

# Centrales à cycle combiné compactes de grandeur moyenne pour le couplage chaleur-électricité

**Les centrales à cycle combiné atteignent aujourd'hui des rendements compris entre 50 et 58% et une utilisation du combustible de presque 90% en cas de production combinée de chaleur et d'électricité. En outre, elles se distinguent par des frais d'investissement bas et une durée de construction courte. Ces excellentes caractéristiques rendent les installations à cycle combiné de grandeur moyenne très intéressantes pour la fourniture décentralisée de courant et de chaleur. Le composant central de ces installations est formé de la turbine à gaz GT10, une turbine à gaz industrielle robuste et légère, d'une puissance de 25 MW. Au cours des dernières années, cette turbine s'est avancée à la pointe du marché dans la gamme des puissances moyennes.**

**D**epuis la construction de la première centrale à cycle combiné du monde par ABB en 1956, l'histoire de cette technologie est marquée par le développement de turbines à gaz de plus en plus grandes qui admettent des températures de combustion constamment plus élevées pour accroître le rendement. Entre-temps, les centrales à cycle combiné atteignent des rendements compris entre 50 et 58%. Pour les prochaines années, un rendement de 60% n'est nullement impossible.

Mais même avec un rendement de 58%, 42% de l'énergie thermique sont gaspillés. Cette énergie est contenue dans la vapeur d'échappement. Pourtant, si on utilise cette vapeur pour la production de vapeur de processus destinée à des installations industrielles, ou de vapeur, resp. d'eau chaude pour des réseaux de chauffage à distance, on peut atteindre une utilisation du combustible d'env. 90%. Un exemple d'une telle possibilité d'application est donné par la centrale à cycle combiné avec couplage chaleur-électricité construite par ABB pour les services industriels de la ville d'Ångelholm

en Suède. En exploitation de chauffage, cette centrale atteint une utilisation du combustible de 87%. En cas de production unique d'électricité, cette installation de grandeur moyenne travaillerait avec un rendement net de 50% **1**.

Tandis que les centrales à cycle combiné avec couplage chaleur-électricité utilisent l'énergie contenue dans le combustible nettement mieux qu'une installation utilisée uniquement pour la production de courant, l'avantage de rendement d'une grande centrale à cycle combiné est relativement modeste par rapport à une installation de grandeur moyenne. Etant donné que la chaleur ne peut pas être transportée sur de grandes distances, il est souvent plus économique de construire plusieurs petites centrales à cycle combiné à proximité des consommateurs de chaleur,

**Bo Svensson**  
ABB STAL AB

en lieu et place d'une grande installation centrale, telle qu'elle serait judicieuse pour la production unique de courant électrique **2** [1].

Il s'agissait là d'un aspect important lors de l'adaptation de cette technologie, dont on admettait autrefois qu'elle convenait essentiellement à de grandes turbines à gaz et à vapeur. Au cours des dix dernières années, l'utilisation de centrales à cycle combiné de grandeur moyenne de la gamme de puissance de 20 à 50 MW a pourtant pris un très grand essor.

## Production décentralisée d'énergie

La production combinée de chaleur et d'électricité n'est pourtant pas la seule raison de l'utilisation accrue de petites centrales à cycle combiné. Un rôle éminent est au contraire joué par la libéralisation actuelle du secteur de l'énergie. Celle-ci a créé de nouvelles possibilités pour la production décentralisée privée de courant électrique.

La libéralisation a permis aux grands consommateurs d'électricité industrielle de réaliser des économies de coûts considérables par la construction de centrales à cycle combiné à couplage chaleur-électricité, ou uniquement pour la production d'électricité. Pour les secteurs industriels à grand besoin de chaleur, tels que les industries papetières, pétrochimiques et chimiques, des centrales de chauffage propres sont avantageuses. Même dans les cas où le besoin de chaleur est supérieur au besoin de courant, il est indiqué de considérer une capacité de production d'électricité relativement grande, vu qu'on peut raccourcir sensiblement la durée d'amortissement avec les recettes de l'énergie électrique excédentaire.

ABB a construit des centrales de chauffage pour des raffineries de pétrole du monde entier. Dans la centrale d'une raffinerie à Corinthe, Grèce, les gaz d'échappement s'utilisent par exemple pour produire de la vapeur de processus et de l'énergie électrique. L'énergie électrique excédentaire y est alimentée dans le réseau public **3**.

Les conditions créées par les nouvelles réglementations légales ont provoqué une profonde modification structurelle de l'économie électrique. C'est ainsi que des entreprises autrefois actives uniquement à



Centrale à cycle combiné GT10 à Ängelholm, Suède

1

titre de distributeurs de courant électrique, dont en particulier les services industriels citadins, se mettent de plus en plus souvent à produire elles-mêmes du courant dans des installations relativement petites.

Dans la ville suédoise de Linköping, l'entreprise d'électricité publique *Tekniska Verken i Linköping AB* a transformé récemment la centrale de chauffage de Gärsstad chauffée avec des ordures ménagères en une centrale à cycle combiné avec couplage chaleur-électricité 4. Lorsque l'installation avait été construite au début des années 80 pour les *Tekniska Verken*, l'intérêt économique de la production propre d'électricité n'était que faible, de sorte qu'on avait renoncé à l'implantation d'une turbine à vapeur. Après l'installation d'une turbine à gaz et d'une turbine à vapeur, la puissance thermique de l'installation a passé de 73 à 83 MW et on dispose en complément d'une puissance électrique de 49 MW. En raison du prix actuellement élevé de l'électricité en Suède, ce rééquipement s'amortit rapidement.

Les grandes centrales ont aussi développé de nouvelles stratégies, afin de rester concurrentielles sous ces nouvelles

conditions. Certaines entreprises d'électricité sont devenues des prestataires de service dans le secteur de l'énergie. C'est ainsi que l'entreprise d'électricité néerlandaise *PNEM* a fait construire récemment par ABB trois centrales à cycle combiné pour la production combinée de chaleur et d'électricité 5. Par des contrats de longue durée, ces centrales alimentent en chaleur de processus la brasserie Heine-

ken à Hertogenbosch, une usine Philip Morris à Bergen-op-Zoom et une usine d'engrais artificiel à Helmond.

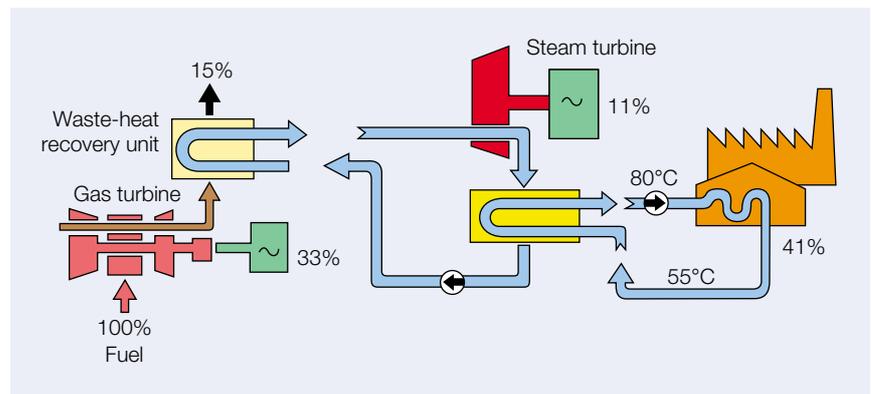
En 1996, ABB a remis à la société *GasEdon Emmen*, une entreprise communautaire des sociétés néerlandaises *Gasunie* et *Edon*, une centrale à cycle combiné avec couplage chaleur-électricité pour sa centrale Erica et une autre pour sa centrale Klazienaveen. La chaleur alimente des serres horticoles. L'exploitation économique de telles installations présume la proximité de grands clients preneurs de chaleur, resp. de vapeur de processus.

Un autre aspect important réside dans l'intérêt croissant pour l'alimentation décentralisée en énergie, spécialement sur le marché libéralisé des Etats-Unis. L'avantage principal provient du fait que les grands investissements pour le transport de l'énergie sont supprimés et que les pertes de transport sont réduites. Même sans couplage chaleur-électricité, les centrales à cycle combiné de grandeur moyenne offrent des avantages aux entreprises d'électricité. Les frais de construction sont relativement bas et les centrales admettent une exploitation très flexible. Elles peuvent être exploitées avec différents combustibles et se distinguent par des temps de mise en service courts.

La tendance vers la production décentralisée d'électricité avec couplage chaleur-électricité a conduit à une demande croissante en faveur de centrales à cycle combiné de grandeur moyenne. On peut prévoir que par la poursuite du développement de la technologie et du marché,

Concept d'une centrale à cycle combiné avec production combinée de chaleur et d'électricité

2





**Centrale avec production combinée de chaleur et d'électricité dans une raffinerie de Corinthe, Grèce, équipée de deux turbogroupes à gaz GT35**

d'autres possibilités d'application se présenteront, par exemple sur des îles ou de grandes plates-formes offshore, ainsi que sur des navires de croisière et des navires marchands à entraînement principal électrique.

**La turbine à gaz GT10**

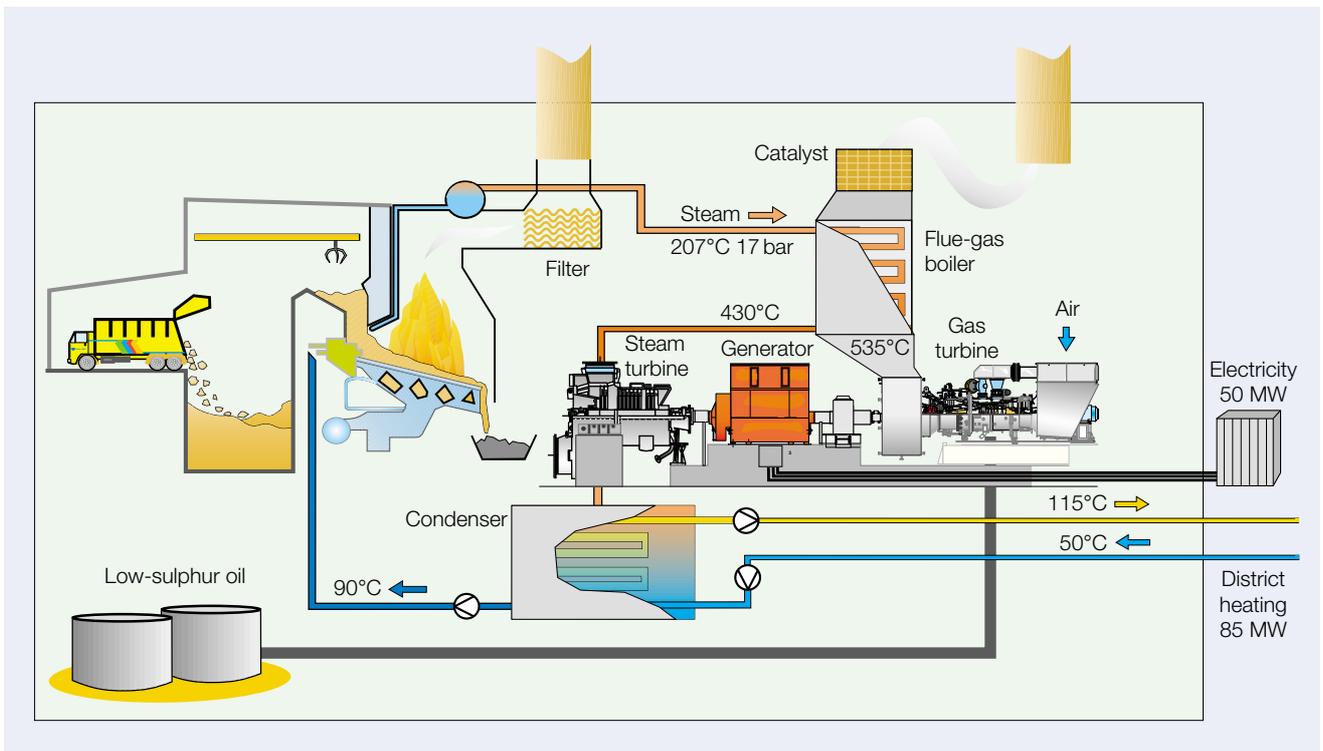
Toutes les centrales à cycle combiné avec couplage chaleur-électricité mentionnées ci-dessus possèdent une turbine à gaz GT10 comme pièce maîtresse. Au cours des dernières années, cette turbine s'est avancée au rang de leader du marché. La GT10 est une turbine à gaz industrielle, légère et robuste, d'une puissance de 25 MW et d'un rendement de 34% en circuit ouvert. En exploitation combinée, le rendement se situe un peu au-dessus de 50%. Elle utilise le système de brûleurs Low-NO<sub>x</sub> travaillant à sec développé par ABB. Ces brûleurs fournissent 25 ppm en vol. de NO<sub>x</sub> à 15% de O<sub>2</sub>, ainsi que de faibles émissions de CO et d'hydrocarbures imbrûlés.

A cause de son exécution robuste, la turbine GT10 convient à des durées de service permanentes prolongées. Grâce

3

**Représentation schématique de la centrale de chauffage Gärstad à Linköping, Suède. Elle montre l'intégration d'une installation à cycle combiné équipée d'une turbine à gaz GT10 dans l'installation d'incinération d'ordures ménagères.**

4



aux grands intervalles de maintenance et à la configuration modulaire qui simplifie les travaux d'entretien sur site, la fiabilité est très élevée. A titre d'exemple, on peut remplacer la chambre de combustion sous forme de module, de sorte que les poids à soulever lors des travaux de maintenance restent faibles **6**.

**Rentabilité élevée**

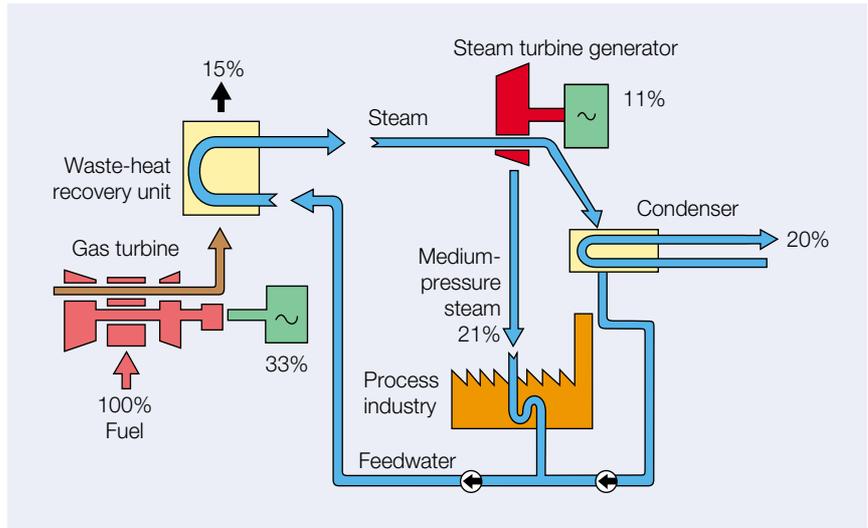
Un problème typique pour les petites installations réside dans les coûts relativement élevés par unité de puissance. Pour rendre les centrales à cycle combiné de grandeur moyenne aussi économiques que possible pour leurs exploitants, ABB STAL a développé une série de solutions techniques intéressantes.

Les procédés de fabrication et de montage ont été rationalisés, afin d'obtenir des délais de livraison aussi courts que possible et des frais de mise en service restreints. C'est ainsi que la centrale de chauffage de la ville d'Ångelholm mentionnée fut mise en service commercialement déjà 15 mois après la passation de la commande. De nombreux composants utilisés dans les centrales à cycle combiné d'ABB sont normalisés ou exécutés sous forme de modules, de manière à assurer une disponibilité élevée et des frais bas. Il est évident que les besoins de chaque client, de chaque lieu d'implantation et de chaque cas d'application sont différents, si bien que les installations doivent être adaptées aux conditions spécifiques. De manière générale, de petites centrales s'adaptent plus facilement aux différentes applications que les grandes.

Lors de la planification de centrales à cycle combiné, on doit tenir compte du fait qu'en de nombreux endroits, on ne dispose que de peu de place. Dans quelques cas, on doit loger les installations dans des bâtiments existants, afin de réduire les frais de construction. Les efforts en vue de réduire la surface au sol requise ont abouti à différentes solutions, par ex. le concept de la disposition à une ligne d'arbres **7**.

**Dispositions à une et à plusieurs lignes d'arbres**

Lors de l'optimisation des installations combinées GT10, ABB STAL a pu faire appel aux expériences gagnées avec les



**Concept d'une centrale à cycle combiné GT10 avec couplage chaleur-électricité, telle qu'elle est exploitée par PNEM aux Pays-Bas.**

turbogroupes à vapeur VAX (turbines axiales avec engrenage) en configuration à une ligne d'arbres. Dans ce cas, les turbines à vapeur haute pression et basse pression entraînent un alternateur commun sur chacune de ses fusées. Etant

donné que normalement la turbine HP tourne à une vitesse plus élevée que la turbine BP, on place un engrenage entre la turbine HP et l'alternateur.

Dans une installation combinée à configuration à une seule ligne d'arbres, la tur-

**Montage d'une chambre de combustion GT10**





**Une turbine à gaz GT10 est hissée dans un bâtiment existant sur le terrain du Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.), à Boston, USA** **7**

bine à gaz et la turbine à vapeur se partagent un alternateur entraîné sur ses deux côtés **8**. Cette solution n'est pas inhabituelle, mais n'était pas usuelle jusqu'ici pour les petites installations **9**.

Généralement, la vitesse de rotation de la turbine à gaz doit être ramenée à celle de l'alternateur. Des pertes d'env. 1 % se présentent à vrai dire, mais celles-ci sont plus que compensées, parce qu'une turbine de plus petit diamètre provoque moins de pertes, de sorte que le rendement global augmente.

Chez ABB STAL, la fabrication d'engrenages pour navires et entraînements de machines et la construction de centrales peuvent faire état d'une longue tradition. Dans les installations à cycle combiné typiques en disposition à une seule ligne d'arbres, on utilise des carters d'engrenage relativement simples et petits, avec des engrenages parallèles plutôt que planétaires.

Un avantage important de la configuration à une ligne d'arbres réside dans la construction plus compacte. Les économies de place qui en résultent atteignent en général 10 %, ce qui se répercute favorablement sur les coûts, puisque autant les fondations que le bâtiment

peuvent présenter de plus petites dimensions.

Un seul grand alternateur est naturellement de prix plus avantageux et plus efficace que deux plus petits. En complé-

ment, les frais des équipements électriques accessoires sont plus bas, même si leur puissance est plus élevée.

Dans les installations avec une turbine à gaz et une turbine à vapeur, la configuration à une ligne d'arbres est normalement la plus économique. En cas d'utilisation de plus d'une turbine à gaz, les conditions sont autres, parce que les économies sont plus importantes si on utilise une turbine à vapeur plutôt que deux.

Dans les installations avec deux turbines à gaz, la solution du prix le plus avantageux consiste à équiper l'une des deux turbines à gaz de son propre alternateur. L'autre turbine travaille avec la turbine à vapeur commune aux deux groupes pour entraîner le second alternateur **10**.

Des exceptions à cette règle sont bien entendu possibles. C'est ainsi qu'en Allemagne, ABB a complété plusieurs installations en configuration à une seule ligne d'arbres pour en faire des installations à deux turbines à gaz et deux turbines à vapeur.

Si une centrale doit être équipée de deux turbines à gaz, le concept à une ligne d'arbres n'est de toute façon pas intéressant. La centrale à cycle combiné KA10-3 de Rostock, en Allemagne, comprend par exemple trois turbogroupes à

**Installation à cycle combiné avec une turbine à gaz GT10 en configuration à une ligne d'arbres** **8**



gaz GT10, chacun avec sa chaudière de récupération, ainsi qu'une turbine à vapeur indépendante alimentée en vapeur par les trois groupes.

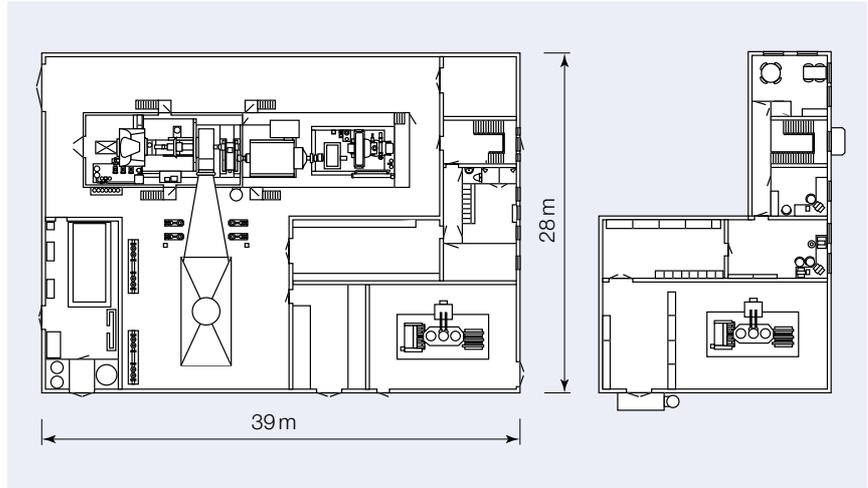
**Calcul de la dynamique des rotors**

La disposition à une ligne d'arbres peut fournir des trains d'arbres de grande longueur. Dans la centrale à cycle combiné GT10 de *GasEdon Emmen*, la turbine à gaz entraîne par exemple l'alternateur avec un engrenage sur un côté de celui-ci, tandis qu'un train formé de deux turbines à vapeur l'entraîne sur l'autre côté. Les turbines à vapeur sont d'une part une turbine moyenne pression MP10 et d'autre part une turbine basse pression LP10. Pour cette dernière, l'entraînement est direct, tandis que la turbine à vapeur MP plus rapide est accouplée avec un engrenage sur l'autre côté de la turbine BP. La ligne d'arbres qui en résulte présente une longueur d'env. 30 m.

En général, un train d'arbres de grande longueur possède plusieurs vitesses de résonance. Ces vitesses doivent être saisies soigneusement, afin que le train d'arbres ne tourne pas dans une zone de vitesse critique. La dynamique du rotor doit donc être calculée soigneusement. Pour cela, certains fabricants font appel à du savoir-faire extérieur, tandis qu'ABB STAL endosse lui-même la responsabilité à ce sujet. L'utilisation de connaissances professionnelles internes permet d'assister les clients rapidement et en tout temps par des mesures sélectives.

Lors de la construction de centrales nucléaires en Finlande et en Suède au cours des années 70, ABB STAL s'est acquis un grand patrimoine de connaissances professionnelles pour le calcul de trains d'arbres d'une longueur atteignant 70 m. L'expérience acquise précédemment par ABB STAL par les turbines de navires est tout aussi importante. Dans plus de 300 entraînements de navires du type AP, deux turbines à vapeur sont accouplées avec l'arbre de l'hélice par le biais d'engrenages planétaires, des arbres longs relativement sveltes et par un engrenage parallèle. Dernièrement, l'expérience obtenue par les turbogroupes à vapeur VAX déjà mentionnés s'y est encore ajoutée.

En se fondant sur ce vaste patrimoine



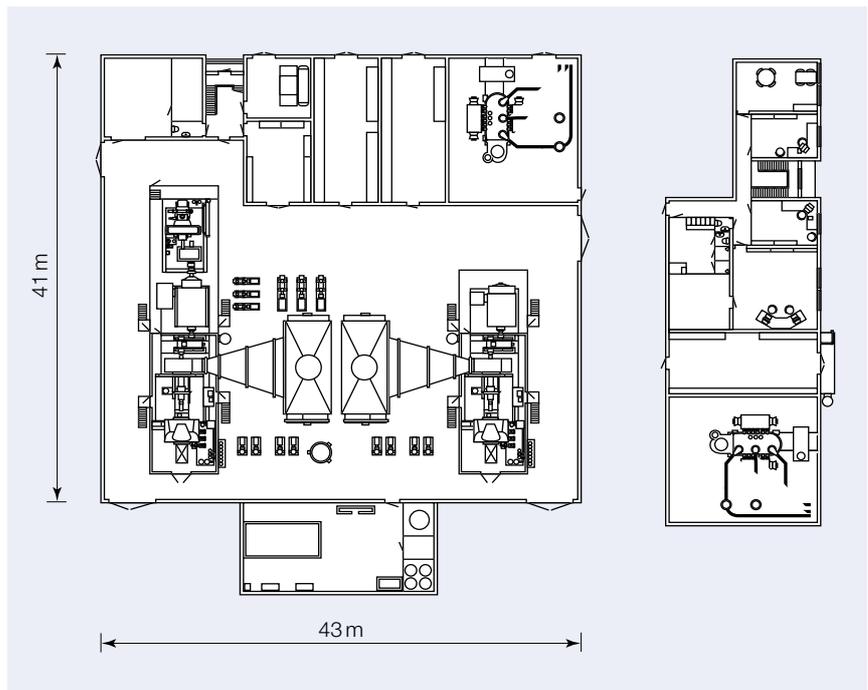
**Plan d'une installation à cycle combiné avec deux turbines à gaz GT10 et une turbine à vapeur en configuration à une ligne d'arbres** 9

d'expérience, ABB STAL est devenu le «Centre of excellence» en matière de calcul de la dynamique des rotors dans le sein du Groupe ABB et a développé les logiciels correspondants pour calculer les trains d'arbres. Grâce à la possibilité de calculer dans le même module de programmes le comportement de torsion et de flexion, ainsi que les répercussions sur le système de rotors d'un court-circuit

sur deux et trois phases survenu dans l'alternateur, ce logiciel représente un produit de pointe de ce domaine particulier.

Le fait que le train d'arbres d'une installation à cycle combiné est constitué de plusieurs composants séparés simplifie à vrai dire le calcul sous de nombreux aspects, mais l'alignement mécanique en devient plus difficile. En plusieurs endroits,

**Plan d'une installation à cycle combiné avec deux turbines à gaz et une turbine à vapeur** 10





**Turbogroupe à vapeur VAX avec une turbine haute pression et un engrenage sur un côté de l'alternateur et une turbine basse pression avec condenseur sur l'autre côté** 11

par exemple entre les rotors de turbines et les engrenages, on monte donc des accouplements flexibles, afin de compenser des défauts de centrage éventuels. Un accéléromètre de conception simple et sûre surveille les oscillations.

Un équilibrage soigneux des différentes parties du train d'arbres est nécessaire pour assurer sa marche tranquille. ABB STAL équilibre tous les rotors dans une grande installation d'équilibrage aux différentes vitesses d'exploitation. A cet effet, l'installation d'équilibrage est évacuée jusqu'à un vide très poussé. Par l'équilibrage à la vitesse de service, on assure une bonne tranquillité de marche.

Vu qu'il est impossible d'équilibrer tout le train d'arbres en usine, on doit disposer de possibilités d'équilibrage au lieu du montage. La turbine GT10 possède 5 plans d'équilibrage facilement accessibles. Les turbines à vapeur peuvent également être équilibrées sur le site de montage. Au cours des deux dernières décennies, ABB a perfectionné en permanence la technique de l'équilibrage sur le lieu de montage, non seulement pour les turbines, mais aussi pour les machines électriques.

Les installations GT10 combinées utilisent exclusivement des paliers hydrodynamiques. Ceux des turbines possèdent

des segments pivotants, tandis que ceux des engrenages et de l'alternateur sont des paliers à douilles. Ces paliers à film d'huile ont un amortissement propre, une propriété qui contribue à la tranquillité de la marche et qui simplifie l'entretien des paliers. En revanche, les turbines à gaz «aeroderivate» sont équipées de paliers à roulement (à billes ou à rouleaux). Pour ce type de paliers, on utilise parfois des éléments amortisseurs à huile pour assurer une marche tranquille.

#### Expériences d'exploitation

Les expériences acquises à ce jour avec les installations à une ligne d'arbres sont vraiment bonnes.

Les expériences d'exploitation avec des turbogroupes à vapeur à trains d'arbres longs, tels qu'ABB STAL les a construits en Finlande et en Suède, sont excellentes. Aucun problème de rotor ne s'est présenté jusqu'à ce jour. En ce qui concerne la fiabilité, ces installations sont en tête de la liste des installations du monde entier établie par Nuclear Engineering. Les installations finlandaises se trouvent tout au haut de la liste.

Les expériences acquises avec les turbogroupes à vapeur VAX à trains d'arbres longs sont bonnes. Les problèmes qui se

sont posés sont insignifiants. Seuls quelques engrenages ont par exemple nécessité des réparations. La première installation de ce genre a été mise en service en 1984. Actuellement, plus de 100 installations de ce type sont en service dans le monde entier. Au total, elles ont accompli plus de 5 millions d'heures de service 11.

Les expériences fournies par les installations à cycle combiné à une ligne d'arbres s'étendent bien entendu sur une période plus courte. A l'heure actuelle, environ 30 installations de ce genre sont en service avec une durée d'exploitation totale d'approximativement 300 000 heures. Les premières installations – comme celle d'Ängelholm – ont déjà plus de 25 000 heures de service à leur actif. La configuration à une ligne d'arbres des installations à cycle combiné d'ABB de grandeur moyenne a donc fait leurs preuves.

#### Perspectives

Des innovations techniques réussies, telles que le concept à une seule ligne d'arbres, ont contribué à améliorer le profil de rentabilité des centrales à cycle combiné de grandeur moyenne. On peut admettre de bon droit que la part de telles installations par rapport à la puissance installée totale ira en augmentant dans le monde entier, dès que les progrès de la libéralisation du marché de l'énergie auront créé les conditions correspondantes.

#### Bibliographie

[1] Svensson, B.: Centrales de chauffage à cycle combiné compatibles avec l'environnement. Revue ABB 5/93, 11–16.

#### Adresse de l'auteur

Bo Svensson  
ABB STAL AB  
S-612 82 Finspång/Suède  
Téléfax: +46 (0) 122 186 84  
E-mail:  
bo.svensson@sesta.mail.abb.com