

26 Autres grands systèmes

26.1 Le générateur-alternateur

26.1.1 Conversion d'énergie dans l'alternateur

Un générateur électrique convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Les éléments fondamentaux d'un alternateur sont :

- la présence d'un conducteur,
- la présence d'un champ magnétique,
- l'existence d'un mouvement relatif entre le conducteur et le champ magnétique.

Lorsque ces trois conditions sont satisfaites, une tension électrique est induite dans le conducteur. Les alternateurs modernes comportent un grand nombre de boucles conductrices permettant de multiplier la tension induite.

La figure 26.1 montre le schéma d'un générateur-alternateur couplé à une turbine à vapeur. Le stator est constitué des conducteurs stationnaires (bobines) et de leur noyau de fer. Les conducteurs (bobines) et leur cœur solidaire de l'arbre forment le rotor.

Sur l'arbre, des bagues collectrices électriquement isolées transfèrent le courant continu qui génère le champ magnétique dans le rotor. Le courant induit circule dans les enroulements du stator, alors que la turbine fournit le couple mécanique à l'arbre du générateur. La rotation de l'arbre produit le mouvement relatif entre le champ magnétique du rotor et les conducteurs du stator. De cette façon, une tension est induite dans les conducteurs du stator. Cette tension est communiquée aux lignes de transmission par un transformateur élévateur.

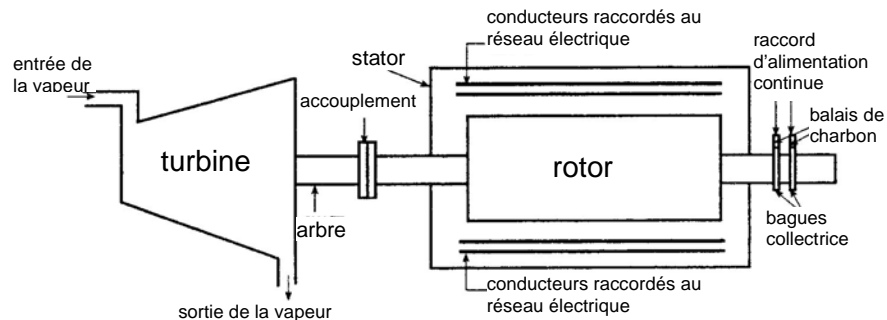


Figure 26.1
Schéma d'un générateur-alternateur couplé à une turbine

La vitesse du rotor d'un générateur détermine la fréquence du courant alternatif. La fréquence des générateurs de tension raccordés au réseau est fixée à 60 Hz. La fréquence de la tension du réseau ontarien étant fixée à 60 Hz, la vitesse de rotation du rotor devra rester constante. Dans les centrales nucléaires, cette vitesse est normalement de 1800 tours/minute.

La demande d'électricité des clients de Hydro One crée une charge sur le réseau électrique ontarien, ce qui augmente le couple antagoniste sur l'arbre de la turbine. En réaction à l'augmentation du couple antagoniste, la turbine devrait décélérer, ce qui devrait réduire la fréquence. Pour compenser l'augmentation du couple antagoniste, on admet plus de vapeur dans la turbine, ce qui se traduit par une puissance mécanique supérieure de l'arbre et permet donc de maintenir la vitesse de rotation du générateur.

26.1.2 Refroidissement du générateur-alternateur

Les générateurs-alternateurs modernes d'une centrale à vapeur sont des machines d'une grande efficacité. Environ 98 % de l'énergie mécanique communiquée à l'arbre par la turbine est transformée en énergie électrique. Les 2 % manquants sont perdus sous forme de chaleur en divers points du générateur-alternateur. Cette fraction peut paraître insignifiante, tant que l'on ne considère pas que 2 % d'un réacteur de 750 MW équivalent à 15 MW. Toute cette puissance est (re)convertie en chaleur, ce qui équivaut à placer un appareil de chauffage de cette capacité à l'intérieur de la machine.

La chaleur produite dans un générateur provient de plusieurs sources, notamment la turbulence (friction gazeuse) entre le rotor et le gaz de refroidissement en circulation, le réchauffement des bobines du rotor et du stator dû à la résistance au courant, et le réchauffement des éléments physiques du rotor et du stator dû au courant induit.

La moindre augmentation de la température de fonctionnement du générateur se traduit par l'endommagement rapide de l'isolation des bobines. C'est pourquoi on a prévu deux circuits de refroidissement. Le premier circuit assure le refroidissement par la circulation d'hydrogène dans le générateur. Ce gaz présente les avantages suivants :

- sa capacité thermique est supérieure à celle de l'air,
- il cause moins de dommage à l'isolation,
- il est moins dense que l'air et la turbulence produit moins de chaleur.

Il comporte le désavantage d'être explosif lorsqu'il est mélangé à l'air. Pour prévenir ce risque, les joints du générateur doivent être très étanches afin d'éviter l'entrée d'air dans le générateur ou la fuite d'hydrogène. Lors du remplissage ou du vidage du générateur, on doit suivre des procédures pour éviter de créer un mélange explosif.

Le circuit de refroidissement à l'hydrogène ne suffit pas, il doit être complété par un circuit de refroidissement à l'eau du stator. Les conducteurs du stator sont creux, ce qui permet la circulation d'eau. Cette eau doit être d'une pureté exceptionnelle pour éviter la fuite de courant des conducteurs du stator, vers la masse, via le liquide de refroidissement.

L'utilisation combinée de l'hydrogène et de l'eau suffit à refroidir des générateurs pouvant produire jusqu'à 1500 MW, une puissance dépassant celle de tout générateur-alternateur utilisé dans une centrale CANDU.

26.2 Circuits électriques

26.2.1 Éléments principaux

On peut voir à la figure 26.2 un schéma du raccordement d'une centrale CANDU au réseau électrique.

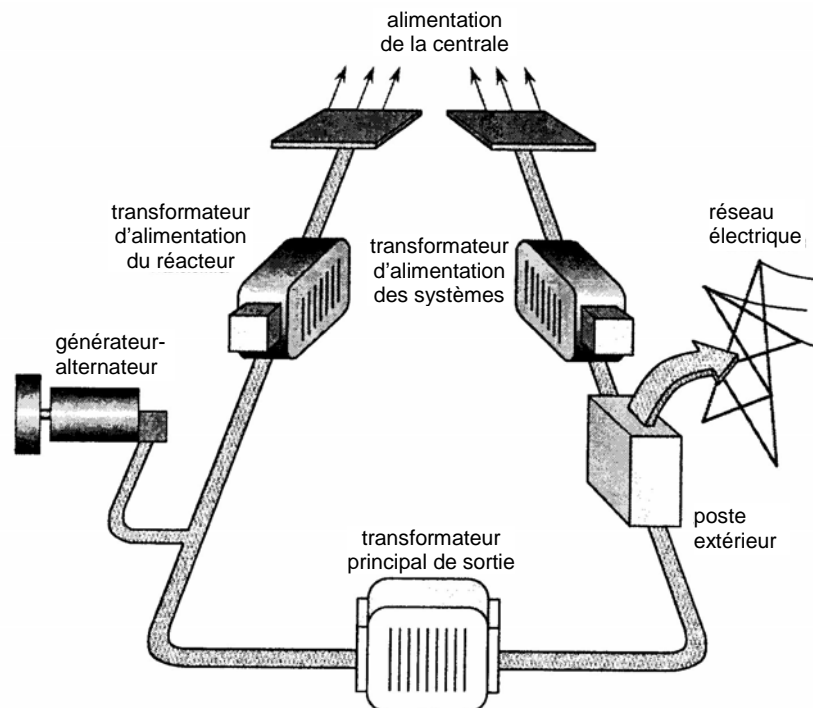


Figure 26.2
Sortie principale de la centrale et circuit de distribution

Le transformateur principal élève la tension électrique produite par le générateur-alternateur pour qu'elle soit égale à la valeur du réseau de Ontario Power Generation. Pour une même puissance, une tension plus élevée se traduit par un courant moins intense et, donc, par une réduction des pertes en ligne, étant données les longues distances requises pour le transport de l'énergie.

Cette énergie électrique est distribuée au poste extérieur. Son utilisation augmente la fiabilité globale, puisqu'il permet d'aiguiller la sortie du générateur vers les lignes de sortie disponibles, d'isoler une ligne ou un générateur défectueux et, au besoin, de fournir, à partir du réseau, l'électricité nécessaire au fonctionnement d'un réacteur.

Pour satisfaire à ses besoins d'énergie, un réacteur peut s'alimenter à deux sources :

1. Le transformateur d'alimentation du réacteur est branché directement au générateur-alternateur. C'est un transformateur abaisseur, il réduit la tension de sortie du générateur à celle appropriée au réacteur.
2. Le transformateur d'alimentation des systèmes s'alimente directement du réseau. Il s'agit aussi d'un transformateur abaisseur, il réduit la tension électrique du réseau à celle appropriée au réacteur.

Le transformateur d'alimentation du réacteur est la principale source d'énergie, le transformateur d'alimentation des systèmes est une source auxiliaire d'énergie pour le réacteur, ainsi la source principale d'une partie des charges communes de la centrale.

26.2.2 Priorités d'alimentation

Dans une centrale, les charges du réseau électrique n'ont pas toutes la même importance. Il est crucial de s'assurer que certaines charges (p. ex. les relais de protection) sont toujours alimentées alors que d'autres (p. ex. la climatisation des bureaux) peuvent être débranchées quasi indéfiniment. Pour gérer ces différents besoins, on a classé les charges en quatre catégories d'alimentation, selon l'urgence ou l'importance de les alimenter. On a assigné à chaque catégorie une source d'énergie normale et une source de relève (auxiliaire). Cette dernière est activée lorsque la source normale d'énergie ne peut assurer l'alimentation. Chaque catégorie de source d'énergie alimente des barres omnibus paires et impaires. On a réparti l'alimentation des appareils entre des barres paires et impaires pour en assurer l'indépendance. Ainsi, la « perte » d'une barre omnibus n'implique pas l'interruption de

l'alimentation de tous les appareils similaires. Dans le cas des équipements dupliqués — par exemple une pompe et sa pompe de relève, chacune pouvant assurer 100 % de la fonction — si un appareil est alimenté par la barre impaire, son *double* le sera par la barre paire. On peut voir à la figure 26.3, les quatre catégories de puissance, les sources d'alimentation de relève de chacune, ainsi que l'organisation paire-impair de l'alimentation.

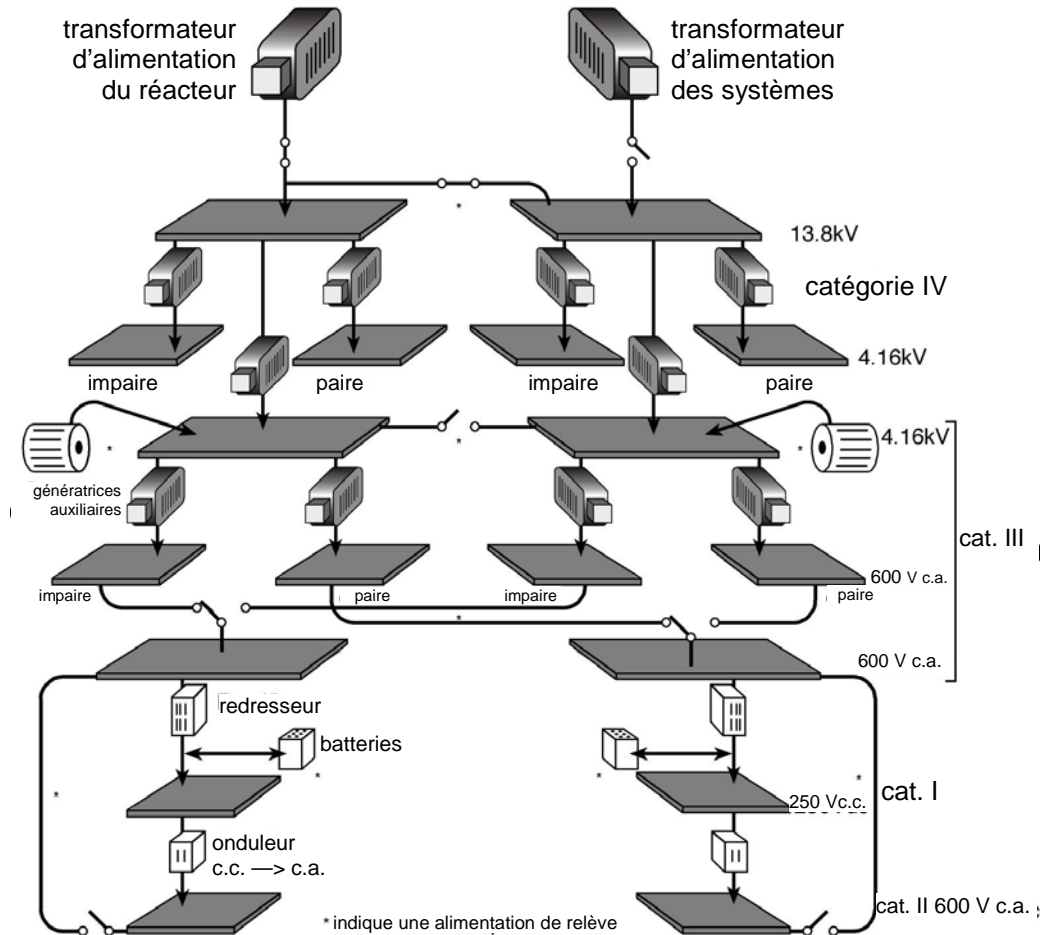


Figure 26.3
Catégories d'alimentation d'énergie et leur organisation

Alimentation électrique de catégorie IV

On peut déconnecter indéfiniment les charges raccordées à l'alimentation électrique de catégorie IV, sans affecter la sécurité du personnel ou la sûreté de la centrale. Sont raccordées au circuit de catégorie IV, des charges comme l'éclairage normal et les moteurs des pompes du circuit caloporteur. En condition normale d'exploitation, le transformateur d'alimentation du réacteur fournit l'énergie aux charges

du réacteur. Au besoin, ces mêmes charges peuvent être complètement prises en charge par le transformateur d'alimentation des systèmes. En cas d'urgence, le réseau électrique prend la relève et alimente les charges raccordées au réseau de catégorie IV.

Alimentation électrique de catégorie III

L'alimentation électrique de catégorie III est la source du courant alternatif des charges qui peuvent supporter l'interruption brève (entre une et trois minutes) nécessaire au démarrage des générateurs de relève, sans affecter la sécurité du personnel ou la sûreté de la centrale, mais qui sont essentielles pour l'arrêt sécuritaire de la centrale. Sont raccordées au circuit de catégorie III, des charges comme les moteurs des pompes principales de circulation du modérateur et les moteurs des pompes d'alimentation sous pression. Habituellement, l'alimentation de catégorie III provient d'une source de catégorie IV. Si les deux circuits d'alimentation (le transformateur d'alimentation du réacteur et le transformateur d'alimentation des systèmes) tombent, une ou plusieurs génératrices de relève (actionnées par une turbine à gaz) démarreront automatiquement et alimenteront les charges. Trois minutes sont nécessaires au déclenchement de ce processus.

Alimentation électrique de catégorie II

Les charges raccordées à l'alimentation électrique de catégorie II ne peuvent jamais être coupées. Ces charges ne peuvent supporter les interruptions brèves autorisées pour la catégorie III. Sont raccordées au circuit de catégorie II, des charges comme les ordinateurs de commande et les systèmes de sûreté du réacteur. Habituellement, l'alimentation de catégorie II provient d'une source de catégorie I, via un onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif. En cas d'arrêt de l'alimentation de catégorie I, on alimentera la catégorie II à partir de la catégorie III, pendant que l'on prendra des actions prioritaires pour rétablir la catégorie I. Dans cette situation, la procédure normale est de démarrer une génératrice de réserve et de la brancher à la catégorie III.

Alimentation électrique de catégorie I

On considère que l'alimentation électrique de catégorie I ne peut jamais être coupée. Les appareils qui y sont raccordés fonctionnent en courant continu et ils ne peuvent supporter les brèves interruptions possibles pour la catégorie III. Sont raccordées au circuit de catégorie I, des charges comme les relais de protection, les commandes des disjoncteurs, la pompe auxiliaire de lubrification de la turbine, la pompe auxiliaire d'huile d'étanchéité, et la pompe auxiliaire du système de refroidissement à l'eau des conducteurs du stator. L'alimentation de catégorie I provient de la catégorie III, via un

redresseur (chargeur de batteries). En cas de panne du redresseur ou de l'alimentation de catégorie III, les appareils raccordés seront alimentés par un groupe de batteries qui sont continuellement chargées par le redresseur.

26.2.3 Alimentation électrique d'urgence

Dans l'éventualité peu probable de la chute de toutes les sources d'alimentation de catégories IV et III, l'alimentation électrique d'urgence fournira l'énergie électrique à certains systèmes de sûreté nucléaire de commande, de refroidissement et de confinement. L'alimentation électrique d'urgence démarre automatiquement si l'alimentation de certaines barres omnibus de 600 V est interrompue. Elle peut également l'être depuis la salle de commande de l'alimentation électrique d'urgence, dans un délai de trente minutes après en avoir reconnu le besoin. Ce circuit possède une classification parasismique et une classification environnementale; sa réserve de combustible lui permet de fonctionner sans intervention pendant sept jours. La qualification parasismique exige que l'équipement et le circuit puissent assurer leurs fonctions spécifiques après un tremblement de terre. La qualification environnementale entraîne que l'équipement est protégé contre les fuites de vapeur, les inondations, les feux très intenses ou d'autres accidents qui pourraient la mettre hors d'usage. L'alimentation électrique d'urgence doit être disponible lorsque que le cœur contient une quantité importante de produits de fission. Dans les vieilles centrales, le circuit peut porter un autre nom ou n'être pas aussi développé que dans les nouvelles centrales.

Les événements gravissimes qui entraînent le recours à l'alimentation électrique d'urgence sont :

- les tornades,
- les feux très étendus,
- les tremblements de terre.

Le système d'alimentation électrique d'urgence ressemble aux autres génératrices de relève de la centrale, mais il est placé loin de celles-ci, pour limiter le risque que tous ces systèmes soient endommagés au cours d'un même événement. Les câbles et l'équipement de commande nécessaires au branchement de l'alimentation électrique d'urgence traversent des zones considérées les plus susceptibles de ne pas être affectées par l'événement.

26.3 Réseau d'alimentation en eau et systèmes d'air

26.3.1 Circuits d'eau légère

Quel qu'en soit l'usage (refroidissement, eau d'alimentation, protection contre le feu, utilisation domestique), l'eau du lac parvient à la conduite d'amenée de la centrale grâce à un tunnel de 600 m percé sous le fond. Chaque réacteur a sa propre station de pompage qui l'alimente en eau de service et fournit l'eau de refroidissement à son condenseur. L'eau domestique et l'eau déminéralisée servant à l'élaboration de l'eau d'alimentation des réacteurs d'une centrale provient d'une station de traitement d'eau. La figure 26.4 montre les branchements du réseau. Outre la station de traitement d'eau, chaque réacteur possède son propre circuit.

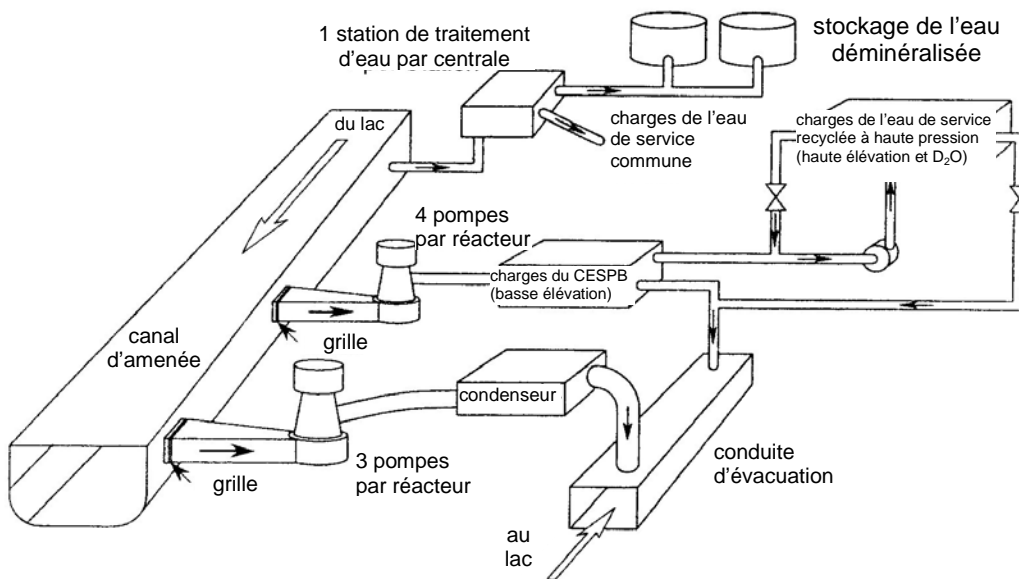


Figure 26.4
Réseau d'alimentation en eau

26.3.2 Traitement de l'eau

On traite l'eau pour deux raisons :

- en retirer des constituants nuisibles,
- lui ajouter des ingrédients bénéfiques.

La station de traitement d'eau produit de l'eau déminéralisée servant surtout à l'élaboration de l'eau d'alimentation du générateur de vapeur, ainsi qu'au refroidissement du bouclier d'extrémité, au circuit fermé de refroidissement par eau déminéralisée, à la piscine de combustible

épuisé et au laboratoire de chimie. Le procédé chimique de traitement de l'eau varie d'un réseau à l'autre. L'eau déminéralisée est cruciale aux systèmes qui doivent être protégés de la corrosion et de l'accumulation de tartre et d'impuretés.

26.3.3 L'eau de refroidissement du condenseur

Le réseau de refroidissement des condenseurs a comme fonction d'alimenter ces appareils en eau tamisée tirée du lac. Le seul traitement reçu par cette eau est le filtrage par des grilles qui retirent les petits détritiques comme la matière organique en suspension.

Ce réseau est l'un des systèmes pour lequel l'on doit détenir un certificat d'agrément. Ce certificat garantit que le réseau peut évacuer 70 % de l'énergie thermique produite par le réacteur, sans toutefois augmenter la température de l'eau rejetée de plus de 11 °C au-dessus de celle du lac. Pour satisfaire à cette exigence, le réseau doit entretenir un débit d'environ 31 m³/s pour chaque réacteur. Plus de 85 % du débit total d'eau de refroidissement de la centrale sert à réfrigérer le condenseur. Environ 4 MW d'électricité sont nécessaires pour actionner les pompes de chaque réacteur.

26.3.4 Eau de service commune

Le circuit d'eau de service commune assure l'alimentation continue d'eau à la zone de service centrale, à la station de traitement d'eau, au bâtiment sous vide et au bâtiment des services auxiliaires. Cette eau est tamisée et filtrée avant d'être distribuée. Elle sert au refroidissement, à la dilution des déchets, à l'arrosage des pelouses, etc.

26.3.5 Eau de service à basse pression

Le circuit d'eau de service à basse pression (CESBP) assure l'écoulement continu de l'eau filtrée du lac pour le refroidissement d'éléments particuliers comme les joints, les paliers et les échangeurs de chaleur. La température de ce circuit varie de 2 à 27° C. Ce circuit s'alimente au canal d'amenée.

26.3.6 L'eau de service recirculée à haute pression

Le circuit d'eau de service recirculée à haute pression (CESRHP) est alimenté par le circuit d'eau de service à basse pression. Le circuit augmente la pression et, en dirigeant une partie de l'écoulement de sa sortie vers son alimentation, porte la température de 15 à 30 °C. Le circuit sert à prévenir le gel de l'eau lourde et à alimenter les appareils haut placés dans la centrale. Le D₂O gèle à environ 4 °C, soit 4° plus haut que la température typique d'un lac canadien en janvier. Il alimente habituellement les échangeurs de chaleur du circuit fermé de refroidissement par eau de service déminéralisée, les moteurs des

pompes du modérateur, les refroidisseurs de l'huile des pompes d'alimentation à haute température, les pompes de refroidissement de l'entretien, les dessiccateurs du circuit de récupération de la vapeur de D₂O et les pompes de caloportage.

26.3.7 Circuit fermé de refroidissement par eau de service déminéralisée

Le circuit fermé de refroidissement par eau de service déminéralisée sert à réfrigérer les appareils de la centrale sensibles à la corrosion. Il alimente normalement le refroidisseur de la purge et du joint du circuit à haute température, la chambre d'eau des neutrons retardés et les boucliers anti-neutron des pompes du circuit à haute température.

26.3.8 Réseau d'alimentation d'urgence en eau

Le réseau d'alimentation d'urgence en eau possède une classification environnementale et une classification parasismique. En cas de non disponibilité des réseaux normaux, il alimente en eau de refroidissement, les systèmes critiques — eau d'alimentation du générateur de vapeur, eau de service à basse pression, alimentation électrique de catégories IV et III. L'énergie nécessaire à ce réseau provient du réseau d'alimentation électrique d'urgence. Au besoin, on pourra aiguiller la circulation d'eau vers les générateurs de vapeur, les échangeurs de chaleur, les échangeurs du système de refroidissement d'urgence du cœur, le circuit caloporteur, les refroidisseurs de l'enceinte ou le système de refroidissement des piscines primaire ou secondaire de stockage du combustible épuisé. Ce réseau d'alimentation d'urgence tire son eau de l'exutoire de la centrale. Il dispose ainsi d'une source indépendante, dans le cas où il ne serait pas possible de se ravitailler au bief d'amont.

26.3.9 Autres réseaux d'eau

Le réseau d'eau anti-incendie de la centrale alimente les systèmes comme les armoires à tuyaux d'incendie, les bouches d'arrosage, les extincteurs en douche des transformateurs, les systèmes de gicleurs des turbines et les générateurs à mousse physique. En cas d'urgence, il peut fournir de l'eau aux piscines de combustible épuisé, au système de refroidissement d'urgence du cœur, à la citerne d'eau d'urgence du bâtiment sous vide et aux échangeurs de chaleur du modérateur. Le réseau s'alimente au canal d'amenée commun.

Le circuit de distribution d'eau domestique diffère d'une centrale à l'autre, mais il a la même utilité. L'eau potable chaude et froide est fournie aux appareils de plomberie (toilettes, urinoirs, éviers, douches, fontaines, douches oculaires, douches d'urgence) et les machines à

laver utilisées dans la centrale et ses édifices annexes. L'eau provient de la station de pompage locale ou de l'usine de purification d'eau.

26.4 Alimentation en air

Une centrale CANDU utilise beaucoup d'air comprimé. La qualité de l'air consommé varie avec l'usage prévu. Ainsi, une centrale possède plusieurs circuits d'air comprimé.

26.4.1 Air d'instrumentation

Le circuit d'air d'instrumentation est une source d'air comprimé de qualité alimentant les appareils distribués dans la centrale. On trouve plusieurs circuits : un pour les zones communes de la centrale et un pour chaque réacteur. L'air comprimé sert aux actionneurs des vannes de régulation, aux servomoteurs, aux commandes pneumatiques, et à des utilisations spéciales dans le laboratoire de chimie et la piscine du combustible épuisé pour lesquelles l'air de service n'est pas de qualité suffisante.

26.4.2 Air de service

Le circuit d'air de service alimente toute la centrale en air comprimé pour différents usages. On utilise cet air comprimé pour les outils pneumatiques, le nettoyage et la régénération de la station de traitement d'eau.

26.4.3 Air respirable

Ce système de ventilation fournit de l'air respirable dans les parties de la centrale où le port de la combinaison de plastique est obligatoire. Il est principalement utilisé par le personnel qui travaille dans l'enceinte du réacteur pendant les arrêts. L'air respirable ravitaillant les combinaisons de plastique sert principalement à leur climatisation.

26.5 Système d'identification

26.5.1 Identification des appareils

Pour identifier les éléments des centrales, on a adopté un système normalisé de numérotation. Sur place, l'identification est facilitée par les couleurs et les étiquettes et, sur les dessins (schéma de circulation), par des symboles d'appareils. Toutes les centrales utilisent le même système de numérotation, adapté pour chaque situation. Le système identifie tous les appareils et la plupart des activités d'une centrale.

Le système comporte plusieurs divisions, dont certaines sont présentées à la figure 26.5.

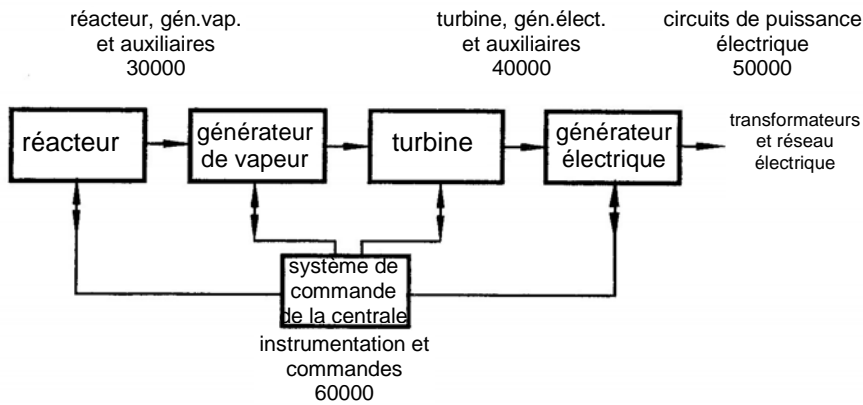


Figure 26.5 Divisions de la numérotation des appareils

Tous les éléments sont regroupés dans les divisions suivantes :

division 0	projet global
division 1	site et améliorations
division 2	édifices, structures et blindage
division 3	réacteur, générateur de vapeur et systèmes auxiliaires
division 4	turbine, générateur électrique et système auxiliaires
division 5	réseaux d'énergie électrique
division 6	instrumentation et commandes
division 7	processus et services communs
division 8	éléments indirects liés à la construction

Tel que montré plus bas, chaque division est subdivisée. Un nombre à cinq chiffres permet d'identifier chaque composante de chaque système de la centrale. L'exemple ci-dessous illustre, pour la division 4, la structure du système de numérotation.

Notez qu'aux niveaux inférieurs à ceux du système, le système de numérotation est adapté aux besoins de chaque centrale.

division	<u>4</u> 0000	turbine, générateur électrique et systèmes auxiliaires
grand système	4 <u>2</u> 000	circuit de condensation
système	42 <u>1</u> 00	circuit principal de condensation
sous-système	421 <u>2</u> 0	circuit d'extraction du condenseur
composants	4212 <u>1</u>	éjecteurs
	4212 <u>2</u>	pompes à vide
	4212 <u>3</u>	vannes
	4212 <u>8</u>	supports de la tuyauterie
	4212 <u>9</u>	tuyauterie

26.5.2 Identification dans la centrale

Le numéro d'identification et une brève description sont apposés sur chaque pièce d'équipement ou sur une étiquette qui lui est attachée. Lorsqu'un sous-système possède plus d'un exemplaire du même composant (p. ex. des vannes), chacun porte un code spécial de dispositif, plutôt qu'un numéro de composant du système. Ce code est formé d'une lettre descriptive (P pour pompe, V pour vanne, etc.) et d'un numéro unique. Par exemple, le numéro 42123 qui désigne n'importe quelle vanne du circuit d'extraction d'air du condenseur est remplacé par 42120-V2 ou 42120-V15 pour indiquer exactement une vanne de ce sous-système.

26.5.3 Tuyauterie

Pour permettre l'identification rapide, la tuyauterie porte un code de couleur qui indique le fluide qui y circule. Une flèche indique le sens de la circulation. Les couleurs normalement utilisées sont :

air	bleu
eau lourde	rose
eau légère	vert
vapeur	argenté (aluminium)
huile	jaune
gaz	brun
chauffage	blanc
drains et égouts	noir
protection contre les incendies	rouge
vide	violet
produits chimiques	orange

26.5.4 Schéma de circulation

La série complète des schémas de circulation est conservée dans chaque centrale. Ces schémas de circulation sont les représentations graphiques de systèmes, à l'aide de symboles normalisés qui représentent des appareils et des dispositifs. Sur ces schémas, les symboles portent le même numéro d'identification codé que les appareils qu'ils représentent. Les interrelations entre les systèmes (circuits, réseaux, etc.) sont indiquées par une référence aux numéros des autres schémas de circulation. La série complète des diagrammes de circulation et de légendes des symboles est déposée au service des registres de chaque centrale.

26.6 Gestion des déchets

26.6.1 Gestion des déchets liquides

Comme toute autre grande installation, une centrale CANDU possède un réseau étendu de siphons de plancher prévus pour évacuer les déversements et les écoulements des différents procédés. Étant donnée la nature des centrales, ce réseau est divisé en :

- drainage des déchets non radioactifs,
- drainage des déchets radioactifs.

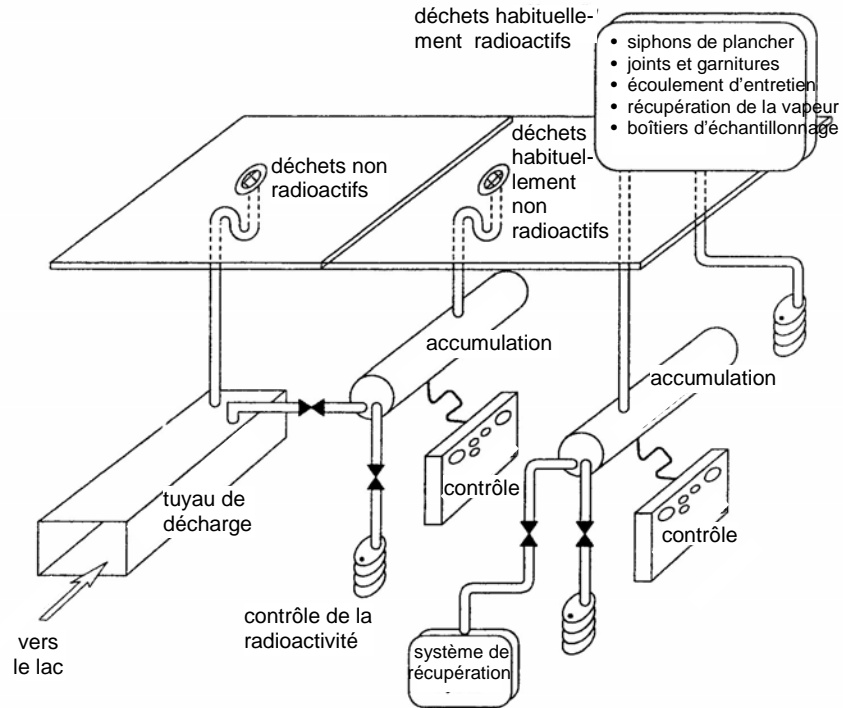


Figure 26.6
Réseau d'évacuation

26.6.2 Drainage des déchets non radioactifs

Le réseau de drainage des déchets non radioactifs recueille les écoulements des parties non nucléaires de la centrale. Selon la construction de la centrale, les déchets liquides sont rejetés (1) dans le canal de décharge de l'eau de refroidissement du condenseur ou (2) le canal d'amenée. Les rejets propres, comme la conduite principale où s'écoule la vapeur mise à l'air libre, sont retournés au lac via des siphons de cour. On surveille le pH des déchets des résines de régénération de la station de traitement d'eau que l'on évacue sous conditions contrôlées, dans le canal de décharge de l'eau de refroidissement du condenseur.

26.6.3 Drainage des déchets radioactifs

Le réseau de drainage des déchets radioactifs recueille l'écoulement de la partie nucléaire de la centrale. Le fonctionnement du réacteur génère d'importantes quantités d'eau, alors, pour réduire le volume d'eau à traiter avant l'évacuation, les flux sortants sont divisés (1) en drainage de déchets habituellement non radioactifs et (2) en drainage de déchets habituellement radioactifs.

Drainage des déchets habituellement non radioactifs

Bien que les eaux rejetées soient peu ou pas radioactives, elles sont collectées avant d'être évacuées afin de pouvoir les traiter, en cas de contamination. La plupart de ces eaux s'écoulent des siphons de plancher de l'édifice du réacteur, de la décharge de la buanderie ainsi que, dans le laboratoire, des éviers et des siphons de plancher non raccordés au drainage des produits radioactifs.

Drainage des déchets habituellement radioactifs

Les déchets évacués par ce réseau sont habituellement radioactifs, ainsi ils sont collectés et échantillonnés afin d'établir s'ils doivent être traités avant d'être rejetés. Les déchets habituellement radioactifs proviennent des siphons de plancher de la travée auxiliaire du réacteur, du siphon de la piscine de combustible épuisé, des boues des résines échangeuses d'ion épuisées, des siphons de la piscine de combustible épuisé auxiliaire, des siphons pour produits radioactifs dans les laboratoires de chimie, des siphons du centre de décontamination, des siphons de l'atelier d'entretien des machines de chargement de combustible, du siphon de l'eau du premier cycle de rinçage dans la buanderie, du siphon des douches de décontamination.

Pour capter l'eau lourde, dans l'édifice du réacteur, les déchets liquides sont dirigés vers le système de récupération des liquides.

26.7 Gestion des déchets radioactifs

26.7.1 Stockage du combustible épuisé

Les centrales ne produisent pas d'énormes quantités de matières fortement radioactives. En moyenne, une centrale de 850 MW à quatre réacteurs épuise annuellement 20 000 grappes de combustible (390 Mg/an).

On entrepose le combustible épuisé dans des piscines d'eau légère déminéralisée, appelées parfois travées (ou baies) de stockage. Conserver le combustible dans l'eau permet de le refroidir, de le surveiller, de le manutentionner et de se protéger de son rayonnement. À court et moyen termes, les piscines de chaque centrale suffisent amplement à traiter le combustible épuisé, mais viendra un temps où l'on devra probablement stocker le combustible le plus ancien, à sec, sur le site de la centrale. Cette forme d'entreposage est possible puisque, avec le temps, l'intensité du rayonnement et de la chaleur émis par le combustible diminue beaucoup. Plusieurs centrales conservent sur place une partie de leur combustible épuisé, dans des conteneurs de stockage à sec.

26.7.2 Réduction du volume des déchets et leur stockage

Une installation de stockage type est conçue pour réduire, par incinération ou compactage, le volume final de déchets radioactifs. Ces installations sont prévues pour recevoir des déchets faiblement ou moyennement radioactifs.

Les déchets placés dans des conteneurs métalliques spécialement conçus parviennent par camion à l'installation. Si possible, les déchets sont incinérés et les cendres radioactives sont déversées dans des barils de 200 litres, ce qui permet de réduire par 20 le volume final. Les déchets qui ne peuvent être incinérés à cause de leur teneur en métal ou leur forte radioactivité sont compactés, ce qui réduit par quatre leur volume final.

Après ce traitement, ils sont reclassifiés en déchets faiblement, moyennement ou fortement radioactifs. Les déchets faiblement radioactifs sont entreposés dans des entrepôts, ceux moyennement radioactifs sont placés dans des tranchées profondes et ceux fortement radioactifs sont conservés dans des silos verticaux profonds.

Voici quelques exemples de déchets radioactifs :

- les chiffons et les vêtements de protection (faiblement, moyennement ou fortement radioactifs),
- les parties d'appareils ou les outils (moyennement ou fortement radioactifs),
- les filtres des joints du circuit de caloportage (fortement radioactifs),
- les résines d'échange d'ion épuisées du modérateur et du circuit de caloportage, ainsi que les composantes du cœur devenues radioactives par le bombardement de neutrons (fortement radioactifs).

26.8 Gestion de l'eau lourde

La production d'eau lourde est coûteuse. Lorsqu'elle est utilisée dans un réacteur, elle devient radioactive, surtout à cause de la création de tritium. Il est donc essentiel de la gérer afin de :

- minimiser les pertes permanentes,
- réduire les rejets dans l'environnement,
- minimiser les dangers chroniques auxquels le personnel est exposé.

La figure 26.7 montre les systèmes utilisés pour gérer le D₂O dans une centrale CANDU.

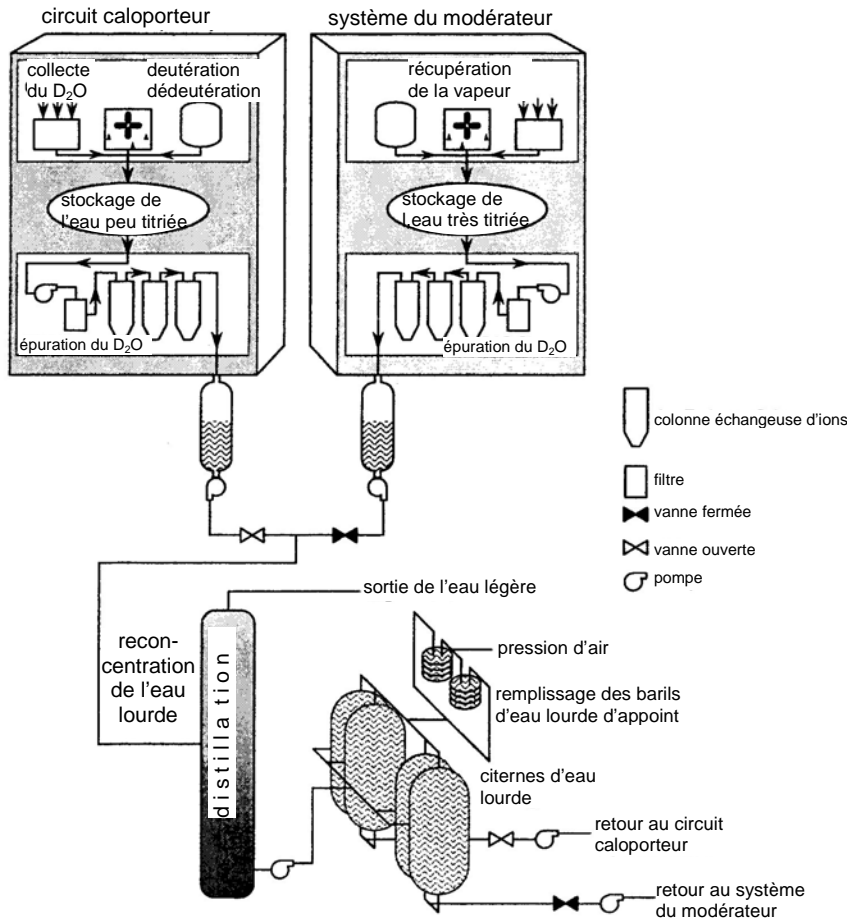


Figure 26.7
Système CANDU de gestion de l'eau lourde

26.8.1 Récupération des pertes

La maintenance de l'eau lourde fait partie des coûts d'exploitation d'une centrale CANDU. Elle consiste à remplacer l'eau lourde définitivement perdue et d'enrichir celle qui a été appauvrie (dont la teneur en deutérium est sous la limite isotopique).

L'eau lourde peut être définitivement perdue via :

- les fuites de vapeur (le phénomène le plus important),
- le stockage de grappes mouillées dans la piscine de combustible irradié,
- la deutération de la résine et la dédeutération qui appauvrissent définitivement l'eau lourde définitivement appauvrie,
- l'échantillonnage et l'analyse de l'eau,
- la décontamination des composants,

- la fraction supérieure produite par l'enrichisseur qui contient un faible pourcentage de D₂O irrécupérable,
- les fuites dans l'échangeur de chaleur du modérateur.

Afin de minimiser les pertes de D₂O, on utilise des circuits particuliers de récupération et de collection de la vapeur. Les zones où les pertes de vapeur sont les plus probables sont équipées de systèmes de ventilation fermés dotés de dessiccateurs à récupération de vapeur qui recouvrent la majorité de la vapeur. Le D₂O récupéré est toujours appauvri, puisqu'il contient de l'humidité tirée de l'air. Ces systèmes de récupération n'empêchent pas que la plus grande perte d'eau lourde provienne d'échappées de vapeur.

Avant d'installer les colonnes d'échanges d'ion, on effectue la *deutération* de leur résine, soit le remplacement des ions d'eau légère par des ions d'eau lourde pour éviter l'appauvrissement de l'eau lourde. Avant d'évacuer les colonnes épuisées, on effectue l'opération inverse, la *dédeutération* des résines, pour recouvrer l'eau lourde.

Il existe deux types de systèmes de collecte d'eau lourde liquide. Rarement utilisé, le système ouvert repose sur l'utilisation de plateaux d'égouttage sous des points de fuite possibles, comme les raccords à bride. Le système fermé, quant à lui, dirige les fuites de D₂O directement à des citernes sans que le liquide n'entre en contact avec l'air afin d'éviter la contamination par l'humidité atmosphérique. Les fuites de ce type proviennent généralement des tiges de manœuvre des vannes à double garniture et des vannes à soufflets

26.8.2 Enrichissement

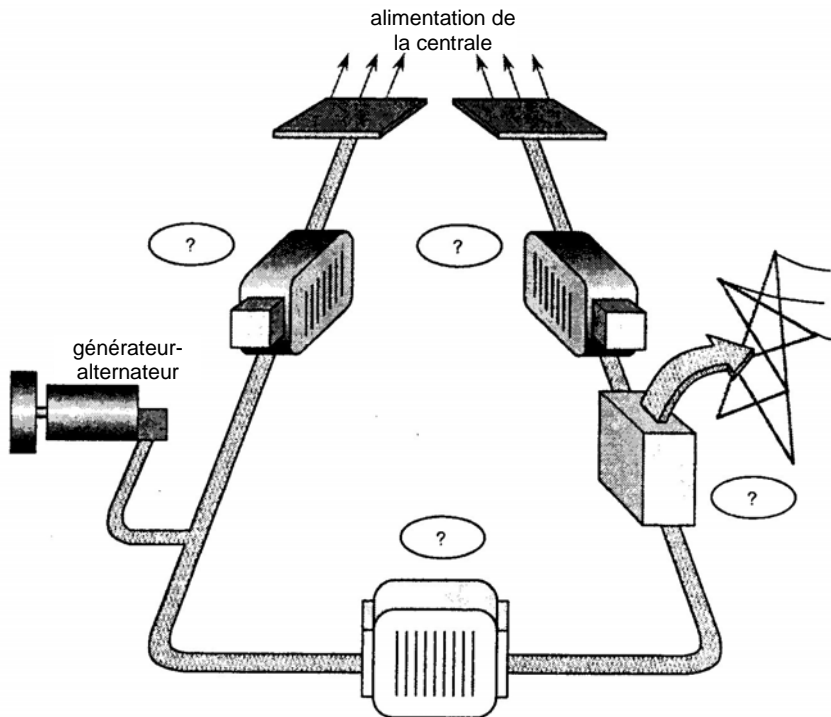
Il n'est pas rentable de récupérer l'eau lourde dont la concentration isotopique est inférieure à un certain seuil. Lorsque cela est possible, l'eau est acheminée au reconcentrateur de la centrale. Celui-ci sépare par distillation l'eau légère de l'eau lourde, le distillat contient 99,9 % de D₂O.

26.8.3 Extraction du tritium

L'usine d'extraction du tritium de la centrale nucléaire de Darlington fait partie de la filière de l'eau lourde. Cette installation permet d'extraire le tritium de l'eau lourde utilisée comme modérateur ou caloporteur. Le remplacement de l'eau lourde du modérateur et du circuit caloporteur par cette eau lourde à faible teneur de tritium réduit les risques que le tritium fait courir au personnel. Le tritium extrait est vendu.

26.9 Exercices

- 1) Quels sont les éléments fondamentaux d'un générateur de courant électrique alternatif?
- 2) Quelles sont les deux sources de chaleur dans le générateur-alternateur et quelles sont les deux méthodes utilisées pour l'évacuer?
- 3) Sur le schéma du réseau électrique d'une centrale CANDU, ci-dessous, identifiez chaque élément indiqué par un point d'interrogation [?] et expliquez-en la fonction.



4) Complétez le tableau suivant :

Catégorie d'alimentation	Longueur autorisée des interruptions	Source habituelle d'énergie	Source auxiliaire d'énergie	Exemple
Catégorie IV				
Catégorie III				
Catégorie II				
Catégorie I				

5) Quelle est l'utilité de l'alimentation électrique d'urgence?

6) Donnez la fonction des systèmes suivants :

- a. Traitement de l'eau
- b. Eau de refroidissement du condenseur
- c. Eau de service commune
- d. Eau de service à basse pression
- e. Eau de service recirculée à haute pression
- f. Circuit fermé de refroidissement par eau de service déminéralisée

- 7) À quoi sert le réseau d'alimentation d'urgence en eau ? D'où puise-t-il son eau?
- 8) Donnez les fonctions des systèmes d'alimentation en air suivants :
 - a. Air d'instrumentation
 - b. Air de service
 - c. Air respirable
- 9) Pourquoi entrepose-t-on le combustible irradié dans des piscines profondes?
- 10) Pourquoi est-il important de réduire le volume des déchets solides?
- 11) Pourquoi gère-t-on l'eau lourde avec tant d'attention?
- 12) Où les pertes de D_2O peuvent-elles se produire? Quels systèmes ont-ils été disposés pour minimiser ces pertes?
- 13) Quelle est l'utilité de l'usine d'extraction du tritium?