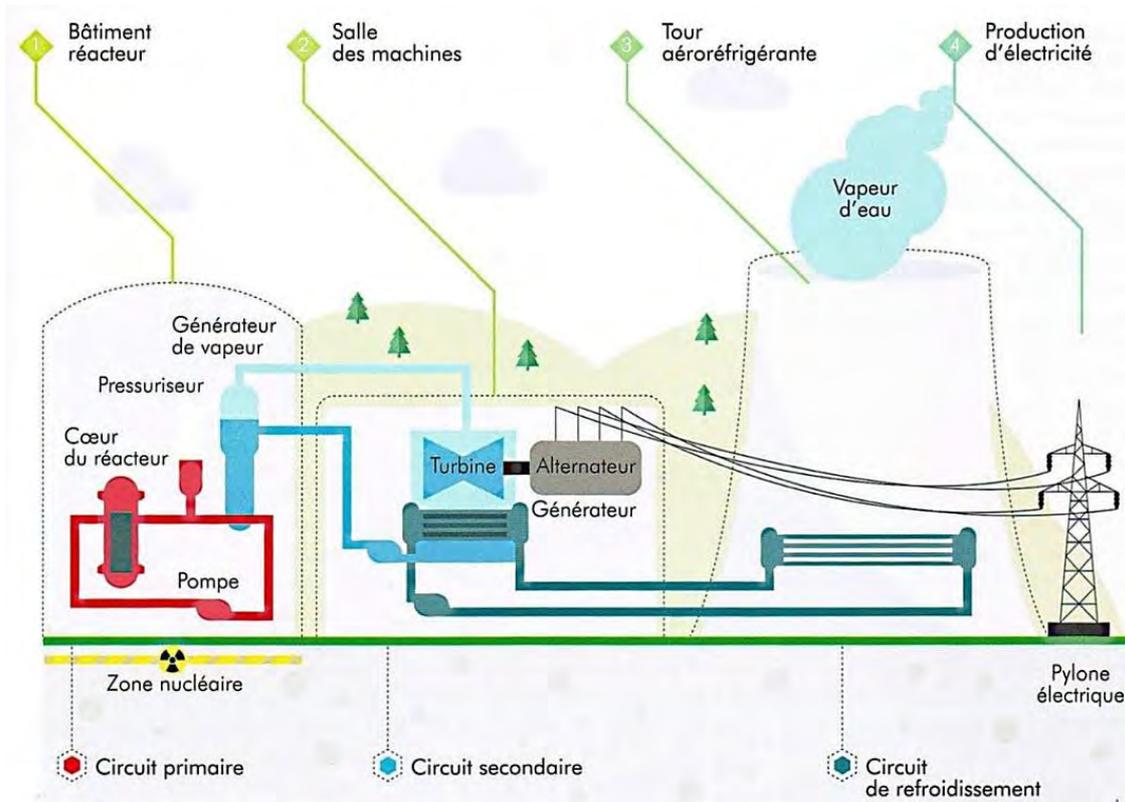


FIGURE 2 - SCHEMA DE PRINCIPE DE L'EPR - SOURCE : ATLAS MONDIAL DU NUCLEAIRE

## 2. LE COMBUSTIBLE

Le combustible de la filière EPR est le même que celui utilisé actuellement dans les REP : le dioxyde d'uranium  $UO_2$  faiblement enrichi : la proportion d'isotope d'uranium 235 fissile est de 5 % contre 3 à 4 % dans les REP traditionnels. Il a donc 95 % d'isotope uranium 238 non fissile.

En France 22 des 58 réacteurs nucléaires REP utilisent du combustible MOX (Mixed Oxides en anglais) qui est constitué d'environ 8,5 % de dioxyde de plutonium ( $PuO_2$ ) et 91,5 % de dioxyde d'uranium appauvri ( $UO_2$ ). L'intérêt du MOX est la possibilité d'utiliser de l'uranium naturel ou même appauvri, à la place de l'habituel uranium enrichi. L'autre intérêt vient du fait que le plutonium est produit par la réaction de l'uranium 238 non fissile dans un réacteur nucléaire.

L'EPR est conçu pour être chargé à 50 % de combustible MOX dans sa version de base contre 33 % pour les REP et une version MOXée à 100 % serait également possible.

### 3. LES ATOUTS MAJEURS DE L'EPR

Une des différences les plus importante entre la filière EPR et les REP actuellement en production est la rentabilité économique. L'EPR est prévu pour pouvoir utiliser un combustible davantage enrichi en uranium, l'énergie libérée par tonne de combustible passera donc d'environ 45 à plus de 60 GWj/t (gigawatt jour / tonne). Alors que la puissance thermique des EPR sera proche de celle des REP, leur puissance électrique sera de 1600 MW contre 1450 MW pour les REP les plus récents. Cette augmentation du rendement thermodynamique est obtenue en augmentant la pression du circuit secondaire de 65 à 78 bar et donc sa température.

Les périodes d'arrêt du réacteur pour rechargement du cœur seront aussi de plus courte durée (une quinzaine de jours, contre environs un mois actuellement), et plus espacées (jusqu'à 24 mois au lieu de 12). Certaines opérations de maintenance pourront même être réalisées sans arrêt du cœur. La durée de vie du réacteur passerait à 60 ans, contre 40 actuellement (notamment grâce à la protection de la cuve au moyen d'un bouclier stoppant le flux neutronique).

Tous ces éléments ont amené Areva à annoncer une baisse de 10% des coûts de production d'électricité, par rapport au nucléaire d'aujourd'hui.

La deuxième promesse est une sûreté accrue. La cuve du réacteur est protégée des radiations neutroniques par un réflecteur de neutrons disposé tout autour du cœur : le vieillissement de l'acier de la cuve sera ainsi limité. L'enveloppe de confinement en béton du bâtiment réacteur est plus épaisse : 1,30 m pour la paroi interne, et autant pour la paroi externe. La tenue en pression de l'enveloppe sera de 6,5 bars (au lieu de 5,5 bars actuellement) : cela permettrait, de retarder un éventuel relâchement de matières radioactives dans l'atmosphère. Cette enceinte est également prévue pour supporter un crash d'avion militaire.

En cas de fusion du cœur avec transpercement de la cuve, la matière à plus de 2000°C appelée corium serait récupérée dans une piscine sous la cuve, où elle pourrait se refroidir. La cuve de l'EPR est également plus grosse, cela permet d'augmenter le volume d'eau et donc l'inertie thermique.

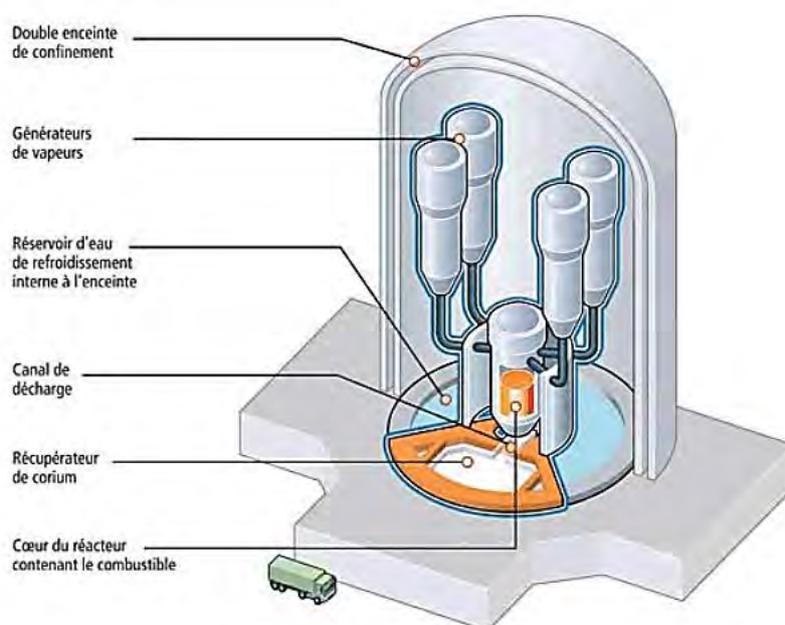


FIGURE 3 - SCHEMA DU BATIMENT REACTEUR DE L'EPR - SOURCE : IRSN

#### 4. LES DECHETS

L'EPR est étudié pour fournir 22 % de plus d'électricité qu'un réacteur REP traditionnel à partir de la même quantité de combustible et pour réduire d'environ 15 à 30 % le volume de déchets radioactifs générés grâce à une combustion plus complète de l'uranium.

Le combustible usé sortant des EPR contiendra une grande partie (environ 90 %) d'uranium, celui-ci contiendra une proportion d'uranium 235 légèrement supérieur à celle de l'uranium naturel, on pourra donc à nouveau l'enrichir.

Les déchets ultimes sont des actinides mineurs qui forment des déchets à haute activité et à vie longue (~100 000 ans). Ils sont coulés dans du verre et stockés dans des puits souterrains.

Un des produits de fission est le plutonium 239, celui-ci peut être recyclé dans du combustible MOX et brûlé soit dans les REP l'utilisant (22 en France) soit dans un EPR.

### III. LES REACTEURS EPR EN CONSTRUCTION OU EN PROJET

#### 1. EN FRANCE

**Flamanville- 3** : Construction depuis 2007 d'un réacteur EPR de 1650 MW par EDF à Flamanville dont la mise en production était initialement prévue pour 2011 mais a été repoussée à 2018.

**Penly-3** : Projet de construction, actuellement en suspens.

#### 2. DANS LE MONDE

**Olkiluoto-3 (Finlande)** : Construction depuis 2005 d'un réacteur EPR de 1650 MW par Areva dont la mise en production était initialement prévue pour 2009 mais a été repoussée à 2018.

**Taishan (Chine)** : Construction depuis 2009 de deux réacteurs EPR de 1700 MW chacun dirigée à 30% par EDF. Leur mise en production est prévue pour 2016.

**Hinkley Point (UK)** : Projet de construction de deux EPR de 1670 MW chacun par EDF et Areva.

**Calvert Cliffs-3 (USA)** : Projet de construction d'un EPR de 1650 MW.

**Ginna-3 (USA)** : Projet de construction d'un EPR de 1650 MW.

**Jaïtapur (Inde)** : Projet de construction par Areva de six EPR pour 9900 MW au total ce qui ferait la plus grande centrale nucléaire au monde.

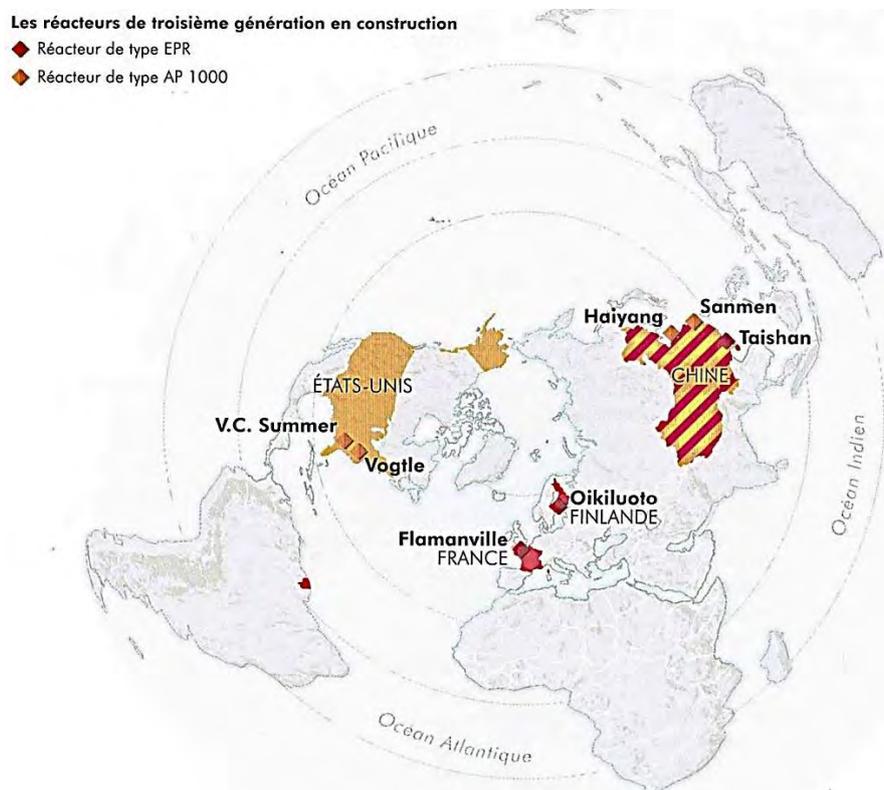


FIGURE 4 - LES REACTEURS DE 3E GENERATION DANS LE MONDE - SOURCE : ATLAS MONDIAL DU NUCLEAIRE

## IV. LES QUESTIONS DE LA FILIERE EPR

### 1. LE COUT

L'EPR a fait l'objet d'un premier contrat en Finlande avec la construction d'un réacteur débuté en 2005. Celui-ci accuserait d'un retard de 9 ans avec une date de mise en production repoussée de 2009 à 2018. Les coûts de l'EPR ont explosés, puisque le prix initial de 3,2 milliards d'euros est passé à 10,5 milliards d'euros.

En France, l'EPR de Flamanville dont la construction a débuté en 2007, a été retardé de 7 ans avec une date de mise en production repoussée de 2011 à 2018 voire 2020. De plus, le coût devient lui aussi exorbitant, le tarif initial de 3,5 milliards d'euros a été augmenté à 10,5 milliards d'euros.

La compétitivité économique des EPR n'est donc pas encore assurée et ces débordements le rendent même dissuasif. Il faut cependant nuancer ce propos par le fait que ces réacteurs sont des têtes de séries et que les constructeurs vont apprendre de leur erreurs pour au final proposer des contrats correctement tarifés et optimiser la construction.

### 2. LA SECURITE

La sécurité de l'EPR est également mise en question, en effet en 2015, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) a relevé des anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville. Ces défauts pourraient impacter la sécurité lors de son utilisation, une étude est en cours pour savoir s'il serait nécessaire de changer la cuve, une opération désastreuse puisque la cuve est déjà en place au sein de la centrale.

## V. LES ACTEURS DU PROJET

### 1. ACTEURS MAJEURS

- Areva : Conception et construction des réacteurs, retraitement des déchets.
- Siemens : A initialement participé au développement du projet.
- EDF : Production électrique, exploitant des centrales et prise en charge de la construction de certains réacteurs dont celui de Flamanville.
- CEA : Recherche et prise de décision sur le programme nucléaire.
- Gouvernement Français : A travers divers décrets, autorise la construction de centrales.

### 2. LA CONCURRENCE

Les concurrents d'Areva sont en train d'élaborer des versions avancées de leurs réacteurs répondant aux mêmes exigences de sûreté et de taille :

- L'AP1000 de l'américain Westinghouse (réacteur à eau pressurisée).
- L'APR-1400 du sud-coréen KEPCO (réacteur à eau pressurisée).
- L'ESBWR développé par l'américain General Electric et le japonais Hitachi (réacteur à eau bouillante).
- Le Hualong, du chinois CGN, issu du rapprochement entre l'ACP1000 du groupe nucléaire chinois CNNC et l'ACPR1000 de CGN.

## FUTUR

Même si l'EPR n'est pas une révolution, c'est en revanche une belle évolution. Avec ses performances économiques augmentées et sa sécurité sans précédent l'EPR sera sans doute la relève des vieilles centrales de 2<sup>e</sup> génération.

Après le passage difficile du début d'industrialisation avec tous les retards associés, l'EPR pourra profiter de nouveaux marchés, notamment à l'étranger, en attendant le développement des futurs réacteurs surgénérateurs de 4<sup>e</sup> génération.

# RESUMES

## 1. FRANÇAIS

L'EPR est un réacteur à eau pressurisée de 3e génération conçu et développé par Areva au cours des années 1990 et 2000. Sa puissance atteint 1 650 MW.

Ce réacteur est une évolution des réacteurs actuels et possède un meilleur rendement, 4 systèmes redondants de sûreté ainsi que d'une épaisse enveloppe de confinement en béton.

L'EPR devrait être capable d'utiliser 100% de combustible MOX pour produire de l'électricité et ainsi optimiser l'utilisation de combustible.

A l'heure actuelle, 4 EPR sont en cours de construction : 2 en Chine, 1 en France et 1 en Finlande. Néanmoins, la mise en service de ces têtes de série a été reportée à plusieurs reprises et leur coût ont sévèrement augmentés.

## 2. ANGLAIS

The ERP is a third generation pressurized water reactor designed and developed by Areva in the years 1990 and 2000. It can deliver 1650 MW.

This reactor is an evolution of current reactors and has a better efficiency, 4 redundant safety systems and a thick concrete containment casing.

The EPR should be able to use 100% MOX fuel to generate electricity and thus optimize the use of fuel.

Currently, four EPR are under construction: 2 in China, 1 in France and 1 in Finland. Nevertheless, the startup of these reactors has been postponed several times and costs have severely increased.

## REFERENCES

1. Corinne LEPAGE, *Atlas mondial du nucléaire*, 2015, éditions Autrement.
2. Claude BIRRAUX, Jean-Yves LE DRÉAUT, Henri REVOL, *EPR - Les principales caractéristiques du futur réacteur - rapport du Sénat*, 1998, rapport 484 (97-98), Tome 1.
3. Groupe RME, *Les nouveaux réacteurs nucléaires à eau pressurisée de type EPR (European Pressurized Reactor)*, 2009, <http://rme.ac-rouen.fr/>
4. Jean-Pierre PY, Michel YVON, *Réacteurs à eau ordinaire sous pression : le projet EPR*, 2007, éditions Techniques Ingénieur.
5. Wikipédia, *Réacteur pressurisé européen*, <http://wikipedia.org/>
6. Hubert GRARD, *Physique, fonctionnement et sûreté des REP*, 2014, éditions EDP Sciences.
7. Roy L. NERSESIAN, *Energy for the 21st Century*, chapitre 8, 2010, auto édition.
8. Damien LEVECQUE, *L'EPR - Une solution pour l'avenir ?*, 2004, École des mines de Paris, <http://perso.jtef.net/epr/>
9. Fondation ALCEN, *EPR*, 2015, <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/epr>
10. Association UARGA, *Le Réacteur EPR*, 2014, <http://www.uarga.org/nucleaire/EPR.php>

# ANNEXE

## 1. FONDATION ALCEN, *EPR*, 2015

### Définition et catégories

L'EPR (« European Pressurized Reactor »), ou réacteur pressurisé européen, est un système de production d'électricité de forte puissance (de l'ordre de 1 650 MWe) utilisant la fission nucléaire et de l'eau sous pression comme caloporteur, dans un ensemble à très forte sûreté. EPR désigne plus largement le système global intégrant notamment l'enveloppe protectrice en béton, les systèmes de sécurité, le groupe turbo-alternateur qui assure la production d'électricité ou bien encore des constructions de génie civil.

Le CEA classe l'EPR comme un réacteur de 3e génération. Il est présenté comme un réacteur évolutionnaire de génération 3+ par son constructeur, l'industriel français Areva. L'EPR fonctionne selon les mêmes principes généraux que ses prédécesseurs, les réacteurs à eau sous pression (REP) de deuxième génération aujourd'hui en fonctionnement. L'EPR et les REP de deuxième génération utilisent des neutrons lents, ralentis par de l'eau.

L'EPR est une version modernisée des REP, utilisant des techniques plus efficaces et plus sûres. Cette 3e génération de réacteurs est censée préparer la rupture technologique que devraient représenter les réacteurs à neutrons rapides ou « surgénérateurs » de 4e génération.

Il existe à l'heure actuelle 4 réacteurs EPR en construction dans le monde : 1 en France (à Flamanville), 1 en Finlande (à Olkiluoto) et 2 en Chine (à Taishan). Le projet de construction de 2 autres EPR fait l'objet de négociations avancées entre Areva et EDF Energy (filiale britannique d'EDF).

### Fonctionnement

#### Rappels sur la fission nucléaire

La fission nucléaire est le phénomène par lequel le noyau d'un atome lourd instable (uranium, plutonium) se désintègre en plusieurs noyaux plus légers en éjectant un neutron avec un dégagement d'énergie très important. Les neutrons émis désintègrent à leur tour d'autres noyaux dans une « réaction en chaîne ». Elle est contrôlée et maîtrisée pour rester à un niveau souhaité et dans les limites nécessaires à garantir la sécurité et la protection des travailleurs et des populations.

#### La production d'électricité dans un réacteur nucléaire

On exploite aujourd'hui au cœur du réacteur la fission d'un isotope instable de l'uranium (uranium 235). Des réactions en chaîne se produisent : un atome d'U235 perd spontanément un neutron qui, après un ralentissement dit « modération », va percuter un autre atome d'U235.

Selon le même processus, cet atome va lui-même perdre un neutron qui va percuter un autre atome d'U235 et ainsi de suite.

La réaction en chaîne est modérée et la chaleur évacuée par de l'eau sous pression (PWR ou REP) ou bouillante (BWR). Cette chaleur est utilisée pour produire de la vapeur et entraîner une turbine couplée à un alternateur générant de l'électricité. Les réacteurs à eau sous pression produisent plus de la moitié de l'électricité nucléaire dans le monde (282 REP sur les 443 réacteurs du parc nucléaire mondial en avril 2015).

### Les caractéristiques de l'EPR

Le réacteur affiche une puissance électrique de 1 600 à 1 650 MWe. Le rendement thermique annoncé par Areva est de 37% contre 33% pour les réacteurs de la génération précédente. Ce gain s'explique par une augmentation de la pression du circuit secondaire (78 bar au lieu de 65 environ) et donc de sa température.

Une double enceinte protectrice de béton de 2,6 mètres d'épaisseur protège le réacteur et confine toute la matière nucléaire à l'intérieur.

4 systèmes redondants contrôlent la sûreté du système et notamment du réacteur. Un seul suffit à empêcher des dérives potentiellement dommageables. Les probabilités d'accident grave ont ainsi été réduites d'un facteur dix par rapport au dernier modèle (palier N4) des réacteurs construits en France, déjà considéré comme très sécurisé.

Une double enceinte protectrice de béton de 2,6 mètres d'épaisseur protège le réacteur et confine toute la matière nucléaire à l'intérieur. Cette protection conçue pour résister à des accidents internes protège aussi le réacteur de toutes les atteintes extérieures, telles que des chutes d'avions (les études sont toutefois classées secret défense sur ce point). Cette protection physique est complétée par la dispersion géographique des bâtiments sensibles. Enfin, le réacteur est fixé sur une très épaisse plaque de béton qui évite, en cas de fonte du cœur, la fuite de matière nucléaire dans les sols et joue aussi un rôle de protection contre les séismes.

La durée de vie prévue pour l'EPR est de 60 ans pour les éléments non remplaçables, contre 40 ans initialement pour les réacteurs actuels.

L'EPR devrait être capable d'utiliser 100% de combustible MOX recyclé pour produire de l'électricité. Le combustible MOX (Mélange d'Oxydes) est un combustible nucléaire fabriqué avec du plutonium 239, créé par capture neutronique de l'uranium 238 au sein des réacteurs puis isolé lors du retraitement des combustibles irradiés. L'oxyde de ce plutonium est mélangé avec celui de l'uranium appauvri issu de l'étape d'enrichissement du combustible.

La configuration modulaire de l'EPR permet le remplacement rapide d'un composant tout en exposant peu le personnel aux radiations, y compris lorsque le réacteur est en service.

## Enjeux par rapport à l'énergie

### Enjeux économiques

L'EPR a été conçu pour accroître la compétitivité de l'électricité nucléaire et remplacer les réacteurs de 2e génération vieillissants. La durée de vie attendue de l'EPR est longue (60 ans) et sa conception est fondée sur des technologies éprouvées et d'ores et déjà disponibles.

Le coût de l'EPR de Flamanville est actuellement estimé à 8,5 milliards d'euros.

Il connaît cependant des difficultés de démarrage liées à la complexité du système global dans lequel il s'intègre. L'EPR de Flamanville, dont EDF est maître d'œuvre, devait être livré (avant l'annonce d'une anomalie sur la cuve) en 2017 avec 5 ans de retard sur le calendrier initialement prévu, pour un coût passé de 3 à 8,5 milliards d'euros. L'EPR finlandais n'a lui toujours pas été démarré en avril 2015 après quatre reports de la date de livraison, initialement prévue en 2009.

D'un point de vue commercial, l'EPR risque de rester coûteux par rapport à ses concurrents directs, avec un coût estimé de 92 dollars par MWh, contre 55 dollars prévus pour l'AP 1000 américano-japonais, et 42 pour l'APR 1400 sud-coréen. Ces comparaisons seront à vérifier lorsque plusieurs centrales seront construites et fonctionneront.

### Enjeux de sûreté

La sûreté a été une variable importante dans la conception du réacteur. Les 4 systèmes de sécurité redondants et l'épaisse enveloppe de confinement en béton doivent réduire considérablement le risque d'accident nucléaire grave, qu'il soit accidentel ou intentionnel.

Ainsi, si un accident de fusion du cœur se produisait, un « récupérateur de corium » recueillerait la partie du cœur fondu qui aurait traversé la cuve, protégeant ainsi le sol de toute contamination.

Le scénario terroriste de crash d'un avion de ligne a été pris en compte par Areva durant le développement de l'EPR.

Plusieurs autorités de sûreté nucléaire européennes ont émis des réserves en 2009 sur le système informatique de sécurité et ont demandé à Areva de leur fournir les preuves de son bon fonctionnement en toute circonstance.

## Acteurs majeurs

### Areva

Les activités d'Areva sont essentiellement liées à l'énergie nucléaire (construction de réacteurs, retraitement des déchets, etc.) mais aussi dans une moindre mesure à d'autres formes d'énergies renouvelables. Sa division Areva NP (Nuclear Power) a conçu l'EPR et est en charge de la maîtrise d'œuvre du chantier finlandais.

## EDF

Électricité de France (EDF) est la principale entreprise de production et de fourniture d'électricité dans le monde et a fortiori en France. Elle exploite l'intégralité des réacteurs nucléaires français. EDF est également en charge de la maîtrise d'œuvre de la construction de l'EPR de Flamanville.

Les concurrents d'Areva sont en train d'élaborer des versions avancées de leurs réacteurs répondant aux mêmes exigences de sûreté et de taille.

## Les entreprises concurrentes

Les concurrents d'Areva sont en train d'élaborer des versions avancées de leurs réacteurs répondant aux mêmes exigences de sûreté et de taille. Les puissances atteignent de 1 200 à 1 700 MW tandis que la probabilité d'un accident grave a été réduite à moins d'une chance sur dix millions par an.

Par exemple, le VVER 1200 de Rosatom et l'ABWR de General Electric ne diffèrent de leurs prédécesseurs que par leur dimensionnement. De la même manière, l'APWR de Mitsubishi est déjà au point dans sa version 1 530 MW, et devrait atteindre 1 700 MW pour sa version américaine, avec un rendement élevé de 38%.

General Electric (ESBWR) et Westinghouse (AP1000) proposent deux nouveaux réacteurs réellement innovants par la simplification du refroidissement en cas d'accident. Cette nouvelle conception, dite « à sûreté passive », consiste à utiliser la gravité pour le refroidissement, en plaçant des piscines géantes au-dessus du réacteur. Ce faisant, le nombre des circuits de sûreté peut être diminué quasiment de moitié tout en atteignant les niveaux de sûreté requis.

De son côté, la Chine s'équipe en centrales de 1 000 MW de deuxième génération sur le modèle français et entend les vendre à l'étranger. Parallèlement, elle s'équipe aussi en réacteurs adaptés de l'EPR proposés par Areva et souhaite en siniser complètement le design et la réalisation.

Enfin les Coréens et les Japonais sont très actifs pour proposer des modèles en association avec des constructeurs américains dans des gammes de puissance variées et avec de hauts standards de sûreté.

## L'importance des certifications

Le temps nécessaire à un constructeur pour obtenir la certification des autorités de sûreté nucléaire nationales est déterminant. Celle délivrée par la NRC (États-Unis) est particulièrement importante car elle ouvre non seulement les portes du marché américain mais est aussi reconnue par plusieurs pays comme la Chine ou l'Inde. En avance sur le marché européen, Areva attend une certification sur le marché des États-Unis (en cours depuis fin 2007). L'AP1000 de Westinghouse est lui déjà certifié et plusieurs tranches de ce type devraient bientôt être construites malgré des discussions en cours.

L'EPR consomme de 7 à 15% d'uranium en moins par kWh produit que les réacteurs de seconde génération.

## Chiffres clés

Par kWh produit, l'EPR consomme de 7 à 15% d'uranium en moins que les réacteurs de seconde génération. De plus il peut employer du combustible MOX recyclé à hauteur de 100%. Ceci engendre une réduction d'approximativement 10 % de la quantité de déchets à vie longue (éléments radioactifs à vie longue) produite par kWh.

En phase de production industrielle, l'objectif est de se limiter à 57 mois pour construire un réacteur.

## Zone de présence ou d'application

### Les réacteurs en construction

- à Olkiluoto en Finlande, depuis fin 2005 (futur exploitant : TVO) ;
- à Flamanville en France, depuis mi-2007 (futur exploitant : EDF) ;
- à Taishan en Chine, depuis août 2008 (futur exploitant : CGNPG).

### Autres marchés potentiels

Les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Inde et l'Italie sont des marchés potentiels intéressants pour les réacteurs de 3e génération. Ces pays envisagent de renouveler leurs installations dans la prochaine décennie. Certains pays émergents envisagent aussi d'en acquérir.

En octobre 2013, le gouvernement britannique et EDF avaient officialisé un accord de principe portant sur la construction de 2 réacteurs EPR sur le site de Hinkley Point, dans le sud-ouest de l'Angleterre. Un 3e EPR pourrait être construit au Royaume-Uni au sein de la centrale de Sizewell sur la côte est du pays. L'anomalie détectée sur la cuve de l'EPR ralentit toutefois actuellement ces différents projets.

## Futur

Le renouvellement des centrales nucléaires (d'une durée de vie initialement prévue de 40 ans) installées dans les années 1980 pourrait laisser place aux réacteurs de troisième génération puis progressivement aux réacteurs de quatrième génération plus performants et actuellement en cours d'étude.

Les réacteurs de nouvelle génération dont l'EPR pourraient ainsi potentiellement profiter d'un renouvellement des installations mais aussi de l'ouverture de nouveaux marchés.

## Concrètement

La puissance d'un réacteur EPR (1 600 à 1 650 MWe) est supérieure à celle des réacteurs de deuxième génération, dont la puissance unitaire est comprise entre 880 MWe et 1 500 MWe en France.

## 2. ASSOCIATION UARGA, *LE REACTEUR EPR*, 2014

### 1. Généralités

Dans la période de récession du nucléaire qui a marqué la fin des années 1980, les producteurs d'électricité français et allemands, à la demande des constructeurs associés Framatome et Siemens-KWU, ont convenu de lancer un projet commun de réacteur adapté à leurs besoins futurs et recevable par les autorités de sûreté des deux nations.

Ce projet fut lancé en 1992, dans un souci d'utiliser toute l'expérience acquise sur les modèles de REP précédents et surtout le modèle français N4 et allemand Konvoi. C'est donc un projet « évolutionnaire », dans un esprit différent de ce qui fera l'objet du programme international « Génération IV » sur les réacteurs de l'avenir. Fin 1998, les études d'optimisation du projet étaient achevées, et le Conseil Economique et Social plaidait pour une décision rapide de lancement de la réalisation, que le Président d'EDF, François ROUSSELY, voyait intervenir au mieux 12 à 18 mois plus tard.

Les innovations portent principalement sur l'organisation de la centrale avec des dispositions favorables à une sûreté encore améliorée. Le bâtiment central (enceinte étanche) est entouré de quatre bâtiments indépendants abritant chacun une partie des équipements de sûreté. Les moyens électriques de secours sont séparés en deux voies indépendantes.

En cas de fusion du cœur, un dispositif de collecte du « corium » est prévu dans l'enceinte étanche, sur un côté du puits du réacteur.

### 2. Description du réacteur EPR

#### 2.1. Le cœur

La forme globale du cœur favorise une meilleure économie des neutrons. Les assemblages sont semblables à ceux du projet N4, mais leur nombre est porté à 241, ce qui offre une grande souplesse : soit pour le choix de la puissance totale qui peut être de 4300 MWth (réacteur finlandais) ou 4500 MWth (réacteur français), soit pour les modes de gestion du cœur et de rechargement du combustible. Plusieurs modes de gestion sont possibles, la durée du cycle entre deux chargements peut aller de 12 à 24 mois. L'emploi de combustible au plutonium est possible, sauf pour les premiers cycles de chargements.

L'assemblage contient 265 crayons combustibles et 24 tubes guides pour les crayons absorbants. Il n'y a pas de tube central pour l'instrumentation du cœur. Cette dernière est assurée par des équipements portés par le couvercle du réacteur, à l'inverse de l'instrumentation mise en œuvre dans les paliers précédents passant par le fond de la cuve. Cette nouvelle disposition a été expérimentée avec succès sur le réacteur allemand Konvoi.

Le cœur est entouré par un réflecteur de neutrons réalisé par des blocs d'acier inoxydable de 20 cm d'épaisseur moyenne. Ce réflecteur lourd est inséré entre les assemblages périphériques et l'enveloppe de cœur. Il apporte une forte réduction du flux de neutrons vers la cuve, ce qui en augmente la longévité, et une meilleure répartition de la puissance dans le cœur.

## 2.2. La cuve

En partie courante, le diamètre intérieur atteint près de 4,9 mètres. Le fond inférieur est simplifié par rapport au projet N4 par la suppression des traversées d'instrumentation. Par contre, la virole de supportage des traversées d'eau assure aussi le supportage du couvercle de cuve : ceci en fait une pièce forgée de dimension exceptionnelle. Le couvercle reçoit les 89 mécanismes de commande des barres absorbantes, mais aussi les dispositifs d'instrumentation du cœur, selon le concept Konvoi.

## 2.3. Les circuits primaires

Leur dimensionnement est adapté à la puissance à transférer par extrapolation des composants du palier N4. Pour les pompes, l'extrapolation est simple, mais un dispositif de sécurité a été rajouté pour améliorer l'étanchéité à l'arrêt en cas d'accident grave.

Pour les générateurs de vapeur, diverses dispositions ont été apportées pour améliorer la qualité de la vapeur, le rendement, ou la sûreté en cas d'accident, par exemple en augmentant la réserve d'eau contenue dans le ballon de vapeur. Cette disposition augmente le délai disponible pour le refroidissement du cœur en cas de perte des circuits d'eau.

Pour le pressuriseur, son volume est augmenté de 25% pour réduire les transitoires thermiques lors des variations de charge, et ainsi augmenter la longévité de la tranche. D'autres modifications modestes visent à simplifier les travaux d'entretien.

## 2.4. Turbo-alternateur

Ce composant est modestement extrapolé de celui qui équipe le palier N4, au moins pour la tête de série. Il en est de même du poste d'eau qui en assure le service. Là, comme ailleurs, le projet N4 est d'un apport précieux.

## 2.5. Contrôle commande et sûreté

Les mécanismes de commande des grappes absorbantes sont au nombre de 89, fixés sur le couvercle de cuve. Le modèle retenu est celui du Konvoi, plus compact que celui du palier N4. Le couvercle de cuve doit également supporter les dispositifs d'instrumentation du cœur, (concept du Konvoi) ce qui l'encombre déjà beaucoup. Comme dans le projet N4, le contrôle-commande est totalement informatisé, afin de permettre à l'exploitant une connaissance rapide de l'état du réacteur à tout moment, avec une assistance dans l'analyse des éventuelles défaillances.

De nombreuses dispositions sur les équipements secourus visent à réduire d'un facteur 10 par rapport au palier précédent le risque d'un accident grave.

## 3. Conclusion

Le projet EPR arrive au moment où le remplacement d'un grand nombre de réacteurs des première et seconde générations doit intervenir dans le monde nucléaire occidental. Le choix d'un concept évolutionnaire basé sur les expériences accumulées de plus de 11000 années réacteurs augmente considérablement ses chances d'une insertion rapide dans les réseaux des électriciens.