

# Les marchés des îlots conventionnels dans le monde

Marché discret, au sens mathématique de ce terme, avec un volume d'affaires irrégulier d'une année sur l'autre, le marché des îlots conventionnels de centrales nucléaires impose de développer une stratégie particulière pour chaque projet. La diversité des réacteurs proposés (technologie, puissance thermique, caractéristiques thermodynamiques de la vapeur fournie), la variété des sources froides dont il faut arriver à tirer parti (de la mer Baltique à l'océan Indien) et les différences de fréquence des réseaux électriques à alimenter (50 Hz ou 60 Hz) nécessitent le développement de véritables plateformes de solutions. De plus, les exigences de parts de marchés locales dans certains contrats imposent souvent de nouer des partenariats avec des acteurs locaux.

Par **Olivier MANDEMENT, Philippe ANGLARET et Patrick LEDERMANN\***

**L**a diversité de ce marché rappelée, tâchons néanmoins d'en dégager les principales caractéristiques.

---

OÙ CE MARCHÉ EST-IL LOCALISÉ ?  
QUELLE EN EST LA TAILLE ?

Marquée par la signature du contrat de Olkiluoto 3, première commande de centrale neuve en Europe occidentale après plus d'une décennie sans commande, l'année 2003 est généralement considérée comme l'année de la « renaissance » du marché des centrales nucléaires. Depuis cette date, ce sont environ 95 GWe

qui ont été commandés dans le monde (ce chiffre correspondant à la construction de centrales neuves dont le contrat est effectivement entré en vigueur), soit de 10 à 11 GWe par an, en moyenne. Les pays où ces centrales ont été commandées sont (par ordre de puissances décroissantes) : la Chine (> 55 GWe commandés), la Corée du Sud (~10 GWe), la Russie (~8 GWe), les Emirats Arabes Unis (> 5 GWe), les Etats-Unis (5 GWe). L'Europe, quant à elle, ne totalise depuis cette date que deux commandes d'îlots conventionnels, de 1,7 GWe chacun, respectivement en Finlande et en France.

---

\* Alstom.

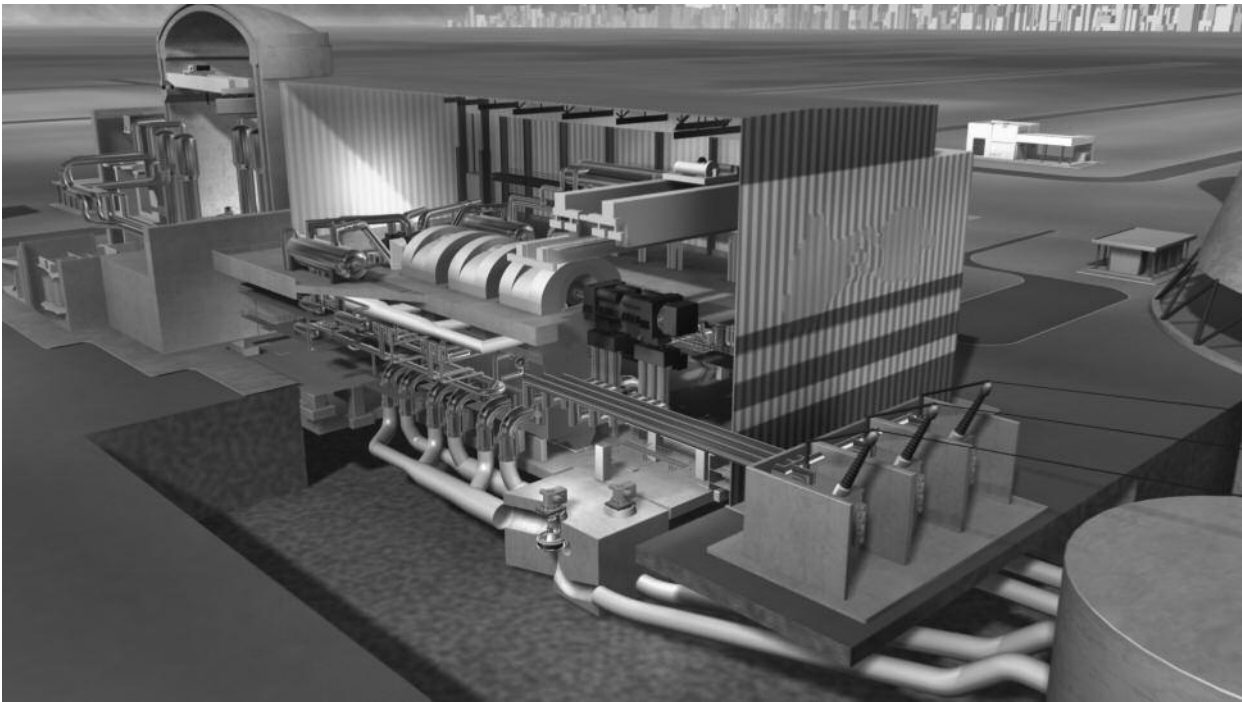


Photo 1 : Îlot conventionnel de centrale nucléaire.

Alors qu'elles étaient plus optimistes, nos prévisions sur la taille du marché mondial pour les dix années à venir, qui ont été revues à la baisse suite à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima en 2011, sont maintenant de l'ordre de 15 GWe par an, en moyenne. L'essentiel de ces nouvelles centrales (environ les deux tiers en termes de GWe) sera commandé par la Chine, l'Inde et la Russie. Alstom reste également attentif à son marché historique en Europe et se positionne sur les développements en cours, notamment au Royaume-Uni où il est envisagé de construire jusqu'à 16 GWe d'origine nucléaire pour remplacer les centrales arrivant en fin de vie, en Finlande où le Parlement a autorisé la construction de deux tranches supplémentaires depuis la commande de Olkiluoto 3, ainsi qu'en République tchèque et en Pologne. Hors Europe, l'Afrique du Sud et le Brésil, qui exploitent déjà deux réacteurs nucléaires chacun (le chantier de Angra 3 au Brésil est toujours en cours), devraient lancer au cours des prochaines années de nouveaux programmes électronucléaires.

#### LES ROUTES D'ACCÈS AU MARCHÉ DES ÎLOTS CONVENTIONNELS

Il faut distinguer deux cas principaux : soit l'électricien, qui est le client final de la centrale, dispose de ses propres compétences en ingénierie nucléaire et en intégration, auquel cas il va passer des commandes en lots séparés de plus ou moins grande taille, puis gérer lui-même les interfaces entre ces

différents lots (îlot nucléaire, îlot conventionnel, génie civil), soit il va commander une centrale « clé en main » à un *consortium* dont le chef de file sera, le plus souvent, le vendeur du réacteur nucléaire.

Le premier cas est illustré par l'approche historique d'EDF pour le développement du parc électronucléaire français. Il s'agit également de l'approche retenue par l'électricien chinois CGNPC (*China Guangdong Nuclear Power Corporation*), qui exploite aujourd'hui 6 GWe d'origine nucléaire et a lancé la construction de 20 GWe supplémentaires. Fondée en 2004, première du genre en Chine, la CNPEC (*China Nuclear Power Engineering Company*) est la branche d'ingénierie nucléaire de la CGNPC. Capitalisant sur les premières expériences accumulées lors de la construction des tranches de Daya Bay (2 x 985 MWe) et de Ling Ao phase I (2 x 990 MWe), la CNPEC a depuis développé ses propres compétences en ingénierie, ainsi qu'en construction et en gestion de grands projets. Cette société est aujourd'hui impliquée dans la construction de nombreuses centrales nucléaires en Chine, notamment Ling Ao phase II (2 x 1080 MWe) récemment mise en service industrielle avec de l'avance sur le planning, Hongyanhe (4 x 1080 MWe), Ningde (4 x 1080 MWe), Yangjiang (6 x 1000 MWe), Fangshengang (2 x 1000 MWe) et Taishan (2 x 1750 MWe). Soixante pour cent des îlots conventionnels de ces centrales de la CGNPC sont équipés de turbines à vapeur, d'alternateurs et de condenseurs de technologies Alstom.

Le second cas est illustré par l'électricien finlandais TVO, qui, en 2003, a passé commande d'une

tranche de type EPR (Olkiluoto 3) sur la base d'un contrat clé en main. Plusieurs appels d'offres en cours sont basés sur une telle approche : l'extension de la centrale existante de Temelin (tranches 3 et 4) en République tchèque, projetée par l'électricien national CEZ, ou encore la construction d'une nouvelle centrale, en Finlande, sur le site de Pyhäjoki, projetée par Fennovoima.

Aux deux cas principaux d'accès au marché décrits ci-dessus, il convient d'en ajouter un troisième, plus original et moins fréquent, dans lequel l'électricien, le client final, n'achète pas la centrale proprement dite, mais simplement le courant qui y est produit, dans le cadre d'un « PPA » (*Power Purchase Agreement*) et le revend ensuite *via* son propre réseau de distribution. Dans ce cas, le groupement qui construit la centrale va aussi en être le propriétaire et l'exploitant, ce qui implique qu'il assume la charge du financement du projet. Ce modèle a été retenu par l'électricien turc TEAS pour la première centrale nucléaire construite en Turquie, sur le site de Akkuyu (4 tranches jumelles de 1200 MWe chacune équipées de réacteurs russes fournis par Rosatom).

Compte tenu des différents schémas contractuels évoqués plus haut, il est nécessaire pour un acteur tel qu'Alstom d'avoir une stratégie commerciale à la fois vis-à-vis des électriciens et des fournisseurs de réacteurs et, éventuellement, vis-à-vis des architectes-ensembliers et des constructeurs locaux, potentiels partenaires d'Alstom.

## DES STRATÉGIES ADAPTÉES À CHAQUE MARCHÉ : PART LOCALE OBLIGATOIRE ET TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Pour avoir accès à certains marchés, notamment dans les pays qui se sont lancés dans un programme électronucléaire avec l'ambition de construire des séries de centrales identiques, il est nécessaire d'être associé à des partenaires locaux et/ou de produire localement. Ainsi, pour couvrir les trois plus importants marchés en termes de GWe (ceux de la Chine, de l'Inde et de la Russie), Alstom a mis en place des stratégies adaptées. En Chine, un accord de licence a été signé avec l'un des trois grands constructeurs chinois, la *Dongfang Electric Company* (DEC), qui fabrique aujourd'hui des turbines à vapeur nucléaires, des alternateurs, des condenseurs et des groupes sècheurs-surchauffeurs (GSS) de technologies Alstom pour équiper les centrales chinoises, d'une puissance de 1 000 à 1 750 MWe. Pour chaque tranche construite en Chine, une répartition des fournitures est mise en place entre Alstom et son licencié DEC. Les technologies d'Alstom sont aujourd'hui bien représentées dans le parc nucléaire chinois en cours de construction (voir la figure ci-dessous). En Inde, c'est un contrat passé dans le cadre d'un *consortium* avec le constructeur indien BHEL (*Bharat Heavy Electricals Ltd.*) qui a été signé en 2011. Il prévoit la fourniture par le *consortium* Alstom-BHEL de turbines, d'alternateurs, de condenseurs et de groupes sècheurs-sur-

## La technologie nucléaire d'Alstom Présence en Chine

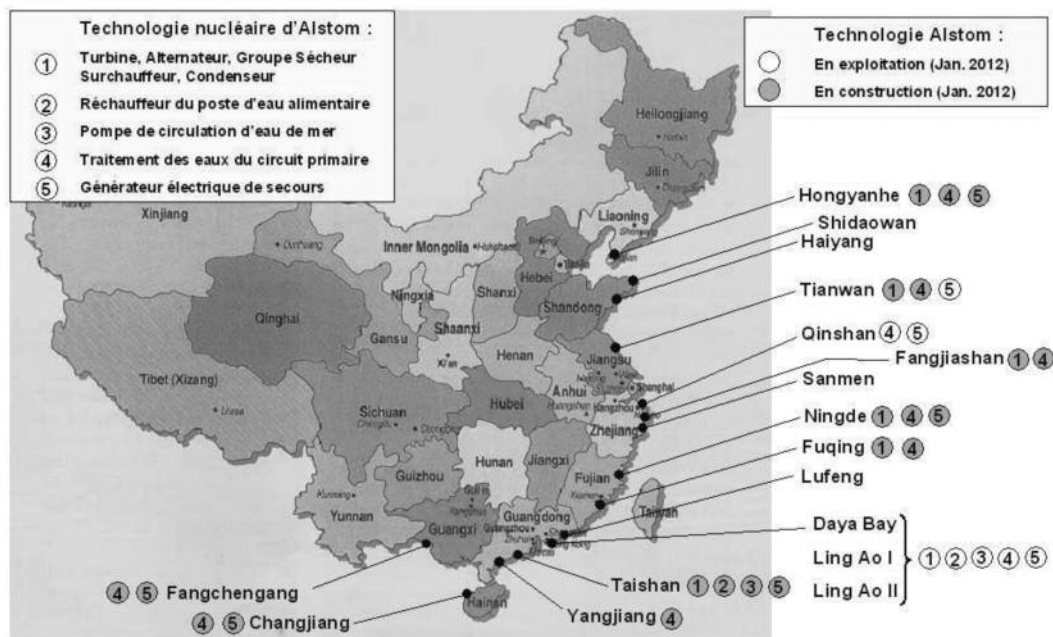


Figure 1 : La technologie nucléaire d'Alstom en Chine.

Réacteur	Fournisseur	Technologie du réacteur			Puissance électrique brute typique (MWe)	Statut	
		Eau légère		Eau lourde		En exploitation	En construction
		Pressurisée	Bouillante	Pressurisée			
EPR	Areva	X			1750		X
ESBWR	GE-Hitachi		X		1700	Non encore vendu	
APWR	MHI	X			1700		X (1)
AB1600	Toshiba		X		1550	Non encore vendu	
APR1400	KEPCO	X			1450		X
ABWR	GE-Hitachi et Toshiba		X		1350	X	
KERENA	Areva		X		1300	Non encore vendu	
AP1000	Westinghouse-Toshiba	X			1250		X
VVER1200	Rosatom	X			1200		X
ATMEA1	Areva-MHI	X			1200	Non encore vendu	
VVER1000	Rosatom	X			1100	X	
CPR1000	CGNPC	X			1100	X	
EC6	SNC-Lavalin			X	750	Non encore vendu	
PHWR700	NPCIL			X	700		X
Réacteur à neutrons rapides							
BN800	Rosatom	Caloporteur : sodium liquide			800		X
FBR500	NPCIL	Caloporteur : sodium liquide			500		X

Tableau 1 : Principaux réacteurs récents, en cours de construction, ou proposés.

chauffeurs pour les tranches 3 et 4 (de 710 MWe chacune) de la centrale de Kakrapar, dans l'Etat du Gujârât, où des réacteurs indiens à eau lourde de type PHWR700 sont en cours de construction par NPCIL (*Nuclear Power Corporation of India Ltd.*). Ce contrat en Inde prépare la mise en place d'une *joint-venture* regroupant Alstom, NPCIL et BHEL. Enfin, en Russie, Alstom a créé en 2007 une société commune avec Atomenergomash, une filiale de Rosatom (le conglomérat russe du nucléaire), dont la finalité est la fourniture d'îlots conventionnels intégrés et optimisés destinés à équiper les réacteurs à eau sous pression produits par Rosatom.

#### LA DIVERSITÉ DES RÉACTEURS PROPOSÉS ET SON IMPACT SUR LES ÎLOTS CONVENTIONNELS

Aujourd'hui, dix constructeurs commercialisent plus de quinze modèles de réacteurs nucléaires. Parmi ceux-ci, cinq sont des sociétés internationales : Areva, Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Westinghouse-Toshiba, GE-Hitachi et SNC-Lavalin, qui a récemment acquis la division réacteur

d'AECL (*Atomic Energy of Canada Ltd.*). Les cinq autres sont des organisations étatiques construisant et exploitant des réacteurs : Rosatom (en Russie), CGNPC et CNNC (en Chine), KEPCO (en Corée du Sud) et NPCIL (en Inde). Pour réussir à l'international, un constructeur de réacteurs a besoin non seulement d'une technologie éprouvée mais aussi du support d'un exploitant de centrale qui pourra lui fournir l'aide nécessaire pour l'exploitation et la maintenance et investir, le cas échéant, dans des projets à l'exportation. Le tableau ci-dessus récapitule, par ordre décroissant des puissances électriques brutes produites aux bornes du groupe turbo-alternateur, les principaux modèles récents de réacteurs en cours de construction (ou proposés par les différents fournisseurs).

Les réacteurs listés (dont le fluide caloporteur est de l'eau légère ou de l'eau lourde) fournissent à la turbine une vapeur humide (titre en eau inférieur à 0,5 %) à des pressions s'échelonnant de 42 à 75 bars (a) et à des températures comprises entre 250 et 290°C, qui sont des valeurs très basses, par rapport

(1) La construction des premiers APWR (Tsuruga 3 et 4 au Japon) est à ce jour incertaine.

à celles des cycles dits fossiles. Les réacteurs à eau lourde (installés principalement au Canada, en Argentine et en Inde) sont ceux dont la pression de vapeur vive est la plus basse. La combinaison du débit massique de vapeur fourni par le réacteur, image de sa puissance thermique, et de la pression de fourniture de cette vapeur détermine le débit volumique que devra accepter la turbine et donc son « ouverture ». Compte tenu de la variété des modèles de réacteurs proposés, une vaste plage d'ouvertures est nécessaire pour pouvoir couvrir complètement le marché des réacteurs.

Dans les réacteurs à eau pressurisée (eau légère ou lourde), la présence de générateurs de vapeur et d'un circuit secondaire séparé du primaire assure à l'îlot conventionnel la livraison d'une vapeur non contaminée. Les spécificités de la turbine tiennent alors aux débits volumiques bien plus importants que dans un cycle fossile (pour produire une puissance électrique donnée, le débit volumique de vapeur nécessaire est environ cinq fois plus élevé dans un cycle nucléaire) et à la présence de gouttelettes d'eau qui obligent à sécher la vapeur après une première détente dans une turbine haute pression. Des règles de conception et des matériaux appropriés doivent être utilisés dans ces turbines pour éviter des phénomènes d'érosion et de corrosion sous tension.

En revanche, dans les réacteurs à eau bouillante, c'est l'eau du circuit primaire elle-même qui entre en ébullition dans la cuve du réacteur ; la vapeur ainsi générée alimente directement la turbine. En conséquence, l'îlot turbine perd son qualificatif de conventionnel et des dispositions techniques particulières doivent être mises en place pour minimiser les radiations et les risques de contamination. Des études de radioprotection sont menées dans l'îlot turbine afin d'y installer des protections adaptées : contrôle d'accès, murs de béton démontables et coffrages destinés à limiter les radiations, télé-opération et télésurveillance accrues des matériels pour éviter les expositions du personnel d'exploitation et de maintenance. Le maître-mot en matière de radioprotection est « ALARA » (*As Low As Reasonably Achievable*). Un soin encore plus particulier est apporté à la sélection des matériaux utilisés dans l'îlot turbine de ce type de centrale : le cobalt est prohibé (pour éviter son entraînement dans la cuve du réacteur), il est fait un emploi accru d'aciers inoxydables à haute teneur en chrome et des traitements de surface spécifiques par dépôt à l'arc sont mis en œuvre pour éviter les phénomènes de dégradation liés au pH plus faible et à la teneur en oxygène dissous plus élevée de la vapeur de ces centrales. Enfin, des mesures d'étanchéité particulières sont utilisées pour éviter les risques de fuite de vapeur dans la salle des machines, notamment aux traversées des corps de turbines par les rotors, aux plans de joints des corps et au niveau des tiges des organes d'admission de la vapeur dans la turbine.

Les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, lorsqu'ils sont associés à un cycle de Rankine, fournissent, quant à eux, une vapeur sèche très surchauffée dont les caractéristiques sont proches d'un cycle thermique fossile classique, avec des pressions de l'ordre de 180 bars (a) et des températures voisines de 500°C, ce qui permet l'utilisation de turbines à vapeur de la gamme de celles équipant des centrales dites fossiles. Conformément aux orientations données par la loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives a lancé en 2010 les études d'avant-projet sommaire du prototype de réacteur nucléaire de quatrième génération dénommé ASTRID (*Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*) auxquelles Alstom participe pour la partie concernant la conception des systèmes de conversion d'énergie. À ce stade, deux systèmes sont en effet envisagés : un cycle de Rankine utilisant une turbine à vapeur d'environ 600 MWe et un cycle de Brayton, avec turbine à gaz, ce qui permet d'éviter l'utilisation d'un échangeur de chaleur sodium liquide/eau. Rappelons que le cycle de Rankine était déjà mis en œuvre dans les centrales françaises à neutrons rapides de Phénix et de Super-Phénix. Ce cycle est également retenu dans les centrales russes et indiennes de ce type en cours de construction (réacteurs BN800 et FBR500, voir le tableau de la page précédente).

---

#### LA VARIÉTÉ DES SOURCES FROIDES ET SON IMPACT SUR LES ÎLOTS CONVENTIONNELS

Machine thermique, la turbine à vapeur nucléaire travaille entre une source chaude (le réacteur) et une source froide (mer, lac, fleuve, atmosphère). Le rendement du cycle dépend pour une partie importante des températures respectives de ces deux sources. Tributaire de la température de la source chaude, le concepteur de l'îlot conventionnel peut en revanche chercher à retirer le maximum de profit de la source froide mise à sa disposition : eau ou atmosphère (*via* des réfrigérants atmosphériques). Une étude d'optimisation technico-économique de la source froide est menée, sur chaque projet, pour déterminer la valeur optimale des paramètres suivants : section d'échappement de la turbine, valeur(s) du vide dans le condenseur (condenseur mono-vide ou multi-vides), pincement et surface d'échange du condenseur, débit d'eau de circulation, nombre de pompes et puissance de pompage.

En Scandinavie, qui dispose d'une excellente source froide avec la mer Baltique, on justifiera facilement dans le condenseur des vides atteignant de l'ordre de 20 à 30 mbars (a), alors qu'en Inde, on obtiendra

plutôt de 70 à 80 mbars (a), avec une circulation d'eau de mer, et de 90 à 100 mbars (a) avec des tours de réfrigération atmosphérique. Pour un réacteur donné, en fonction du site d'installation de la centrale, la valeur du vide au condenseur, et donc le débit volumique de vapeur à l'échappement de la turbine, peut facilement varier du simple au triple. Or, pour avoir un bon rendement aérodynamique, la plage idéale de vitesse de sortie de la vapeur est relativement étroite. Une sortie trop rapide de la vapeur de la turbine, par exemple, reviendrait à perdre l'énergie cinétique correspondante de la vapeur dans le condenseur. Il faut donc être en mesure de proposer une section d'échappement bien adaptée à chaque projet et, pour un type de réacteur donné, cette section est susceptible de varier elle aussi du simple au triple en fonction du site où le réacteur est implanté. Cette aptitude à proposer la « bonne » section d'échappement est un facteur essentiel de succès pour pouvoir offrir aux clients les meilleures performances sur un site donné. Pour arriver à cette fin, le concepteur de turbines peut jouer sur le nombre de modules BP (basse pression), et donc sur le nombre de flux d'échappement, ainsi que sur la longueur de la dernière ailette mobile de la turbine. Le tableau ci-dessous présente les combinaisons d'échappement qu'offre aujourd'hui Alstom pour couvrir ses applications nucléaires de 800 MWe et au-delà.

#### LA PLATE-FORME ARABELLE™ : UNE OFFRE ADAPTÉE POUR LES ÎLOTS CONVENTIONNELS

Pour répondre à la diversité des réacteurs et à la variété des sources froides en proposant des îlots conventionnels bien adaptés à chaque réacteur et à chaque site, Alstom a développé une plateforme de solutions centrées autour de son concept de turbine à vapeur nucléaire, dénommée ARABELLE™. Au-delà d'une puissance comprise entre 800 et 1 000 MWe, les débits volumiques de vapeur sont tels qu'il est préférable de faire tourner le groupe turbine-alternateur à

demi-vitesse (c'est-à-dire à 1 500 tours/minute pour les réseaux à 50 Hz et à 1 800 tours/minute pour les réseaux à 60 Hz) pour limiter les niveaux de contraintes centrifuges subies par les ailettes et améliorer le rendement du cycle. Dans ce cas, l'alternateur entraîné par la turbine possède deux paires de pôles. Pour les centrales de 800 à 1 300 MWe, notre solution d'îlot conventionnel s'organise autour du modèle de turbine ARABELLE 1000, qui comprend un corps combiné HP-MP (haute pression et moyenne pression) suivi de deux ou trois corps BP (basse pression), en fonction du niveau de vide dans le condenseur (voir la figure 2 de la page suivante). De 1 300 à 1 900 MWe, le modèle ARABELLE 1700 est proposé, avec un corps HP-MP plus gros que celui d'ARABELLE 1000 et, cette fois-ci, trois ou quatre corps BP (voir la figure 3 de la page suivante). Pour une fréquence donnée (50 Hz ou 60 Hz), chaque corps BP peut être équipé d'une ailette terminale « courte » ou « longue » permettant d'offrir plus ou moins de section d'échappement à la turbine (voir le tableau ci-dessous). Au total, à partir d'un assez petit nombre de corps, on peut proposer une famille homogène composée de seize turbines couvrant toutes les puissances électriques de 800 à 1 900 MWe, tous les réacteurs dans cette gamme de puissances, qu'ils soient à eau pressurisée ou bouillante, et toutes les sources froides conduisant à des vides de 20 à 100 mbars (a) et ce, pour les deux fréquences de réseaux électriques, à savoir 50 Hz et 60 Hz. De plus, grâce à son corps combiné HP-MP, ARABELLE™ est la seule turbine au monde, dans cette gamme de puissance, à utiliser la détente simple flux de la vapeur, ce qui permet de mettre en œuvre des ailettes plus élancées offrant ainsi un meilleur rendement qu'un corps HP double flux. ARABELLE™ est un acronyme : le A pour Alstom, puis RA, en souvenir de la société Rateau et de son fondateur éponyme Auguste Rateau (né sous le Second Empire et sorti premier de l'École Polytechnique en 1883, il intégra le Corps des Mines, développa des ventilateurs utilisés pour l'aération des galeries d'extraction minière, puis posa les bases de sa théorie des turbomachines - voir *les Annales des Mines*, 13<sup>ème</sup> série, tome 2, 1932), BEL

			Nombre de modules Basse Pression (BP)		
			2 BP	3 BP	4 BP
Fréquence du réseau	Vitesse de rotation	Longueur de la dernière ailette	4 flux d'échappement	6 flux d'échappement	8 flux d'échappement
50 Hz	1 500 tours/mn	1 430 mm	74 m <sup>2</sup>	111 m <sup>2</sup>	148 m <sup>2</sup>
		1 750 mm	104 m <sup>2</sup>	156 m <sup>2</sup>	208 m <sup>2</sup>
60 Hz	1 800 tours/mn	1 190 mm	52 m <sup>2</sup>	78 m <sup>2</sup>	104 m <sup>2</sup>
		1 460 mm	72 m <sup>2</sup>	108 m <sup>2</sup>	144 m <sup>2</sup>

Tableau 2 : Sections d'échappement disponibles pour applications nucléaires à demi-vitesse.

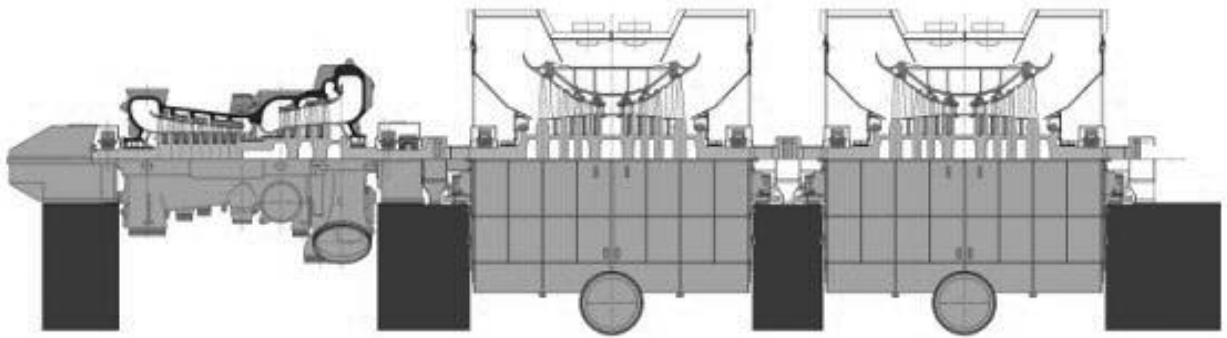


Figure 2 : Coupe longitudinale du modèle ARABELLE 1000 avec 2 corps BP.

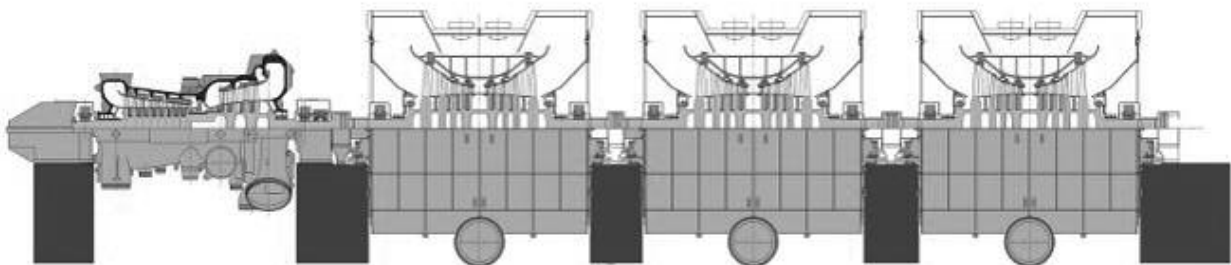


Figure 3 : Coupe longitudinale du modèle ARABELLE 1700 avec 3 corps BP.

pour Belfort, ville d'implantation de l'usine historique du groupe où furent fabriquées dans les années 1990 les quatre premières ARABELLE™ destinées au parc français d'EDF (tranches du palier N4, de 1 550 MWe chacune, installées à Chooz B1 et B2, dans les Ardennes, et à Civaux 1 et 2, dans la Vienne). Enfin, les deux lettres « LE » finales sont soit le début de Levallois-Perret, la ville où se trouve le siège d'Alstom et de son activité nucléaire, soit une manière de féminiser le mot ainsi formé pour en faire un nom de turbine attrayant...

Autour d'ARABELLE™, Alstom a développé des solutions pour tous les principaux composants de l'îlot conventionnel : alternateurs, jeux de barres, disjoncteurs et transformateurs, groupes sécheurs-surchauffeurs, condenseurs, réchauffeurs du poste d'eau et bâches alimentaires, pompes de circulation, pompes d'extraction et pompes alimentaires. Grâce à ses produits et à ses compétences en matière d'intégration et d'optimisation, Alstom est à même de délivrer des îlots conventionnels de centrales nucléaires clés en main.

#### COMPÉTITION, SUCCÈS RÉCENTS, AUTRES MARCHÉS

Sur les 95 GWe commandés depuis 2003, Alstom, avec son licencié chinois Dongfang, a assuré à sa technologie une part de marché de 30 %, ce qui lui vaut la première place. Viennent ensuite Siemens, avec son licencié chinois *Shanghai Electric Corporation* (18 %), puis MHI avec son licencié *Harbin Electric Corporation* (16 %). Ces résultats récents sont en ligne avec la part de marché historique d'Alstom sur ce segment. En effet, sur l'ensemble des centrales nucléaires en exploitation ou en cours de construction dans le monde, 30 % sont équipés d'un groupe turbine-alternateur de technologie Alstom et 40 % possèdent au moins un équipement de technologie Alstom (que ce soit le condenseur, les réchauffeurs du poste d'eau alimentaire ou les installations diesel de secours), ce qui illustre la forte pénétration du groupe sur ce marché.

Sur les quatre réacteurs EPR en cours de construction dans le monde, trois sont équipés d'une turbine ARA-

BELLE 1700 (Flamanville 3, Taishan 1 et 2). Dix-huit ARABELLE 1000 ont été commandées par la Chine depuis 2005 pour équiper ses centrales de type CPR1000 et les deux premières d'entre elles (Ling Ao 3 et 4) ont été mises en service industriel, respectivement en 2010 et en 2011, avec quelques semaines d'avance sur le planning (voir la photo ci-dessous). Les tests de performance de ces deux premières ARABELLE 1000, effectués récemment par le client chinois, ont montré que le niveau de puissance garanti a été dépassé. La technologie à demi-vitesse ARABELLE™, par rapport aux machines à pleine vitesse installées précédemment par Alstom sur le même site (tranches de Daya Bay 1 et 2, Ling Ao 1 et 2 fonctionnant à 3 000 tours/minute), permet de produire 8 % de puissance électrique supplémentaire, soit environ 80 MWe, toutes choses étant égales par ailleurs (mêmes réacteurs CPR1000, même site, même source froide). En Russie, la *joint-venture* créée par Alstom et Atomenergomash (AAEM) a conclu, en février 2012, un contrat pour la fourniture de deux ARABELLE 1000 et des équipements associés destinés à la nouvelle centrale nucléaire de Rosatom à Kaliningrad (deux tranches, dénommées Baltic 1 et 2, équipées de réacteurs de type VVER1200). Ce récent contrat en

Russie vient confirmer le succès commercial d'ARABELLE™.

Le marché des affaires neuves étant par nature discret, il est nécessaire pour un constructeur tel qu'Alstom d'être également actif sur le marché des rénovations et des augmentations de puissance de centrales existantes pour générer un volume d'affaires suffisant et maintenir savoir-faire et compétences dans ses bureaux d'études, ses ateliers de fabrication, ainsi que chez ses sous-traitants. À puissance thermique du réacteur inchangée, l'introduction d'une technologie moderne dans la turbine à vapeur existante – par exemple, par le changement des rotors et de la veine vapeur, avec mise en œuvre de profils d'aubage plus performants et d'étanchéités améliorées – peut permettre d'augmenter la puissance électrique produite par la centrale d'environ 3 à 5 %. D'autre part, lors d'un projet d'augmentation de la puissance thermique d'un réacteur existant (cette augmentation pouvant dépasser les 10 %), de nombreux équipements de l'îlot conventionnel se retrouvent sous-dimensionnés pour les nouvelles conditions d'exploitation, ce qui nécessite soit de les modifier, soit de les remplacer : cela représente un autre marché lié aux îlots conventionnels, sur lequel Alstom est également présent.



ARABELLE 1000 à Ling Ao 3 en Chine.