

25 Les parties non nucléaires de la centrale

25.1 Introduction

Toutes les centrales électriques fonctionnent selon le même principe : de l'énergie mécanique est communiquée via un arbre, à un générateur qui la transforme en énergie électrique. Seule la source d'énergie les différencie. Les quatre sources les plus répandues sont :

- les turbines hydrauliques,
- les turbines à vapeur alimentées par des combustibles fossiles,
- les turbines à vapeur alimentées par l'énergie nucléaire,
- les turbines à gaz.

Ce chapitre est consacré aux turbines à vapeur alimentées par l'énergie nucléaire et aux différents systèmes utilisés pour convertir l'énergie. La production d'énergie électrique exige d'abord l'extraction de l'énergie thermique, puis sa transformation en énergie mécanique. Ces deux opérations sont réalisées par deux systèmes de transmission d'énergie : le circuit caloporteur et le circuit vapeur-eau d'alimentation. On appelle parfois ces deux systèmes : circuit caloporteur primaire et circuit caloporteur secondaire. Les paragraphes qui suivent couvrent le cycle vapeur-eau d'alimentation, les appareils qu'il comporte, les transferts d'énergie et les dispositifs auxiliaires nécessaires. Les valeurs de pression, de température et autres citées dans le texte, sont approximativement celles correspondant à la production maximale. Les valeurs diffèrent légèrement d'une centrale à l'autre.

25.2 Le générateur de vapeur (la « chaudière »)

Dans les conditions normales de production, le système caloporteur transfère la chaleur du réacteur au caloporteur secondaire via le générateur de vapeur. Le générateur de vapeur est la principale source froide où se dissipe la chaleur du réacteur. La chaleur du réacteur passe du circuit caloporteur à l'eau alimentant le générateur de vapeur. Le générateur produit la vapeur qui actionne la turbine. On utilise une terminologie particulière pour décrire la production de vapeur dans les générateurs.

La figure 25.1 illustre le réchauffement graduel d'un kilogramme d'eau. L'ajout de chaleur augmente la température de l'eau, jusqu'à l'atteinte du point d'ébullition. À l'ébullition, on dit que l'eau a atteint la température de saturation. Ainsi, toute énergie thermique communiquée est transformée en chaleur latente de vaporisation ce qui provoque l'évaporation de l'eau. Au point d'ébullition, la température de l'eau ne varie pas. En ajoutant de l'énergie thermique, on augmente

la valeur du rapport de la quantité de vapeur par rapport à la quantité d'eau. Puisque la vapeur est moins dense que l'eau, elle s'élève au-dessus du liquide. On appelle cette vapeur sans humidité *vapeur saturée* ou vapeur sèche. L'injection d'énergie thermique à cette vapeur saturée augmente sa température qui alors dépassera celle du point d'ébullition. On appelle *vapeur surchauffée*, la vapeur dont la température dépasse celle du point d'ébullition.

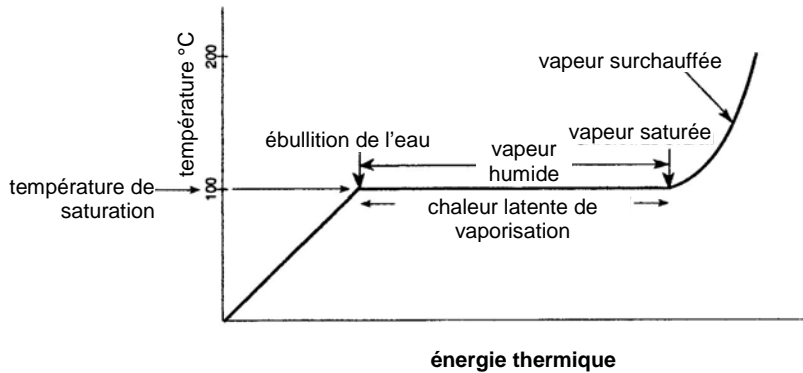


Figure 25.1

La figure 25.2 montre l'effet de l'augmentation de la pression dans le générateur de vapeur jusqu'à 4000 kPa. L'ébullition ne se produit qu'à partir d'une température de 250 °C. Normalement, dans les réacteurs CANDU, la vapeur saturée a une température d'environ 250 °C et une pression de 4000 kPa. La quantité d'énergie emmagasinée dans la vapeur dépend directement de sa température et sa pression : plus elles sont élevées plus la vapeur contient d'énergie. Il est très important de maintenir la pression de la vapeur dans les chaudières (et les générateurs de vapeur).

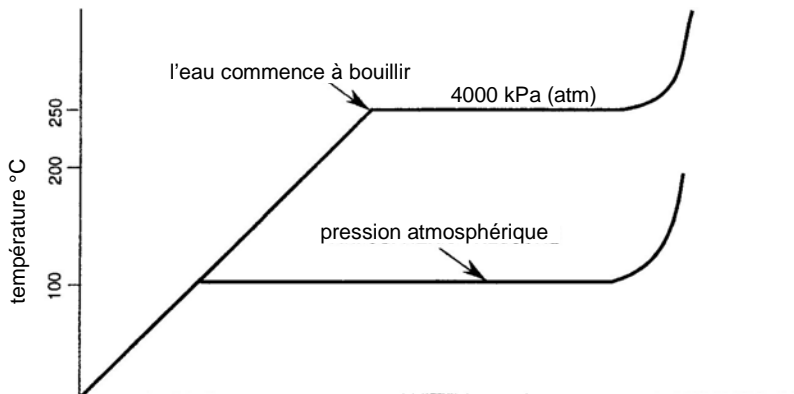


Figure 25.2

La figure 25.3 montre un générateur de vapeur du type couramment utilisé dans les grandes centrales. L'eau lourde chaude et pressurisée entre dans le générateur et pénètre dans les faisceaux de tube. L'eau lourde à l'intérieur des tubes est plus chaude que l'eau d'alimentation à l'extérieur de ceux-ci. La chaleur transférée de l'eau lourde à l'eau d'alimentation, force l'ébullition de cette dernière.

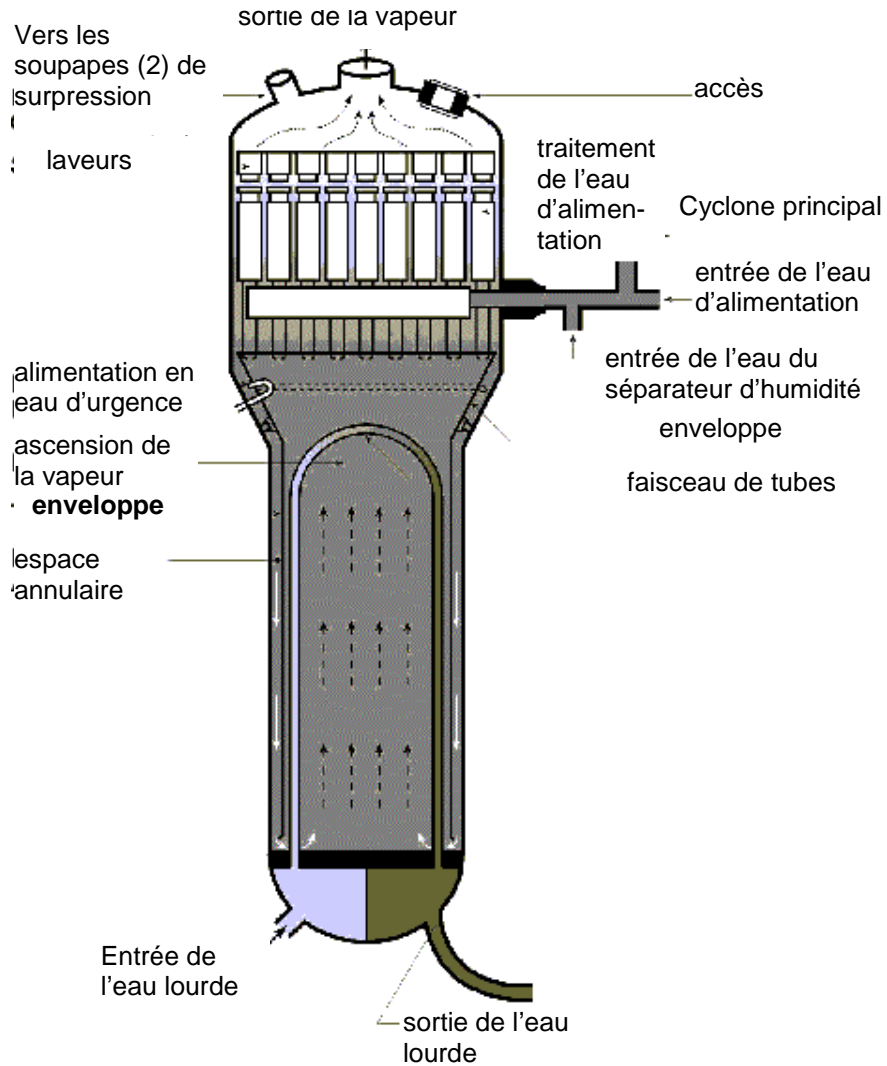


Figure 25.3
Un générateur de chaleur typique

La vapeur qui s'échappe du sommet des faisceaux de tubes contient environ 90 % d'eau. Pour prévenir l'endommagement de la tuyauterie, les vannes et (surtout!) la turbine, la vapeur quittant le générateur doit être sèche. Les séparateurs cycloniques situés au-dessus du faisceau de tubes assèchent la vapeur en imprimant un mouvement centrifuge au

mélange vapeur-eau. L'eau, plus dense que la vapeur, est projetée à l'extérieur du séparateur et est évacuée par écoulement. La teneur en eau de la vapeur qui s'échappe du sommet des séparateurs cyclones, bien que faible, est encore trop élevée pour la turbine. Les laveurs de vapeur (ou sécheurs), placés au-dessus des séparateurs cyclones extraient les dernières traces d'humidité.

L'eau extraite de la vapeur dans le cyclone et le laveur s'écoule à l'extérieur de l'enveloppe du tube du générateur, dans l'espace annulaire, jusqu'au fond du générateur pour entrer, de nouveau, en contact avec le faisceau de tubes qui la chauffera et la vaporisera. Il y a environ dix fois plus d'eau qui repasse sur le faisceau de tubes, après avoir descendu par l'espace annulaire, que d'eau d'alimentation entrant dans le générateur.

Dans le générateur, le déplacement de l'eau suit la circulation naturelle et ne nécessite pas de pompage. Le mélange d'eau et de vapeur chauffé par le faisceau de tubes s'élève, puisque l'injection de chaleur diminue sa densité. L'eau rejetée par le séparateur cyclone est plus dense — elle ne contient pas de bulles de vapeur —, et elle retombe dans l'espace annulaire pour être, de nouveau, chauffée.

Pour résumer, le cycle commence par adduction d'eau d'alimentation dans le réchauffeur où elle est portée presque à la température de saturation. Dans le générateur, l'eau d'alimentation circule dans le faisceau de tubes, s'élève et retombe dans l'espace annulaire plusieurs fois jusqu'à ce qu'elle acquière la chaleur latente d'évaporation et quitte, finalement, le générateur sous forme de vapeur quasi saturée.

25.3 Le cycle vapeur-eau d'alimentation

Le cycle vapeur-eau d'alimentation sert (1) à refroidir le fluide caloporteur et (2) transformer la chaleur en énergie mécanique qui sera communiquée au générateur-alternateur. Ce système forme une boucle continue, alimentée en eau légère déminéralisée. Il est composé du circuit de vapeur et du circuit d'alimentation en eau du générateur de vapeur.

25.3.1 Le circuit de vapeur

La figure 25.4 montre le schéma du circuit de vapeur et les éléments types des turbines d'une grande centrale. La soupape de sécurité protège de la surpression les organes du circuit de vapeur. La pression dans le générateur propulse la vapeur dans la turbine haute-pression (HP). La vapeur doit traverser plusieurs vannes avant d'aboutir à la turbine, notamment la vanne d'arrêt d'urgence et la vanne de régulation. En ajustant la quantité de vapeur s'écoulant vers la turbine

avec la vanne de régulation, on peut varier la production d'électricité de zéro à la pleine puissance. Avant de passer par la vanne de régulation, la vapeur traverse la vanne d'arrêt de secours. Cette dernière permet d'interrompre le flux de vapeur, en cas d'urgence, si la turbine risquait d'être endommagée.

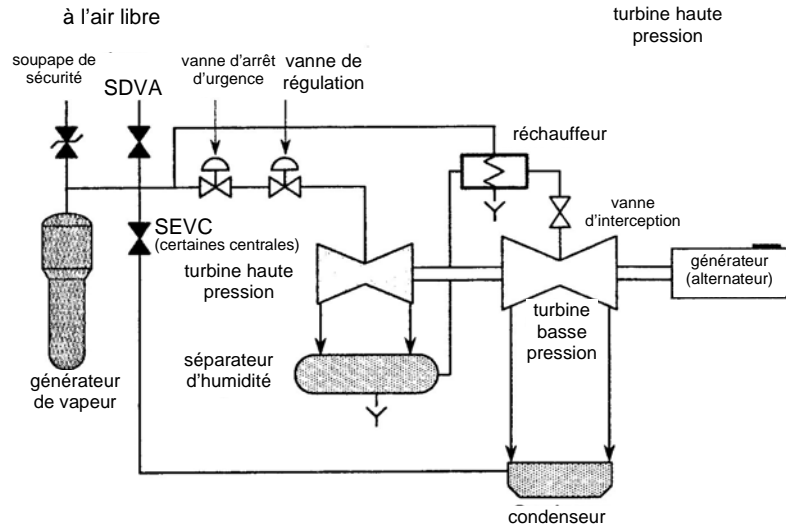


Figure 25.4
Le circuit de vapeur d'un réacteur CANDU

La vapeur franchit la vanne de régulation puis s'introduit dans la turbine haute-pression. Cette dernière convertit en énergie mécanique, la chaleur latente emmagasinée dans la vapeur. Cette transformation d'énergie se traduit par la condensation d'eau dans la vapeur qui devient alors « humide ». Une humidité supérieure à 10 % cause une érosion excessive des lames de la turbine. Retirer l'humidité de la vapeur permet de convertir davantage d'énergie thermique. Le passage de la vapeur dans une turbine basse-pression après la turbine haute-pression permet d'améliorer la qualité de la vapeur et de retirer plus d'énergie de la vapeur sans endommager les turbines.

À la sortie de la turbine haute-pression, la pression de la vapeur est d'environ 900 kPa, sa température 170 °C et sa teneur en eau 10 %. Elle traverse le séparateur d'humidité qui l'assèche. Sa température et la pression sont alors les mêmes qu'auparavant, mais la vapeur n'est plus humide. Elle traverse alors un réchauffeur qui augmente sa température et, donc, accroît la quantité de travail qu'elle pourra effectuer dans la turbine basse-pression. L'énergie du réchauffeur provient de la vapeur produite dans le générateur (de vapeur). À la sortie du réchauffeur, la vapeur est surchauffée, sa température est

d'environ 230 °C et sa pression de 900 kPa. Avant de pénétrer dans la turbine basse-pression, la vapeur doit traverser des vannes d'interception. Tout comme la vanne d'arrêt d'urgence, ces vannes permettent, en cas d'urgence, d'isoler la turbine basse-pression. En condition normale, la vapeur franchit la vanne d'interception ouverte, s'écoule dans la turbine basse-pression d'où elle ressort pour passer au condenseur. Sa pression est, alors, d'environ 5 kPa(abs), sa température 35 °C et sa teneur en eau 10 %.

Si l'on interrompt la circulation de la vapeur vers la turbine, la pression augmentera dans le générateur de vapeur. Ceci peut arriver dans l'éventualité d'un arrêt d'urgence de la turbine causé par un bris mécanique. Pour empêcher la création d'une surpression excessive dans le générateur, l'on doit réduire la puissance produite par le réacteur et se débarrasser de la vapeur. Réduire excessivement la puissance du réacteur peut provoquer l'apparition de poisons. Le réacteur peut continuer à fonctionner si l'on maintient sa puissance à 60 % de la valeur maximale. Si l'on peut fournir une autre source froide, on prévient la surpression du générateur, même à 60 % de la puissance maximale. Cette autre source froide peut être l'évacuation de la vapeur dans l'atmosphère ou directement dans le condenseur. Tous les réacteurs CANDU sont équipés d'une soupape à grand débit prévue pour évacuer la vapeur dans l'atmosphère ou le condenseur, alors qu'il fonctionne à 60 % de sa capacité maximale. Ils sont également équipés de plus petites soupapes d'évacuation de la vapeur dans l'atmosphère, pour évacuer la chaleur résiduelle (désintégration des produits de fission) à l'arrêt, si l'on ne peut diriger la vapeur dans le condenseur. On appelle *soupapes d'évacuation de vapeur dans le condenseur* (SEVC) ces vannes qui dirigent la vapeur au condenseur. L'abréviation des soupapes de déchargement de la vapeur dans l'atmosphère est SDVA.

25.4 La turbine à vapeur

La turbine est actionnée par la vapeur produite par le générateur. Elle transforme la pression de la vapeur en énergie cinétique de rotation. Auparavant, les tuyères fixes transforment l'énergie thermique de la vapeur (sous forme de pression) en énergie cinétique des jets de vapeur à grande vitesse. Les tuyères fixes sont formées des ailettes fixes de la turbine. La vapeur est projetée à haute vitesse sur les ailettes mobiles et les force à tourner. On peut voir, à la figure 25.5, comment la vapeur à haute vitesse s'échappe des tuyères et imprime un mouvement aux ailettes mobiles.

Après la première série d'ailettes fixes et mobiles, la vapeur passe par les étages successifs et le processus de conversion d'énergie se

poursuit. Un étage est composé d'un jeu de tuyères formées d'ailettes fixes et d'ailettes mobiles. Une turbine compte normalement plusieurs étages qui permettent d'opérer la transformation d'énergie thermique utile de la vapeur en énergie mécanique. Comme le montre la figure 25.6, les ailettes mobiles sont attachées à une roue solidaire de l'arbre du rotor. La vapeur à haute vitesse qui s'échappe de la tuyère actionne la roue qui à son tour entraîne l'arbre.

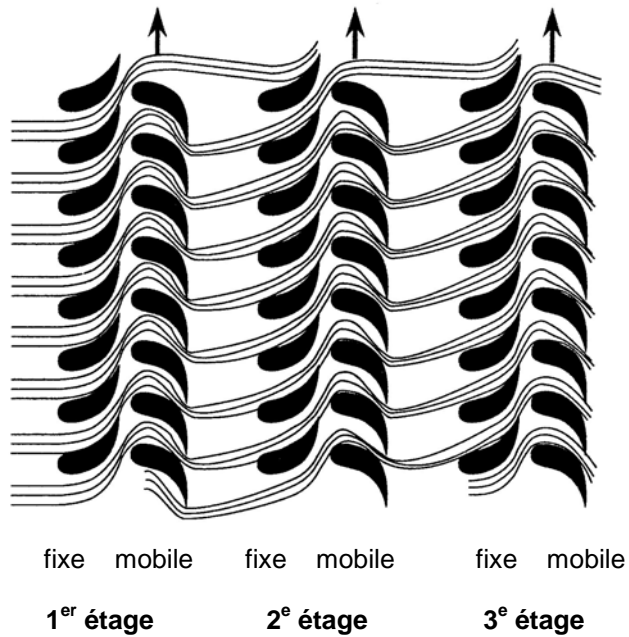


Figure 25.5
Disposition des ailettes fixes et mobiles

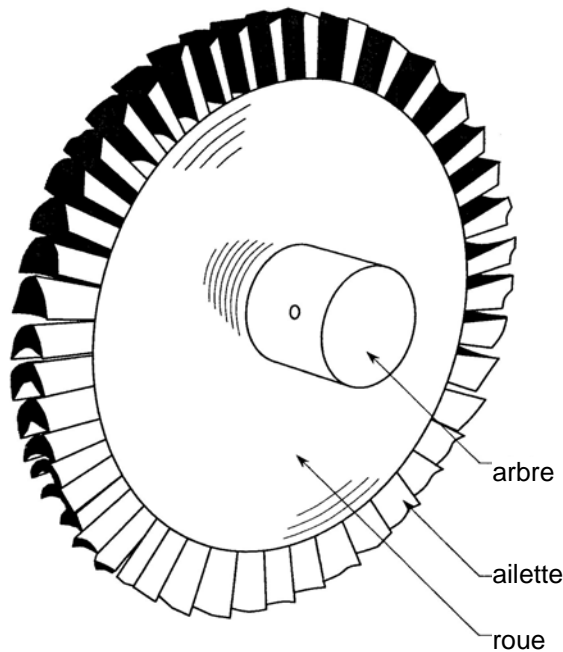


Figure 25.6
Ailettes mobiles, roue et arbre

À la figure 25.7, on peut voir une coupe schématique d'une turbine. La turbine à vapeur comporte un seul arbre auquel sont fixées de nombreuses roues à ailettes. L'enveloppe, ou corps de la turbine, prévient la fuite de la vapeur. Elle est habituellement formée d'une moitié inférieure et d'une moitié supérieure boulonnées, cette dernière pouvant être soulevée pour faciliter l'entretien. Des diaphragmes solidaires du corps portent les ailettes fixes qui forment les tuyères. Des joints étanches installés sur le corps préviennent la fuite de la vapeur pressurisée, aux points de contact des parties fixes et mobiles de la turbine.

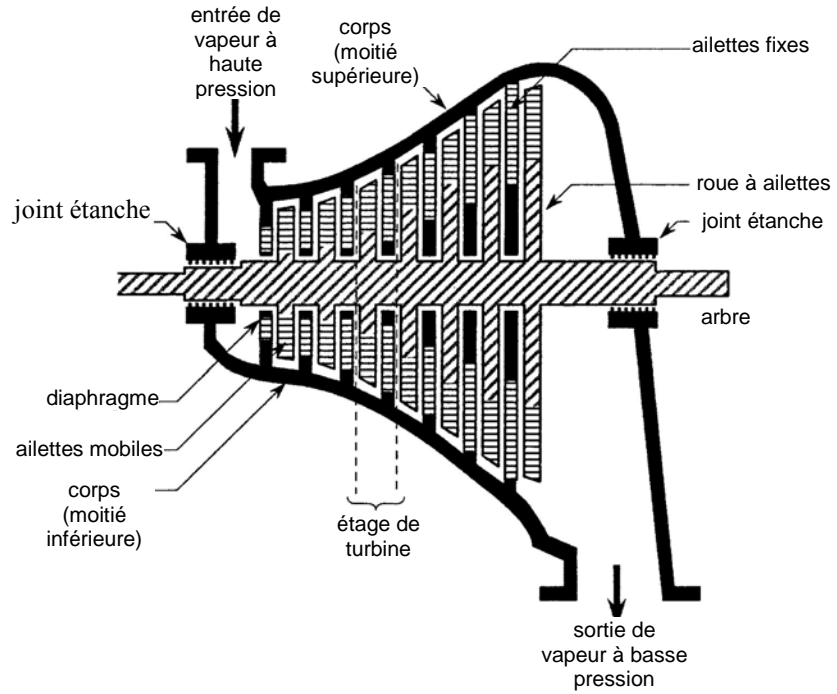


Figure 25.7
Coupe d'une turbine

À la figure 25.8, on peut voir la structure type d'un diaphragme. Les moitiés supérieures et inférieures du diaphragme sont attachées aux parties supérieures et inférieures du corps.

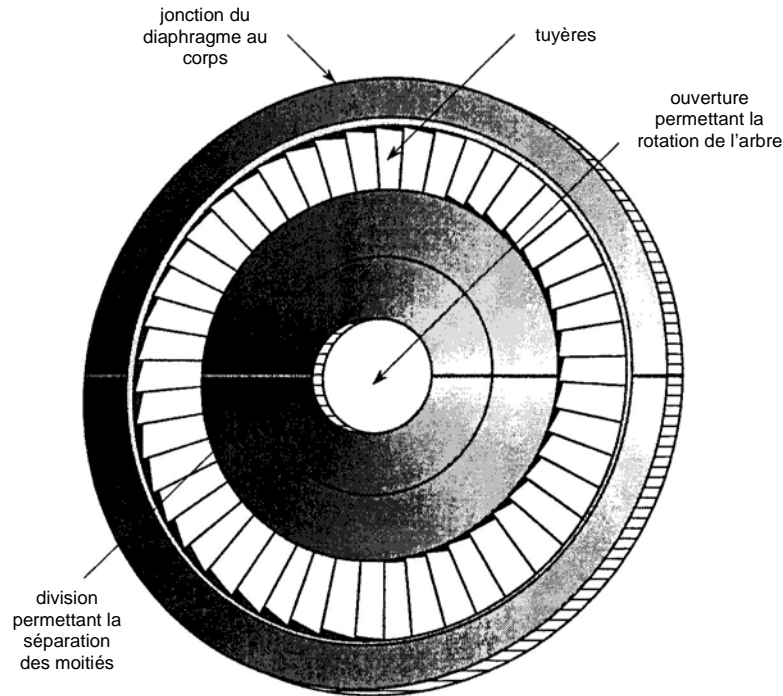


Figure 25.8
Diaphragme de turbine

On peut voir à la figure 25.7 que le corps de la turbine grossit à mesure que la pression de la vapeur diminue le long de la turbine. Cet élargissement est nécessaire pour accommoder l'expansion de la vapeur résultant de la baisse de pression et de température.

Habituellement, à l'entrée d'une turbine nucléaire moderne, un kilogramme de vapeur occupe $0,05 \text{ m}^3$, sa pression et sa température étant respectivement de $250 \text{ }^\circ\text{C}$ et 4000 kPa . Le même kilogramme, lorsqu'il quitte la turbine pour le condenseur a une température d'environ $35 \text{ }^\circ\text{C}$, une pression de 5 kPa (abs) et occupe $25,2 \text{ m}^3$. De l'entrée à la sortie, le volume de la vapeur est multiplié cinq cents fois. Habituellement, un grand ensemble turbine-générateur ne permet pas une si grande augmentation de volume dans une seule turbine. En règle générale, une turbine haute-pression à double flux évacuera sa vapeur vers deux turbines basse pression ou plus.

La figure 25.9 montre une batterie de turbines typique de celles installées dans les centrales CANDU.

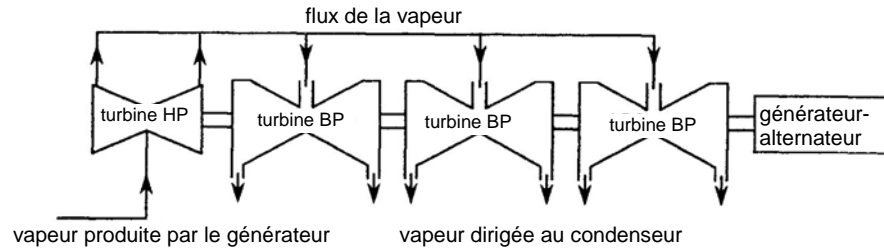


Figure 25.9
Arrangement typique de turbines

Pourquoi installe-t-on des turbines à double flux? Premièrement, une turbine à double flux permet de doubler le volume d'expansion dans une seule turbine. Deuxièmement, elle absorbe la forte chute de pression de la vapeur, qui se traduit par une force exercée sur les roues à ailettes depuis le côté haute pression vers le côté basse pression.

La figure 25.10 montre une turbine à double flux. La vapeur pénètre dans la turbine par le milieu du corps et se dilate vers l'extérieur dans les deux directions, avant d'être évacuée aux deux extrémités de la machine. Chaque moitié de la turbine produit une très forte poussée. La résultante de ces deux poussées antagonistes est très faible et elle est absorbée par un palier de butée placé entre les turbines haute pression et basse pression.

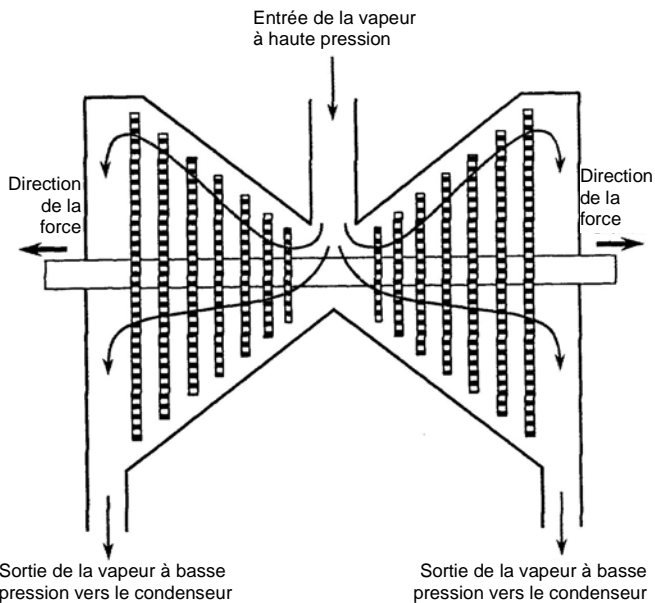


Figure 25.10
Turbine à double flux

25.5 Le Condenseur

Le condenseur est la destination finale de la majorité de la vapeur produite dans le générateur. En extrayant la chaleur latente, il la transforme en eau. La forte baisse de volume qui s'ensuit crée un vide dans le condenseur qui aspire la vapeur, depuis la cuve à haute pression du générateur, jusqu'à la cuve à basse pression du condenseur et, ainsi, permet l'extraction efficace de l'énergie mécanique.

La figure 25.11 montre le condenseur type raccordé à la plupart des turbines CANDU. Il est alimenté par le circuit d'eau de refroidissement du condenseur. D'une part, l'eau pénètre par la chambre d'admission, traverse les tubes du condenseur, puis retourne au lac par la chambre de sortie. D'autre part, la vapeur s'écoule par la conduite d'extraction de la turbine, pénètre dans le condenseur et entre en contact avec la surface externe des tubes du condenseur. Elle se condense et transfère sa chaleur latente de vaporisation à l'eau de refroidissement qui circule en grande quantité dans les tubes. Le condensat s'écoule dans la bêche, au fond du condenseur.

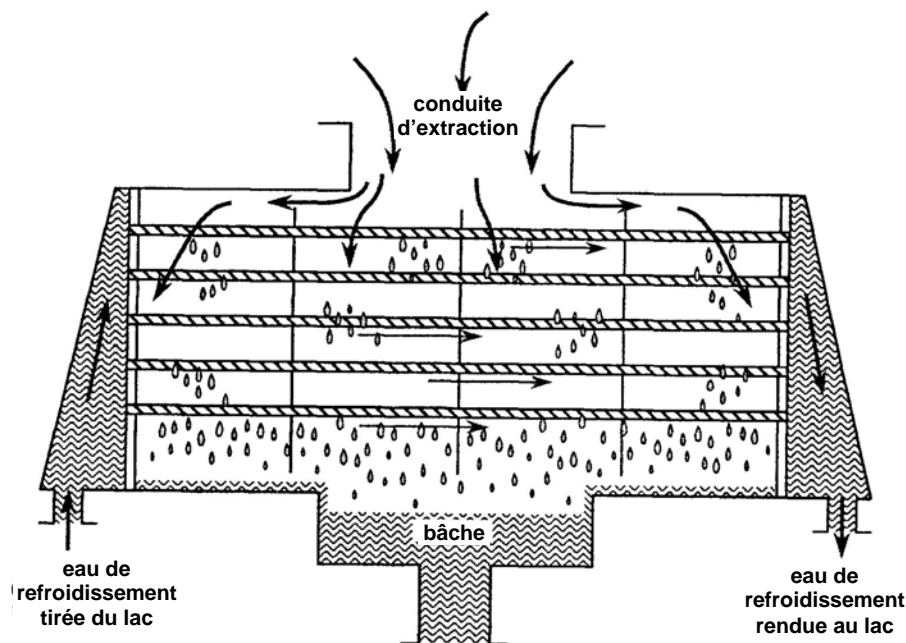


Figure 25.11
Le condenseur

L'écoulement de l'eau de refroidissement maintient le condensat à la température de saturation. La température et la pression dans le condenseur dépendent de la température de l'eau du lac. Puisque la puissance maximale produite du réacteur résulte de la variation de la

pression et de la température d'une extrémité à l'autre de la turbine, la température du lac la fera varier de plusieurs points de pourcentage.

Plus la température et la pression à la sortie de la turbine seront basses, plus grande sera la quantité d'énergie contenue dans la vapeur que la turbine pourra transformer en énergie mécanique. Comme nous le mentionnions plus haut, la température et la pression à la sortie de la turbine s'élèvent à 35 °C et 5 kPa (abs) respectivement. Cette pression est proche d'un vide parfait. En fait, elle permet d'extraire 35 % plus d'énergie que si, à la sortie, la vapeur était à la pression atmosphérique, 101,3 kPa (abs). En condensant la vapeur (25,2 m³ de vapeur se contractent en 0,001 m³ d'eau, donc le volume est divisé par 25 200), le condenseur permet d'obtenir cette faible pression absolue à la sortie de la turbine.

Le circuit vapeur-eau d'alimentation est fermé. En effet, il serait inutile, et coûteux, de rejeter l'eau propre traitée chimiquement et déminéralisée, après qu'elle a fait tourner la turbine. Il serait tout aussi onéreux d'abandonner la chaleur contenue dans les 35 °C du condensat, après avoir précisément ajusté la circulation de l'eau de refroidissement pour maintenir le condensat à la température de saturation et ne pas le refroidir plus que nécessaire.

25.6 Le circuit d'alimentation du générateur de vapeur

La figure 25.12 montre un schéma du circuit de vapeur et du circuit d'alimentation du générateur. Le circuit d'eau d'alimentation se compose de trois parties :

- le circuit d'alimentation à basse pression,
- le dégazeur et la cuve de stockage,
- le circuit d'alimentation à haute pression.

La pression et la température de l'eau s'écoulant du condenseur sont relativement basses. Une série d'échangeurs de chaleur permet d'augmenter la température du condensat jusqu'à 170 °C. Les réchauffeurs portent la température de l'eau à 240 °C, soit presque la température de saturation dans le générateur. Une série de pompes, les pompes d'alimentation du générateur, poussent l'eau d'alimentation dans les générateurs où règne une pression de 4000 kPa.

l'eau d'alimentation. La vapeur soutirée se condense dans l'enveloppe du réchauffeur. Une pompe séparée récupère ce condensat et l'achemine à la bache du condenseur. Lorsque l'eau d'alimentation quitte le réchauffeur à basse pression, sa température se situe entre 80 et 100 °C. Une fois réchauffée, l'eau d'alimentation s'écoule vers le prochain étage de réchauffement.

25.6.2 Dégazeur et cuve de stockage

L'étage suivant du réchauffement de l'eau d'alimentation est constitué du dégazeur. Il s'agit du récipient le plus élevé du système. Le dégazeur ajoute de la chaleur et retire les gaz non condensables de l'eau d'alimentation. Certains de ces gaz peuvent augmenter la vitesse de corrosion des métaux dans le circuit de réchauffement à haute pression et dans le générateur de vapeur. Tous les gaz non condensables occupent un volume dans le circuit de vapeur, ce qui réduit la quantité de vapeur dans le circuit et, donc, l'écoulement de l'énergie dans la centrale.

On peut voir à la figure 25.13 un dégazeur typique avec sa cuve de stockage. L'eau d'alimentation est admise dans le dégazeur près de son sommet et est pulvérisée sur les plateaux à ruissellement. La vapeur soutirée de la turbine basse-pression pénètre par le fond du dégazeur et remonte. Ainsi, l'eau d'alimentation est chauffée jusqu'à 125 °C. En passant au-dessus des gouttelettes d'eau, la vapeur emporte les gaz non condensables. Comme la vapeur soutirée se condense, les gouttelettes d'eau libèrent les gaz non condensables qui sont alors déchargés dans l'atmosphère. L'eau d'alimentation dégazée et la vapeur condensée s'écoulent du dégazeur à la cuve de stockage. L'eau qui alimente le générateur de vapeur provient de cette cuve.

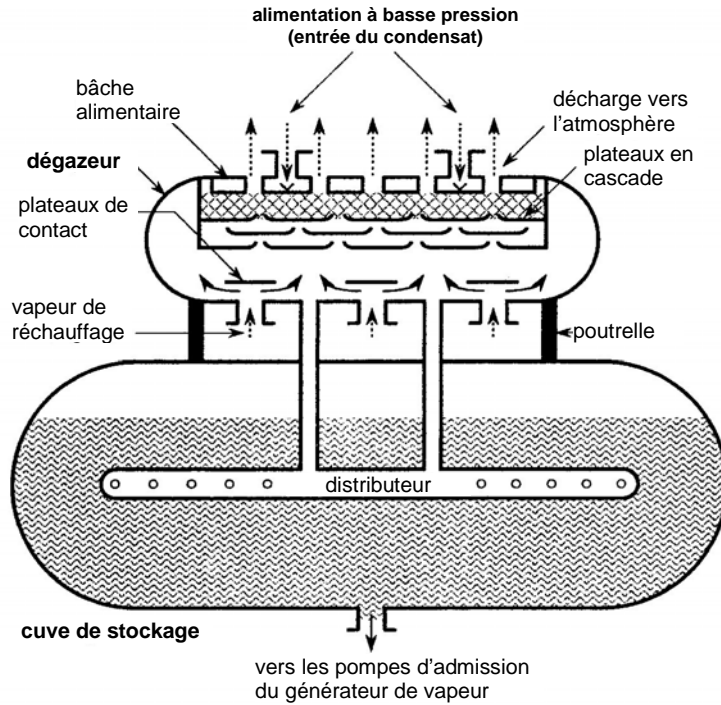


Figure 25.13
Schéma du dégazeur et de la cuve de stockage

25.6.3 Circuit de réchauffement à haute pression

Avant d'arriver au générateur de vapeur, l'eau contenue dans la cuve de stockage du dégazeur doit subir un dernier traitement. Les pompes d'alimentation du générateur aspirent l'eau de la cuve de stockage et augmentent la pression d'alimentation à une valeur entre 4 et 7 MPa. Cette pompe décharge l'eau d'alimentation sous pression dans les réchauffeurs à haute pression. Ces réchauffeurs poussent la température de l'eau d'alimentation jusqu'à environ 170 °C. Le fonctionnement et la construction du réchauffeur à haute pression sont analogues à ceux du réchauffeur à basse pression. La source normale de chaleur est la vapeur soutirée de la turbine haute-pression.

La vanne de régulation règle l'écoulement de l'eau d'alimentation dans le générateur de vapeur. En alimentant le générateur, de façon à compenser la vapeur qui s'en échappe, cette vanne permet d'y maintenir une masse d'eau constante. Pour ce faire, le contrôleur de la vanne compare le flux de vapeur sortant et le flux d'eau entrant et ajuste l'ouverture pour égaliser ces deux flux. Il contrôle également le niveau d'eau dans le générateur et ajuste la vanne pour qu'il soit égal à la valeur de consigne pré-établie.

Il est crucial de conserver un niveau d'eau adéquat dans le générateur. S'il y a trop d'eau, les séparateurs cyclones et les laveurs ne fonctionneront pas correctement, la vapeur qui atteindra la turbine sera humide et pourrait endommager les ailettes de la turbine. S'il n'y a pas assez d'eau, le générateur ne pourra refroidir le liquide caloporteur.

25.7 Système de lubrification

Toutes les turbines et le générateur-alternateur possèdent son arbre, ou rotor, qui est supporté à chaque extrémité par des paliers lisses. Ceux-ci s'échauffent à cause de la friction et de la conduction de la chaleur le long de l'arbre depuis les parties chaudes de la turbine. Les paliers lisses sont normalement garnis d'un métal antifriction, appelé métal blanc ou alliage de Babbitt, formé de plomb et d'étain et dont le point de fusion peut être aussi bas que 182,2 °C. Un circuit de lubrification centralisé permet de protéger les paliers des dommages causés par le contact métal sur métal et la haute température. Cette lubrification allonge la vie utile des paliers et réduit le risque de bris. Un bris d'un palier de l'ensemble turbine-générateur est un incident très grave, qui pourrait causer des dommages importants. C'est pourquoi il est important que le flot d'huile dans les paliers soit suffisant pour assurer la lubrification et le refroidissement.

25.8 Le vireur

Lors du ralentissement d'une turbine occasionné par un arrêt de production, la vapeur plus froide et plus dense s'accumule dans la moitié inférieure du boîtier. En conséquence, la moitié inférieure du rotor refroidit plus rapidement que sa partie supérieure ce qui cause un fléchissement vers le haut de l'axe de la turbine. Par contre, l'arbre d'une turbine au repos et refroidie commencera à s'affaisser sous son propre poids. À une température supérieure à un point critique, si l'on ne tourne pas l'arbre de la turbine, le fléchissement vers le haut pourra devenir permanent. Il faudra donc l'expédier chez son fabricant pour un traitement thermique et une rectification. Le fléchissement dû à la gravité n'est habituellement pas permanent, mais la période nécessaire au redressement de l'arbre est longue. Pour prévenir ces flexions vers le haut ou le bas, le vireur, un mécanisme d'entraînement de l'arbre, mu par un moteur, assure la rotation constante de la turbine.

25.9 Régulation chimique de la qualité de l'eau

Les circuits de vapeur et d'alimentation en eau du générateur dans presque toutes les centrales CANDU sont construits d'acier au carbone, d'alliages de cuivre et d'alliages de nickel. Chaque métal est sensible à la corrosion à partir d'un pH donné. Un pH entre 8,8 et 9,3 est plus ou moins sûr pour tous les métaux utilisés. On ajoute donc de la morpholine ou de l'hydrazine à l'eau d'alimentation afin de

maintenir un pH approprié. On utilise également d'autres méthodes de prévention de la corrosion soient :

- l'extraction de l'oxygène du circuit,
- l'ajout de produits chimiques qui réagissent avec l'oxygène.

Une approche commune est utilisée dans toutes les centrales pour désoxygéner les circuits. La plupart de l'oxygène est retiré du circuit par le système d'extraction d'air du condenseur et le « lavage » par le dégazeur. L'adjonction d'hydrazine à l'eau d'alimentation, après son passage dans le dégazeur élimine l'oxygène restant. Ce composé réagit avec l'oxygène pour produire de l'eau et de l'azote gazeux qui est non corrosif. Malencontreusement, l'hydrazine produit aussi de l'ammoniac qui s'attaque aux alliages de cuivre. Dans les centrales dont les tubes du générateur de vapeur sont en alliage de cuivre, plutôt qu'en acier inoxydable, on ajoute moins d'hydrazine.

Il est essentiel que l'eau d'alimentation soit de bonne qualité, l'utilisation d'une eau de piètre qualité se traduira par des dépôts dans le générateur de chaleur et la turbine qui :

- réduiront le transfert de chaleur, à cause de la présence d'une couche de tartre sur la surface des tubes du générateur,
- augmenteront les risques de fissuration par corrosion sous contrainte, l'une des formes de fracture des métaux soumis à des efforts peu intenses dans un environnement corrosif, et
- provoqueront la corrosion des tubes et d'autres composants.

Toutes ces atteintes réduiront la vie utile des générateurs de vapeur et des turbines. La déminéralisation, le dégazage, la désoxygénation et la régulation du pH assurent la bonne qualité de l'eau. Chaque générateur est équipé d'un système d'évacuation qui permet de se débarrasser de toute impureté qui pourrait s'y trouver. Ce système minimise l'accumulation des impuretés en vidangeant l'eau contaminée. L'évacuation peut être intermittente ou continue, selon la condition de l'eau.

25.10 Risques industriels « classiques » et dus à la radioactivité

25.10.1 Énergie chimique

On ajoute de l'hydrazine, de l'ammoniac et de la morpholine à l'eau dans le circuit d'alimentation du générateur. Une protection adéquate

et une manutention consciencieuse de ces produits permettront de se prémunir des blessures.

On utilise de l'hydrogène pour refroidir le générateur, or ce gaz peut être explosif si sa concentration dans l'air se situe entre 4 et 76 %. De l'air peut s'infiltrer dans le générateur et de l'hydrogène peut s'en échapper. Pour minimiser les risques d'explosion, les joints du générateur doivent être très étanches.

25.10.2 Énergie thermique

Les fuites de vapeur et d'eau d'alimentation chaude constituent un danger de brûlure. Les fuites de vapeur sont souvent invisibles. Ainsi, on devra immédiatement interdire l'accès aux endroits où une fuite a été détectée. Dans la plupart des cas, on devra arrêter un réacteur avant de pouvoir réparer la fuite de vapeur. Les organes de régulation de l'eau d'alimentation chaude et de la vapeur sont portés à des températures élevées. On installera de l'isolation ou des barrières physiques pour prévenir l'exposition du personnel à la chaleur.

25.10.3 Énergie électrique

La plupart des appareils et commandes trouvés dans les parties non nucléaires de la centrale fonctionnent à l'électricité. Plusieurs risques dus au courant continu ou alternatif en découlent. L'énergie nécessaire à leur fonctionnement provient du générateur-alternateur ou est fournie par d'autres sources. Des chocs, des brûlures, voire des arrêts cardiaques peuvent se produire, si l'on ne maîtrise pas ou l'on utilise mal l'électricité.

25.10.4 Énergie mécanique

Tout corps en mouvement ou susceptible de bouger peut constituer un danger mécanique. Les parties mobiles du générateur-alternateur, de la turbine et les composants des pompes et des moteurs posent des risques de lésions par coupure, abrasion ou écrasement.

25.10.5 Énergie sonore

Le risque principal est constitué par le bruit très intense émis lors de l'ouverture inopinée de vannes de sécurité du générateur de vapeur. Ce bruit peut causer une perte temporaire de concentration et des blessures. Le port de dispositifs anti-bruit permet d'atténuer ce risque.

25.10.6 Énergie contenue dans les liquides sous pression

Ce risque est présent dans la plupart des systèmes non nucléaires. Le rejet non maîtrisé d'un liquide pressurisé peut provoquer des perforations, des fractures, de l'abrasion et des blessures par écrasement. Une pression excessive peut provoquer le bris d'appareils

et projeter des bris de composants ce qui pourrait blesser le personnel et endommager d'autres appareils.

L'huile alimentant les vannes hydrauliques et les paliers est sous pression. Tout bris de conduites pourrait provoquer un feu si des sources d'inflammation étaient présentes. Les vannes qui commandent la turbine sont lubrifiées avec un liquide ignifuge, ce qui élimine les risques d'inflammation.

25.10.7 Énergie du rayonnement

Les parois des tubes du générateur de vapeur sont soumises à un grand écart de pression : dans le circuit caloporteur, la pression est de 10 MPa, alors qu'elle est de 4 MPa dans le générateur. Un trou dans un tube provoquera une fuite du caloporteur dans l'eau d'alimentation. Un bris des tubes du générateur pendant l'exploitation provoquera un rejet de D₂O, de tritium (radioactif), de produits corrosifs activés et probablement de produits de fission dans l'eau du circuit d'alimentation du générateur. Si cela se produisait, la vapeur fuyant du circuit principal de vapeur pourrait constituer un risque dû au rayonnement. Une fuite importante entraînera l'arrêt du réacteur, afin de réparer les tubes.

25.11 Exercices

1. Quelles sont les fonctions du cycle de la vapeur et du cycle d'eau d'alimentation?
2. Indiquez la qualité de la vapeur pour chaque lieu mentionné dans le tableau ci-dessous.

Lieu	Teneur en humidité	Température	Pression
Sortie de la turbine haute-pression			
Sortie du séparateur d'humidité			
Sortie du réchauffeur			
Sortie de la turbine basse-pression			

3. Pourquoi trouve-t-on des turbines à haute et basse pressions dans le groupe des turbines?
4. De quelle façon la création d'un vide dans le condenseur améliore-t-elle l'efficacité de la turbine?
5. Quelle est la fonction de chacun de ces éléments?
 - a) Générateur de vapeur
 - b) Vanne d'arrêt d'urgence
 - c) Vanne de régulation
 - d) Turbine haute-pression et turbines basse pression
 - e) Pompes d'alimentation du générateur de vapeur
 - f) Système de lubrificateur
 - g) Vireur
6. Si la turbine était arrêtée, vers quelle autre source froide, l'énergie sortant du générateur de vapeur peut-elle être transférée?
7. Quels sont les trois étages de chauffage de l'eau condensée, et quelles en sont les sources de chaleur?

8. Dans le cycle vapeur-eau d'alimentation, quels sont les principaux problèmes liés à la chimie? Et comment peut-on les minimiser?
9. Quels sont les risques principaux associés à la partie non nucléaire d'une centrale?