

# Le réacteur AP1000

L'année écoulée a été difficile pour l'industrie nucléaire, notamment pour les entreprises cherchant à construire de nouvelles centrales. Il est inutile de rappeler les événements survenus à Fukushima, au Japon, en mars 2011. Ceux-ci auront un impact sur l'ensemble des projets nucléaires à travers le monde pour les années à venir, cela sous différentes formes. En ce qui concerne les projets AP1000 en Chine et aux Etats-Unis, aucune interruption n'a eu lieu, même si les inspections, réglementaires lors de la construction, sont devenues plus rigoureuses, traduisant les inquiétudes légitimes du public et des autorités de sûreté. Alors que les décisions concernant la technologie future sont déjà adoptées, Westinghouse est convaincue que les caractéristiques de sûreté passive de l'AP1000 sont désormais plus attractives. N'oublions pas que Westinghouse est à l'origine du concept de réacteur à eau pressurisée qui a été adopté pour la moitié des centrales nucléaires dans le monde et qui est celui de toutes les centrales françaises en activité aujourd'hui.

Par **François HARARI\*** et **Carole CHAUVIN\*\***

---

## QUELQUES RAPPELS HISTORIQUES AU SUJET DE L'AP1000

L'AP1000 remonte à de nombreuses années dans l'histoire de l'industrie du nucléaire. En effet, sa conception a débuté il y a vingt ans, alors que Westinghouse lançait le développement du réacteur AP600. À ce jour, nous maîtrisons la conception du réacteur d'une puissance de 1 100 mégawatts, déjà en construction en Chine, commandé aux Etats-Unis et grand favori sur de nombreux marchés.

Même si, à cette époque, l'industrie du nucléaire connaissait un ralentissement, les dirigeants de Westinghouse étaient convaincus que le meilleur était

encore à venir, certains qu'ils étaient qu'une approche nouvelle de la sûreté servirait de tremplin à cette renaissance. Dans cette optique, un programme de développement a été initié, assurant dialogue et concertation avec les exploitants et les autres partenaires internationaux de premier plan, qui a abouti à la conception de l'AP600, à la fin des années 1990. Cette conception a reçu le « Certificat de Conception » de l'autorité américaine de sûreté, la NRC (*Nuclear Regulatory Commission*), en décembre

---

\* Vice-président et Managing Director de Westinghouse France-Benelux et Afrique du Sud.

\*\*Communications Lead, Westinghouse France.

1999. Néanmoins, à cette époque, les producteurs d'électricité ne semblaient pas miser sur le nucléaire, non pas pour des raisons de sûreté ou d'hostilité de l'opinion publique, mais du fait du prix du gaz, qui était alors au plus bas, ce qui influençait largement les choix en matière d'investissement.

Plutôt que de baisser les bras face à une telle situation, Westinghouse, qui venait à l'époque d'être acquise par British Nuclear Fuels (BNFL), a décidé de relancer les activités de conception de réacteurs. Le défi était de rendre l'AP600 plus compétitif, c'est-à-dire de faire en sorte qu'il produise davantage d'énergie sans apporter de changement majeur à sa conception initiale.

Les résultats se sont avérés très probants. En réévaluant les marges de sécurité, Westinghouse a réalisé que la puissance du réacteur pouvait être sensiblement accrue sans pour autant compromettre les niveaux de sûreté exigés. Une telle augmentation de puissance pouvait donc être atteinte en opérant des modifications mineures n'impliquant pas de réévaluation intégrale du dossier de sûreté. En effet, les fondements des deux conceptions sont quasiment identiques. Toutefois, le cœur du réacteur a été rehaussé, passant d'une hauteur d'environ 3,66 m à 4,26 m, et d'autres composants, tels que le générateur de vapeur, ont donc dû être redimensionnés. Au final, le réacteur fournit plus de puissance que son nom ne l'indique : en effet, il produit plus de 1 100 mégawatts. Un réacteur AP1000 peut à lui seul générer suffisamment d'électricité pour alimenter quelque deux millions de foyers, avec une faible émission de carbone dans l'atmosphère.

## PRIORITÉ N°1 : LA SÛRETÉ

Suite aux événements de Fukushima, la sûreté est naturellement passée au premier plan lors de la construction d'un réacteur. Or, il y a de cela plus de vingt ans, Westinghouse avait déjà choisi la voie de la prudence. En effet, à l'époque, nos ingénieurs avaient décidé de minimiser tout risque d'accident en intégrant dans leurs conceptions les phénomènes naturels, dont on sait qu'ils sont omniprésents. En effet, au lieu de recourir à des systèmes de sûreté extrêmement complexes et interdépendants, nos ingénieurs ont pris en compte des phénomènes naturels, tels que la gravité, la circulation naturelle, l'évaporation, ... pour garantir au mieux la sûreté de nos réacteurs et ce, en toute circonstance. De fait, la toute dernière conception de Westinghouse, l'AP1000 ne dépend en termes de sûreté ni des alimentations externes ni de l'eau de refroidissement. En cas d'incident, aucune intervention humaine n'est nécessaire pendant au minimum soixante-douze heures ; puis passé ce délai, une intervention simple suffit pour garantir une sûreté permanente de la centrale.

## CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION

Bien qu'une technologie REP typique soit au cœur même du réacteur AP1000 (à savoir une centrale à deux boucles délivrant une puissance thermique nominale de 3 415 MW), l'ensemble du concept repose sur deux principes clés qui le démarquent des autres réacteurs, sa sûreté passive et une construction modulaire.

La première caractéristique, la sûreté passive, est un élément clé de l'AP1000 qui se base sur les phénomènes naturels, tels que la gravité, la circulation naturelle, l'évaporation, ... pour préserver la sûreté du réacteur et qui permet, par conséquent, de minimiser tout risque d'incident.

La sûreté passive offre de nombreux atouts.

Grâce à la fiabilité de l'AP 1000 et à la prise en considération de ces phénomènes naturels qui garantit une « sûreté intégrée », la responsabilité de la sûreté n'incombera plus aux seuls systèmes standard assurant une surveillance quotidienne du cœur. Il ne sera donc plus nécessaire que ces systèmes soient fabriqués en de multiples exemplaires, en respectant des normes de qualité drastiques.

En procédant ainsi, l'inventaire général des pièces est nettement réduit par rapport à celui qu'imposerait une conception classique de « sûreté active », dans laquelle chaque système de sûreté doit être quadruplé, ce qui accroît les coûts et la complexité, lors de la construction, de l'exploitation et de la maintenance. Ainsi, la conception de l'AP1000 permet une réduction :

- de 50 % du nombre des vannes,
- de 38 % des pompes de sûreté,
- de 80 % des tuyauteries et câblages,
- de 45 % de la superficie du bâtiment antisismique par rapport à un réacteur à eau pressurisée (REP) conventionnel de puissance équivalente.

Cet inventaire réduit permet une construction plus rapide de ce type de réacteur, élément clé de la dimension économique de ce projet.

La seconde caractéristique de l'AP1000, sa construction modulaire, est également essentielle pour maintenir un planning de construction court et réaliste. La centrale, le réacteur et les bâtiments associés sont construits à partir d'environ trois cents modules (une combinaison de grands modules structurels et de modules mécaniques de plus petite taille).

Les modules structurels peuvent atteindre la taille d'un bâtiment de quatre ou cinq étages et peser plusieurs centaines de tonnes chacun. Nombre de ces modules sont constitués de parois et de supports en acier et, une fois mis en place dans le bâtiment réacteur, ils sont remplis de béton afin de constituer les parois, les sols et les structures portantes pour les composants et systèmes principaux. Ils sont généralement construits par ensembles de sous-modules, hors site,

puis transportés jusqu'à celui-ci par voie maritime, ferrée ou routière. Une fois sur site, ils sont assemblés pour obtenir le module complet, avant installation grâce à des matériels de levage. Les modules mécaniques sont généralement plus petits, il s'agit des réseaux de vannes, des pompes, des tuyauteries, etc. Dans tous les cas, la fabrication et les essais hors site des modules du réacteur permettent de garantir de meilleures conditions de propreté et donc une meilleure qualité finale. Par ailleurs, davantage d'activités peuvent être menées en parallèle, ce qui favorise le respect du planning de construction.

---

## CERTIFICATIONS RÉGLEMENTAIRES

Naturellement, le concepteur du réacteur ne peut évaluer à lui seul la sûreté d'une centrale. Toute centrale nucléaire doit être jugée sûre par les inspecteurs des autorités nationales compétentes. Dans ce contexte, la centrale AP1000 a récemment connu des développements majeurs. Tout d'abord, le 14 décembre 2011, les régulateurs britanniques, *The Office for Nuclear Regulation and the Environment Agency*, ont annoncé que le réacteur AP1000 avait reçu une pré-certification lors du processus *Generic Design Assessment* (GDA), qui est la procédure d'évaluation de la conception des réacteurs dont la construction est envisagée au Royaume-Uni. Ce processus est l'aboutissement de quatre années d'une analyse de la conception, de plus en plus exhaustive et exigeante, permettant d'identifier tout problème grave pouvant survenir, bien en amont de la construction et de l'exploitation de la centrale. La NRC a annoncé quelques jours plus tard avoir attribué à l'AP1000 le « Certificat de Conception Finale ». Cette décision a représenté une étape clé dans le processus d'autorisation de la construction de centrales, aux Etats-Unis, sur les sites nucléaires devant recevoir un réacteur AP1000 (en Géorgie et en Caroline du Sud). Enfin, le 9 février 2012, la NRC a approuvé la licence d'exploitation du premier AP1000 aux Etats-Unis, pour une durée de trente ans, qui est construit sur le site de Vogtle, en Géorgie, et est exploité par la *Southern Company*.

---

## LES COMMANDES DE RÉACTEURS AP1000

À ce jour, le carnet des commandes d'AP1000 comprend dix tranches sous contrat. Quatre de ces tranches sont d'ores et déjà en cours de construction en Chine et six autres sont sous contrat aux Etats-Unis, où les travaux de préparation des sites sont déjà bien avancés et où le béton du bâtiment nucléaire sera coulé, dans le cas du premier site américain, au cours de l'année 2012.

Il y a deux sites de construction en Chine : Sanmen, au sud de Shanghai, et Haiyang, au sud-est de Pékin. Il s'agit de deux sites côtiers où est prévue l'installation de deux tranches AP1000, même si chaque site est en mesure d'en accueillir davantage.

Le site principal est celui de Sanmen, où la première coulée de béton a été réalisée conformément au planning, en mars 2009. La centrale doit être mise en service fin 2013. La seconde tranche se trouve à Haiyang, la troisième à Sanmen et la quatrième à Haiyang. Le délai de réalisation entre chaque tranche varie de six à huit mois.

Outre ces quatre tranches sous contrat, Westinghouse est en pourparlers avec la Chine pour dix autres réacteurs, même si l'implication de Westinghouse serait moindre, car la Chine souhaite gagner en indépendance et en autosuffisance. Ce point était un élément clé de l'offre initiale, qui misait sur le transfert de technologie de Westinghouse à la Chine.

---

## LE RESPECT DU PLANNING : L'EXEMPLE DE SANMEN (CHINE)

L'obtention des autorisations réglementaires et le lancement des opérations en temps et en heure ne représentent que la moitié du processus. Les centrales doivent ensuite être construites et exploitées. Dans une industrie où la construction dans les délais impartis est difficilement réalisable, les progrès réalisés sur les AP1000 en cours de construction sont encourageants. Les réacteurs américains récemment approuvés par les autorités font suite à quatre autres réacteurs déjà en construction en Chine, dont le premier devrait produire de l'électricité fin 2013, ce qui répond exactement au délai convenu avec les clients chinois lors de la signature du contrat, en mars 2007. Il convient de noter que l'avancement de la construction satisfait parfaitement au planning fixé, ce qui est d'autant plus remarquable qu'il s'agit de la première centrale de ce type à être construite dans le monde. Une telle expérience permet de gagner la confiance des clients potentiels en Chine, et dans d'autres pays désireux de commander un jour une centrale AP1000. Ils savent ainsi que leurs propres projets suivront dans les pas de constructions couronnées de succès.

Naturellement, un tel succès n'est pas dû au hasard. Une conception détaillée, en amont, alliée à une approche simplifiée et à un inventaire réduit des équipements (atout principal de la sûreté passive) y ont largement contribué. Le recours à une construction modulaire est primordial pour l'ensemble structurel de la centrale et pour les équipements, tels que les tuyauteries, les pompes et les vannes. Opter pour cette solution, plutôt que pour une construction intégrale *in situ*, permet de travailler, en parallèle, sur de nombreux systèmes ; ainsi, même en cas de problème dans

un secteur donné, il ne sera pas nécessaire de suspendre la réalisation de l'ensemble du projet.

## L'AVANCÉE DES CONSTRUCTIONS

Le planning général des constructions réalisées en Chine a été établi en accord avec les clients en février 2007. La coulée du béton à Sanmen 1 en représente le premier jalon majeur. Cette coulée, longue et compliquée, était prévue pour la fin mars 2009 ; elle a été achevée dans les délais, à savoir le 31 mars.

Aujourd'hui (plus de deux ans après), l'avancée des travaux est toujours conforme au planning et plus de la moitié de la durée de construction prévue (à savoir cinquante mois, entre la coulée du béton et le chargement du combustible) pour Sanmen 1, la tête de série, s'est écoulée à ce jour. Le combustible sera chargé à la mi-2013, conformément aux objectifs fixés, et la centrale pourra être mise en service à la fin de cette même année. Le respect du planning, pour la toute première centrale de ce type à être construite, représente un immense succès pour toutes les personnes impliquées. Tous les efforts possibles continuent à être déployés afin de poursuivre sur cette lancée.

La construction modulaire a largement contribué au respect du calendrier. L'enceinte de confinement est un élément clé de l'AP1000. Il s'agit d'une enveloppe étanche, en acier, constituée de quatre anneaux (d'un diamètre d'environ 40 mètres) et dotée d'extrémités bombées, à son sommet et à sa base. La base de l'enceinte de confinement est constituée de nombreux segments épais en acier auxquels une forme précise est conférée avant de procéder au soudage. Lors de la première opération de ce type, il s'est avéré difficile de fabriquer et d'assembler les pièces en respectant les tolérances prévues. Le premier module terminé devait être installé en juin 2009, mais c'est avec six mois de retard, en décembre 2009, que son installation a eu lieu. Toutefois, tandis que la base de l'enceinte de confinement était en cours de finalisation, d'autres opérations (par exemple, sur les anneaux de l'enceinte) étaient menées simultanément et sans encombre. Par conséquent, une fois la base de l'enceinte de confinement mise en place, il a été possible de rattraper

totalemment le retard pris et, en juin 2010, le planning général était à nouveau respecté.

Avec une approche plus conventionnelle de la construction, un retard de cet ordre aurait eu tendance à s'aggraver : les équipes sur site auraient été démobolisées, ou affectées à d'autres tâches, les conditions climatiques favorables n'auraient pas pu être mises à profit, etc.

La construction des autres tranches en Chine satisfait également au planning. Dans certains cas, elle est même en avance grâce au retour d'expérience des projets précédents. Ainsi, par exemple, la fabrication de la base de l'enceinte de confinement, qui avait occasionné des retards à Sanmen 1, est désormais réalisée dans un bâtiment avec une structure dédiée, puisqu'il avait en effet été constaté que les variations de chaleur et d'humidité avaient largement contribué aux problèmes survenus auparavant.

Compte tenu des difficultés à respecter le planning et le budget dans tout projet nucléaire de cette envergure, il est essentiel de considérer le programme AP1000 en Chine non pas seulement comme un succès, mais bel et bien comme une conjonction de plusieurs succès distincts.

De même, aux Etats-Unis, bien que le béton pour bâtiments nucléaires n'ait pas encore été coulé sur les sites AP1000 prévus, nombre d'opérations ont été lancées, qui sont toujours en cours, comme notamment la préparation des sites, celle des infrastructures routières et ferrées, du béton et des tuyauteries d'eau de refroidissement. Tout comme en Chine, Shaw Group est le partenaire de Westinghouse aux Etats-Unis dans le cadre du *consortium* AP1000, ce qui permet de tirer directement parti du retour d'expérience acquis en Chine pour mener à bien les projets américains.

De manière générale, malgré un long parcours, parfois semé d'embûches, les perspectives pour Westinghouse et son réacteur AP1000 semblent très prometteuses (1).

(1) Pour plus d'informations, le lecteur est invité à consulter le site de la société Westinghouse : <http://ap1000.westinghousenuclear.com/index.html>