

# Où en est l'EPR ?

**Hervé Nifenecker**

*Une analyse publiée sur le site de l'[Energeek](#) le 24 octobre 2019*

## Introduction

Le PDG d'EDF Jean-Bernard Lévy a annoncé la prochaine construction de six nouveaux réacteurs EPR en France. La Ministre de la Transition écologique et solidaire a recadré la déclaration du PDG d'EDF en rappelant qu'aucune décision ne sera prise avant le démarrage de l'EPR de Flamanville, tout en dénonçant le retard pris par ce dernier. Ce disant la Ministre confond deux questions :

1. L'EPR est-il un projet dont la viabilité n'est pas assurée avant la mise en service de du réacteur de Flamanville ?
2. Par qui seraient construits les EPR envisagés par le PDG d'EDF ?

La Ministre, comme la majorité des Français semblent oublier qu'un premier EPR fonctionne en Chine depuis Décembre 2018 et un deuxième depuis avril 2019. Nous montrerons que les deux EPR chinois ont été construits en moins de 10 ans. Le prix de vente garanti du MWh de l'électricité produite par les EPR chinois est deux fois moins cher que celui prévu pour la production des EPR européens. Il est aussi bien inférieur au prix moyen de 70€/MWh de l'électricité en Chine.

Dans cette tribune, tout en rappelant pourquoi la France a choisi l'EPR comme vaisseau amiral de son industrie nucléaire, nous comparons les conditions de construction des EPR en Chine et en Europe. Il apparaît que le grand handicap du Nucléaire français a été de ne pas assurer la transmission entre générations à cause d'une période de 25 ans sans réalisation de nouveau réacteur en France. Symptomatique fut la suppression, en 2000, de la Direction de l'Équipement EDF, qui avait veillé à la construction du parc français. Le nucléaire français manque désormais cruellement de main d'œuvre hautement qualifiés comme les soudeurs sur Aluminium ou Inox.

La contrainte climatique entraîne, dès à présent, dans le monde, un nouveau développement du nucléaire, avec 53 réacteurs en construction. La France va-t-elle regarder passer le train ? Framatome garde de bonnes et fructueuses relations avec la compagnie chinoise CGNPC avec laquelle elle a créé la collaboration TNPJVC pour construire les réacteurs de Taishan. C'est le seul cas de réussite d'une collaboration entre Framatome et une entreprise étrangère de construction de réacteur, les essais précédents avec l'Allemagne et le Japon ayant échoué. Pourquoi ne pas pérenniser la collaboration TNPJVC en modulant les parts respectives de CGNPC et Framatome-EDF en fonction des localisations des centrales nucléaires. Dans l'immédiat, deux types de réacteurs pourraient être proposés : l'EPR pour la génération 3, et le Hualong pour la génération 2.

## Naissance de l'EPR

A la fin des années 1990 la France était le modèle de réussite pour la réalisation et l'opération d'un parc nucléaire à l'échelle d'une nation. Ce modèle inspira ceux de la Chine et de la Corée du Sud. En 10 ans le couple Framatome-EDF avait construit et mis en service plus de 40 réacteurs. En même

temps, le principal acteur de ce succès, Framatome, qui allait devenir AREVA éprouvait quelques inquiétudes :

- Alors que la durée de construction des réacteurs de 900 MW s'étalait entre 6 et 8 ans, la montée en puissance (1350 à 1500 MW) s'était traduite par une augmentation notable de la durée de construction (de 16 ans pour les premiers 1310 MW à 13 ans pour les derniers 1500 MW) avec l'augmentation de la puissance des réacteurs. L'augmentation de puissance correspondait à l'analyse des ingénieurs selon laquelle cette augmentation devait améliorer la compétitivité de l'électricité nucléaire vis-à-vis de celle produite par les centrales à charbon (à l'époque, il n'était pas question de réchauffement climatique). Cette analyse ne s'est pas montrée exacte, mais elle sera appliquée au cas de l'EPR.
- Les perspectives de constructions de nouveaux réacteurs n'étaient pas aussi brillantes qu'on aurait pu l'espérer :
  - le marché français était saturé,
  - à la suite de la catastrophe de TMI (1979) et sous la pression du puissant lobby charbonnier et du mouvement environnementaliste la construction de nouveaux réacteurs était devenue impossible aux USA ainsi que dans certains pays européens (Italie, Danemark...).
  - La catastrophe de Tchernobyl (1986) ferma encore davantage de marchés. L'attentat contre les tours de Manhattan attira l'attention sur la possibilité d'un attentat aérien contre une centrale nucléaire

L'EPR résulte d'études franco-allemandes, menées à partir des réacteurs français de type N4 (1450 MWe) et allemands, de type KONVOI, tous deux des réacteurs à eau légère pressurisée actuellement en exploitation. A la suggestion de Anne Lauvergeon qui avait obtenu la direction de AREVA, résultant elle-même de la fusion de Framatome et de COGEMA, le Chancelier allemand Helmut Kohl et le Président François Mitterrand retinrent le projet EPR à réaliser par une filiale commune AREVA (66%)-Siemens (34%) . Les objectifs principaux étaient :

- une amélioration de la sûreté et des conditions d'exploitation avec une double enceinte de béton pour résister à une attaque aérienne et un récupérateur du corium résultant d'une fusion éventuelle du cœur. Même en cas de fusion, très peu probable, du cœur aucun rejet de radioactivité dans l'atmosphère ne devait être possible.
- une contribution à la maîtrise des déchets grâce à la possibilité d'utiliser des combustibles Mox uranium appauvri- plutonium.
- de continuer à produire de l'électricité compétitive à long terme et, bien entendu, sans émission de CO2 ou autre gaz à effet de serre. Malgré l'importance des investissements de sûreté, la compétitivité devait être obtenue grâce à une puissance portée à 1650 MW et une durée de vie du réacteur de 60 ans.

Les autorités de sûreté et les opérateurs français et allemands avaient été associés au processus de définition des caractéristiques de l'EPR.

Seul l'EPR est actuellement un dessin accepté dans son principe par l'ASN pour la France.

Depuis la décision allemande de sortir du nucléaire (en 1998, à la suite de l'élection du chancelier Schröder) les opérateurs allemands n'ont plus participé au projet.

Les difficultés rencontrées lors de la construction des deux EPR européens (Olkiluoto et Flamanville) ont amené à remettre en cause le projet lui-même par sa taille et une inflation de dispositifs de sûreté. N'aurait-il pas été plus judicieux de conserver le modèle des réacteurs 900 MW qui avaient fait leurs preuves, y compris dans le cas de fusion de cœur comme à TMI ? Ce choix a été fait par la Chine avec son réacteur Hualong.

En Avril 2007, EDF est autorisé par décret à créer l'installation nucléaire de base pour le réacteur EPR Flamanville 3. Ce décret prévoit un délai de 10 ans pour réaliser le premier chargement en combustible nucléaire du réacteur. Areva NP signe le contrat de fourniture du réacteur EPR et entame le chantier le 26 avril 2007. Le démarrage du réacteur était initialement prévu en 2012. Il est actuellement prévu pour 2022. La réalisation des essais à chaud est une étape encourageante mais ne fait que souligner les erreurs de gestion du chantier pour ce qui concerne le contrôle et la réalisation des soudures. La dérive ne concerne pas que la durée du chantier (triplée), elle existe aussi sur le coût du réacteur multiplié par environ un facteur 4. A Olkiluoto, la situation n'est guère plus brillante avec un retard au démarrage de 10 ans et un coût plus que triplé.

Lorsque la construction de l'EPR d'Olkiluoto avait connu ses premières difficultés, on avait accusé l'absence d'un véritable architecte industriel dans la collaboration entre AREVA et l'électricien finlandais TVO, tout en mettant en cause le manque de compétence de l'Autorité de Sûreté Finlandaise. Toutes ces difficultés devaient donc être supprimées dans le cas de l'EPR de Flamanville avec l'entrée en lice d'EDF forte de son rôle d'architecte industriel lors de la construction des 58 réacteurs français et de l'ASN française elle aussi réputée pour sa rigueur à caractère non bureaucratique. Les difficultés de Flamanville montrent que l'intervention d'EDF qui, non seulement a piloté le chantier mais a pris le contrôle d'AREVA en l'intégrant à sa nouvelle filiale Framatome (reprise du nom de l'entreprise qui construisit, avec EDF, le parc français) ne fut pas décisive. Serait-il possible que le choix de l'EPR lui-même soit à l'origine des difficultés ? Greenpeace et ses acolytes antinucléaires ont sauté sur l'occasion pour affirmer que le nucléaire, techniquement et économiquement, était hors-jeu, d'autant plus que les coûts de l'éolien et du photovoltaïque sont en forte diminution. Pour le photovoltaïque la Chine est maîtresse du jeu comme on peut le voir sur la Figure 1. Dans ce domaine l'industrie européenne a pratiquement disparu.

## La relève chinoise

Un phénomène similaire ne se passe-t-il pas dans le secteur du nucléaire ? La figure 2 qui illustre le rythme de construction de nouveaux réacteurs en Chine semble l'indiquer. Si, dans le meilleur des cas, les pays de l'OCDE (UE, USA, Japon...) auront construit 2 réacteurs de Génération 3 (EPR, AP1000) en 16 ans, il n'en aura fallu que 10 à la Chine pour en terminer 6. Pendant que les 6 réacteurs de Génération 3 étaient en construction, 6 réacteurs de Génération 2 l'étaient aussi.

Le tarif garanti par l'Etat chinois pour l'achat de la production de Taishan est de 57 €/MWh, deux fois plus faible que celui envisagé pour le courant produit par l'EPR. Le prix moyen de l'électricité étant d'environ 70 €/MWh en Chine on voit que, dans ce pays, le nucléaire est compétitif.

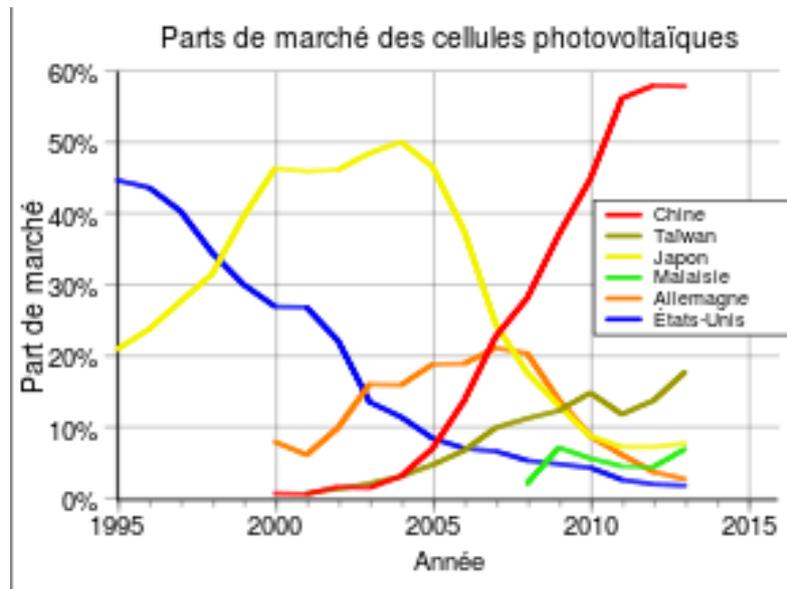


Figure 1

Part du marché des cellules photovoltaïques

Référence

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/68/Largest\\_Producers\\_of\\_Solar\\_Cells\\_by\\_Country-Market\\_Share.svg/langfr-290px-Largest\\_Producers\\_of\\_Solar\\_Cells\\_by\\_Country-Mark](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/68/Largest_Producers_of_Solar_Cells_by_Country-Market_Share.svg/langfr-290px-Largest_Producers_of_Solar_Cells_by_Country-Mark)

## La centrale de Taishan

Les deux réacteurs EPR de Taishan ont respectivement été mis en exploitation commerciale en décembre 2018 pour le premier, en avril 2019 pour le second. Leur fonctionnement satisfaisant montre que, contrairement aux allégations et souhaits de Greenpeace et autres anti-nucléaires, il est tout à fait possible de construire un réacteur EPR en 9 ans. Le coût de la construction des deux réacteurs est estimé par les Chinois à 11 Milliards d'euros<sup>1</sup> à comparer aux 12 Milliards d'euros prévus pour le seul EPR de Flamanville, soit environ un facteur 2 de différence de coût entre l'EPR français et les EPR chinois. Le coût de construction de la centrale de Taishan prévu en 2009 était de 6 Mds €. Il y a donc eu une dérive d'un facteur 2 dans le coût. Il est probable que cette dérive soit liée à l'évolution du coût de la main d'œuvre. En effet, selon un chiffre du Bureau National des Statistiques Chinois, le coût de main d'œuvre dans le secteur de la fabrication a été multiplié par 2,6 en 10 ans entre 2007 et 2016. L'augmentation du coût de main d'œuvre des intervenants dans la construction a donc, sans doute, contribué à l'augmentation du coût de la centrale.

La dérive des coûts des EPR européens ne peut clairement pas s'expliquer de cette manière....» Par contre, la possibilité de mobiliser, de façon à la fois massive et flexible, de la main-d'œuvre expérimentée et qualifiée (soudeurs, monteurs, essayeurs) grâce à un rythme de construction

<sup>1</sup> 85,8 Md RMB avec 1 RMB=0,13 €

soutenu du nucléaire en Chine constitue un vrai avantage pour Taishan. En effet, les effectifs de main d'œuvre expérimentée travaillant simultanément sur la construction de réacteurs nucléaires sont environ 5 fois plus élevés en Chine qu'en Europe. Dans cette masse, trouver, par exemple, un soudeur pour une intervention temporaire ne doit pas poser de problème insurmontable.

L'hypothèse d'un coût de main d'œuvre peu cher ne nous paraît pas le facteur essentiel pour expliquer le coût beaucoup plus faible de Taishan. Nous privilégions davantage l'analyse mettant en avant l'accès aux compétences abondantes et expérimentées dans toute l'industrie nucléaire chinoise grâce au développement non interrompu du nucléaire depuis 30 ans. La différence de configuration du projet est aussi un élément à remarquer : site neuf à surface étendue, avec la construction d'une paire de tranches.

## Handicap français

De ce point de vue, on peut remarquer que les conditions chinoises actuelles pour la construction d'un parc de réacteurs présentent de grandes similitudes avec celles qui régnaient en France entre 1975 et 1990 avec, par exemple, la mise en service de 8 réacteurs en 1981. Les dernières mises en chantier datent de 1982, ce qui signifie que, en ce qui concerne la France, l'industrie nucléaire française est restée l'arme au pied pendant 25 ans. La génération qui avait construit le parc français de réacteurs avait disparu d'autant plus complètement que, lors de sa prise de fonction à la tête d'AREVA Anne Lauvergeon avait relevé de leur fonction les principaux responsables de Framatome. Quelle pusillanimité des responsables politiques de tous bords ! Heureusement, toutefois, que EDF étant partie prenante à 30% de la centrale de Taishan (dans le cadre d'une joint-venture sino-française TNPJVC), les compétences françaises n'ont pas complètement disparu.

## Questions de sûreté

Il faut également remarquer que dans les années 70-80, la DSIN (Direction de la sûreté des installations nucléaires), ancêtre de l'ASN, sous la direction de André Claude Lacoste, tout en étant très rigoureuse, avait réussi à instaurer un climat de confiance avec les opérateurs comme EDF. Ce climat a sérieusement changé en 2013 après la nomination d'une nouvelle direction qui voit plus son rôle comme celle d'un père fouettard que comme celle d'un guide. Le système de régulation nucléaire en Chine est similaire à celui de France, avec les textes réglementaires à plusieurs niveaux hiérarchiques : les Lois votées par le Congrès, les Décrets approuvés par le Conseil des Affaires de l'Etat, les Règles ministérielles, les décisions de NNSA (Administration nationale de la sûreté nucléaire) et les guides de NNSA.

- Lorsqu'un réacteur de design étranger est construit en Chine (ex. EPR), faisant référence à des exigences réglementaires sans équivalente chinoise (ex. arrêté ESPN<sup>2</sup>), l'application en tout ou partie de ces exigences relève du choix du Concepteur (en l'occurrence Framatome). Elles sont considérées dans ce cas au même titre qu'une quelconque exigence contractuelle, et ne sera pas revêtue d'un caractère réglementaire.
- Pour faciliter la supervision par la NNSA, l'utilisation des codes français édités par AFCEN<sup>3</sup> (RCC-M, RCC-E, ...) est rendue obligatoire en Chine sur les réacteurs issus de la technologie

---

<sup>2</sup> ESPN : Equipement Sous Pression Nucléaire

<sup>3</sup> Association française pour les règles de conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des chaudières électro-nucléaire

française, par l'application de la décision n°28 de NNSA en 2007. Les codes AFCEN remplissent donc en partie la fonction réglementaire en raison de cette décision de NNSA.

- Les autorités de sûreté nucléaire de beaucoup de pays participent dans des travaux de benchmark afin de comparer et harmoniser leurs pratiques de supervision et de garantir que les objectifs essentiels de sûreté sont respectés dans tous les pays. La NNSA n'en fait pas exception. Dans les différentes instances internationales, ex. AIEA, MDEP, la NNSA et l'ASN partagent régulièrement des informations.
- Il n'y a pas lieu de supposer formellement que la NNSA traite le sujet de la sûreté nucléaire avec une moindre rigueur que ses homologues français et finlandais. On peut néanmoins noter une relative simplicité dans le système réglementaire chinois, notamment en matière des équipements sous pression nucléaires, par rapport à celui applicable en Europe et surtout en France. De plus, la plus grande confiance de la NNSA envers les exigences des codes nucléaires Français édités par AFCEN est aussi un élément de différence par rapport à la situation en France, où la démonstration de cohérence entre les pratiques industrielles codifiées et les textes réglementaires pose souvent des difficultés mettant **en péril la stabilité des références techniques au cours de la construction, et par conséquent le bon déroulement des projets. Ainsi, le contexte réglementaire est plus stable en Chine.**

## Quelle stratégie pour le nucléaire français

Alors que le nucléaire français était la référence mondiale dans les années 1980, la pusillanimité des gouvernements successifs, obnubilés par le désir de conquérir des voix « vertes » fait que sa capacité de constructeurs de réacteurs est gravement mise en cause. Après tout, ce ne serait qu'une étape de plus dans la désindustrialisation de la France après la sidérurgie (Arcelor), la métallurgie (Péchiney), l'électromécanique (Alstom), en attendant l'industrie automobile et l'industrie aéronautique.

Pour éviter une évolution que tout français patriote ne pourrait que déplorer, la possibilité demeure d'approfondir notre collaboration avec la Chine avec laquelle nos relations dans le nucléaire ont été loyales. Ainsi, le projet Taishan a été conduit par une jointe venture sino-française TNPJVC (avec 30% de participation d'EDF dans son capital). La JV porte à la fois le rôle de maître d'ouvrage (elle est aujourd'hui société exploitant de la centrale) et celui de maître d'œuvre car elle coordonne elle-même la conduite du chantier et notamment l'exécution des contrats de sous-traitance.

A travers son personnel détaché dans la JV, EDF a participé à toutes les étapes du projet. Depuis le début du projet, 200 ingénieurs d'EDF ont été détachés successivement sur le projet Taishan pour apporter leur expertise technique au bénéfice du bon déroulement du chantier. Ils assurent notamment la liaison avec Flamanville qui permet un échange efficace de retour d'expérience, en collaboration étroite avec les ingénieurs de Framatome intervenant sur les trois projets EPR du monde.

Le design des équipements clés de la technologie EPR sont la propriété intellectuelle de Framatome. A travers un accord de transfert technologique, Framatome s'est engagé à assurer le transfert du droit d'usage de la technologie EPR en Chine (l'export hors Chine étant exclu) et accompagner la supply chain chinoise dans la localisation de fabrication des équipements relevant de la technologie EPR.

Ainsi, à Taishan, la majorité des équipements de haute technologie dans la partie nucléaire des installations a été fabriquée par des entreprises françaises ou européennes et une petite partie par des entreprises chinoises.

Le taux de localisation des équipements est plus important sur la tranche 2 que sur la tranche 1 : dans le cadre des contrats de sous-traitance avec les équipementiers chinois sous la responsabilité de Framatome, les générateurs de vapeur, le pressuriseur et la cuve ont été fabriqués en Chine. Ces opérations d'assemblage ont souvent été réalisées avec les sous-composants importés de France (ex. pièces forgés du Creusot), et avec l'assistance technique de Framatome.

En total, avec la participation de près de 40 entreprises françaises (équipements ou services), le chiffre d'affaire pour la filière nucléaire française dans le projet Taishan est estimé à environ 2,4 Md€ pour les 2 tranches.

Indépendamment de l'immense marché chinois, couvrant la problématique du retraitement des combustibles et de la gestion des déchets, cette collaboration s'étend, dès à présent, au projet d'Hinkley Point. Un autre immense marché qui va se développer est celui de l'Afrique dans lequel les proximités linguistiques et culturelles devrait donner un bel avantage à la France.

Pourquoi ne pas pérenniser la collaboration TNPJVC en modulant les parts respectives de CGNPC (**China General Nuclear Power Corporation** ou **CGN**) et EDF en fonction des localisations des centrales nucléaires, par exemple : CGNPC majoritaire en Asie du Sud-Est et en Afrique anglophone, EDF majoritaire en Europe, en Amérique hispanophone et en Afrique francophone. Dans l'immédiat, deux types de réacteurs pourraient être proposés : l'EPR pour la génération 3, et le Hualong pour la génération 2. Indépendamment d'une optimisation des productions, la collaboration pourrait développer un plan de formation de professionnels trilingues (anglais, français et chinois)

## Remerciements

L'auteur tient à remercier les collègues qui lui ont fourni de précieuses informations sur l'état d'avancement des chantiers de Flamanville et Taishan.

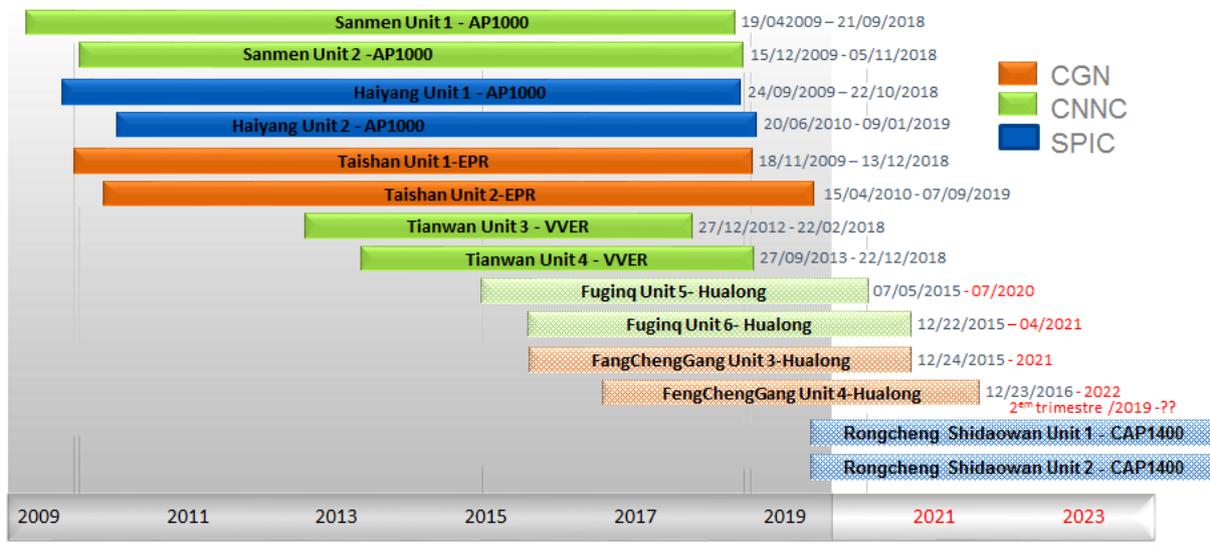


Figure 2

Rythme de construction de réacteurs en Chine entre 2000 et 2019