

Centrale à vapeur Al Taweelah B – de l'électricité et de l'eau pour Abu Dhabi

La centrale à vapeur Al Taweelah B sur la côte d'Abu Dhabi, Emirats Arabes Réunis, possède six turbogroupes à vapeur et six lignes de dessalement d'eau de mer. Ces installations sont destinées à couvrir le besoin urgent d'eau douce et d'énergie électrique de la région. Elles ont été fournies clé en main par ABB Kraftwerke AG, agissant à titre de chef d'un consortium constitué des partenaires SIX Construct JV, Abu Dhabi, Fisia/Italmipianti SpA et ABB SAE Sadelmi, Italie, ainsi que de deux sous-partenaires consortiaux Hartmann & Braun AG et Babcock-Lentjes Kraftwerkstechnik GmbH, Allemagne. Al Taweelah B a une capacité quotidienne de 346 000 m³ d'eau douce. En plus des six turbogroupes à vapeur, ABB a livré le poste de 132 kV, les équipements de la technique de mesure et de régulation et le reste des équipements de la centrale. Les 6 turbines à soutirage et condensation ont une puissance électrique nominale unitaire de 122 MWe ou de 146 MWe uniquement en exploitation de condensation. Après une période d'essai passée avec succès, les 6 unités travaillent actuellement dans leur phase de garantie de 2 ans.

L'abondance de pétrole et de gaz naturel a fait d'Abu Dhabi, Emirats Arabes Réunis (EAR), non seulement un pays riche avec l'un des revenus par tête d'habitant les plus élevés du monde, mais aussi une région, dans laquelle les habitants peuvent vivre confortablement malgré le climat rude. Les raisons de ce succès dans le Golfe sont imputables à l'électricité et à l'eau. Ces deux éléments vitaux sont gagnés par des processus combinés de chaleur et d'électricité réalisés dans des centrales normalement chauffées au gaz et qui travaillent en tandem avec d'énormes installations de dessalement d'eau de mer.

La demande croissante de ces deux ressources avait provoqué un risque de pénurie. Pour cette raison, le *Water and Electricity Department* (WED) a décidé en 1992 de construire un nouveau complexe

de grande envergure constitué d'une centrale énergétique équipée de 6 turbogroupes à vapeur de 122 MW chacun et connectés avec 6 lignes de dessalement. En plus de la production d'environ 17,5 millions de kWh d'électricité par jour, la mission principale de l'installation réside dans la production quotidienne de jusqu'à 346 000 m³ d'eau douce.

Georg Silbermann
Reinhold Koerd
ABB Kraftwerke AG

Les appels d'offres de ce grand projet ont été élaborés avec l'aide de l'entreprise d'ingénieurs belge Tractebel. ABB Kraftwerke AG, Allemagne, a été élu entrepreneur général. ABB a ensuite fondé un consortium principal constitué de SIX Construct JV, Abu Dhabi, de Fisia/Italmipianti SpA et ABB SAE Sadelmi, Italie, ainsi que de Hartmann & Braun AG et de Babcock-Lentjes Kraftwerkstechnik GmbH, les deux en Allemagne, formant un sous-consortium.

L'installation projetée comprend chaque fois 6 générateurs de vapeur, turbogroupes et lignes de dessalement, combinables de manière relativement indépendante, pour assurer les plus grandes flexibilité et disponibilité possibles pour la production d'électricité et d'eau douce. Le montant de la commande atteint environ 1,7 milliard de \$US.

La conception de l'installation était orientée sur une production maximale d'eau douce. Cette priorité était aussi dictée par le fait que de l'eau devait aussi être fournie à l'oasis Al Ain située en plein désert, à environ 140 km. Au cours des ans, une fourniture fiable en électricité et en eaux avait permis à Al Ain de devenir une grande ville dotée de grandes surfaces vertes.

Un chantier plus grand que 500 places de football

Les travaux de construction furent lancés en 1994, sur un périmètre de 4 km² situé directement sur la côte. Perpendiculairement au bâtiment des 6 turbogroupes d'une longueur de 300 m et parallèlement entre eux, on trouve les 6 générateurs de vapeur avec leurs cheminées hautes de 70 m, réalisés pour la plupart en construction extérieure **1**. Les 6 lignes de dessalement, également en disposition parallèle, se trouvent entre les chaudières et la mer. Ces sont les plus grandes de leur genre construites à ce jour. Entre les chaudières 2 et 3 et directement relié à la salle des machines, on trouve le bâtiment entièrement conditionné hébergeant les équipements de contrôle-commande et la station de conduite de la centrale. Des postes de conduite séparés et arrangés en groupes de deux pour la production



La centrale à vapeur d'Al Taweelah B à Abu Dhabi. Derrière la ligne de pompes du bassin d'entrée de l'eau de mer, les 6 lignes de dessalement avec entre deux les bâtiments de commande. La mosquée est visible tout à droite, à la hauteur des 6 générateurs de vapeur.

1

d'énergie et les lignes de dessalement font de cette station de conduite le «centre nerveux» de l'ensemble de l'installation.

Autour du bâtiment principal, on trouve

une station de détente de gaz pour l'alimentation en combustible, la station de prise d'eau de mer, des postes de couplage de 132 et de 400 kV, des citernes de traitement et de stockage d'eau

douce, ainsi que des restaurants, des bureaux et des locaux sociaux. Une grande mosquée dont la halle de prière est orientée exactement vers la Mecque faisait également partie de la fourniture clé en main.

Tableau 1:
Données techniques des 6 turbogroupes à vapeur installés par ABB Kraftwerke AG à Al Taweelah B

<i>Turbines à vapeur</i>		
Nombre		6
Type		soufflage/condensation
Vitesse	tr/min	3000
Vapeur vive		
Conditions	bar/°C	93/535
Quantité max. de vapeur produite pour le dessalement	Gcal/h	170
Puissance électrique max.		
avec dessalement maximal	MW	122
sans dessalement	MW	146.5
<i>Alternateurs</i>		
Nombre		6
Puissance	MVA	175
Refroidissement		par air
Fréquence	Hz	50

De la vapeur pour de l'électricité et de l'eau

Six chaudières à circulation naturelle équipées de 12 brûleurs à gaz frontaux fournissent chacune jusqu'à 650 t/h de vapeur vive à 97 bar et 538 °C. Cette puissance permanente maximale est exigée des chaudières lorsqu'elles travaillent en mode d'unité duplex, c'est-à-dire lorsqu'elles doivent fournir ensemble de la vapeur à deux lignes de dessalement. Dans ce mode d'exploitation, les chaudières ont besoin de 43 530 Nm³/h de gaz naturel d'un pouvoir calorifique de 33 600 kJ/m³ 2. Le fuel (au max. 34 000 kg/h et par chaudière) est fourni en stand-by et enclenché sans retard en cas d'interruption de fourniture de gaz.

Turbogroupes à vapeur

Les turbines ABB à soutirage et condensation à double cylindre sont d'une part conçues pour une production optimisée d'eau douce pendant toute l'année, et d'autre part pour couvrir les fluctuations saisonnières du besoin d'électricité. Les turbines sont dimensionnées pour une puissance de 122 MWe en exploitation de soutirage/condensation, avec une extraction de chaleur de 100 % (198 MJ/s). En exploitation de condensation pure, chacun des 6 turbogroupes produit 146 MWe **3** (Tableau 1). Des systèmes multicanaux modernes de protection et de commande électrohydrauliques, ainsi que des systèmes de contrôle-commande à configuration hiérarchique, avec différentes stations de réduction en by-pass, procurent une fiabilité et une disponibilité élevées des unités qui travaillent en pression constante.

Turbines à vapeur ABB en technologie éprouvée pour la fiabilité de l'exploitation

Chaque groupe de turbines à vapeur est constitué d'une turbine haute pression (HP) et d'une section combinée à moyenne pression et basse pression (MP/BP). La vapeur vive (156,2 kg/s) s'écoule sous une pression de 93 bar et une température de 535 °C vers la turbine HP à un flux, avec un étage de vitesse et un aubage de réaction. Trois soutirages non réglés dans la partie HP fournissent la vapeur pour le préchauffeur d'alimentation HP et le réservoir d'alimentation. Au soutirage réglé (2,5 bar), la plus grande partie de la vapeur d'échappement HP (89,6 kg/s) s'écoule vers l'installation de dessalement d'eau de mer. Une petite partie de la vapeur s'écoule vers le préchauffeur d'alimentation BP 2. 16,3 kg/s de vapeur s'écoulent par deux conduites transversales (supérieure et inférieure) vers la turbine MP/BP à un flux. Un autre flux partiel est soutiré pour le préchauffeur BP 1, tandis que le reste de la vapeur est condensé après son expansion à 0.072 bar dans un condenseur refroidi à l'eau de mer (35 °C).



Conduite d'alimentation de gaz vers l'un des 6 générateurs de vapeur de la centrale énergétique Al Taweelah B

2

Turbine haute pression

La turbine HP à un flux est une construction hautement robuste d'une conception propre à assurer une fiabilité maximale. Le bâti à une enveloppe symétrique axialement avec un support d'aubage subdivisé horizontalement est maintenu par des boulons d'expansion. Cette conception minimise les sollicitations thermiques qui se présentent aux démarrages, aux mises hors service et lors de modifications de charge. En raison des différentes pressions de soutirage, on a choisi des supports d'aubages fixes coulés. Ces sup-

ports sont également subdivisés horizontalement le long de l'axe de la turbine et reliés au bâti de la turbine par des boulons d'expansion. La poussée axiale de l'aubage mobile est absorbée par un piston d'équilibrage étagé portant des joints à labyrinthe pour empêcher l'échappement de vapeur. Les arbres des turbines HP sont formés de pièces forgées uniques, avec un dispositif d'accouplement intégré. Les aubes mobiles sont également en acier forgé (pour le piétement en T, l'aube et la bande de couverture).

Turbines MP/BP

Les turbines MP/BP combinées sont également à un flux. Le cylindre extérieur de la partie MP est en acier fondu et celui de la partie BP est une construction soudée, avec deux supports d'aubage fixe suspendus **4**. Selon le mode d'exploitation du turbogroupe, la vapeur d'échappement HP s'écoule à travers la conduite transversale supérieure pour pénétrer dans la turbine MP/BP frontalement dans le premier étage de l'aubage et à travers la conduite transversale inférieure pour atteindre le troisième étage de la turbine combinée. Le rotor de la turbine BP possède également un piston d'équilibrage pour absorber la poussée axiale et des joints à labyrinthe pour empêcher l'échappement de vapeur. Au contraire de l'arbre de la turbine HP forgé d'une seule pièce, les arbres des turbines BP sont formés de trois disques forgés et soudés mutuellement avec des pièces d'accouplement intégrées.

Paliers et lubrification

Le point fixe du train d'arbres du turbogroupe est le palier de butée et radial se

trouvant entre les deux sections de turbines. Le rotor HP se dilate en direction du palier radial avant et le rotor BP en direction de l'alternateur. Cette construction du turbogroupe minimise la dilatation axiale entre les aubages mobiles et fixes.

L'application généralisée du principe du «palier unique» assure des charges de paliers clairement définies sur toute la gamme d'exploitation et sous toutes les conditions de charge. Avec cette configuration, les rotors du turbogroupe reposent sur le palier de turbine avant, sur le palier de butée et axial combiné entre les deux sections de turbines et sur les deux paliers de l'alternateur.

La pompe à huile principale est entraînée par l'arbre de la turbine. Elle est disposée dans le palier avant et lubrifie le turbogroupe en exploitation normale. Le dispositif de rotation d'arbre automatique monté sur le palier avant travaille avec le système de lubrification haute pression des paliers pour assurer une rotation permanente des arbres avant et après l'exploitation en charge.

Flexibilité élevée du dessalement et de la production d'électricité

Chacune des unités de l'installation, formée d'un générateur de vapeur, d'un turbogroupe et d'une ligne de dessalement, peut être exploitée en trois modes différents:

- Priorité identique de la production d'électricité et d'eau douce
- Production unique d'électricité (exploitation à condensation)
- Production unique d'eau douce

En plus de ces deux possibilités, deux unités quelconques peuvent être interconnectées, l'une d'elles produisant de l'électricité et desservant deux unités de dessalement, et l'autre produisant de l'électricité à sa puissance maximale. Toutes les variantes sont conçues pour répondre aussi économiquement que possible à la demande, avec en même temps une fiabilité élevée. Sous des températures de 45 °C à l'ombre et pouvant atteindre parfois 50 °C, le maintien de l'exploitation des installations de conditionnement d'air et la marche des pompes à eau sont tout aussi importants que la fiabilité des alimentations en eau douce. La fiabi-

Vue de la salle des machines longue d'environ 300 m de la centrale Al Taweelah B, avec les 6 turbogroupes entièrement carénés

3

lité acquiert une importance encore accrue, si on tient compte du fait que chaque émirat des EAR doit être capable de répondre à son propre besoin d'électricité en exploitation en îlot. Actuellement, il n'existe en effet aucun réseau de distribution qui couvre tous les émirats.

Technique de contrôle-commande pour une exploitation entièrement automatique

Le système de contrôle-commande doit correspondre au concept de l'exploitation flexible. Projeté par ABB et réalisé par Hartmann & Braun, Allemagne, le système choisi est responsable des démarrages et des mises hors service de l'installation Al Taweelah B sous toutes les variantes d'exploitation. Ce système comprend des systèmes séparés pour chacune des 6 unités de l'installation. Le niveau supérieur du concept d'automatisation hiérarchique à 5 niveaux, est toujours le «coordinateur d'unité». Au niveau immédiatement en dessous, on trouve les coordinateurs du générateur de vapeur, du turbogroupe, des équipements de dessalement, des auxiliaires et de divers entraînements. En dessous, on trouve les groupes de fonctions et de sous-fonctions et les commandes des différents entraînements au niveau le plus bas.

Dans la centrale Al Taweelah B, Hartmann & Braun a installé le système de contrôle-commande Contronic. Ce système sert à gérer l'ensemble de l'installation à partir d'un seul poste de conduite central.

Des affichages vidéo fournissent la vue d'ensemble des processus de l'installation. Plus de 1100 circuits de commande et de signalisation de perturbations, ainsi que plus de 4200 entraînements doivent être commandés et surveillés, avec non moins de 10 000 messages à gérer en cours d'exploitation.

Démarrage par bouton-poussoir

La conception du logiciel du système de contrôle-commande permet de démarrer toute l'installation par le simple actionnement d'un bouton-poussoir, ce qui provo-



Travaux d'assemblage de l'une des 6 turbines à vapeur. Le cylindre extérieur supérieur de la turbine basse pression est suspendu à la grue. Le dernier étage de l'aubage de cette turbine est visible au premier plan. 4

que le démarrage dans la séquence correcte des générateurs de vapeur, des turbines et des lignes de dessalement. Le groupe fonctionnel «exploitation par un bouton-poussoir» surveille chaque étape individuelle et enclenche des systèmes de backup en fonction des besoins. Comme déjà mentionné, chaque unité peut être exploitée séparément, avec une ligne de dessalement additionnelle. Cela implique l'interconnexion des unités dans l'ordre 1 + 2, 3 + 4 et 5 + 6. Des programmes pour tous les modes d'exploitation sont disponibles dans les coordinateurs.

Exemple de séquence de processus

Admettons qu'à partir d'une exploitation normale, les unités 1 et 2 doivent être interconnectées. Dans l'unité 1, le turbogroupe doit passer en exploitation de soutirage et fournir de la vapeur à la ligne de dessalement correspondante. Par contre, l'unité 2 doit produire uniquement de l'eau douce.

Après le préchauffage du collecteur de vapeur vive par l'ouverture partielle des vannes d'arrêt, les vannes d'arrêt d'injection du collecteur sont également ouvertes.

A ce moment, le coordinateur relie les sorties de vapeur vive des chaudières 1 et 2. La production de vapeur de la chaudière 2 est diminuée en réduisant progressivement l'alimentation en combustible, en maintenant constante la pression de la vapeur.

Pour éviter que les deux chaudières travaillent à la même pression, la sortie du régulateur maître de la chaudière 2 est «gelé» par la surveillance permanente de la différence de pression, tandis que la pression de la vapeur vive de la chaudière 1 est commandée par son régulateur maître. Par suite de la réduction de la production de vapeur du générateur de vapeur 2, la pression de la vapeur vive à la sortie de la chaudière et dans le collecteur de vapeur vive diminue. Parallèlement, le régulateur maître de la chaudière 1 accroît l'alimentation en fuel, pour assurer que les conditions de vapeur restent constamment aux valeurs de consigne.

La production de vapeur de la chaudière 2 diminue au niveau minimal de 130 t/h. En dessous, la chaudière ne peut plus être réglée, étant donné que les vannes de commande du combustible sont fermées et que la combustion ne pourrait être réglée que par les vannes d'alimentation de démarrage.



La centrale énergétique à vapeur Al Taweelah B en pleine exploitation commerciale

5

La quantité minimale de vapeur vive de 130 t/h encore fournie par la chaudière 2 à la ligne de dessalement 2 ne peut être fournie immédiatement par la chaudière 1. Pour cette raison, la vanne de by-pass de l'unité 2 s'ouvre progressivement – pour autant que la turbine puisse être exploitée en mode de condensation – jusqu'à ce que le débit de vapeur de la chaudière 2 corresponde au débit de vapeur à travers le by-pass de la turbine. Si cela n'est pas possible, la vanne de démarrage de l'unité 2 est ouverte progressivement à 60%, pour assurer que la vapeur produite par la chaudière 2 ne soit plus alimentée à la ligne de dessalement 2 avant la fermeture de la vanne d'arrêt 'Vapeur vive à la ligne de dessalement 2'. A présent, cette dernière est alimentée en vapeur provenant de la chaudière 1.

Les chaudières qui alimentent de la vapeur aux installations de dessalement reçoivent le condensat produit dans leurs évaporateurs. Dès que les générateurs de vapeur 1 et 2 sont interconnectés du côté vapeur, les vannes d'arrêt du collecteur de condensat sont ouvertes. Une fonction de contrôle de niveau intégrée dans les

vannes d'arrêt garantit le niveau correct dans chacune de bâches d'eau d'alimentation. Un verrouillage mutuel empêche que les deux vannes soient fermées en même temps. Le système de contrôle-commande assure qu'en exploitation combinée de deux blocs, les deux bâches d'eau d'alimentation aient le même niveau pour des pressions identiques.

L'expérience en gestion de projets est la condition préalable de la construction d'installations clé en main

Quelques faits et quelques chiffres peuvent donner une idée de la dimension et de la complexité d'un projet de ce genre, ainsi que des exigences posées à l'équipe de gestion. Citons tout d'abord l'extension physique de l'installation, avec ses 6 générateurs de vapeur et ses 6 lignes de dessalement d'eau de mer. Les partenaires du consortium avec leur propre organisation sur site durent être coordonnés. Jusqu'à 10 000 personnes ont travaillé en même temps sur le terrain. Il n'a pas seulement été nécessaire de prendre soin de

leur hébergement, mais aussi de leur restauration conforme à leurs religions et à leurs habitudes.

22 000 dessins et documents ont dû être élaborés uniquement pour la planification des travaux de construction. Chaque document individuel devait subir une procédure d'approbation définie exactement et être approuvé par un «ok» commun de WED et de l'ingénieur-conseil. Tous les formats, annotations, symboles et systèmes de classification devaient être compatibles, étant donné que les documents étaient élaborés dans des endroits aussi éloignés que Milan, Bruxelles, Mannheim et Abu Dhabi.

Afin d'obtenir aussi rapidement que possible l'approbation générale de WED, tous les membres du consortium furent invités à soumettre immédiatement après sa fondation les délais de leurs livraisons. Cela a aussi permis de fixer des interfaces claires et sans ambiguïtés. Là-dessus, ABB, en sa qualité d'entrepreneur général et en collaboration avec WED, a pu procéder à la planification, en faisant appel aux partenaires consortiaux au gré des besoins. Plusieurs centaines de pro-

tocoles de discussions et quelque 1500 décisions, contresignées par le client et son ingénieur-conseil furent nécessaires avant que le layout ait pu être approuvé et que les commandes puissent être octroyées aux sous-traitants.

Toutes les instances participantes ont commencé leur planification de détail sur la base de ce concept de planification. Des listes de documentation furent élaborées pour chaque sous-système, en fixant exactement qui doit élaborer quel document, ce qu'il doit contenir et quand il doit être remis avec quelle signature à l'ingénieur-conseil. Finalement, il s'est agi d'environ 15 000 documents.

Planification des délais et rapports sur l'avancement des travaux

D'entente entre WED et ABB, des rapports mensuels sur l'avancement des travaux sur le chantier ont dû être élaborés. Ces rapports devaient être soumis à WEB, à l'ingénieur-conseil et à tous les partenaires consortiaux. Des rapports hebdomadaires et prévisionnels émanant de la direction du chantier ont servi à compléter les rapports mensuels en détectant des violations de délais, respectivement en avertissant au sujet de leur risque de dépassement.

Les plans chronologiques élaborés par chacun des partenaires consortiaux furent coordonnés par ABB pour constituer un «plan chronologique directeur». Ce plan contenait quelque 400 séquences de travail, les «jalons» de l'avance des travaux sur site, ainsi que les travaux de montage les plus critiques du point de vue des délais. La comparaison entre les délais de consigne et les délais effectifs était possible en tout temps. Un second plan chronologique plus détaillé décrivait environ 3500 activités individuelles, y compris les études préalables, la fabrication, les dates de livraison, les montages et les données de réception. Chaque partenaire consorcial était également responsable de l'élaboration et de la surveillance de son propre plan chronologique avec ses sous-traitants.

Assurance qualité

Des normes de qualité sévères et obligatoirement valables pour tous les partenaires consortiaux ont été spécifiées pour le projet Al Taweelah B. Des programmes d'inspection et d'essai, avec les plans chronologiques correspondants, ont formé une base solide pour le consortium et ont permis à WED de vérifier les composants et les matériels avant qu'ils quittent les ateliers des différents fabricants. Les composants et systèmes furent validés après l'obtention de certificats d'inspection signés par l'ingénieur-conseil. Au total, avec tous ses rapports d'inspection et certificats, la documentation de l'assurance qualité a rempli plus de 2500 classeurs.

Montage et mise en service

Pour un projet de la grandeur d'Al Taweelah B, le respect méticuleux des délais de livraison et de montage est décisif. Des retards survenus sur la livraison de certains composants provoquent automatiquement des décalages de l'ensemble du projet. Si des activités des plans de base le long du chemin critique sont retardées, le chef du projet doit intervenir immédiatement et appliquer des contre-mesures. Par exemple, il est possible que certains composants doivent être transportés par avion plutôt que par mer, comme prévu à l'origine pour économiser des frais, même si cela devait signifier l'affrètement spécial d'un avion gros porteur. En relation avec l'ensemble du projet et les peines conventionnelles éventuelles, de telles décisions représentent normalement l'option la plus économique.

Des ingénieurs de mise en service expérimentés se sont occupés de la mise en service des différents blocs de la centrale, des composants et des systèmes individuels. Des spécialistes qui connaissent les problèmes qui peuvent se poser et qui savent où ils doivent être localisés sont capables de prendre rapidement des décisions et d'improviser en cas de besoin. Sur le chantier d'Al Taweelah B, où des salariés de 40 nations différentes étaient engagés, leur connaissance du travail des équipes de montage représentait un grand avantage.

Disponibilité et périodes de garantie

L'exploitation d'essai du premier bloc de la centrale effectuée avec succès en juin 1996 fut suivie de l'exploitation d'essai des cinq autres blocs à des intervalles de un à deux mois.

Depuis lors, l'installation produit de l'électricité et de l'eau douce avec une fiabilité élevée **5**. Le besoin d'électricité a atteint la capacité de dimensionnement pendant les mois d'été. Jusqu'à la fin juillet 1998, ce besoin s'est élevé à 7,8 millions de MWh.

La production d'eau douce s'est installée pendant presque toute l'année à la limite supérieure de la capacité de l'installation. Les seules limites proviennent des révisions convenues contractuellement et de la capacité de transport du réseau de distribution. Jusqu'à la fin juillet 1998, la production total d'eau douce avait atteint 174 mio. de m³.

Les 6 blocs de la centrale et toutes les installations auxiliaires travaillent à l'entière satisfaction du propriétaire. WEB a accordé tous les certificats de réception provisoire pour l'installation Al Taweelah B. Celle-ci travaille actuellement sous garantie.

Adresse des auteurs

Georg Silbermann
Reinhold Koerdt
ABB Kraftwerke AG
Case postale 100 315
D-68128 Mannheim
Allemagne
Téléfax: +49 621 381 3838
E-mail:
georg.silbermann@dekwe.mail.abb.com
reinhold.koerdt@dekwe.mail.abb.com