

Le réacteur ATMEA1

Le réacteur ATMEA1 est un modèle à eau pressurisée de 1 100 MWe destiné à tous les types de réseaux et en particulier aux réseaux électriques de moyenne puissance.

Sa conception a fait appel aux meilleures technologies utilisées pour les réacteurs de troisième génération et ce réacteur répond aux dernières exigences de sûreté en vigueur aujourd'hui.

Par **Philippe NAMY***

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

ATMEA est une co-entreprise de droit français créée en 2007 entre Mitsubishi Heavy Industries Ltd (MHI) et Areva ; elle est détenue à parts égales (50 %-50 %) par ces deux groupes. Son champ d'activité, exclusif et mondial, est de concevoir, développer, commercialiser, construire et mettre en exploitation commerciale un réacteur se positionnant dans la gamme de puissance de 1 000 mégawatts électriques (MWe).

ATMEA a conçu le réacteur ATMEA1 en se fondant sur les meilleures technologies disponibles pour les réacteurs de troisième génération et sur des techniques de construction modulaire mises en œuvre depuis longtemps par MHI et intégrant un arrangement spatial simplifié.

Le développement de ce réacteur, mené en deux ans, est terminé depuis la fin 2010. Ce modèle unique de réacteur de moyenne puissance de toute dernière génération (GENERATION 3+) est de type évolutionnaire. Il répond aux plus récentes exigences de sûreté connues à ce jour (en particulier, à des conditions accidentelles extrêmes de type Fukushima).

À l'issue d'un examen ayant duré dix-huit mois, l'autorité française de sûreté nucléaire (ASN) a émis le 7 février 2012 un avis positif sur les options de sûreté du projet de réacteur ATMEA1. En 2008, l'ATMEA1

avait été examiné par l'IAEA, qui avait elle aussi conclu positivement. Depuis 2011, ce réacteur est également soumis à l'examen de l'autorité de sûreté nucléaire canadienne, la CNSC.

Les études de conception de l'ATMEA1 sont désormais terminées et les études détaillées d'ingénierie ont débuté. Ce réacteur est en cours de commercialisation.

DESCRIPTION DU RÉACTEUR ATMEA1

Le réacteur ATMEA1 est un réacteur à eau pressurisée (REP) de moyenne puissance (1 100 MWe) et de génération III+. Développé par ATMMEA, sa puissance est de 3 150 MW thermiques.

Son circuit primaire est composé d'une cuve contenant les assemblages combustible et de trois boucles dont chacune est principalement composée d'une pompe et d'un générateur de vapeur. Le circuit primaire est doté d'un pressuriseur qui en maintient la pression. Il comporte également les systèmes de contrôle commande ainsi que les systèmes de protection associés. Cette conception du circuit primaire et

* Président d'ATMEA.

des systèmes qui lui sont associés est similaire à celle des réacteurs REP (réacteur à eau pressurisée – PWR) d'Areva et de MHI actuellement en fonctionnement dans le monde, lui conférant ainsi les caractéristiques d'une technologie éprouvée.

La structure du bâtiment réacteur en béton renforcé précontraint est revêtue, sur sa face interne, d'une protection métallique. Un espace annulaire, en partie basse du bâtiment réacteur, permet de collecter les liquides résultant de fuites éventuelles au niveau des pénétrations. En sus du circuit primaire principal, le bâtiment réacteur protège la réserve d'eau destinée à l'injection de sécurité ainsi qu'un récupérateur de corium dédié à la collecte du cœur entré en fusion dans l'hypothèse d'un accident nucléaire grave.

Le bâtiment réacteur est entouré par les bâtiments abritant les systèmes de sauvegarde et par le bâtiment abritant les combustibles. Les structures internes, les composants du réacteur, les bâtiments de sauvegarde (incluant la salle des commandes) et le bâtiment combustible sont protégés contre les risques d'agressions externes incluant la chute d'avions commerciaux gros porteurs et les explosions.

Les trois systèmes (ou trains) de sécurité redondants et pouvant chacun assumer 100 % des fonctions de sûreté du réacteur sont localisés dans trois divisions strictement séparées. Un quatrième système dénommé Division X est disponible afin de pourvoir à l'alimentation en eau de refroidissement des principaux systèmes de sûreté, en cas de situation extrême, à partir d'une source froide d'ultime secours distincte des sources de refroidissement principales. La Division X est également utilisée lors d'opérations de maintenance préventive ou curative effectuées sur l'un des trois autres trains.

Les principales caractéristiques du réacteur ATMEA1 figurent dans le tableau ci-dessous.

Les aspects économiques et environnementaux ont été largement pris en compte dès la phase de conception du réacteur afin d'en maximiser la performance. Il en résulte :

- un haut rendement thermique (de 37 %) permettant une économie de combustible et une réduction de la production de déchets radioactifs,

- une durée de vie de soixante ans permettant de mieux amortir les coûts de ce réacteur en regard de la quantité d'électricité totale qu'il aura produite,

- un facteur de disponibilité élevé (> 92 % sur la durée de vie totale de la centrale) permis par les cycles longs du combustible (allant jusqu'à deux ans) et par les arrêts courts pour rechargement (notamment grâce à la conception dite « des deux zones » qui donne la possibilité de pénétrer dans le bâtiment réacteur en fonctionnement et permet ainsi d'assurer la maintenance de certains systèmes par le recours à la Division X),

- enfin, un suivi de charge et la possibilité qu'a le réacteur de s'adapter aux variations de fréquence et de pouvoir ainsi répondre aux exigences les plus sévères des réseaux à 50Hz ou 60 Hz, donnant ainsi aux opérateurs une grande flexibilité d'exploitation.

LES COMPOSANTS DU CIRCUIT PRIMAIRE

Les générateurs de vapeur (GV) sont des échangeurs de chaleur à circulation naturelle à tubes en U. Ils intègrent les équipements de séparation et de séchage. Grâce à la double enveloppe située dans la branche froide, l'économiseur axial dirige l'injection de l'eau alimentaire dans la partie branche froide du faisceau tubulaire, la majeure partie de l'eau de recirculation étant dirigée, quant à elle, vers la branche chaude. Cette conception permet d'obtenir une pression vapeur plus importante qu'avec les GV de type bouillant de même surface tubulaire, et ainsi d'améliorer l'efficacité thermique.

Les tubes en alliage Inconel 690 et traités thermiquement (690 TT) sont largement utilisés dans les GV du monde entier ; ils offrent une excellente résistance au phénomène de corrosion primaire.

Les accumulateurs avancés permettent, de façon passive et à basse pression, le remplissage des boucles primaires à très haut débit, puis le re-noyage du cœur, à débit plus faible. L'utilisation de ces accumulateurs passifs permet d'éliminer les pompes d'injection basse

Puissance thermique	3 150 MWth
Puissance électrique	1 100 - 1 150 MWe (Net)
Efficacité thermique	35 à 37 %
Cycle combustible	de 12 à 24 mois
Chargement en combustible MOX	Possible de 0 à 100 %
Arrêts de tranche	16 jours pour rechargement normal
Facteur de disponibilité	> 92 % sur la durée de vie du réacteur (Calculé selon critères EUR)
Durée de vie du réacteur	60 ans

Tableau 1 : Caractéristiques du réacteur ATMEA1.

pression de secours, simplifiant ainsi la conception du réacteur. En effet, en cas de rupture ou de brèche dans une boucle primaire, le circuit primaire doit être très rapidement re-rempli. Les accumulateurs avancés assurent ce remplissage pendant les premières secondes avant que les pompes d'injection de sécurité moyenne pression ne soient mises en action. Les accumulateurs sont activés de façon passive par différence de pression hydrostatique, ils n'exigent donc aucun système électrique de déclenchement.

Le cœur du réacteur ATMEA1 consiste en 157 assemblages combustibles comme ceux utilisés dans les cœurs des réacteurs à trois boucles classiques conçus par Areva et/ou par MHI. Le cœur est entouré d'un réflecteur lourd radial conçu pour optimiser l'utilisation des neutrons (avec une moindre consommation de combustible) et réduire l'irradiation de la cuve du réacteur. Les boulons de fixation du réflecteur sont situés dans des zones du cœur à faible fluence, ce qui permet de réduire le nombre des opérations d'inspection en service.

Chaque assemblage de combustible consiste en des crayons combustibles disposés en réseaux carrés de 17x17 complétés par un ensemble de 24 tubes de guide de grappe de contrôle. Les crayons combustibles contiennent des pastilles de dioxyde d'uranium faiblement enrichi ou des pastilles de MOX. Le cœur du réacteur ATMEA1 peut contenir 100 % de dioxyde d'uranium ou un mélange de dioxyde d'uranium et de MOX. Pour la conception standard, la part du MOX est de 1/3, mais elle peut atteindre 100 % sans modification majeure de la conception. Les cycles du combustible peuvent varier de 12 à 24 mois.

Le réacteur ATMEA1 peut fonctionner en mode suivi de charge avec un niveau de puissance minimal de 25 %, mais il peut rapidement remonter à sa puissance nominale à la vitesse de 5 % par minute.

LA SÛRETÉ DU RÉACTEUR

La sûreté du réacteur ATMEA1 est basée sur des objectifs répondant aux critères les plus stricts exigés actuellement, à savoir une fréquence d'endommagement du cœur (CDF) inférieure à 10^{-5} , réacteur x an et une fréquence, pour les rejets radioactifs importants, inférieure à 10^{-6} , réacteur x an.

Le réacteur respecte les réglementations, codes, normes et consensus américains, ainsi que les recommandations de la Commission Internationale pour la Radioprotection (IRCP).

Sa conception est également en conformité avec les normes de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et avec les exigences de plusieurs autorités de sûreté nucléaire qui aujourd'hui sont engagées dans l'examen de réacteurs de génération III+, comme l'EPR d'Areva ou l'APWR de MHI.

La sûreté du réacteur ATMEA1 est fondée principalement sur des analyses déterministes complétées par des analyses probabilistes.

L'approche déterministe est basée sur une application stricte du concept de « défense en profondeur » aboutissant :

- à des comportements transitoires du réacteur satisfaisants grâce aux volumes importants des GV et du pressuriseur,
- à une simplification des systèmes de sûreté et à leur séparation fonctionnelle,
- à la gestion des défaillances en mode commun par la ségrégation et par une redondance des fonctions de sûreté,
- à des marges suffisantes afin de minimiser les effets des défaillances (et en particulier celles résultant d'erreurs humaines),
- à une automatisation et à des temps étendus pour les actions des opérateurs,
- à une moindre sensibilité aux erreurs humaines grâce à des systèmes d'instrumentation et de contrôle numériques optimisés,
- enfin, à une robustesse accrue de l'enceinte de confinement.

La liste des événements pris en compte dans la conception de base de ce réacteur est celle établie par l'autorité de sûreté américaine (USNRC). Cette liste est complétée par des événements de deux types, ceux dont la probabilité est suffisamment élevée pour qu'ils soient pris en compte et ceux dont le retour d'expérience mondial démontre l'importance de leur prise en compte dans la conception. Dans toutes les analyses de sûreté, c'est l'état d'arrêt sûr du réacteur à long terme qui est pris en considération.

En plus de l'approche déterministe, les événements à basse probabilité avec défaillances multiples sont pris en compte jusqu'à la perte totale des systèmes de sûreté (conception en situations extrêmes). Une analyse probabiliste est utilisée pour définir ces événements et une approche tant déterministe que probabiliste est utilisée pour évaluer les mesures spécifiques disponibles pour la gestion de ces événements.

En conséquence, la probabilité d'accident sévère du réacteur ATMEA1 a été fortement réduite. Par ailleurs, des dispositions novatrices dans sa conception éliminent pratiquement les scénarios pouvant entraîner une défaillance précoce de l'enceinte, ce qui permet de gérer la fusion du cœur et d'éviter des rejets radioactifs importants vers l'extérieur.

La conception du réacteur ATMEA1 intègre une grande autonomie des systèmes de sécurité et permet aux opérateurs de disposer d'un temps de réponse accru. En cas de perte de l'alimentation électrique extérieure, une autonomie d'au moins sept jours est assurée pour chacun des moteurs des sources électriques de secours. La conception du réacteur intègre des options de sûreté du plus haut niveau pour proté-

ger, refroidir et confiner le réacteur dans toutes les situations, y compris en conditions extrêmes.

En matière de protection, un soin particulier a été accordé à celle des systèmes de sûreté à l'intérieur du bâtiment réacteur et des bâtiments de sauvegarde.

Le bâtiment combustible et les bâtiments abritant les systèmes de secours électriques sont protégés contre une large gamme d'agressions externes, y compris :

- les événements sismiques, avec un séisme de dimensionnement standard de 0,3 g pour les séismes de référence,
- les inondations externes, les bâtiments abritant les équipements et systèmes de sûreté sont hermétiques et étanches,
- les explosions, les missiles, les tornades et les feux.

Le réacteur ATMEA1 prend en compte la chute d'un avion militaire ou commercial gros porteur : un tel événement s'il venait à se produire n'entraînerait pas de rejet de matières radioactives excédant les limites radiologiques grâce à :

- l'intégrité structurelle des bâtiments abritant les fonctions de sûreté importantes, à savoir l'enceinte du réacteur, les bâtiments de sauvegarde, les bâtiments de sources électriques de secours et le bâtiment de la piscine de stockage du combustible usé,
- l'impossibilité que le carburant d'avion entre dans le bâtiment réacteur, le bâtiment de sauvegarde, le bâtiment combustible et les bâtiments des sources électriques de secours, prévenant ainsi tout risque de feu ou d'explosion,
- la sûreté de la mise à l'arrêt du réacteur,
- la disponibilité, sur le long terme, du refroidissement de secours du cœur et de l'évacuation de la puissance résiduelle.

Pour le refroidissement, la conception du réacteur ATMEA1 intègre trois voies indépendantes de sûreté active qui sont protégées contre les agressions externes.

Chacune de ces voies englobe principalement :

- le circuit d'injection de sécurité (SIS), qui maintient la recirculation de l'eau de refroidissement du cœur à moyenne pression lors d'une rupture ou d'une brèche de tuyauterie primaire (LOCA), les accumulateurs avancés fournissant l'eau de secours lors des premières secondes du LOCA [Ndlr : accident résultant d'une perte de réfrigérant],
- le circuit d'aspersion de l'enceinte (CSS) et le circuit de refroidissement à l'arrêt (RHRS). Ces circuits assurent le refroidissement normal à l'arrêt ainsi que l'aspersion de l'enceinte permettant de maintenir le bâtiment réacteur dans les conditions limites de sa conception, par exemple en cas de LOCA.

Chaque voie est disposée dans une zone spécifique (une division) séparée des zones ou des divisions abritant les autres trains. Ainsi, chaque train de sûreté est protégé contre la propagation de risques internes, comme, par exemple, le feu, la rupture de tuyauterie haute énergie ou l'inondation.

Le réacteur ATMEA1 dispose également d'une réserve d'eau située en partie basse de l'enceinte qui permet d'alimenter les principaux circuits de sûreté CSS et RHRS et d'assurer le refroidissement du corium, en cas de fusion du cœur.

La piscine de combustible est placée à l'extérieur du bâtiment réacteur, dans un bâtiment dédié, afin de simplifier la manutention du combustible et la manutention des châteaux de plomb lors du fonctionnement.

Le bâtiment combustible est également protégé contre les risques de chute d'avion et d'explosions.

Le refroidissement de la piscine des combustibles est assuré par deux trains redondants. En cas de situation extrême, un troisième train permet de refroidir la piscine contenant des combustibles usés.

Pour le confinement, les systèmes de sûreté et de gestion des accidents graves ont été incorporés dès la conception du réacteur ATMEA1. Ces systèmes visent à :

- prévenir la fusion du cœur à haute pression grâce à la haute fiabilité des systèmes d'évacuation de la puissance résiduelle que complètent des systèmes de protection contre les surpressions primaires,
- assurer la décharge du circuit primaire dans l'enceinte de confinement en cas de perte totale du refroidissement côté secondaire,
- récupérer et refroidir le cœur fondu dans un réceptacle d'étalement recouvert d'un matériau protecteur sacrificiel et possédant un système de refroidissement pour protéger le radier,
- prévenir la déflagration d'hydrogène en réduisant, dès le début, sa concentration dans l'enceinte à l'aide de recombineurs catalytiques passifs,
- contrôler l'augmentation de la pression dans l'enceinte grâce à un système d'évacuation de la chaleur résiduelle dédié (SAHRS) consistant en un circuit d'aspersion et en une recirculation par le récupérateur de corium ;
- enfin, collecter toutes les fuites potentielles et préserver le confinement au moyen d'un espace annulaire.

REMARQUES ET PERSPECTIVES

Le réacteur ATMEA1 intègre les dernières avancées technologiques françaises et japonaises en matière de réacteurs à eau pressurisée. Il dispose par ailleurs de caractéristiques de sûreté et d'exploitation propres qui en font aujourd'hui un réacteur très robuste vis-à-vis d'événements externes, tout en restant compétitif. D'une capacité installée de 1 100 MWe, l'ATMEA1 suscite l'intérêt de pays dont le réseau électrique ne pourrait pas accueillir un réacteur de forte puissance. L'ATMEA1 matérialise l'alliance franco-japonaise en matière de nucléaire civil par l'introduction dans sa

conception d'apports technologiques essentiels de MHI et d'Areva, par l'intégration au niveau de l'offre de l'ensemble de la chaîne logistique d'équipementiers (*Supply Chain*) de MHI et d'Areva, par l'accessibilité et la complémentarité des différentes agences gouvernementales de financement franco-japonaises et par le soutien permanent du gouvernement japonais et du METI (ministère japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie), même après Fukushima. Les perspectives commerciales de l'ATMEA1 sont prometteuses. Plus de trente exploitants de vingt-quatre pays (d'Europe, d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Amérique du Nord et du Moyen-Orient) se sont montrés intéressés par le réacteur ATMEA1. En

Jordanie, l'ATMEA1 a été présélectionné, il fait partie des deux technologies que ce pays est en train d'évaluer (une décision est attendue fin 2012).

Le Vietnam, la Malaisie, le Brésil et le Canada constituent les pistes les plus précises à court ou à moyen terme.

En France, GDF SUEZ s'est porté candidat, en 2010, pour l'étude, la construction et l'exploitation d'un réacteur ATMEA1 dans la vallée du Rhône. En accord avec le CPN de 2011, qui demandait aux industriels de poursuivre l'optimisation de ce réacteur, GDF SUEZ a accompagné ATMEA dans la phase de revue de l'ATMEA1 par l'autorité de sûreté nucléaire française (ASN).