

# ATMEA et ses concurrents

## Introduction

Les déboires de l'EPR, tant au niveau national qu'international (Olkiluoto 3 en Finlande) et l'absence des commandes tant souvent annoncées par AREVA ont conduit plusieurs responsables de la politique nucléaire de la France au niveau politique comme à celui de la sûreté nucléaire à évoquer la nécessité de « nouveaux réacteurs » et en particulier de réacteurs moins puissants, moins complexes et, par conséquent, moins chers et mieux adaptés à la potentielle demande internationale. Ces réacteurs se situent dans la lignée des réacteurs actuellement en fonctionnement dans le monde, de la filière à uranium enrichi et eau sous pression, les REP (ou PWR en anglais), tous issus des réacteurs Westinghouse des années 1970 de puissance électrique de 900 MW, auxquels seraient apportés des compléments de sûreté nucléaire active ou passive leur permettant de revendiquer l'appartenance à une 3<sup>e</sup> génération de réacteurs de cette filière.

Nous présentons brièvement dans cette note, au chapitre I les principales caractéristiques du modèle ATMEA développé par AREVA en coopération avec la firme japonaise Mitsubishi, et, au chapitre II, celles de ses principaux concurrents : le modèle AP-1000 de Westinghouse (absorbé par Toshiba), les différents modèles développés en Chine (CPR-1000, ACP-1000, ACC-1000), dérivés de la filière initiale des REP de 900 MW, ainsi que, brièvement, les réacteurs proposés à l'exportation par la Corée et la Russie.

## 1. ATMEA

ATMEA est une coentreprise créée à parts égales par AREVA et MHI (Mitsubishi Heavy Industries) pour le développement, la commercialisation et la vente d'un nouveau modèle de réacteur nucléaire baptisé ATMEA1. Le siège de la société est à Paris ; son président et directeur exécutif est originaire d'AREVA et son adjoint de MHI.

### 1.1 Principales caractéristiques du réacteur ATMEA1

#### 1.1.1 Performances générales

Il s'agit d'un réacteur à eau pressurisée à 3 boucles, dont la puissance électrique nette serait comprise entre 1000 et 1 150 MW<sup>1</sup>.

Le réacteur est conçu avec un cœur à faible densité de puissance capable d'opérer en cycles de 12 à 24 mois. Le combustible principal est de l'oxyde d'uranium enrichi (entre 3 et 5 %), mais le cœur pourrait être chargé jusqu'en totalité en combustible MOX. Il est conçu pour faire du suivi de charge (fonctionnement à puissance variable) sur une plage de 30 % à 100 % de la puissance nominale. Le taux de disponibilité théorique serait de plus de 92 % sur la durée de vie du réacteur, conçu pour 60 ans. Ce taux de disponibilité est atteint par des systèmes de sûreté redondants permettant une maintenance en fonctionnement et une durée d'arrêt de tranche pour rechargement évaluée à 16 jours.

Le réacteur est conçu avec les dernières technologies (générateurs de vapeur à économiseur, turbines...) et atteindrait ainsi un rendement électrique de 37 %.

---

<sup>1</sup> - Source : ATMEA

### 1.1.2 Sûreté de la centrale

#### Fusion du cœur

Le réacteur est doté d'un récupérateur de corium (comme sur l'EPR) permettant de récupérer la masse en fusion du cœur (le corium) en cas d'accident grave avec fusion du cœur et traversée de la cuve du réacteur, afin d'éviter le percement du radier.

#### Risque de chute d'avion

ATMEA indique que le réacteur est conçu pour résister au crash d'un avion commercial de grande taille.

#### Risque de séisme

ATMEA indique que le concept sera adaptable aux zones de forte sismicité. La conception de base prend en compte une accélération du sol de 0,3 g mais elle peut être adaptée à de plus fortes valeurs moyennant certaines modifications.

## 1.2 Position de l'autorité de sûreté

Dans la note d'information du 2 juillet 2012, l'ASN a émis un avis positif sur les options de sûreté du projet de réacteur ATMEA1 dont voici le texte :

*« À l'issue d'un examen qui a duré 18 mois, l'ASN émet un avis positif sur les options de sûreté du projet de réacteur ATMEA1.*

*L'ASN a mené, avec l'appui technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), la revue des options de sûreté du réacteur à eau sous pression ATMEA1. Ce réacteur de moyenne puissance (1 100 MWe) est conçu par la société ATMEA, coentreprise formée par AREVA et Mitsubishi Heavy Industries (MHI).*

*Cette revue des options de sûreté a été effectuée à la demande de la société ATMEA. Bien qu'elle ne s'inscrive pas aujourd'hui dans la perspective d'une demande d'autorisation de création d'un tel réacteur en France, cette revue a été menée dans les conditions qui encadrent la création des installations nucléaires de base sur le territoire français. L'ASN a notamment recueilli en 2011 les avis des Groupes permanents d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) et pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) qui concernent les options de sûreté de ce nouveau réacteur.*

*L'ASN rend publics son avis et le rapport sur lequel il s'appuie, qui concluent que les options de sûreté retenues par la société ATMEA pour son projet de réacteur sont globalement satisfaisantes au regard des exigences françaises. Dans un contexte français, cet avis serait une étape préalable à la procédure d'autorisation de création d'un tel réacteur.*

*Au stade de la conception détaillée, la société ATMEA devra être particulièrement vigilante sur l'optimisation de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, sur les dispositions nécessaires à l'« élimination pratique » de certains accidents ou à l'exclusion de la rupture de certaines tuyauteries et, bien évidemment, sur la poursuite de la prise en compte des enseignements tirés de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon).*

*L'ASN rappelle qu'en France, la demande d'autorisation de création est portée par l'exploitant et non par le concepteur du réacteur ».*

Cette phrase de conclusion est importante : en l'absence d'une demande d'autorisation pour la construction d'un réacteur ATMEA1 en France, l'ASN n'ira pas au-delà de cet avis sur les options de sûreté. L'appréciation positive exprimée par cet avis n'est pas étonnant dans la mesure où ATMEA1 est essentiellement un « petit EPR ».

Cette remarque est confirmée par le paragraphe de conclusion de la « Synthèse de l'examen mené par l'IRSN au sujet des options de sûreté du réacteur ATMEA1, reproduit ci-dessous :

*« Bien entendu, d'une manière générale, il ne sera possible d'émettre un avis fondé sur le respect des objectifs de sûreté retenus sur les différents sujets mis en évidence au cours de l'instruction qu'après un examen approfondi de la déclinaison de l'ensemble des options de sûreté en termes de dispositions de conception. Cet examen ne pourra être réalisé qu'à un stade ultérieur de la définition de ces dispositions, notamment lors d'une éventuelle demande d'autorisation de création ».*

#### Pour en savoir plus :

- Voir l'avis de l'ASN relatif aux options de sûreté du réacteur ATMEA1 ;
- Voir le rapport de l'ASN présentant la synthèse de l'instruction technique ;
- Voir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires du 28 octobre 2011 ;
- Voir l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires du 14 septembre 2011 ;

- Voir la synthèse du rapport de l'IRSN présenté au GPR ;
- Voir la synthèse du rapport de l'ASN présenté au GPESPN ;
- Voir la note d'information de l'ASN du 20 septembre 2010.

### 1.3 La situation industrielle

La seule commande actuelle serait le contrat signé avec la Turquie.

Le 2 mai 2013, le gouvernement turc a confirmé avoir attribué un contrat à un consortium franco-japonais, dont fait partie AREVA, pour la fourniture de 4 réacteurs ATMEA1 de 1 100 MW chacun sur le site de Sinop. Le contrat s'élèverait à 17 milliards d'euros. La maîtrise d'ouvrage serait assurée par un groupement de sociétés composé de la Compagnie d'électricité turque EÜAŞ (25 à 45 %), des japonais MHI et Itochu Corporation et de GDF Suez (20 %) qui serait notamment responsable pour la partie exploitation, Areva NP et MHI étant chargées de la construction.

Un accord d'État à État a été signé le 3 mai 2013 à Ankara en présence des premiers ministres turc et japonais (Recep Tayyip Erdoğan et Shinzo Abe) pour la construction et l'exploitation de quatre ATMEA1. Ce serait l'un des rares contrats à avoir été attribués récemment en Turquie à une entreprise française (et dans ce cas précis à un consortium franco-japonais ; GDF Suez participerait au projet à hauteur de 20 %) depuis l'atténuation des différends entre la France et la Turquie (notamment à la suite du rejet par le Conseil Constitutionnel de la loi condamnant la négation des génocides).

La construction devrait débuter en 2017 pour une mise en service en 2023 du premier réacteur. Il faut donc encore attendre pour savoir si ces engagements seront tenus, de part et d'autre.

## 2. Les réacteurs concurrents

Dans la gamme des 1000-1100 MW de puissance électrique, les concurrents d'ATMEA1 sont nombreux et certains ont une longueur d'avance.

### 2.1 AP-1000 de Westinghouse

L'AP-1000 de Westinghouse est actuellement le concurrent à l'exportation le plus sérieux qui possède l'avantage d'avoir plusieurs exemplaires en construction.

**Westinghouse Electric Company** est une entreprise américaine, fondée par George Westinghouse en 1886 sous le nom de *Westinghouse Electric Company*. Elle a été rachetée en 2006 par la firme japonaise Toshiba et s'est spécialisée dans le nucléaire. Elle intervient dans les domaines de la conception et la fabrication d'assemblages de combustibles nucléaires, des services spécialisés à l'industrie et l'ingénierie associée, de la conception et de la réalisation de nouvelles centrales nucléaires.

#### 2.1.1 Caractéristiques du réacteur AP-1000

Le réacteur AP1000 de la compagnie américaine Westinghouse Electric Corporation est un réacteur à eau pressurisée (REP) d'une puissance électrique de 1 150 MW. qui fonctionne suivant les mêmes principes que ceux du parc nucléaire français en service actuellement. L'AP1000 se veut être le premier de ceux dit de « 3<sup>e</sup> génération + ».

Le design du réacteur vise à en réduire les coûts par l'utilisation de technologies éprouvées et une simplification et réduction du nombre de composants (tuyaux, valves, etc) et du volume des protections antisismiques (dans le premier projet), par rapport à son prédécesseur de conception Westinghouse.

Ce réacteur a un design qui le rend beaucoup plus compact que les autres REP, et qui permettrait de n'utiliser pour sa construction qu'un cinquième du béton et des ferrallages de renforcement utilisés dans les modèles antérieurs de REP.

#### 2.1.2 Sûreté nucléaire

Selon ses concepteurs, l'AP1000 est conçu pour résister à une perte de refroidissement du cœur ou de la piscine de désactivation, que ce soit par défaut d'alimentation électrique ou par rupture de tuyauteries.

Une cheminée draine vers l'atmosphère l'air chaud accumulé autour du confinement d'acier, et des événements périphériques permettent l'entrée d'air frais. Sur le toit du réacteur, une réserve annulaire d'eau permet un refroidissement d'urgence, avec écoulement gravitaire (système passif de refroidissement), l'ensemble pouvant selon le concepteur stabiliser le réacteur en 36 h et assurer son refroidissement durant 72 h, sans aucune intervention humaine et même en cas de défaillance des groupes électrogènes de secours.

Au-delà des 72 h, le refroidissement d'urgence sera maintenu si les réservoirs d'eau de l'enceinte de confinement sont à nouveau remplis. En cas de défaillance de ce système passif de refroidissement, l'opérateur dispose encore d'un ultime recours : il peut encore ouvrir une vanne qui va inonder la cuve par gravité, permettant d'éviter le percement de cette dernière. Un réservoir spécifique est réservé pour cette manœuvre.

Un système un peu similaire (réservoir d'eau associé à la piscine selon le principe des vases communicants) permet durant quelques dizaines d'heures supplémentaires de refroidir la piscine de désactivation destinée au stockage provisoire de combustible du cœur ou d'anciens combustibles usés.

***AP-1000 peut donc être considéré comme un réacteur à sûreté passive, ce qui est un argument fort en sa faveur.***

Le 22 décembre 2011, la Commission de réglementation nucléaire des États-Unis, NRC (Nuclear Regulatory Commission) a indiqué dans un communiqué avoir autorisé pour quinze ans la dernière version du réacteur AP1000, sous licence du fabricant américain Westinghouse, estimant qu'elle remplissait ses exigences en matière de sécurité.

### **2.1.3 Situation industrielle**

#### **États-Unis**

Le 10 février 2012, la NRC a autorisé la construction de deux AP1000 (Vogtle Electric Generating Plant (VEGP), réacteurs N° 3 et 4). C'est la première depuis près de 30 ans aux États-Unis. Le 30 mars 2012, la NRC a autorisé la construction de deux autres AP1000 (centrale nucléaire de Virgil Summer), réacteurs N° 2 et 3).

En tout, quatre réacteurs AP-1000, de 1 117 MW de puissance électrique nette, sont en cours de construction aux États-Unis.

#### **Chine**

Quatre exemplaires de l'AP1000, de puissance électrique nette de 1 000 MW, sont déjà en construction en Chine depuis 2009 (centrales de Haiyang et Sanmen).

En 2013, la Chine fait de ce modèle le principal d'une nouvelle série de construction de « 3<sup>e</sup> génération » avec 6 unités prévues contre seulement 2 sur le modèle local ACP1000 (voir ci-dessous en 2.2).

### **2.1.4 CAP1400 développement**

En 2008 et 2009, Westinghouse a conclu des accords pour travailler avec la société d'État *Nuclear Power Technology Corporation* (SNPTC) et d'autres instituts pour concevoir un réacteur plus important, probablement de 1 400 MWe de capacité, suivi éventuellement d'un modèle produisant 1 700 MWe. La Chine possédera les droits de propriété intellectuelle pour ces designs plus grands, qui pourraient aussi être exportés ailleurs avec la coopération de Westinghouse.

Voir également en 2.2.

## **2.2 Les réacteurs chinois**

La Chine a commencé la construction de son premier réacteur pour la production d'électricité en 1985. Le développement a été rapide : fin 2013, la Chine avait 21 réacteurs en fonctionnement (17 GW) produisant 105 TWh, soit 2,1 % de sa production totale d'électricité. En 2014, 28 réacteurs étaient en construction. 49 réacteurs devraient être en fonctionnement en 2020.

La Chine connaît un développement « tous azimuts » des différentes filières de réacteurs nucléaires<sup>2</sup>. Nous nous intéressons ici aux principaux types de réacteurs de la filière à uranium enrichi et eau sous pression (REP ou PWR) concurrents de ATMEA, et de leurs prédécesseurs.

### **2.2.1 Génération II : CPR-1000**

Le CPR-1000 (REP chinois amélioré) est un réacteur à eau pressurisée de génération II+, basé sur la conception du réacteur français REP de 900 MWe de Framatome (AREVA) à trois boucles de refroidissement, importé dans les années 1990, amélioré pour atteindre une puissance électrique nette de 1 000 MWe (1 080 MWe de puissance brute) et une durée de vie de 60 ans.

Les quatre réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement à la centrale nucléaire de Daya Bay, et à la centrale nucléaire de Ling Ao sont parfois dénommés CPR-1000, mais ils sont plus proches de la conception du REP de 900 MW français, avec une puissance nette inférieure à 1 000 MW et constitués essentiellement de composants importés. Ces quatre réacteurs ont été fournis par Framatome (AREVA).

<sup>2</sup> - Réacteurs à eau ordinaire sous pression en grande majorité, mais aussi réacteurs à eau lourde (filière canadienne CANDU), réacteurs à haute température, réacteurs à neutrons rapides, etc. On trouvera une présentation complète sur le site de « World Nuclear Association », ainsi qu'un « focus » sur la Chine dans « World nuclear industry status report – 2014 » de M. Schneider et A. Froggatt.

Le CPR-1000 est construit et exploité par l'entreprise « *China General Nuclear Power Group* », **CGN**, dénomination depuis 2013 de l'entreprise « *China Guangdong<sup>3</sup> Nuclear Power Company* », **CGNPC<sup>4</sup>**, fondée en 1994. Pour la seconde tranche, 70 % des équipements sont fabriqués en Chine, avec un objectif de 90 % à terme. Le CPR-1000 est en développement rapide avec 15 tranches en construction en juin 2010. Le 15 juillet 2010, le premier CPR-1000 chinois, Ling Ao-3, est connecté au réseau<sup>2</sup>, en ayant débuté les essais de divergence le 11 juin 2010.

Avec CNNC et CGN, la troisième compagnie possédant la licence d'exploitation des centrales nucléaires en Chine est « *China Power Investment Corporation* », **CPIC**.

### 2.2.2 Génération III importée

#### EPR d'AREVA et EDF

En décembre 2009, AREVA et CGN (alors CGNPC) ont créé une coentreprise pour le développement de l'EPR en Chine: Wecan JV, 55 % CGN et 45 % AREVA.

Deux réacteurs EPR sont en construction à Taishan, d'une puissance électrique nette unitaire de 1 660 MW (début de construction respectivement en 2009 et 2010; des retards de l'ordre d'un à deux ans pour la date de démarrage sont actuellement signalés<sup>5</sup>.

En août 2008, EDF et CGN (alors CGNPC) ont créé une coentreprise « *Guandong Taishan Nuclear Power Venture Company Limited* » (TNPC) pour une période de 50 ans (durée maximale pour une « joint-venture » en Chine) à 30 % EDF et 70 % CGN. TNPC est maître d'œuvre pour la construction de la centrale (Taishan 1 et 2), en est propriétaire et l'exploitera.

#### AP-1000 de Westinghouse

Quatre exemplaires de l'AP1000, de puissance électrique nette de 1 000 MW, sont déjà en construction en Chine depuis 2009 (centrales de Haiyang et Sanmen). Des retards de l'ordre de deux ans de la date de démarrage sont actuellement signalés (problèmes de sûreté), ainsi qu'une augmentation des coûts<sup>6</sup>.

Un troisième acteur majeur dans le développement du nucléaire en Chine est **SNPTC<sup>7</sup>**, « *State Nuclear Power Technology Corporation* », créé en 2007. Westinghouse a consenti à transférer à SNPTC la technologie des quatre premiers AP-1000 construits en Chine, ce qui lui permettra de construire les suivants de façon indépendante.

### 2.2.3 Génération III chinoise

#### ACPR-1000 de CGN

ACPR-1000, pour « *Advanced CPR-1000* », est un modèle développé par CGN avec des partenaires chinois depuis 2009: c'est un REP à trois boucles, avec double enceinte de confinement et récupérateur de corium. Ce modèle est dégagé de toute dépendance étrangère.

**Remarque :** d'après *World Nuclear Association*, CGN, AREVA et EDF se sont accordés pour développer un réacteur de Génération III, le ACE1000 (AREVA-CGN-EDF1000), sans participation de MHI (partenaire d'AREVA pour ATMEA). Le concept de ACE1000 serait « évolutionnaire » (une seule enceinte de confinement, renforcée). Ce projet n'a apparemment pas connu de suite.

#### ACP-1000 de CNNC

La conception du type de réacteur avancé développé en Chine, l'ACP-1000 de CNNC, a passé avec succès l'examen générique de la sûreté des réacteurs de l'AIEA. L'Agence est ainsi arrivée à la conclusion que l'ACP-1000 était sûr et fiable.

L'ACP-1000 est le premier type de réacteur développé en Chine ayant été soumis à un examen international.

#### ACC-1000 ou Hualong-1

Initialement, CNNC souhaitait utiliser son propre type avancé ACP-1000 pour les tranches en projet Fuqing 5 et 6. Mais d'après des informations des *World Nuclear News*, en 2012, les autorités nationales ont demandé à CNNC et CGN, de rapprocher leurs programmes de développement nucléaire. L'ACP-1000 de CNNC et l'ACPR-1000 de CGN ont ainsi été regroupés pour devenir le type Hualong-1 (également appelé Hualong-1000 ou ACC-1000). Les réacteurs Hualong-1 seront utilisés pour la première fois dans le cadre des nouvelles constructions Fuqing 5 et 6.

Les réacteurs ACC-1000 possèdent des cycles de combustible compris entre 18 et 24 mois ainsi qu'une disponibilité élevée. Le réacteur contiendra probablement 177 assemblages combustibles et sera entouré de deux enceintes

3 - *Guangdong est une province du sud de la Chine.*

4 - Les acronymes CGNPC et CGN sont utilisés couramment l'un et l'autre pour désigner la même entreprise, ce qui peut porter à confusion.

5 - *World nuclear industry status report-2014.*

6 - *World nuclear industry status report-2014.*

7 - SNPTC a été créé en 2007 dans l'objectif de la coopération avec Westinghouse. Cependant il ne dispose pas de la licence de construction et d'opération de centrales nucléaires.

de confinement. Il sera en outre équipé de systèmes de sécurité actifs et passifs. Sa durée de vie escomptée est de 60 ans.

En novembre 2014, un groupe d'experts est arrivé à la conclusion que la conception de l'ACC-1000 remplit toutes les exigences de sécurité de la troisième génération. La CNNC a informé que la conception pourra donc être exportée.

L'Administration nationale de l'énergie (ANE) et l'Administration nationale de la sûreté nucléaire (NNSA) de la Chine ont confirmé que d'après l'évaluation remise par les 43 experts, les caractéristiques de sûreté du réacteur à eau sous pression de 1 150 MW ACC-1000 remplissent toutes les exigences de la troisième génération de réacteurs.

D'après Zhao Chengkun, directeur de la NNSA, il s'agira dans un premier temps de construire quatre installations de démonstration.

### **2.2.4 CAP-1400 : le réacteur nucléaire chinois de 3<sup>e</sup> génération avancée**

En 2008 et 2009, Westinghouse a conclu des accords pour travailler avec la société d'État « *Nuclear Power Technology Corporation* » (*SNPTC*) et d'autres instituts pour concevoir une version plus puissante que l'AP-1000, de 1 400 MW de puissance électrique nette, le réacteur **CAP-1400**, suivie éventuellement d'un modèle de puissance électrique 1 700 MW. La Chine possédera les droits de propriété intellectuelle pour ces designs plus grands, qui pourraient aussi être exportés ailleurs avec la coopération de Westinghouse.

L'administration nationale pour la sûreté nucléaire (NSA) a validé le rapport de sûreté provisoire pour la conception du réacteur CAP-1400. Ce réacteur fait partie des seize projets stratégiques inclus dans le plan de développement scientifique et technologique national.

Les travaux préparatoires sur le site de construction de deux tranches de démonstration du CAP1400, dans la province chinoise de Shandong, sont déjà en cours. Cependant, la construction du premier réacteur CAP1400 est repoussée au plus tôt à 2015 ou 2016. Pour l'export, SNPTC serait associé à CNNC.

## **2.3 Autres**

### **2.3.1 La Corée du Sud**

Si le pays dépendait à l'origine d'entreprises nord-américaines (notamment Westinghouse), les Coréens ont quasiment achevé l'appropriation de toutes les technologies nécessaires à la construction d'une centrale nucléaire.

Deux entreprises interviennent principalement dans la filière :

- **Kepeco** (Korea Electric Power Company) est le distributeur d'électricité coréen. Deux de ses filiales assurent la fabrication des combustibles (Kepeco Nuclear Fuel) et l'exploitation des centrales (Korea Hydro Nuclear Power) ; Kepeco propose deux types standards de réacteur : d'une part l'OPR-1000 (Optimised Power Reactor), d'une puissance de 1 000 MW, d'autre part l'APR-1400 (Advanced Power Reactor), d'une puissance de 1 350 MW, qui est **positionné comme un concurrent de l'EPR**.
- **Doosan Heavy Industries**, qui fait partie de l'un des grands conglomérats coréens, construit les équipements lourds, aussi bien les turbines que les cuves de réacteurs ; ces activités sont généralement réparties entre plusieurs entreprises différentes dans les autres pays actifs dans l'industrie nucléaire.

Le contrat remporté en 2009 pour 4 APR-1400 auprès des Émirats Arabes Unis au détriment du consortium français (EPR) a propulsé la Corée parmi les pays exportateurs de centrales nucléaires.

### **2.3.2 La Russie**

L'Agence fédérale pour l'énergie atomique, ROSATOM, est une agence fédérale russe, responsable du bon fonctionnement du conglomérat de l'industrie nucléaire en Russie. Elle assure les fonctions de coordination des entreprises russes liées au développement de l'énergie nucléaire civile et militaire, mais aussi les fonctions de contrôle de la sûreté nucléaire (à l'image de l'ASN en France). ROSATOM est le seul agent responsable des exportations de biens et de services nucléaires.

Le réacteur exporté par la Russie est de la filière VVER (PWR ou REP) d'une puissance électrique brute de 1 000 à 1 200 MW.

## Conclusion

Les réacteurs de 3<sup>e</sup> génération d'une puissance électrique autour de 1 100 MW sont aujourd'hui les favoris des quelques pays qui poursuivent ou prévoient des programmes de développement de la production d'électricité d'origine nucléaire. La grande majorité de ces « nouveaux réacteurs » appartiennent à la filière à uranium enrichi et eau ordinaire, descendants des réacteurs développés aux États-Unis par la société Westinghouse dans les années 1960 et 1970.

Que peut-on déduire, au plan national comme international, de l'examen des principales options qui se présentent aujourd'hui et que nous avons brièvement présentées dans cette note ?

1. Le projet de réacteur ATMEA1, porté par la société ATMEA (AREVA et Mitsubishi), bénéficie d'un avis positif de l'autorité de sûreté française (ASN) sur ses options de sûreté, ce qui est assez naturel puisque ces options sont directement inspirées de celles de l'EPR, réacteur plus puissant dont les options de sûreté ont été déjà approuvées par l'ASN. Cependant, en l'absence d'une demande d'autorisation pour la construction d'un réacteur ATMEA1 en France, l'ASN n'ira pas au-delà de cet avis. Dans la mesure où aucun EPR n'a déjà fonctionné, c'est un domaine pour lequel de nombreuses questions restent posées (en sûreté nucléaire, « le diable est dans les détails »).

Mais le handicap essentiel d'ATMEA1 est paradoxalement sa filiation avec l'EPR : la construction des quatre premiers réacteurs connaît des retards considérables en Finlande et en France et même, à un degré moindre, en Chine. D'autre part, les coûts des projets français et finlandais ont augmenté de façon considérable depuis les estimations initiales. L'accord conclu entre EDF et le gouvernement britannique pour deux réacteurs EPR à Hinkley Point porte sur un coût d'investissement par kWh produit qui se situe au double de sa valeur pour les réacteurs existants en France. Sur le plan international, le jugement de la « *World Nuclear Association* » est significatif : « *EPR has multiple redundant safety systems rather than passive safety systems and is seen to be more complex and expensive hence of less long-term interest for China*<sup>8</sup> ».

2. Le réacteur AP-1000 de Westinghouse (Toshiba) paraît pour le moment tenir la tête du peloton.

D'une part, sur le plan de la sûreté, AP-1000 peut faire prévaloir un système de sûreté passive dont les options ont été approuvées par l'autorité de sûreté nucléaire des États-Unis (NRC), ce qui n'est pas le cas pour l'EPR, et a autorisé sa construction aux États-Unis.

D'autre part, quatre réacteurs AP-1000 sont en construction aux États-Unis et quatre autres en Chine. Cependant, dans l'un et l'autre cas, on enregistre des retards dans la construction, des interrogations sur la sûreté et des augmentations de coût.

3. Ayant déjà construit ou ayant en construction différents types de réacteurs de différentes filières « importées » (900 MW de Westinghouse « francisés » par Framatome<sup>9</sup>, EPR d'AREVA, AP-A-1000 de Westinghouse-Toshiba, réacteurs à eau lourde canadiens...), la Chine s'est progressivement dégagée de ces différentes dépendances et développe elle-même des réacteurs de puissance de 3<sup>e</sup> génération qui lui sont propres, quitte à les construire et à les exploiter avec des partenaires étrangers (notamment EDF).

Deux compagnies nationales d'électricité « rivales », CNNC et CGN, ayant développé chacune leur champion de 3<sup>e</sup> génération (respectivement ACP-1000 et APR-1000), ont été contraintes par le gouvernement chinois de se rapprocher afin de présenter un seul modèle, ACC-1000 ou Hualong1 (Hualong One). Ce projet a été approuvé par l'autorité de sûreté nucléaire chinoise et deux exemplaires doivent être construits à la centrale de Fuqing (Fuking 5 et 6).

En parallèle, la société d'État SNPTC a développé avec Westinghouse-Toshiba une version plus puissante de l'AP-1000, CAP-1400. Ce projet a été validé par l'autorité de sûreté nucléaire chinoise, fait partie des seize projets stratégiques de développement et protège de fortes ambitions à l'exportation.

4. De la même façon que, dans les années 1970, l'Eldorado des centrales nucléaires se situait aux États-Unis (qui restent le pays possédant le plus de réacteurs de puissance au monde), ce qui avait conduit EDF à choisir alors la filière REP (PWR) de Westinghouse car il fallait « s'accrocher au train gagnant sur le plan mondial », aujourd'hui tous les yeux et les intérêts se tournent vers la Chine qui semble bien en train de prendre le leadership dans ce domaine.

De longue date, EDF a entretenu une relation étroite avec la compagnie d'électricité CGN qui s'est traduite par la création d'une coentreprise (70 % CGN, 30 % EDF) pour la construction et l'exploitation des réacteurs, ce qui est déjà le cas pour les deux EPR en construction en Chine. Cette alliance est stratégique, aussi bien dans le cadre du développement du parc nucléaire chinois que pour des démarches communes à l'exportation.

C'est dans ce contexte qu'EDF pourrait considérer de façon favorable le réacteur Hualong1 comme le « nouveau réacteur » qui aurait sa préférence.

Reste à connaître le jugement de l'autorité de sûreté nucléaire française.

8 - Traduction (libre) : « *Le réacteur EPR présente des systèmes de sûreté multiples et redondants plutôt qu'une sûreté passive. Il est considéré par conséquent comme complexe et onéreux, et par conséquent d'un moindre intérêt à long terme pour la Chine* ».

9 - Framatome : aujourd'hui AREVA.