

# Les installations nouvelles de l'usine génératrice thermique de Gennevilliers

PAR

**J. STOLZ**

Ingénieur au Groupe de Production thermique  
de la Région parisienne, Electricité de France.

Facsimile by [www.urban-resources.net](http://www.urban-resources.net)

---



ÉDITEUR  
12, Place Henri-Bergson, 12  
PARIS (VIII<sup>e</sup>)  
1951

## Les installations nouvelles de l'usine génératrice thermique de Gennevilliers

M. J. STOLZ après avoir rappelé la consistance de l'ancienne usine génératrice thermique de Gennevilliers, édifiée en 1921, expose les raisons qui, après la guerre de 1939-1945, ont conduit à incorporer à cette installation une section constituant un important aménagement répondant aux données les plus récentes de la technique moderne de la production thermique d'énergie électrique. Il s'agit de deux groupes turboalternateurs d'une puissance unitaire de 100 000 kilowatts, alimentés chacun par de la vapeur à la pression de 89 kilogrammes par centimètre carré et à la température de 520 degrés centésimaux fournie par deux chaudières d'une capacité de production horaire de 240 tonnes. La vitesse de ces groupes est de 3 000 tours par minute; leurs alternateurs sont refroidis par l'hydrogène. L'auteur décrit successivement : 1° les engins de déchargement du charbon par voie fluviale et par voie ferrée correspondant à la constitution d'un parc à charbon d'une capacité de 250 000 tonnes; 2° les installations de manutention et de broyage du charbon; 3° les appareils évaporateurs et leurs auxiliaires; 4° les groupes turboalternateurs et leurs auxiliaires; 5° le poste de 60 kilovolts à phases séparées desservant le réseau de la Région parisienne et dont l'interconnexion avec les usines génératrices de Saint-Denis et de la région du Nord est réalisée au moyen de lignes aériennes à 220 kilovolts.

**I. Introduction.** — C'est avant 1939 qu'avait été décidée l'installation à l'usine génératrice thermique de Gennevilliers de groupes turboalternateurs et de chaudières à haute pression, dont la construction devait permettre d'accroître la capacité de production d'énergie électrique d'origine thermique de la Région parisienne.

Le choix de cette usine se justifiait par la préexistence d'un

important réseau de distribution à 60 kV, et par le réemploi possible de certaines parties des équipements déclassés qu'il convenait de supprimer.

Les projets établis à cette époque se trouvèrent modifiés par la guerre de 1939-1945 qui, en interdisant la fabrication immédiate du matériel prévu, permit de profiter des progrès réalisés par les constructeurs depuis l'époque du projet



Fig. 1. — Vue aérienne de l'usine de Gennevilliers pendant la construction.

(Cliché Chouffet.)

initial jusqu'au moment où il fut de nouveau possible de réali-  
ser l'usine nouvelle.

A l'heure actuelle, l'usine à haute pression de Gennevilliers

est en service, et la puissance totale que l'on avait décidé  
d'y installer sera, vraisemblablement, disponible au cours  
du premier semestre de l'année 1951.

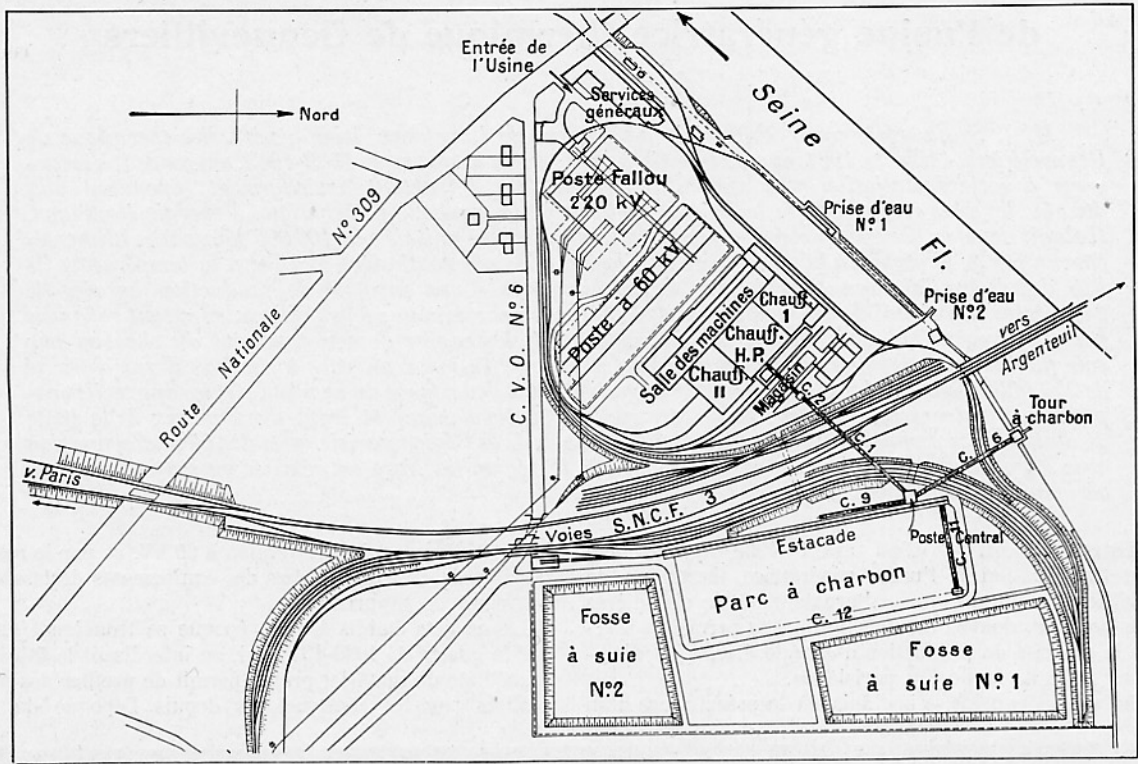


Fig. 2. — Plan général de l'usine.

## II. Rappel de la composition de l'usine ancienne.

— A l'origine, c'est-à-dire en 1921, l'usine génératrice thermique de Gennevilliers comprenait quinze chaudières, dont cinq chaudières Stirling de 60 t : h et dix chaudières Babcock et Wilcox de 30 t : h, alimentant six groupes turboalternateurs d'une puissance unitaire de 35 MW <sup>(1)</sup>.

Deux extensions successives permirent la mise en service, en 1928, de huit chaudières Ladd-Belleville de 90 t : h et de

<sup>(1)</sup> M. BLONDIN; La grande usine thermoélectrique de Gennevilliers. *Revue générale de l'Electricité*, 24 février et 3 mars 1923, t. 13, p. 283-302 et 313-369.

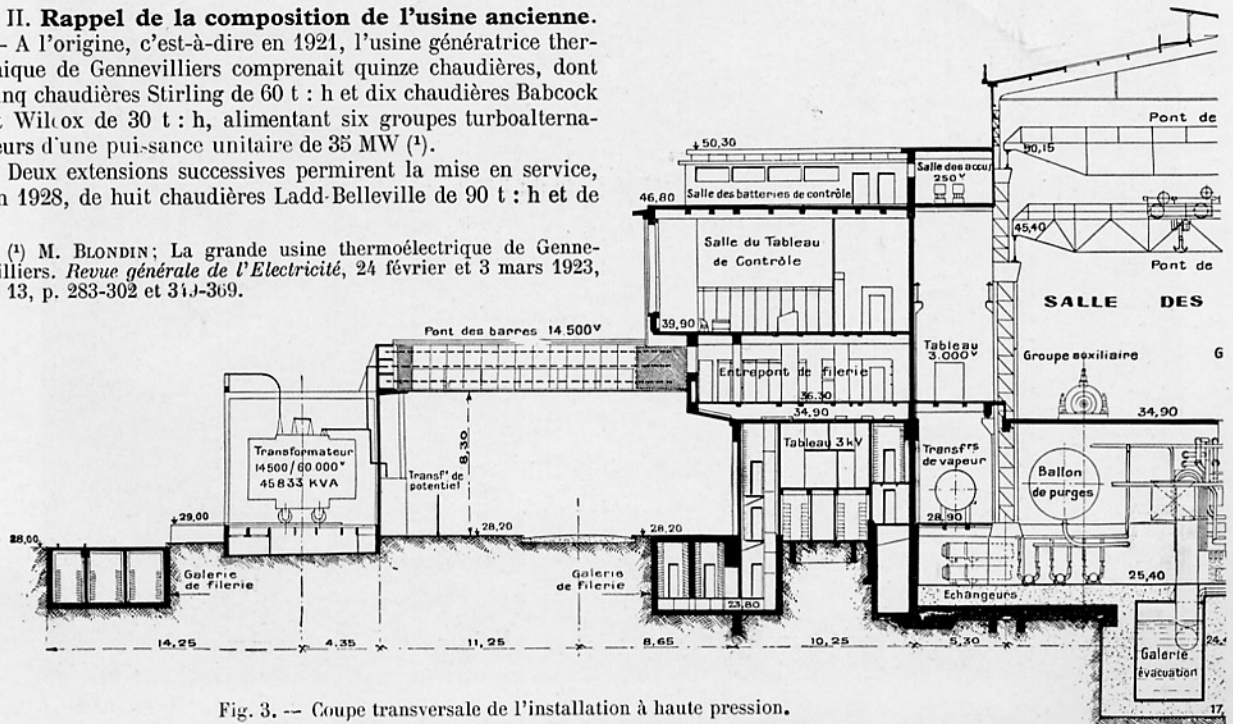


Fig. 3. — Coupe transversale de l'installation à haute pression.

deux groupes turboalternateurs de 50 MW, puis de quatre chaudières Rauber-Luquet de 90 t : h. dont la construction était achevée en 1933, cependant que la puissance de trois des machines de 35 MW était accrue par adjonction aux turbines de corps à haute pression.

En 1945, époque où débutèrent les démolitions préliminaires, la disposition était la suivante : du côté Nord, quatre chaudières Rauber-Luquet et deux groupes turboalternateurs de 35-40 MW ; du côté Sud, huit chaudières Ladd-Belleville et deux groupes de 50 MW. Ce matériel, encore en service à l'heure actuelle, a pour caractéristiques de vapeur : 25 : kg cm<sup>2</sup> pour la pression à l'admission, et 400°C pour la température de la vapeur surchauffée.

Entre ces deux ensembles se trouvaient encore deux machines de 35 MW qui, déclassées, n'étaient plus utilisées que comme compensateurs synchrones, et trois chaudières à basse pression qui fournissaient aux clients industriels du voisinage de la vapeur à la pression de 21 kg : cm<sup>2</sup> et à la température de 235°C.

Cette partie centrale a été abattue, et c'est sur son emplacement que sont édifiées les chaudières et les turbines à haute pression. Cette

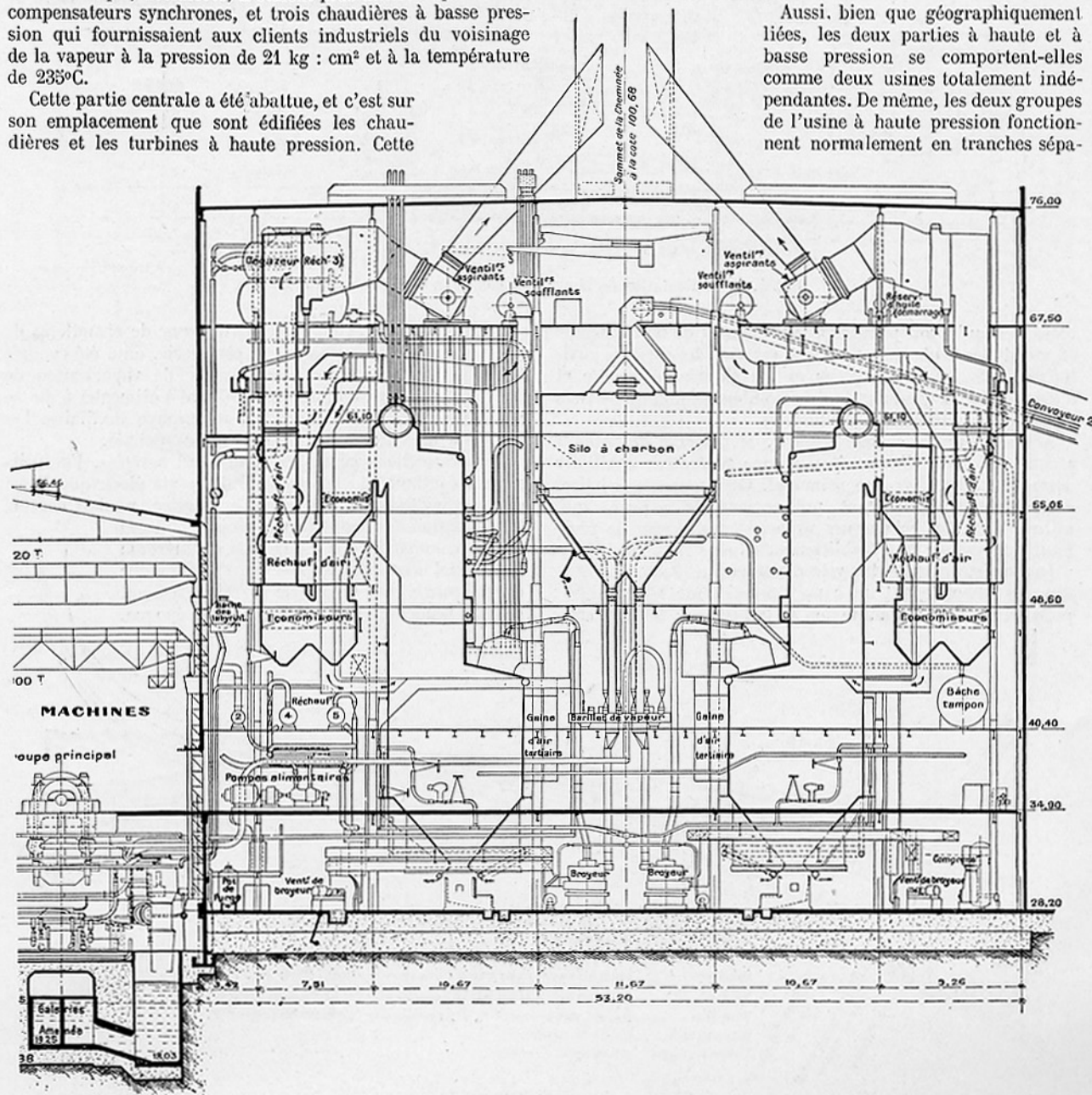
rénovation de l'usine a nécessité la construction d'un parc à combustible dont la capacité corresponde à la consommation accrue de l'ensemble, et la réfection totale du poste de distribution d'énergie électrique à 60 kV.

L'ancien poste était en effet du type intérieur à phases imbriquées, très éloigné de la tendance actuelle, et avait passablement souffert de divers bombardements au cours de la guerre.

Les figures 1 et 2 représentent une vue aérienne et le plan général de l'installation.

**III. Conception générale de l'installation nouvelle.** — Il fallait que le fonctionnement des nouvelles unités, les plus économiques et pour cela les plus utilisées, présentât le maximum de sécurité.

Aussi, bien que géographiquement liées, les deux parties à haute et à basse pression se comportent-elles comme deux usines totalement indépendantes. De même, les deux groupes de l'usine à haute pression fonctionnent normalement en tranches sépa-



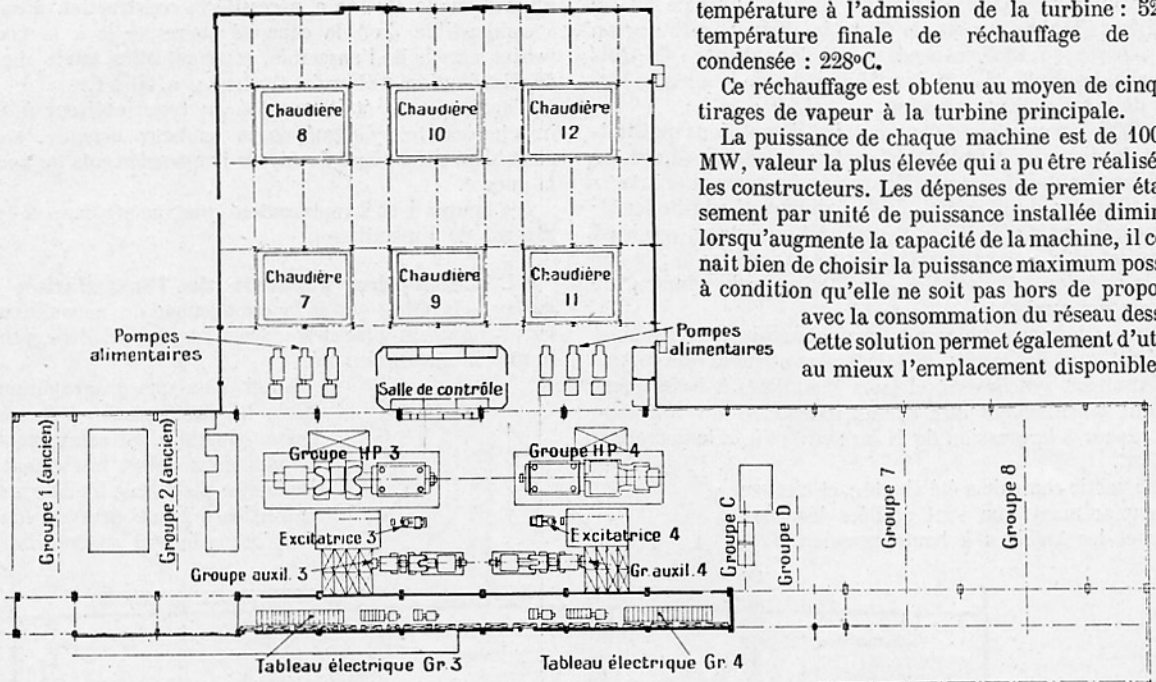


Fig. 4. — Implantation de la chaufferie et de la salle des machines.

température à l'admission de la turbine : 520°C ;  
température finale de réchauffage de l'eau condensée : 228°C.

Ce réchauffage est obtenu au moyen de cinq soutirages de vapeur à la turbine principale.

La puissance de chaque machine est de 100/110 MW, valeur la plus élevée qui a pu être réalisée par les constructeurs. Les dépenses de premier établissement par unité de puissance installée diminuant lorsqu'augmente la capacité de la machine, il convenait bien de choisir la puissance maximum possible, à condition qu'elle ne soit pas hors de proportion avec la consommation du réseau desservi. Cette solution permet également d'utiliser au mieux l'emplacement disponible.

rées, bien qu'il soit possible à tout moment de les alimenter en parallèle. Seuls sont communs certains des services auxiliaires, tels les prises d'eau et les galeries d'amenée et d'évacuation, la manutention du combustible, et les services généraux des bureaux et des ateliers.

A l'intérieur de chaque tranche, le principe de sécurité a conduit à l'installation d'un groupe générateur auxiliaire desservant chaque groupe principal. Ces groupes auxiliaires comportent un important prélèvement de vapeur, qui, utilisée dans des échangeurs vaporisateurs, permet la fourniture de vapeur aux établissements industriels voisins.

Les caractéristiques du cycle choisi pour les deux nouveaux groupes turboalternateurs à haute pression sont les suivantes : pression absolue à l'admission de la turbine : 89 kg : cm<sup>2</sup> ;

Compte tenu de la nécessité de disposer de chaudières de réserve, et des dimensions de la chaufferie, on a été conduit à prévoir six chaudières d'un pouvoir de vaporisation de 240/265 t : h, deux d'entre elles suffisant à alimenter à pleine puissance un groupe principal et son groupe auxiliaire. Les figures 3 et 4 montrent la disposition réalisée.

Les dispositions générales étant ainsi arrêtées, l'accroissement continu de la demande d'énergie électrique, ainsi que le vieillissement des usines en service, rendait urgente la réalisation des installations projetées. Aussi a-t-on commandé aux États-Unis d'Amérique le matériel nécessaire au montage d'une tranche de puissance. Les délais de livraison étaient en effet beaucoup plus réduits, à cette époque,

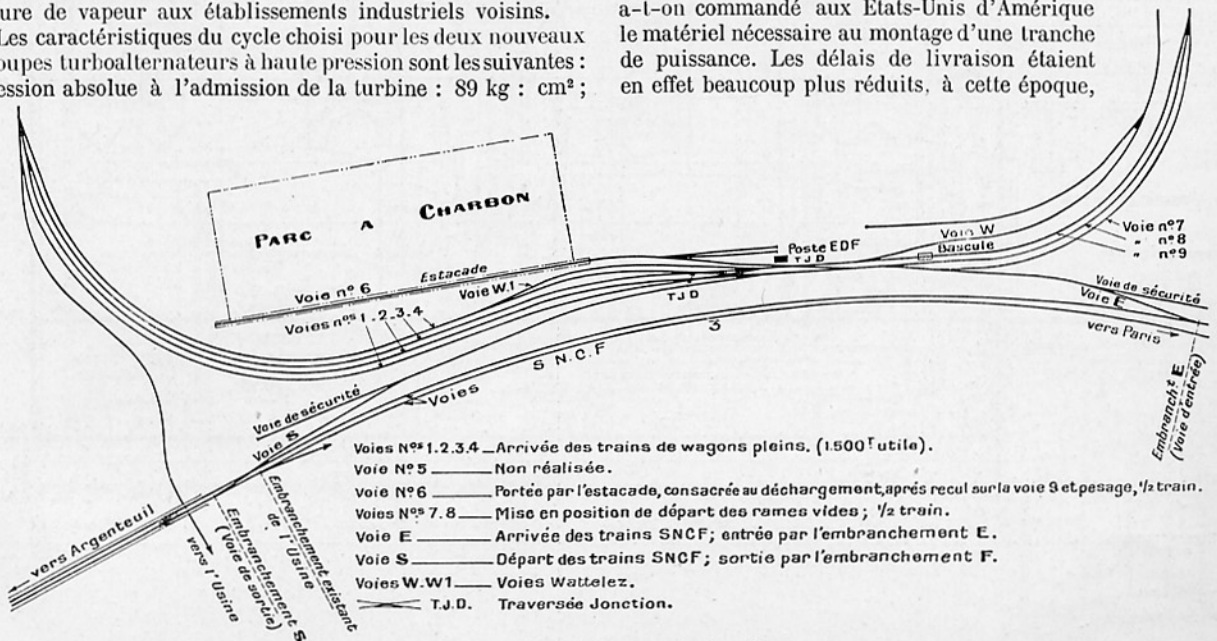


Fig. 5. — Plan de la gare charbonnière.

que ceux des constructeurs français, pour qui beaucoup de caractéristiques de l'installation étaient nouvelles. On a commandé de même aux États-Unis d'Amérique le matériel commun aux deux tranches.

Par contre, les chaudières et le groupe générateur principal de 100/110 MW de la deuxième tranche, ainsi que les groupes générateurs auxiliaires, ont été construits en France.

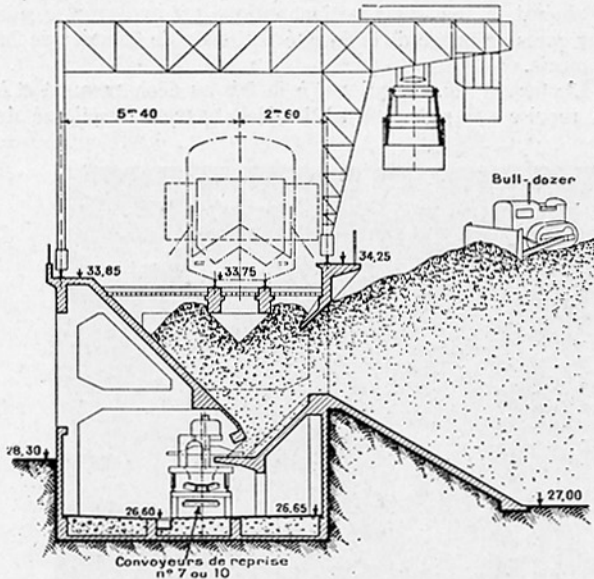


Fig. 6. — Coupe de l'estacade de déchargement du charbon.

#### IV. Installation nouvelle de production de vapeur.

— A. Manutention du combustible. — La consommation de charbon nécessaire pour les groupes turboalternateurs de 100 MW, dont l'utilisation est très importante, est d'environ 2 000 t par jour. Par ailleurs, l'usine à basse pression, consomme également 2 000 t de charbon par jour, au moins pendant l'hiver, où l'énergie qu'elle fournit est maximum.

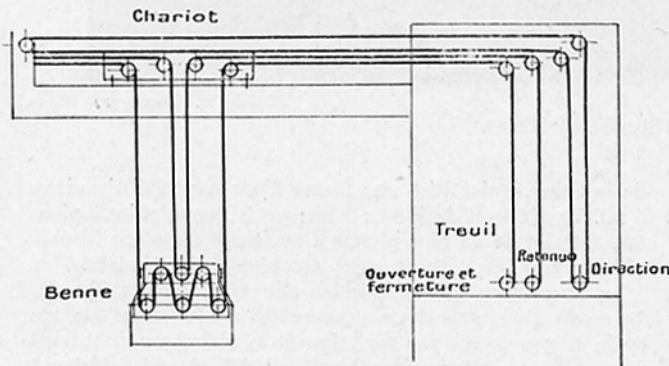


Fig. 17. — Câblage des treuils de la tour de déchargement par voie fluviale.

Le parc à charbon existant avait une capacité de 40 000 t, et un débit quotidien d'environ 2 000 t et il était impossible d'agrandir l'aire de stockage, impossible également d'améliorer sensiblement les moyens de manutention qui le desservent.

Il était donc nécessaire de construire un ensemble complètement nouveau, permettant le déchargement, le stockage

et le transport aux chaufferies d'environ 7 000 t par jour de charbon, compte tenu des irrégularités d'arrivage. De plus, la quantité de charbon stockée devait atteindre 200 000 t environ, pour n'être pas disproportionnée à la consommation quotidienne.

Enfin il était souhaitable que les différentes qualités de charbon reçu puissent être mélangées en proportions convenables pour assurer l'approvisionnement des chaufferies en combustible dont les caractéristiques soient aussi indépendantes que possible des irrégularités d'approvisionnement.

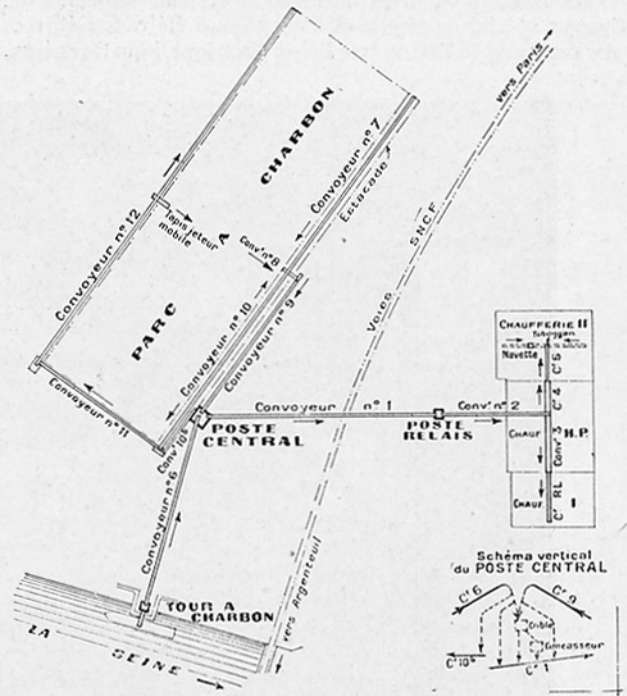


Fig. 8. — Schéma général des convoyeurs de la manutention de charbon.

Le nouveau parc est situé à proximité de l'usine (fig. 2), dans des terrains loués à la Ville de Paris et au Département de la Seine, du côté Est des voies de la Société nationale des Chemins de fer français.

1. DÉCHARGEMENT PAR VOIE FERRÉE. — Les wagons pleins, en provenance de la voie E (fig. 5), sont garés sur les voies nos 1, 2, 3, 4. La longueur disponible permet le stationnement de wagons pour un total de 6 000 t de combustible. Une desserte quotidienne supplémentaire permettrait d'augmenter facilement la quantité ainsi reçue. Deux voies, nos 7 et 8, permettent le garage des wagons vides avant leur reprise par la Société nationale des Chemins de fer français. La sortie de la gare se fait par un embranchement spécial (S), qui permet d'atteindre immédiatement la

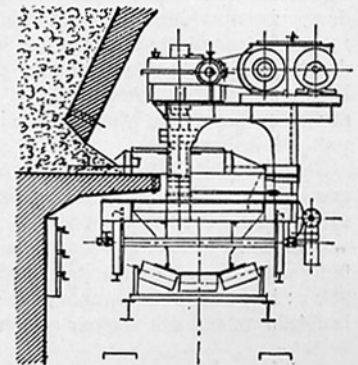


Fig. 9. — Coupe d'un distributeur rotatif.

voie des marchandises, alors que la sortie par l'embranchement E aurait conduit à ramener les trains vides jusqu'à la gare du Stade de Colombes avant que soit possible le réembranchement sur la voie de marchandises, manœuvre incompatible avec la fréquence des passages des trains de voyageurs sur ces lignes.

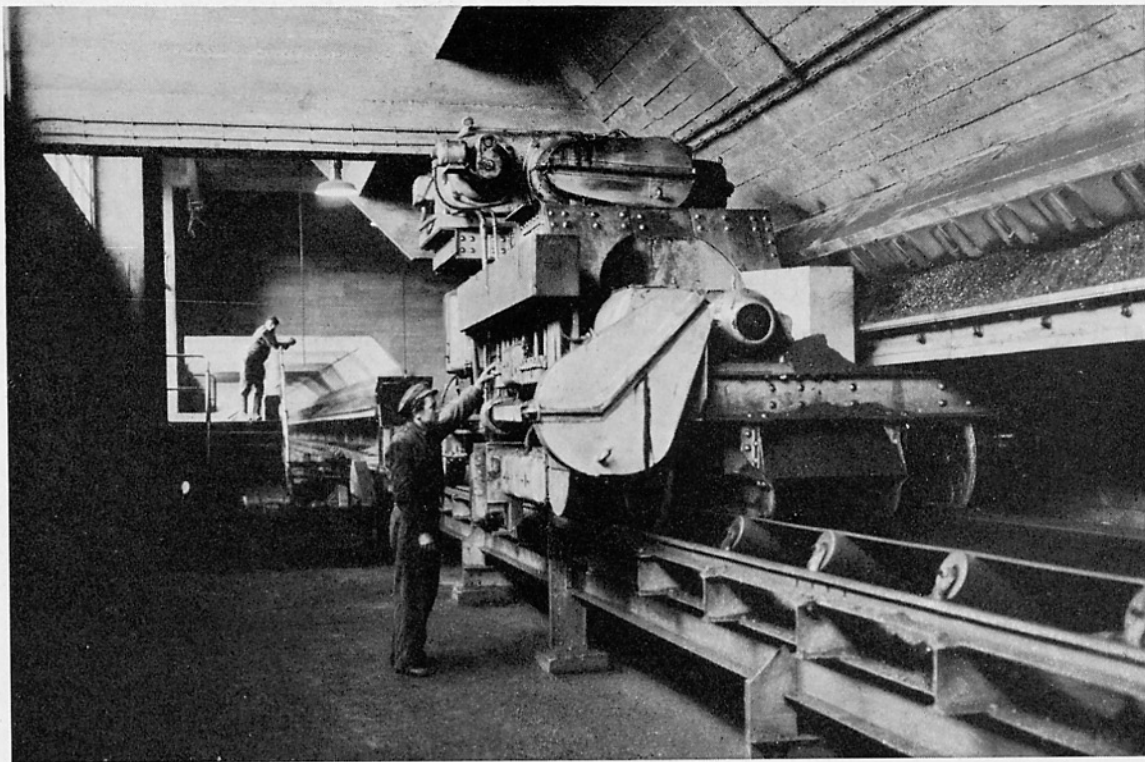
Les wagons sont déchargés sur la voie n° 6, portée par une estacade en béton qui longe le parc à charbon. A cet effet, le train plein doit reculer sur la voie n° 9, où une bascule permet de peser le combustible avant son déchargement.

Les deux locomotives de manœuvre, pour lesquelles un hangar spécial de remise et d'entretien a été construit, sont des machines de 72 t, du type Diesel électrique, à quatre essieux,

d'une puissance de 650 ch, capables de déplacer 1 200 t en palier à la vitesse de 15 km : h ; elles sont de fabrication américaine, car les délais de construction en France étaient d'autant plus longs que les caractéristiques exigées n'étaient celles d'aucune machine normalisée française.

Les voies sont construites avec des rails normalisés de 50 kg par mètre. La commande des aiguillages de l'usine est électrique et reproduite au poste d'aiguillage sur un tableau d'itinéraires. La signalisation optique est analogue à celle des gares de triage de la Société nationale de Chemins de fer français.

L'estacade (fig. 6), qui sert à la fois au déchargement et à la reprise sur parc, permet le déchargement simultané de



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 10. — Vue d'un distributeur rotatif.

840 t de charbon. Celui-ci est reçu dans des silos, d'une capacité totale de 2 000 t, représentant au-dessus des convoyeurs de reprise un volant de combustible suffisant pour que l'opération de transport soit, dans une large mesure, indépendante de l'opération de déchargement proprement dite. De plus, il est possible de stocker là 2 000 t de charbon sans avoir à les mettre en parc, et d'attendre ainsi que les chaufferies soient prêtes à les recevoir.

Normalement, il suffit d'ouvrir les portes des wagons pour que le combustible tombe aux silos. Deux portiques circulant sur l'estacade permettent de décharger commodément les wagons tombereaux, qui constituent encore une partie importante des trains. La capacité unitaire de ces portiques est de 200 t : h et l'un d'eux comporte un secoueur destiné à faciliter le déchargement des wagons automatiques, par temps de gel.

2. DÉCHARGEMENT PAR VOIE FLUVIALE. — Le déchargement des bateaux est effectué au moyen d'une tour située au bord

de la Seine, qui utilise une benne d'une capacité d'environ 6 m<sup>3</sup>. Le débit est de 450 t : h lorsque la benne puise à plein tas. Une benne de plus petites dimensions remplace la précédente pour le déchargement des plus petits chalands.

La manœuvre est commandée par trois treuils (fig. 7). La durée d'un cycle de manœuvre est de 40 s. Le réglage de la vitesse se fait par variation de la résistance du circuit rotorique des moteurs asynchrones de 150 ch qui entraînent les treuils. La puissance produite par le freinage de la benne, lors de sa descente, est dépensée dans des résistances ou restituée au réseau. Les variations de couple au démarrage sont automatiques ; seule est réglée la vitesse finale.

Cette tour est fixe et un système de deux treuils permet de déplacer les chalands devant elle. On réalise ainsi une économie d'installation considérable.

La benne déverse le charbon, par l'intermédiaire d'une trémie, sur un convoyeur qui le transporte jusqu'au poste central de manutention.

3. PARC A CHARBON. — Le parc à charbon, de forme rectangulaire, a une superficie de 8 ha. A ses abords immédiats sont situées les fosses de décanation des suies.

La mise en parc du charbon se fait par l'intermédiaire de convoyeurs à courroie, dont la figure 8 montre les trajets. Tous les convoyeurs de la manutention sont munis de courroies de 106 cm de largeur. La vitesse actuelle de 1,50 m : s permet un débit de 450 t : h. On pourrait l'augmenter notablement en cas de nécessité.

1° *Charbon déchargé des wagons.* — Le charbon déchargé des wagons est repris, des silos de l'estacade, par des distributeurs rotatifs (fig. 9 et 10) et déversé sur les tapis n°s 7 ou 10, qui le conduisent jusqu'au point de rencontre des convoyeurs n°s 7, 10 et 8. Il est repris là par les convoyeurs n°s 8, 9, 1 et 2 pour être stocké aux chaufferies. Le tapis n° 10 peut fonctionner dans les deux sens, ce qui permet de diriger le charbon porté par les convoyeurs n°s 7 et 10 sur les convoyeurs n°s 11 et 12. Ce dernier passe sur un chariot verseur mobile à tapis jeteur orientable, par lequel le charbon est versé sur le parc.

2° *Charbon déchargé des bateaux.* — Le convoyeur n° 6, alimenté par la tour de déchargement des chalands, déverse le charbon au sommet du poste central, d'où l'on peut le diriger vers les chaufferies, ou, par l'intermédiaire du convoyeur n° 10 bis, vers les convoyeurs n°s 11 et 12 qui assurent la mise en parc.

3° *Répartition sur parc.* — Le chariot verseur du convoyeur n° 12 permet de constituer le long du bord Est du parc des tas dont la hauteur peut atteindre 11 m. Ces tas

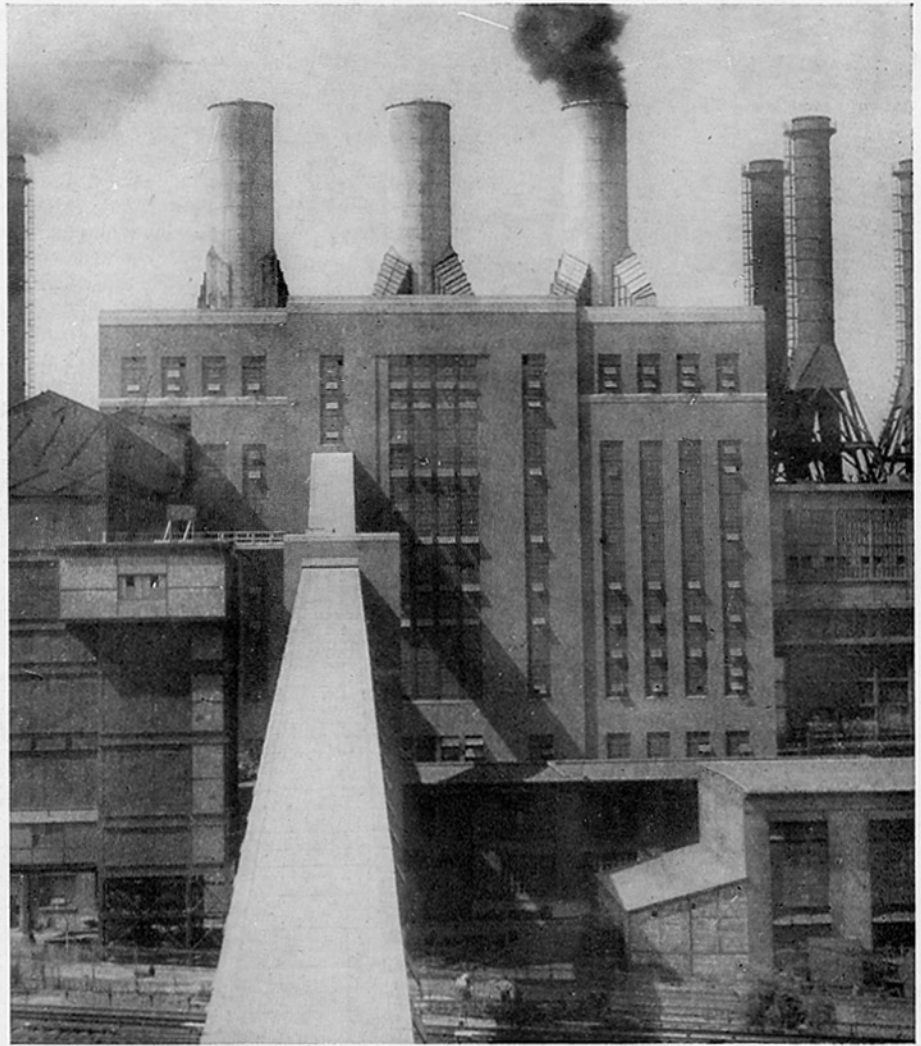


Fig. 11. — Vue des convoyeurs n°s 1 et 2 d'amenée du charbon à la chaufferie et du poste relais.

sont ensuite repris au moyen de bull-dozers et de scrapers, qui répartissent le charbon sur la surface du parc, aux endroits prévus suivant sa qualité.

L'usine dispose à l'heure actuelle de six tracteurs, dont quatre de 140 ch, un de 120 ch et un de 90 ch, et de deux scrapers d'une capacité de 12 m<sup>3</sup>. Il est facile d'augmenter

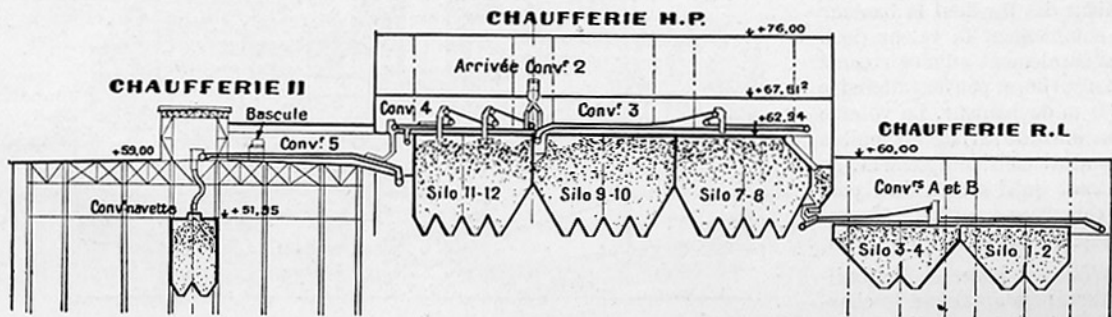


Fig. 12. — Système de distribution du charbon aux chaufferies.

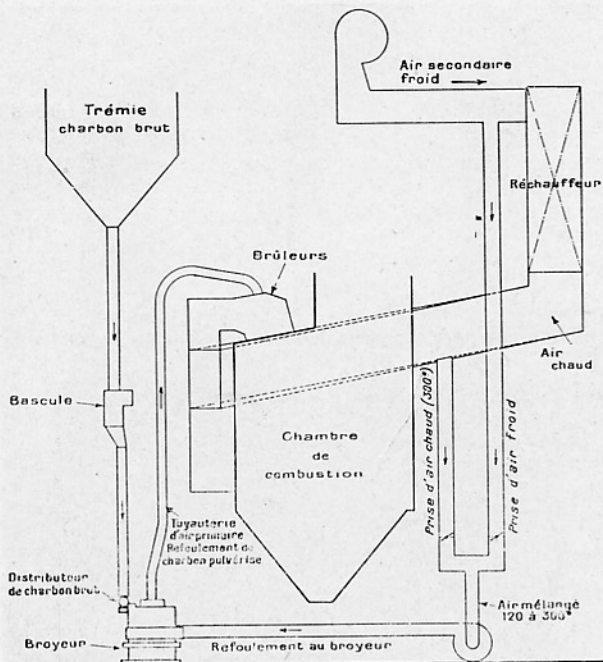


Fig. 13. — Schéma de l'installation de pulvérisation.

le débit total en accroissant le nombre d'engins en service simultanément.

Le principal avantage de ce procédé de manutention, nouveau en France, outre l'augmentation des dimensions du parc, réside dans le tassement de la couche de charbon produit par les passages successifs des tracteurs. Ce tassement chasse en partie l'air contenu dans la masse de combustible, ce qui a deux conséquences favorables. Tout d'abord la densité apparente augmente, ce qui permet, à volume égal, de conserver un plus grand poids de charbon. Cette densité peut atteindre 1 à 1,3 au lieu de 0,8 à 1 qui représente la densité moyenne sur tas naturel. De plus la circulation de l'air dans la masse du stock est interrompue, de sorte que l'échauffement et les risques d'inflammation sont pratiquement supprimés. Cela est spécialement intéressant lorsque le charbon conservé est gras.

On peut en effet constituer sans inconvénient des tas dont la hauteur dépasse notablement la valeur de 5 à 6 m généralement admise comme limite de sécurité, et pouvant atteindre parfois 30 m de hauteur. Le volume stocké par unité de surface disponible augmente ainsi considérablement. Le tonnage total qu'il serait ainsi possible de conserver sur parc à Gennevilliers dépasse 250 000 t.

4° Reprise sur parc. — Les bulldozers et scrapers apportent le charbon à reprendre le long de l'estacade,

et le poussent dans les silos par des fenêtres ménagées à cet effet. De là les convoyeurs n° 7 ou 10 assurent l'expédition aux chaufferies.

4. POSTE CENTRAL DE MANUTENTION. — Les installations décrites précédemment permettent également de multiples combinaisons d'opérations simultanées de déchargement de wagons et de bateaux, de reprise sur parc et d'envoi aux chaufferies, et aussi de mélange des charbons.

Toutes les manœuvres relatives au parc à charbon sont commandées à partir du poste central de manutention. Ce bâtiment, d'une hauteur de 28 m, reçoit à sa partie supérieure les convoyeurs n° 6 et 9. Du pied du poste part le convoyeur n° 1. Le charbon s'écoule sur celui-ci par gravité, après avoir traversé un crible et un concasseur, qui réduisent à 18 mm la plus grande dimension des morceaux expédiés en chaufferie. L'élimination des particules métalliques se fait au moyen de poulies magnétiques à l'arrivée des convoyeurs n° 6 et 9.

Dans ce bâtiment se trouvent également deux transformateurs de 500 kV-A, 3 000 V/380 V et le tableau de distribution à 380 V qui desservent les installations de manutention.

À la partie supérieure du poste central est située la salle de commande d'où l'on règle les mouvements des convoyeurs. Un tableau synoptique porte les boutons de démarrage de tous les moteurs. Un verrouillage électrique interdit les fausses manœuvres.

5. EXPÉDITION EN CHAUFFERIE. — Le convoyeur n° 1 traverse les voies de la Société nationale des Chemins de fer français sur une passerelle d'une longueur totale de 150 m,

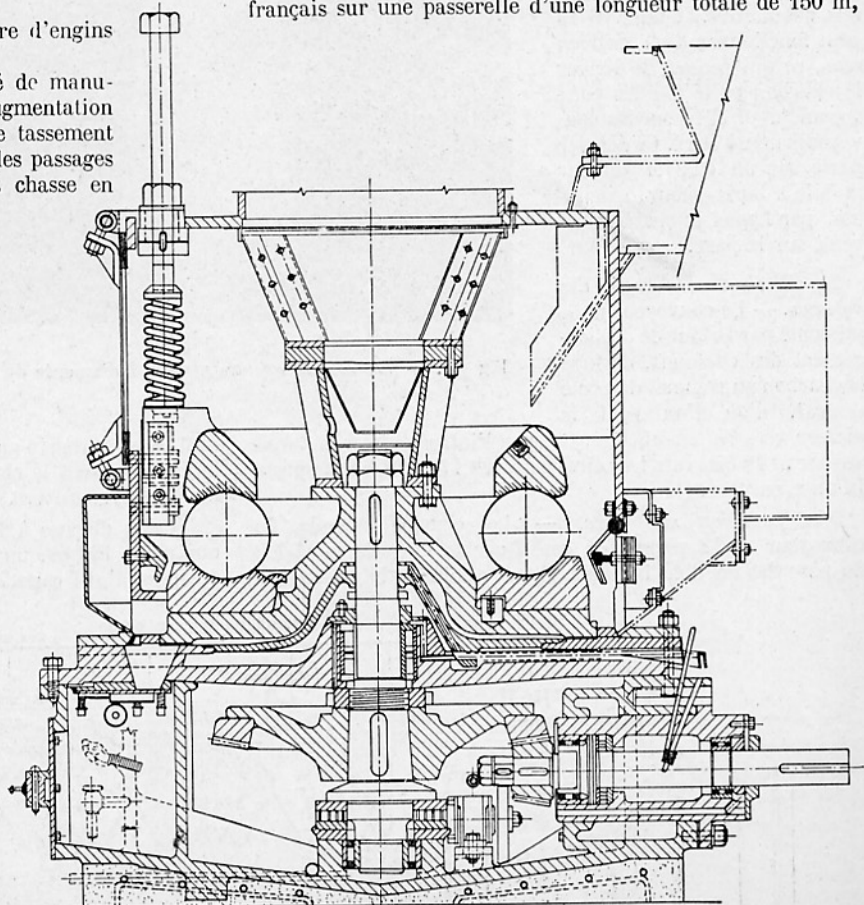


Fig. 14. — Coupe d'un broyeur à charbon pulvérisé.

et déverse le charbon sur un second convoyeur (n° 2) par l'intermédiaire d'un poste relais (fig. 11).

Ce poste relais n'était pas nécessaire en tant que charpente de soutien, une seule portée étant facilement réalisable entre le poste central et les chaufferies. Mais sa construction a permis la mise en service des chaudières à haute pression dès leur achèvement, au moyen de charbon apporté par la manutention de l'usine ancienne. Les installations du nouveau parc à charbon ne pouvaient pas en effet être prêtes suffisamment tôt pour que le fonctionnement normal fut d'emblée possible.

Le convoyeur n° 2 pénètre dans la chaufferie entre deux chaudières et atteint la travée centrale où sont situés les silos, dont la ligne est parallèle à l'axe de l'usine. Le charbon est

échantillonné automatiquement à son arrivée, puis déversé sur les deux convoyeurs qui desservent les silos, d'un côté ceux de quatre chaudières, de l'autre ceux de deux chaudières. Les alimentations finales de ces deux ensembles sont différentes. La figure 12 représente le système de distribution.

Du côté Nord, où se trouvent quatre chaudières, le charbon reçu par un convoyeur horizontal (n° 3) est distribué par un chariot verseur mobile, qui permet également l'alimentation des chaudières Rauber-Luquet de l'ancienne usine par l'intermédiaire d'un silo de reprise.

Les rainures par lesquelles se fait la distribution du charbon aux silos des chaudières à haute pression sont recouvertes de courroies de caoutchouc tendues par des ressorts; elles sont relevées par le chariot à son passage pour permettre le

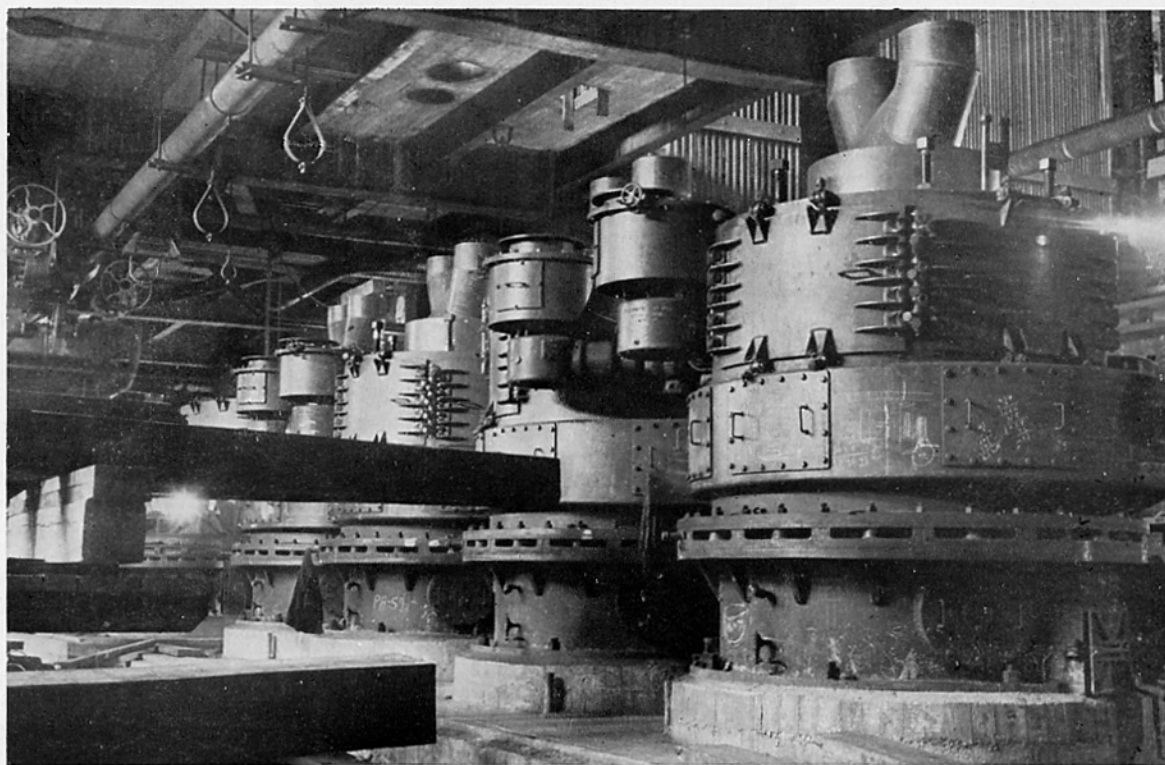


Fig. 15. — Vue de l'ensemble des broyeurs d'une chaudière, en cours de montage.

déversement et leur rôle est d'empêcher toute projection de poussière de charbon dans le bâtiment de la chaufferie. Pour la même raison la travée de distribution et la partie du convoyeur n° 2 située à l'intérieur de la chaufferie sont entièrement closes.

Du côté Sud, les deux chaudières à haute pression sont desservies par un convoyeur (n° 4) équipé de chutes intermédiaires. La longueur disponible ne justifiait pas de ce côté-ci l'établissement d'un chariot verseur. En bout de ce convoyeur, le combustible peut être repris par un autre tapis (n° 5), qui alimente la chaufferie Ladd-Belleville de l'ancienne usine. Ce convoyeur comporte une bascule à intégration continue.

Les silos de la chaufferie à haute pression ont une capacité totale de 3 600 t. Ils sont de construction métallique et recouverts intérieurement de ciment, et de carreaux de verre qui facilitent la descente du charbon. Vingt-quatre mamelles

à la partie inférieure permettent l'alimentation des broyeurs des six chaudières.

L'installation de manutention est en service continu depuis le mois de juin 1949, sans qu'aucun incident notable ne se soit produit.

**B. Chaufferie. — 1. GÉNÉRALITÉS. —** La chaufferie terminée comprendra six chaudières, dont cinq ont été commandées. Trois de celles-ci, déjà en service, ont été construites aux États-Unis d'Amérique par The Babcock and Wilcox Company. Les deux suivantes sont construites identiques aux précédentes par la Société française Babcock et Wilcox. Les ballons des chaudières et leurs suspensions ont été également fabriqués aux États-Unis d'Amérique, ainsi que les auxiliaires de broyage, de ventilation et de régulation.

Outre les chaudières et leurs services, la chaufferie contient

également quatre des cinq réchauffeurs de chaque groupe, que nous décrivons en même temps que la salle des machines, et les bâches d'eau épurée et condensée.

L'assise et la charpente du bâtiment méritent une mention spéciale. Les fondations comportent un radier général, d'une épaisseur de 1,50 m, en béton armé contenant une forte proportion d'acier, appuyé sur environ 1 200 pieux forés. Sur

quatre bascules par chaudière. Les chutes sont verticales ; de plus elles sont munies de rampes de soufflage à l'air comprimé qui permettent en cas d'obstruction d'opérer un déblaiement énergétique. Les bascules procèdent par bennes de 150 kg. Un dispositif simple permet le réglage très précis de la pesée suivant l'état de division et d'humidité du charbon, qui influe sur le comportement de la bascule en fin de remplissage.

Après sa pesée, le charbon est reçu par un distributeur rotatif à couteaux, entraîné par un moteur à deux vitesses, et commandé par le système de régulation. Une goupille de sécurité libère le moteur en cas de bourrage au distributeur.

Les broyeurs, fournis par The Babcock and Wilcox Company, alimentent chacun deux brûleurs, sont du type à boulets. Les figures 14 et 15 représentent la coupe d'un des broyeurs et leur situation. Leur capacité prévue est de 12 t : h pour un charbon d'indice Hardgrove 80, l'humidité totale du charbon brut étant de 8 pour 100, et de 7,5 t : h pour un charbon d'indice Hardgrove 50. Ceci lorsque la finesse est telle que 85 pour 100 du charbon pulvérisé traversent le tamis Tyler de 200 mailles au pouce linéaire.

Les couronnes et les boulets de broyage sont en acier spécial. Il existe 18 boulets de 267 mm de diamètre par broyeur. Lors de la mise en place initiale de ces boulets, il est nécessaire de mesurer avec exactitude le diamètre moyen de chacun d'eux, et de les ranger sur la couronne par ordre de diamètres, ceux-ci variant uniformément de part et d'autre d'un diamètre de la couronne où sont opposés finalement le boulet de plus grand diamètre

et le boulet de plus petit diamètre. Lorsque les boulets s'usent, il convient d'en rajouter un supplémentaire sur la couronne, de diamètre approprié, chaque fois que cela devient possible.

Le diamètre moyen des boulets en service peut décroître ainsi jusqu'à 175 mm.

Le débit de charbon du broyeur est réglé automatiquement par le débit d'air primaire, fourni par un ventilateur situé en amont du broyeur (fig. 16). Le débit de combustible varie d'une manière continue en fonction du débit d'air admis. Le taux de mélange à pleine charge, est d'environ 2 à 2,5 kilogramme d'air par kilogramme de charbon suivant le réglage initial. La richesse du mélange en charbon diminue aux très basses charges, de manière que la vitesse de l'air de transport reste suffisante.

Le fonctionnement du distributeur de charbon est commandé par la valeur de la perte de charge dans le broyeur, qui dépend à la fois du débit d'air et de la quantité de charbon contenue dans le broyeur.

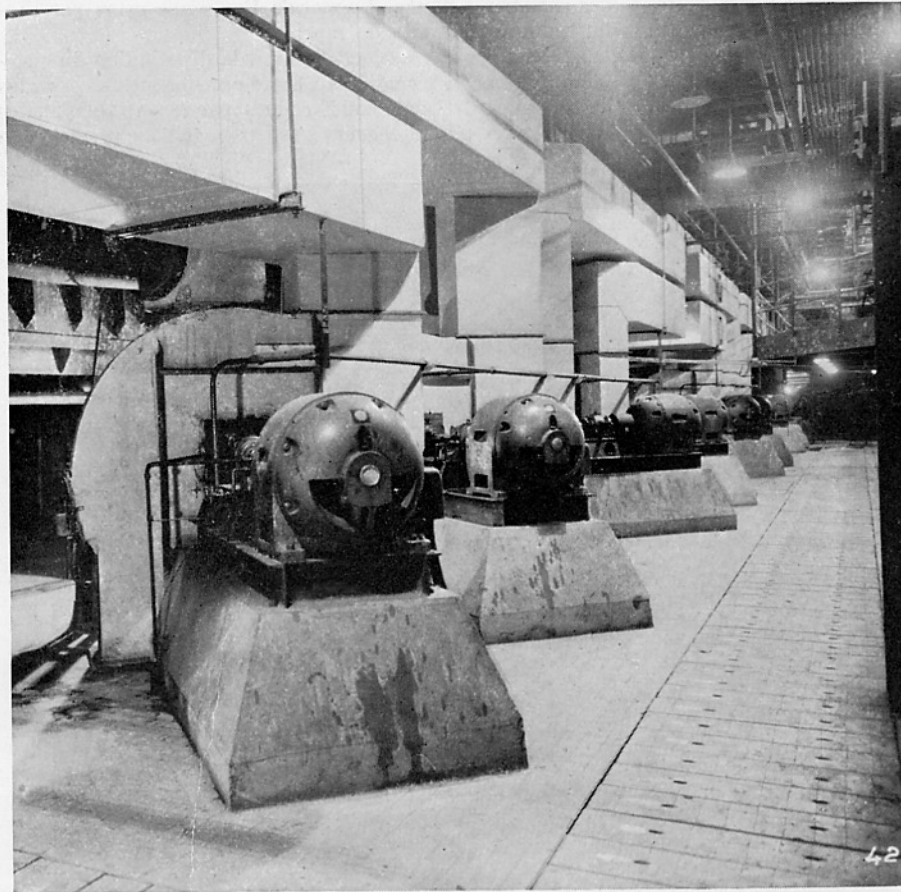


Fig. 16. — Vue des ventilateurs d'air primaire des chaudières d'une file.

ce radier ont été scellées les 74 plaques de base des poteaux, faites de tôle dont l'épaisseur atteint 19 cm pour les poteaux les plus chargés (1 100 t).

Les poteaux eux-mêmes sont constitués de profilés spéciaux dont les âmes et les ailes, renforcées, peuvent atteindre, respectivement, 50 et 120 mm d'épaisseur. L'avantage de ce type de charpente, de fabrication américaine, réside principalement dans son faible encombrement. Le poids total de 5 500 t est supérieur à celui d'une charpente composée, du type habituellement adopté en France.

Sur le radier inférieur a été coulé une forme en béton non armé, noyant les pieds des poteaux, d'épaisseur 1,50 m, et contenant les caniveaux de toutes espèces nécessaires. Les dimensions générales du bâtiment sont les suivantes : hauteur totale à la terrasse, 48 m ; largeur, 54 m ; longueur 59 m.

2. INSTALLATION DE BROYAGE. — Le charbon descend par gravité des silos aux broyeurs en passant par des bascules automatiques étanches (fig. 13). Il existe quatre broyeurs et

Un système de registres d'air chaud et d'air froid permet de maintenir à une valeur prédéterminée la température du mélange d'air et de charbon à la sortie du broyeur.

Un ventilateur spécial, de faible puissance, permet de maintenir une contrepression d'air au joint principal du broyeur, et d'éviter ainsi que la cuve à engrenages ne puisse recevoir des poussières de charbon.

### 3. LES GROUPES ÉVAPORATOIRES.

— La figure 17 représente la coupe d'un groupe évaporatoire.

Chaque ensemble, du type à rayonnement, présente les caractéristiques suivantes :

Température normale de l'eau d'alimentation 225°C ;

Température normale de la vapeur surchauffée 527°C ;

Pression normale effective de la vapeur surchauffée 93 kg. : cm<sup>2</sup> ;

Capacité de production en marche continue 240 t : h ;

Surface des écrans et de la chaudière, tubes nus : 1 200 m<sup>2</sup> et tubes recouverts de studs 330 m<sup>2</sup> ;

Surface du surchauffeur 2 200 m<sup>2</sup> ;

Surface de l'économiseur 2 380 m<sup>2</sup> ;

Surface du réchauffeur d'air 13 380 m<sup>2</sup> ;

Température des gaz à la sortie du réchauffeur d'air 138°C ;

Volume de la chambre de combustion 1 200 m<sup>3</sup> ;

Taux de combustion prévu à charge normale : 135 000 kilocalories par mètre cube et par heure.

La chaudière a été conçue pour brûler un charbon contenant 18 pour 100 de matières volatiles. Cependant, tout est prévu pour permettre une utilisation convenable de charbons notablement plus maigres. A cet effet, on a adopté un volume de chambre de combustion considérable et un taux de combustion peu élevé. De plus, l'on dispose d'une grande diversité d'orifices d'admission d'air. Outre les boîtes à vent des brûleurs, il existe de nombreuses buses situées sur la façade, et quelques orifices sur les écrans latéraux et arrière. La température de l'air secondaire peut atteindre 315°C.

Signalons dès maintenant que ces chaudières se sont très bien comportées, en utilisant des combustibles dont la teneur en matières volatiles est comprise entre 13 et 35 pour 100.

La chambre est formée d'écrans de tubes jointifs, nus pour la plus grande part. Seule une zone d'allumage, voisine des brûleurs est recouverte de « studs » garnis d'enduit réfractaire.

Les huit brûleurs à charbons sont du modèle « multitip intertube » (fig. 18). Chaque brûleur est pourvu d'un brûleur à mazout rétractile, à allumage par étincelle électrique.

Les écrans de tubes sont recouverts à l'extérieur d'une couche mince de ciment spécial, armée de treillis métallique, sur laquelle reposent des blocs de magnésite maintenus par des croisillons de fil de fer. Le « casing » en tôle mince, entièrement soudé, recouvre le tout. L'ensemble est suspendu aux écrans eux-mêmes par l'intermédiaire de goujons soudés sur place aux tubes.

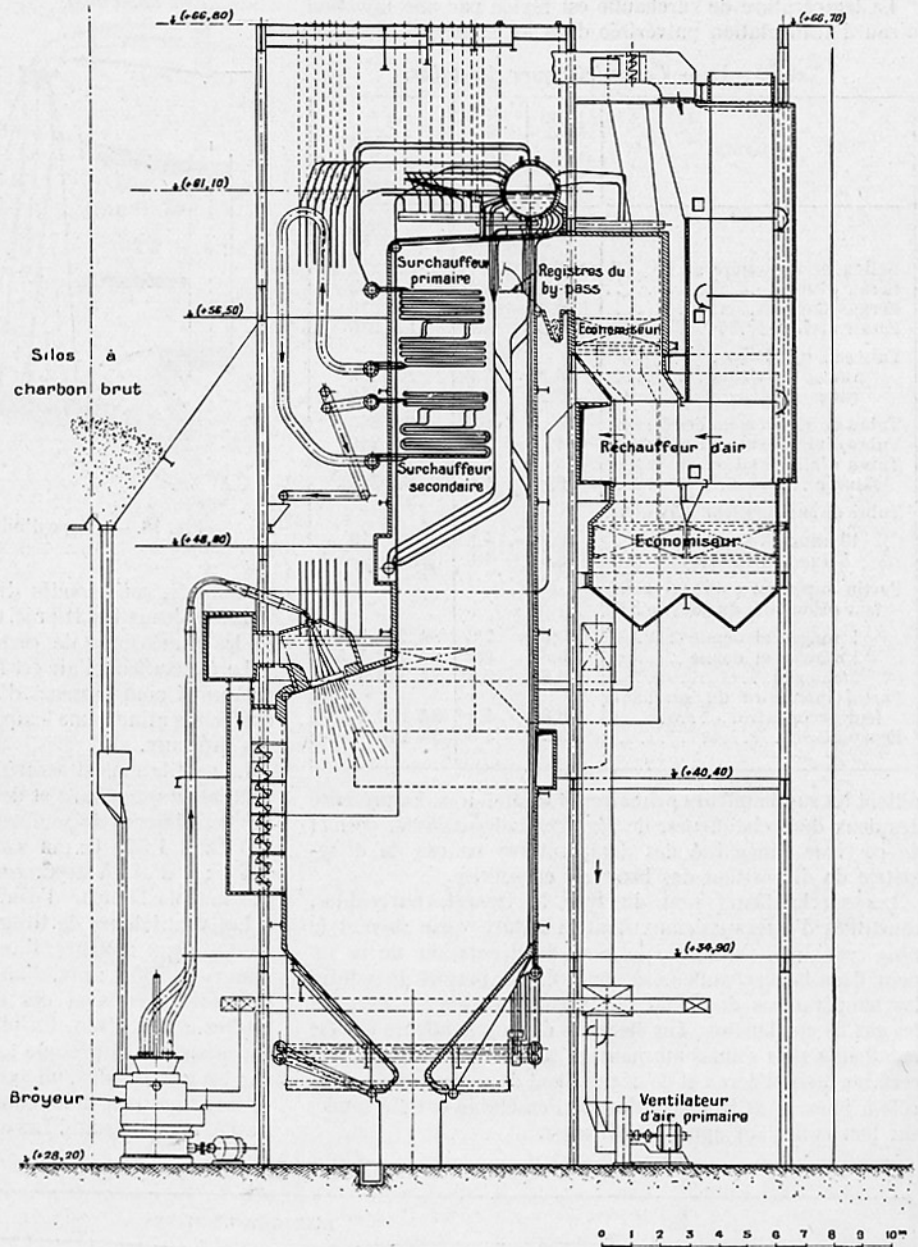


Fig. 17. — Coupe d'un groupe évaporatoire.

La chaudière proprement dite ne comprend, en plus des murs verticaux, que quatre rangées de tubes, disposés en écran de protection du surchauffeur, qui remontent au ballon de chaudière en formant le mur de by-pass du surchauffeur.

Le ballon de chaudière a une longueur de 12,95 m, un diamètre intérieur de 1,68 m, et une épaisseur de paroi de 130 mm. Il est en tôle formée à la presse, soudée électriquement. Le

ballon repose sur deux colliers de fers plats, qui, avec un certain nombre de tirants, soutiennent l'ensemble de la chaudière, ainsi entièrement suspendue. Un joint hydraulique au cendrier assure l'étanchéité. Les collecteurs d'écran inférieurs se déplacent d'environ 12 cm vers le bas lors de la mise en route.

La température de surchauffe est réglée par une injection d'eau d'alimentation pulvérisée dans les deux conduites qui

L'économiseur, à tubes continus, est divisé en deux parties entre lesquelles s'insère une portion du réchauffeur d'air, disposition qui permet d'obtenir aisément une température élevée de réchauffage de l'air. Les tubes d'économiseurs sont

TABLEAU I. — Caractéristiques des tubes.

SITUATION	DIAMÈTRE		NATURE DU MÉTAL
	EXTÉRIEUR	ÉPaisseur	
Ballon de chaudière .....	1 936	130	SA 212
Ecran avant .....	76,2	7,5	SA 192
Ecrans latéraux .....	76,2	6,2	SA 210
Ecran arrière .....	76,2	6,2	SA 210
Faisceau tubulaire :			
rangs inférieurs .....	76,2	7,5	SA 192
rangs supérieurs .....	76,2	6,2	SA 210
Tubes de dégagement des écrans.	114	9,7	SA 210
Tubes d'alimentation des écrans.	114	8,8	SA 210
Tubes d'alimentation en vapeur saturée .....	76,2	6,2	SA 210
Tubes de surchauffeur primaire :			
13 rangées supérieures ....	50,8	4,6	SA 210
5 rangées inférieures ...	50,8	4,6	Chrosmesco I
Partie supérieure du surchauffeur secondaire du haut en bas:			
1 rangée et demie .....	50,8	7,6	SA 213 T 21
1 rangée et demie .....	50,8	9,1	SA 213 T 5
2 rangées .....	50,8	5,6	SA 213 T 14
Partie inférieure du surchauffeur secondaire .....	50,8	4,4	SA 209 T <sub>1</sub> A
Economiseur .....	50,8	4,6	SA 210

relient les surchauffeurs primaires et secondaires. La présence des deux désurchauffeurs, de réglages indépendants, permet de corriger l'inégalité des températures en cas de dissymétrie de disposition des broyeurs en service.

Les surchauffeurs sont du type horizontal, purgeables, constitués d'aciers spéciaux dont la nature varie suivant le rang considéré. On notera le sens de circulation de la vapeur dans le surchauffeur secondaire, qui permet de réduire les températures du métal des premières rangées recevant les gaz de combustion. Les éléments des surchauffeurs ont été mandrinés puis soudés au montage sur les collecteurs. Seuls certains tubes d'écran et de dégagement de vapeur, qui ont un rôle à jouer dans la suspension de l'ensemble ont été soudés sur leur collecteur après mandrinage.

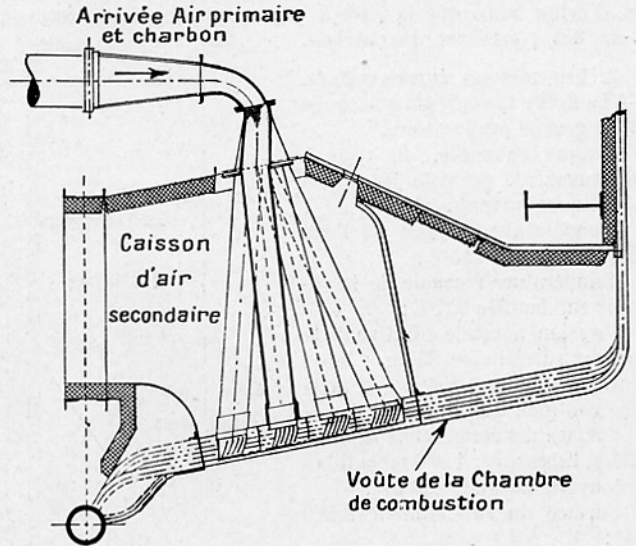


Fig. 18. — Coupe d'un brûleur à charbon pulvérisé.

mandrinés, puis soudés directement aux collecteurs.

Les tableaux I et II précisent la nature des métaux employés et les dimensions de certains des tubes de la chaudière.

Le réchauffeur d'air est formé de tubes de gaz verticaux et comprend cinq passages d'air. Un by-pass permet d'obtenir aux basses allures une température suffisante de l'air à l'entrée des broyeurs.

La ventilation est assurée pour chaque chaudière par deux ventilateurs soufflants et deux ventilateurs aspirants (fig. 19). Les ventilateurs de soufflage, munis chacun d'un moteur de 300 ch à 1 500 t : mn sont capables chacun d'un débit de 185 t : h d'air à 40°C, sous une pression correspondant à 410 mm de hauteur d'eau.

Les ventilateurs de tirage, à aspiration double, possèdent chacun deux moteurs, l'un d'une puissance de 300 ch à la vitesse de 750 t : mn, l'autre de 600 ch à 1 000 t : mn. Ils sont placés en aval des dépoussiéreurs, du type Modave-Hanrez à film d'eau. Un plan incliné recueille à la sortie du dépoussiéreur la presque totalité des gouttes d'eau entraînées par les gaz. De plus, un système de nettoyage à l'eau permet de laver pendant le fonctionnement les parties où pourraient s'accumuler les suies. Les aubages de ces ventilateurs ont une

TABLEAU II. — Composition chimique des aciers.

REPÈRES	TENEUR EN CENTIÈMES							CONTRAINTE DE RUPTURE à froid en kg : mm <sup>2</sup>
	CARBONE	MANGANÈSE	PHOSPHORE	SOUFRE	SILICIUM	CHROME	MOLYBDÈNE	
SA 192 .....	0,08 à 0,18	0,30 à 0,60	0,04 max.	0,045 max.	0,25 max.			33
SA 209 T <sub>1</sub> A .....	0,15 à 0,25	0,30 à 0,60	0,04 max.	0,05 max.	0,10 à 0,50		0,45 à 0,65	42
SA 210 .....	0,35 max.	0,80 max.	0,04 max.	0,045 max.	0,10 max.			42
SA 212 .....	0,33 max.	0,90 max.	0,04 max.	0,05 max.	0,15 à 0,30			49
SA 213 T 5 .....	0,15 max.	0,50 max.	0,03 max.	0,03 max.	0,50 max.	4 à 6	0,45 à 0,65	42
SA 213 T 14 .....	0,15 max.	0,30 à 0,60	0,03 max.	0,03 max.	0,50 max.	1,75 à 2,25	0,45 à 0,65	42
SA 213 T 21 .....	0,15 max.	0,30 à 0,60	0,03 max.	0,03 max.	0,50 max.	2,75 à 3,25	0,80 à 1	42
Chrosmesco I .....	0,10 à 0,18	0,60 à 0,90	0,02 max.	0,01 max.	0,08 à 0,13	0,40 à 0,65	0,35 à 0,60	52

forme spéciale réduisant l'usure, et sont munis de plaques facilement remplaçables.

Le débit maximum de chaque ventilateur de tirage est de 215 t : h de gaz à la température de 160°C sous une pression correspondant à 430 mm de hauteur d'eau.

Les débits d'air et de gaz de tous ces ventilateurs sont réglés par des vannages à l'aspiration, commandés par les moteurs pneumatiques du réglage de chauffe.

4. LA RÉGULATION AUTOMATIQUE. — Les appareils de commande des six chaudières sont réunis dans une salle unique isolée du reste du bâtiment de la chaufferie.

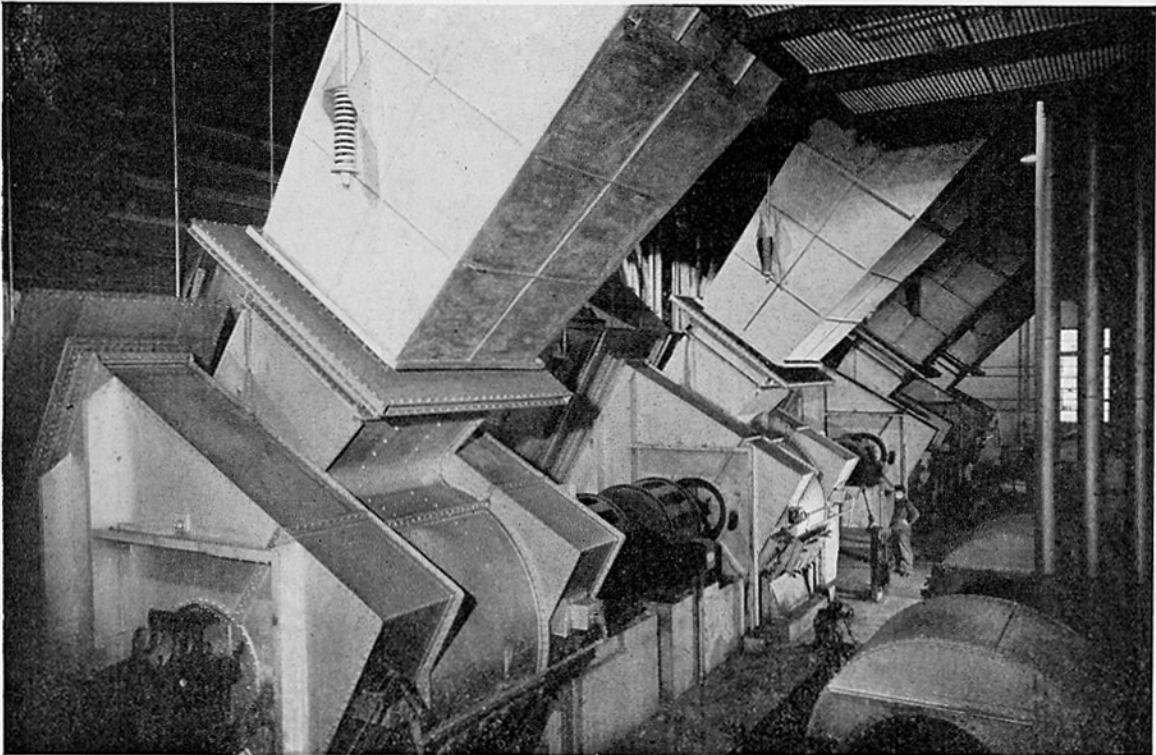
Chaque chaudière est munie d'un système de chauffe automatique Bailey, dans lequel l'air comprimé sert d'agent

moteur et de réglage, conformément au schéma de principe montré en figure 20. Cet air est fourni à une pression de 7 kg : cm<sup>2</sup> au système de régulation soit par le réseau général d'air de service de l'usine, soit par un compresseur spécial.

Le réglage d'ensemble de la chaufferie est double, afin que l'on puisse assurer le fonctionnement de l'usine en tranches séparées, aussi bien d'ailleurs qu'en installation unique. Un dispositif spécial permettra de transmettre directement à la chaufferie des impulsions du système de réglage fréquence-puissance, augmentant ainsi considérablement la vitesse de réponse de l'ensemble producteur d'énergie.

La régulation comprend plusieurs réglages plus ou moins indépendants :

a) réglage du débit d'eau d'alimentation. Ce réglage est



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 19. — Vue montrant : à gauche, les ventilateurs de tirage ; à droite, les ventilateurs de soufflage de deux chaudières.

effectué au moyen du système Bailey à trois éléments, bien connu ;

b) réglage de la pression et de la combustion. Lors d'un écart de pression de la vapeur produite, le système de contrôle agit simultanément sur les moteurs pneumatiques dont dépendent le débit d'air total, les débits de gaz aspirés et le débit d'air primaire. Un relais de proportionnalité permet de répartir entre les broyeurs en service la variation totale du débit d'air primaire.

Une intervention manuelle est nécessaire pour l'arrêt ou la mise en service d'un broyeur.

Le débit de combustible est réglé en fonction du débit d'air primaire par la régulation propre de chaque broyeur.

Une impulsion venant du débitmètre de vapeur permet de mettre en action tout le système de chauffe automatique lorsque le débit vaporisé varie, avant même que se soit

manifestée la tendance à la variation de la pression ; cette impulsion n'est pas utilisée actuellement ;

c) réglage de la température finale de la vapeur. Cette valeur est réglée, ainsi que nous l'avons vu précédemment, au moyen d'une injection d'eau pulvérisée entre les deux surchauffeurs.

Le débit d'eau ainsi injectée est réglé par une vanne à membrane. La température à régler est mesurée à l'emplacement voulu par une résistance électrique. Un pont de Wheatstone, où se trouve intercalée cette résistance, est équilibré lorsque la température mesurée est égale à la température désirée. S'il n'en est pas ainsi, le courant de déséquilibre est utilisé, après amplification par un appareil à tubes électroniques, pour la commande du moteur d'inscription, et comme élément de réglage. L'autre élément étant le débit des gaz de la combustion. On peut également utiliser ce système en régu-

lation à trois éléments, ce troisième élément étant le débit d'eau de désurchauffe.

Le système de réglage comporte également un certain nombre de commandes manuelles par boutons poussoirs, exécutées par des moteurs électriques Leeds et Northrup, telles que l'ouverture et la fermeture des divers registres d'air et de gaz.

Certaines caractéristiques intéressantes sont enregistrées

ou indiquées par des appareils incapables d'action de réglage, telles : températures diverses, dépressions dans les parcours, niveaux, opacité des fumées, teneur en anhydride carbonique des fumées. Un tableau de signalisation à voyants lumineux et avertisseur sonore permet de se rendre compte de la position en fin de course de certains registres, et indique immédiatement les incidents les plus importants pouvant entraver le fonctionnement de la chaudière. La figure 21

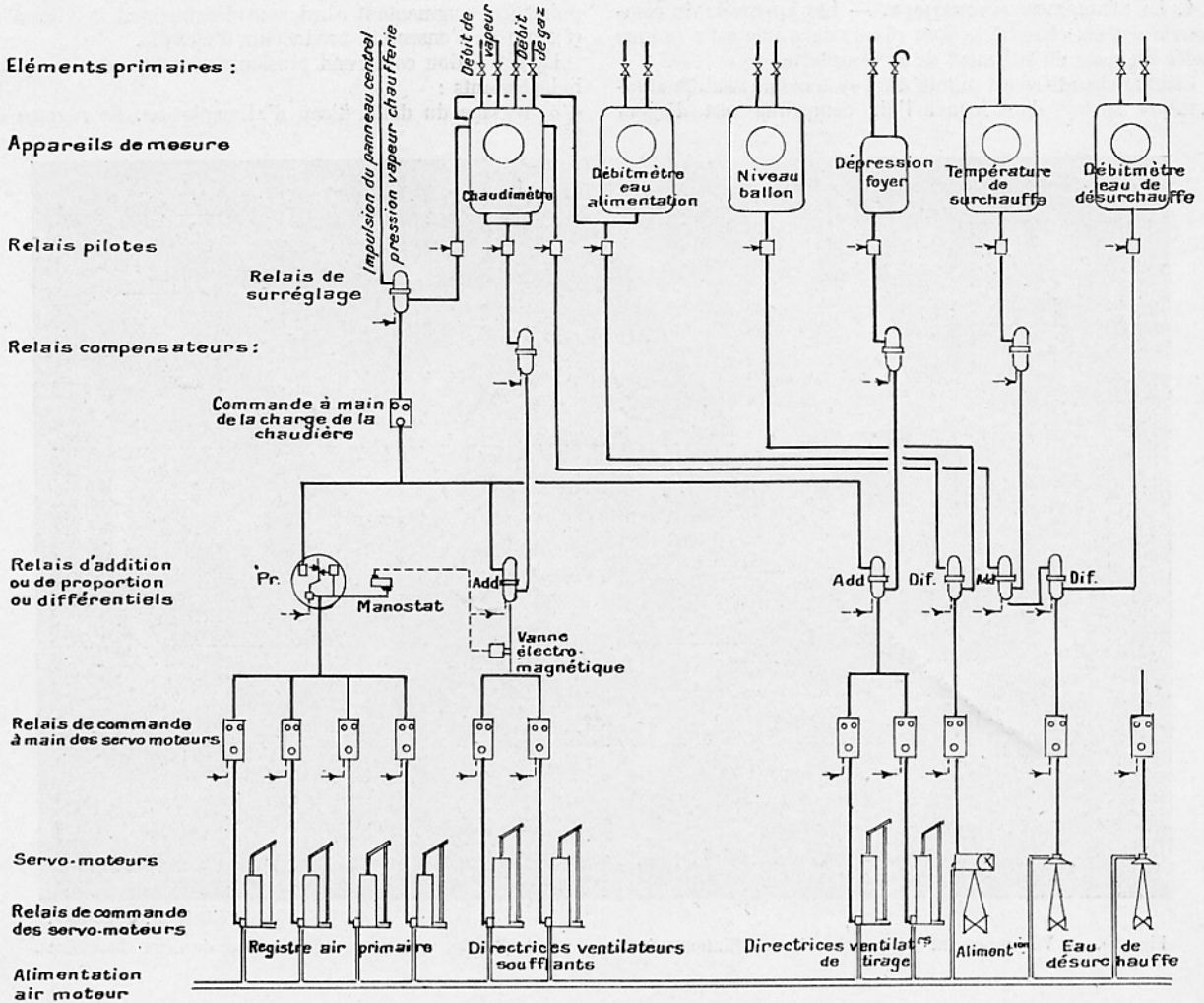


Fig. 20. — Schéma de principe du système de régulation de chauffe.

montre les tableaux de commande de trois chaudières.

5. RAMONAGE. — Le nettoyage des parcours de gaz est assuré au moyen d'air comprimé, produit par l'un de deux compresseurs spéciaux à deux étages, d'une puissance de 700 ch, capables d'un débit de 58 m<sup>3</sup> : mn à 25 kg : cm<sup>2</sup>. Les souffleurs sont de types différents suivant leur emplacement.

Dans le surchauffeur, le nettoyage est effectué au moyen de longs tubes rétractiles terminés par une tuyère, mobiles le long d'un support à crémaillère ; il existe huit appareils de ce type par chaudière, quatre sur chaque côté.

Dans l'économiseur, on utilise des rampes rotatives percées de trous, établies à poste fixe. Les souffleurs du réchauffeur

d'air, montés sur des chariots mobiles, permettent de diriger un jet d'air comprimé à contre-courant des gaz dans chaque tube de l'appareil.

Il était prévu enfin d'installer, aux endroits que l'expérience révélerait propices, dans la chambre de combustion elle-même, un certain nombre de souffleurs rétractiles destinés au nettoyage des écrans. Chacun de ces appareils a un rayon d'action de 2,50 m environ. Jusqu'ici leur utilisation n'a pas été justifiée. Pourtant, ces appareils ont été approvisionnés, au nombre de vingt-quatre par chaudière, et pourraient facilement être montés et mis en service en cas de nécessité.

Tous les souffleurs peuvent être commandés soit indivi-

duellement, soit automatiquement au moyen d'un appareil directeur à pression d'air qui, une fois déclenchée l'opération du premier ramoneur, provoque, à l'arrêt de celui-ci, la mise en service d'un second souffleur, et ainsi de suite, suivant un ordre préétabli.

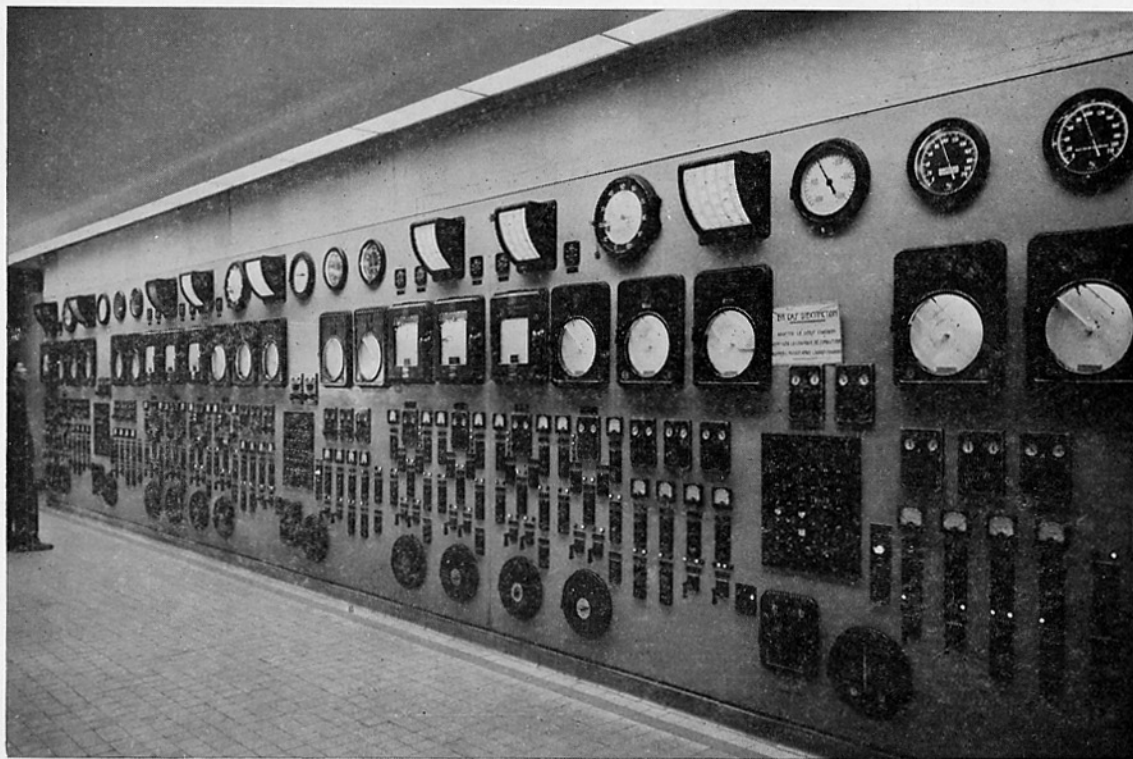
6. EVACUATION DES DÉCHETS SOLIDES. — Les cendres sont recueillies en quatre emplacements différents de la chaudière : le cendrier, le dépoussiéreur et deux trémies situées l'une immédiatement avant l'économiseur, l'autre sous ce récupérateur même.

Les cendres se déposant au cendrier sous forme pulvérulente s'amassent dans des auges tronconiques dont l'axe est parallèle au plan de symétrie de la chaudière. Il existe six

auges par chaudière. Lorsqu'une ou plusieurs d'entre elles sont remplies, un jet orientable d'eau à très grande vitesse mobilise les cendres qui sont évacuées dans un caniveau où des jets d'eau à grand débit les conduisent par un caniveau jusqu'à une fosse à mâchefer.

Les suies recueillies au dépoussiéreur sont conduites par gravité jusqu'aux fosses de décantation situées près du parc à charbon.

Enfin, les cendres qui auraient pu s'accumuler dans les parcours, recueillies dans des trémies pyramidales, sont aspirées par des éjecteurs à eau et conduites au caniveau à mâchefer. Le fonctionnement de ce dispositif est entièrement automatique. La mise en service d'un éjecteur est déterminée par l'augmentation de pression à l'aspiration de l'éjecteur



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 21. — Vue des tableaux de commande de trois chaudières.

précédemment en service. Cette variation de pression se produit lorsque, toutes les suies étant évacuées de la trémie, rien ne s'oppose plus au passage des gaz.

C. Les tuyauteries de vapeur. — La figure 22 représente le schéma de la distribution de vapeur.

Chaque tranche de puissance comporte un barillet qui reçoit la vapeur de trois chaudières et alimente la turbine principale, la turbine auxiliaire et les turbo-pompes à huile de ces deux machines.

Les deux barillets sont reliés par une tuyauterie qui permet la mise en parallèle des deux tranches de puissance. Des piètements munis de bouchons soudés permettront également la liaison aux tranches futures éventuelles.

Les tuyauteries de vapeur sont entièrement réalisées par

soudage bout à bout. L'acier qui les constitue contient 2 pour 100 de chrome et 0,5 pour 100 de molybdène. L'épaisseur de paroi des tubes atteint 40 mm pour un diamètre nominal de tube de 350 mm et est encore de 25 mm pour un diamètre de 200 mm.

Les tronçons de tuyauterie, de fabrication américaine, ont été usinés par forage de blocs de forge. Ce mode de construction n'était pas imposé par l'épaisseur de paroi, et l'on aurait pu obtenir les mêmes dimensions par étirage. Cependant, à l'époque de leur fabrication, les délais de livraison de tubes forés étaient inférieurs à ceux de tubes étirés, ce qui a déterminé le choix des premiers.

Le dessin des tuyauteries de vapeur a été vérifié chez le constructeur, avant leur fabrication, au moyen d'une installation en modèle réduit, ce qui a permis de déterminer

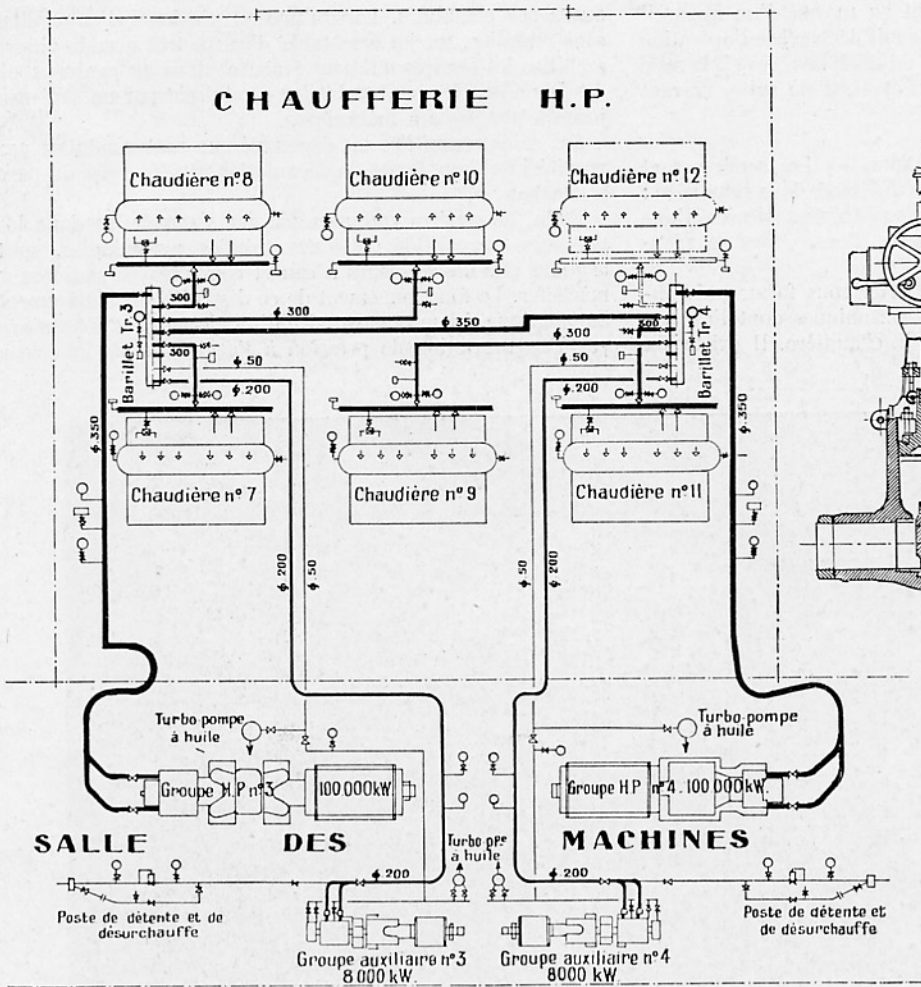


Fig. 22. — Schéma de la distribution de vapeur.

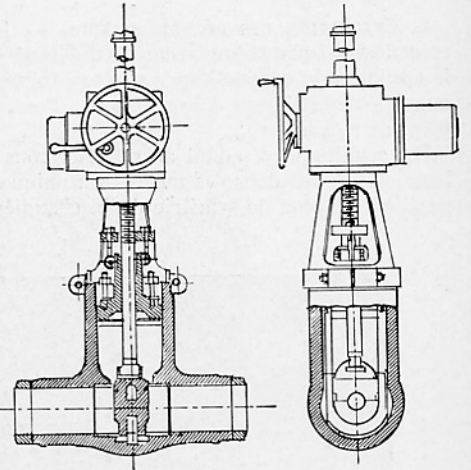


Fig. 23. — Croquis de la vanne principale d'une tuyauterie de vapeur.

quelles étaient les déformations thermiques exactes à prévoir, et de mesurer les contraintes supportées par les points d'appui.

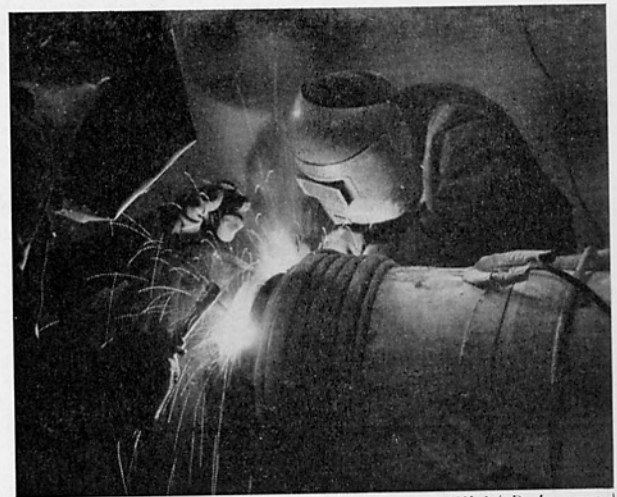
Les vannes principales ne comportent pas de joint de chapeau, mais un joint autoclave, représenté en figure 23.

A l'époque où elles furent commandées, ce mode de joint n'avait encore jamais été expérimenté sur des vannes de diamètre supérieur à 200 mm.

Cependant les vannes existant à Gennevilliers, d'un diamètre allant jusqu'à 350 mm, ont donné toute satisfaction. Elles sont munies de moteurs électriques de commande assurant le trajet total de la tige en 80 secondes. On notera également la présence de manchettes soudées aux extrémités de la vanne. On s'astreint en effet à n'exécuter au chantier que des soudures de métaux identiques. Comme le métal des vannes est légèrement différent de celui qui constitue les tuyauteries, il a été jugé préférable de munir les vannes, en atelier, de pièces de raccordement de même composition que les tuyauteries qui devaient leur être reliées.

Le soudage de deux tronçons de tuyauterie comporte la mise en place d'une bague profilée, le réglage de la position relative des deux tubes, le préchauffage, le soudage proprement dit, et le recuit, suivi du refroidissement.

Le préchauffage et le recuit sont obtenus par induction.



(Cliché P. Lemarre.)

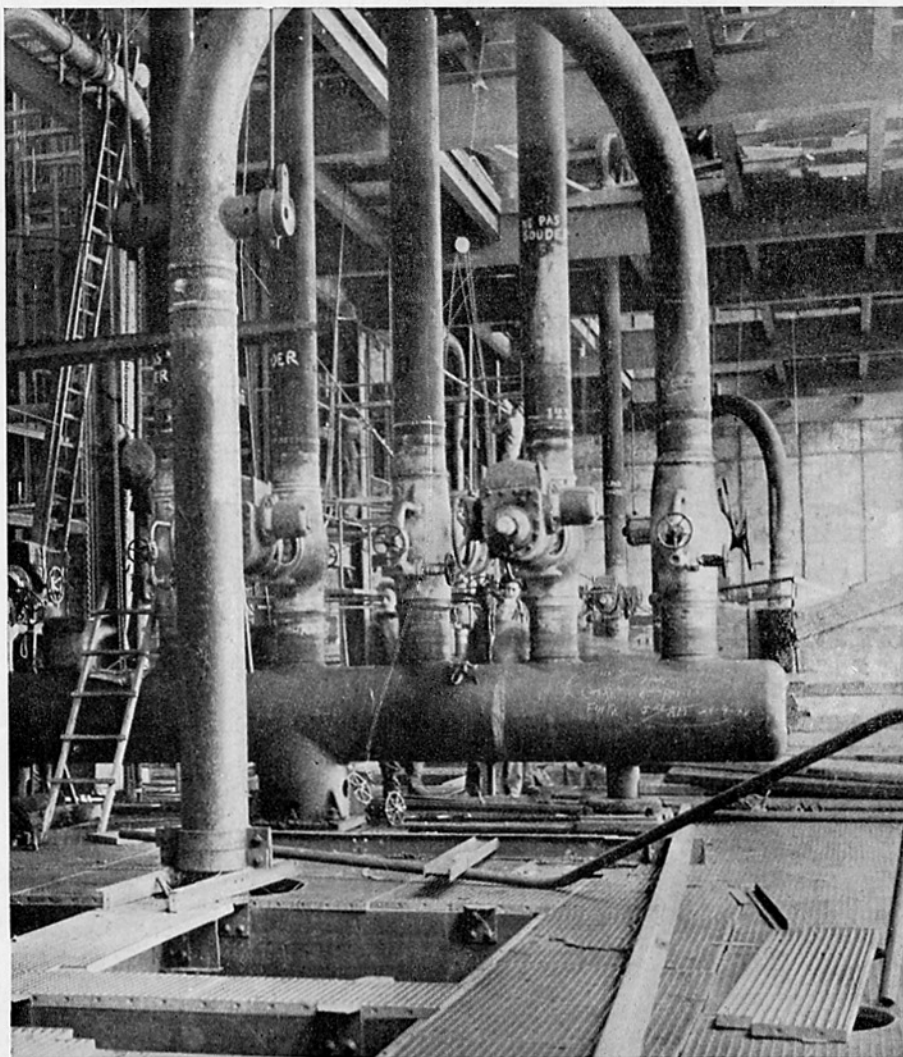
Fig. 24. — Vue prise pendant l'exécution d'une soudure. On remarque la disposition des enroulements de chauffage et des couples de contrôle de la température.

On enroule autour des extrémités des pièces à souder un câble isolé parcouru par un courant de grande intensité. Le nombre d'ampères-tours nécessaire est fonction de la masse métallique à échauffer. La tuyauterie est recouverte de papier d'amiante, et, s'il y a lieu, protégée des courants d'air par des bâches de toile.

Le courant nécessaire à l'échauffement est produit par une machine spéciale. Les températures du métal, mesurées par couples thermoélectriques, sont enregistrées sur la machine,

L'un des couples est directeur, et ses indications commandent un système de contacteurs qui établit ou supprime le chauffage. Des cadrans gradués permettent de prédéterminer un cycle complet. Pour un recuit, par exemple, un fixera sur ces cadrans la vitesse de montée en température, la durée du maintien à une température donnée et la vitesse de refroidissement.

Le soudage proprement dit est exécuté, au moyen d'électrodes enrobées, par deux soudeurs travaillant simultanément.



(Cliché P. Lenare.)

Fig. 25. — Vue d'un barillet de vapeur pendant le montage des tuyauteries.

ment aux extrémités d'un diamètre (tuyau vertical) ou symétriquement par rapport au plan vertical passant par l'axe du tuyau, si celui-ci est horizontal (fig. 24).

Immédiatement après l'achèvement de la soudure, la tuyauterie est recuite (à 600°C) pendant une durée qui dépend du diamètre et de l'épaisseur.

Il est très important, pour les tuyauteries contenant 2 pour 100 de chrome et 0,5 pour 100 de molybdène, que tout soudage soit précédé d'un réchauffage et immédiatement suivi du recuit. La fixation même des thermocouples de mesure de température et l'exécution des pointages n'est

possible qu'après une première vérification de la température du métal, exécutée au moyen de crayons fusibles.

La vérification de la bonne exécution de la soudure se fait par radiographie au moyen d'une capsule contenant des sels de radium. Un trou de faible diamètre, qui sera ensuite obturé par un bouchon vissé et soudé, permet de disposer cette capsule au centre de la tuyauterie, dans le plan de la soudure. On obtient une radiographie complète en une seule pose, le papier photographique entourant la tuyauterie tout le long de la soudure.

La durée totale du soudage des tuyauteries de 350 mm à

partir du début du préchauffage jusqu'au refroidissement final est de 25 à 30 h.

Les barillets de vapeur se présentent sous forme de cylindres horizontaux de 500 mm de diamètre intérieur et de 6,70 mètres de longueur totale. Ils sont constitués de deux pièces forgées, tournées et forées, raccordées par soudure. Leur épaisseur n'est pas uniforme et atteint 114 mm suivant la génératrice supérieure où sont situées les diverses tubulures, alors qu'elle n'est que de 57 mm à la partie inférieure. La vue de la figure 25 représente un barillet pendant le montage des tuyauteries.

Le support de ces barillets se compose d'une colonne fixe, disposée approximativement au centre de leur longueur, et de deux supports glissants situés aux extrémités. Les connexions des tuyauteries sont disposées en file, ce qui permet d'atténuer dans une certaine mesure les contraintes longitudinales dues aux différences possibles des températures des vapeurs produites par les diverses chaudières.

La vitesse de la vapeur atteint 80 m : s dans la tuyauterie alimentant la turbine, lorsque le débit est maximum. Elle ne dépasse pas 60 m : s dans les collecteurs reliant

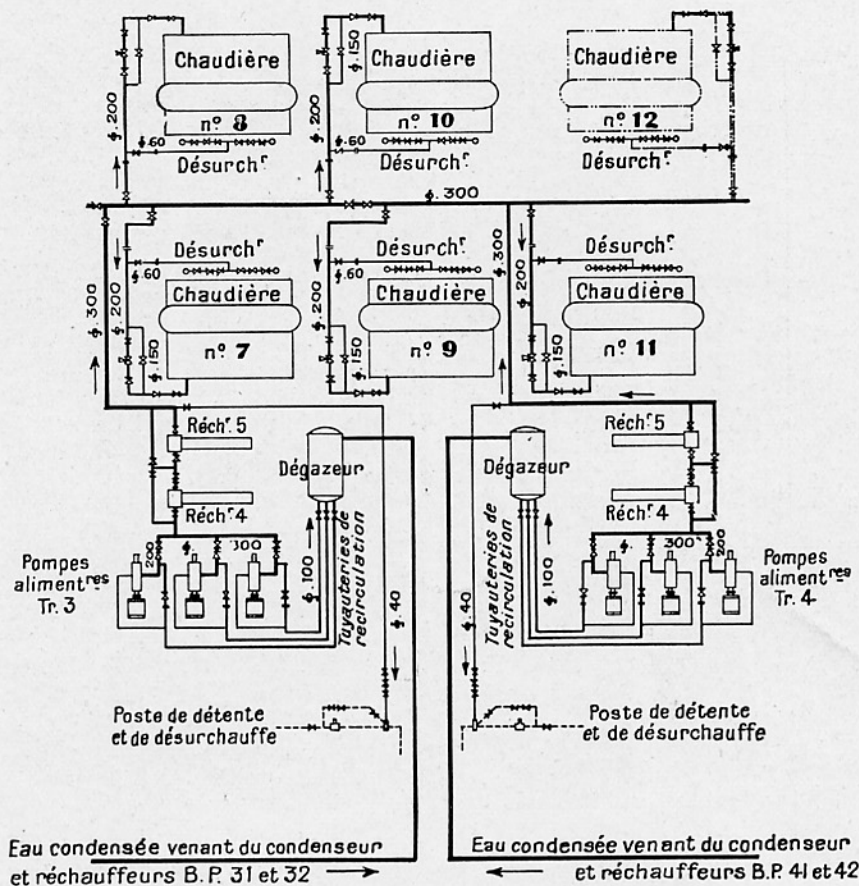


Fig. 26. — Schéma des tuyauteries d'alimentation.

les chaudières et les barillets. Le support est assuré par des suspensions à ressort Grinnell.

D. Circuit d'alimentation. — Les tuyauteries d'eau d'alimentation, comme les tuyauteries de vapeur, ont été entièrement réalisées par soudage bout à bout. L'acier qui les constitue contient 0,5 pour 100 de molybdène. Le recuit des soudures de ces tuyauteries peut être exécuté à n'importe quelle époque précédant la mise en service initiale, et ne doit pas nécessairement succéder immédiatement au soudage, comme il en était pour les tuyauteries de vapeur. La grande sécurité de ce mode d'assemblage a permis de n'installer qu'un collecteur général unique. Les vannes sont soudées aux tuyauteries. Les plus importantes sont commandées par des moteurs électriques.

La figure 26 représente le schéma des tuyauteries d'alimentation.

Les pompes alimentaires, du type multicellulaire à sept étages, sont capables chacune d'un débit de 265 t : h. Leurs moteurs sont munis d'un circuit d'air fermé, et de réfrigérants d'air alimentés en eau condensée.

Chaque moteur est alimenté par un câble spécial qui le relie au tableau général auxiliaire à 3 kV. D'autre part, il existe trois pompes pour chaque tranche alors que normalement deux d'entre elles suffisent à assurer l'alimentation des chaudières, à la puissance maximum de la tranche. La sécurité de fonctionnement est de la sorte très satisfaisante, et l'on s'est abstenu d'installer les turbopompes de secours que l'on juge habituellement nécessaires.

Un arrêt général des pompes alimentaires ne peut pro-

venir que d'une coupure totale de l'alimentation en énergie auxiliaire à 3 kV. Dans ce cas, les chaudières se trouveraient également immédiatement dépourvues de combustible. Comme, d'autre part, l'inertie calorifique des chaudières est rendue faible par la suppression quasi totale des matériaux réfractaires, on voit que les risques créés par un tel incident sont réduits au minimum.

**V. Matériel de production d'énergie électrique.** —

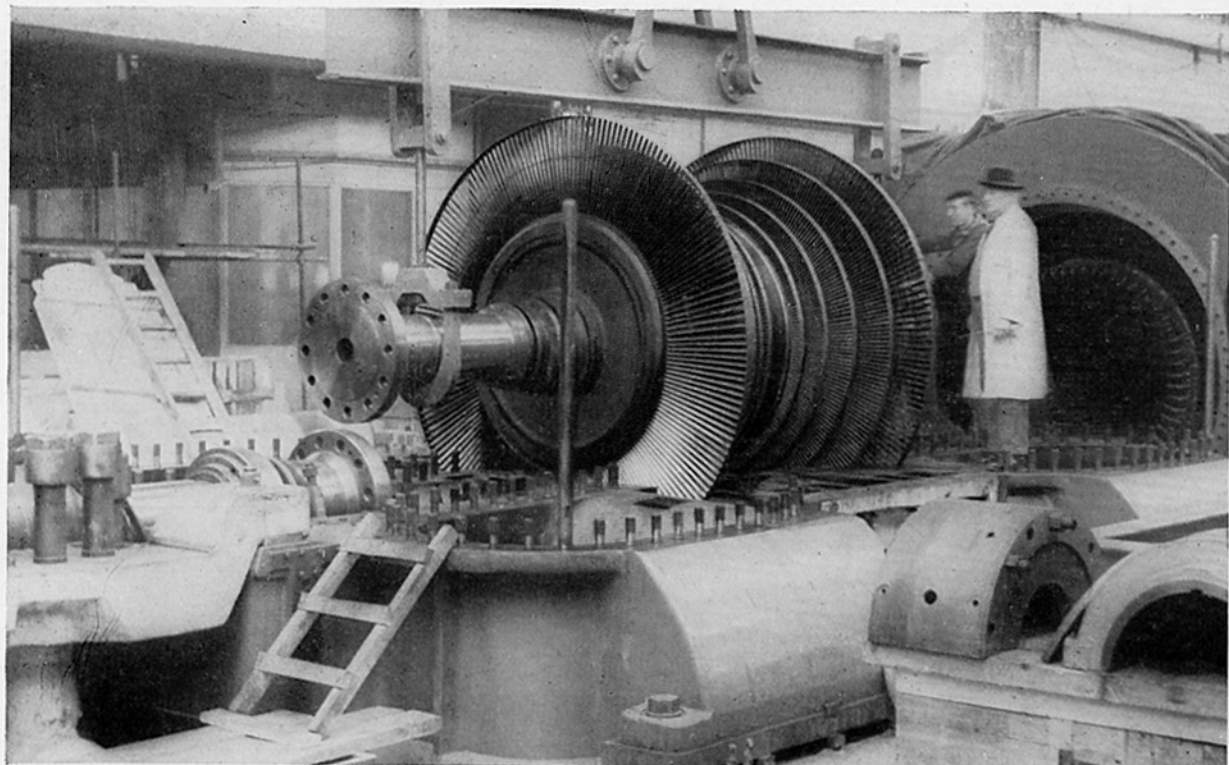
**A. Généralités.** — La salle des machines est divisée en deux tranches de puissance distinctes, dont le fonctionnement est normalement séparé. Chacune comporte un groupe principal,

d'une puissance de 100 000-110 000 kW, et un groupe auxiliaire, d'une puissance de 8000 kW.

Cinq soutirages de vapeur au groupe principal permettent le réchauffage de l'eau condensée de la tranche. Le groupe auxiliaire est spécialement conçu pour que l'on puisse prélever, en cours de détente, un certain débit de vapeur destinée à l'alimentation d'échangeurs vaporisateurs qui produisent, à partir d'eau épurée et adoucie, de la vapeur à moyenne pression vendue aux industries voisines de l'usine.

**B. Les groupes turboalternateurs de 100 000 kilowatts.**

— L'un des deux groupes principaux a été construit en France



(Cliché S. de Marchis.)

Fig. 27. — Vue de la mise en place du rotor du corps à basse pression de la turbine de la Société Alsthom.

par la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Alsthom), l'autre aux États-Unis d'Amérique par la General electric Company.

Ces deux machines ne sont pas identiques. Cependant, la disposition générale du poste de réchauffage d'eau condensée est la même et les pressions de soutirage sont suffisamment voisines pour assurer à l'ensemble une certaine homogénéité, et permettre éventuellement le fonctionnement en parallèle des deux tranches. De plus, les rotors des alternateurs sont interchangeables.

Les turbines comprennent un corps à haute pression, et un corps à basse pression à double flux. En limitant à deux le nombre des échappements, on admet une diminution de rendement par rapport aux résultats que l'on pourrait obtenir en choisissant un nombre d'échappements supérieur. Cependant, le raccourcissement de la ligne d'arbre ainsi obtenu

diminue les frais d'installation et améliore suffisamment la sécurité de fonctionnement pour que ces avantages soient préférés à l'inconvénient d'une légère augmentation de la consommation par kilowatt-heure produit.

De plus, les excitatrices et les excitatrices pilotes ne sont pas montées sur la ligne d'arbre principale, mais font partie de groupes moteurs-générateurs distincts. La compacité ainsi obtenue est remarquable, puisque les longueurs totales des groupes turboalternateurs ne sont que de 19 m pour le groupe américain et de 21 m pour le groupe français, l'alternateur occupant environ 9 m.

Les caractéristiques principales des machines sont indiquées dans le tableau III.

Les vues des figures 27, 28 et 29 représentent deux stades du montage du groupe de la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Alsthom), et le groupe de la Gene-

ral electric Company en service. Les deux turbines sont représentées en coupe par les figures 30 et 31.

1. TURBINES. — Les modes de construction des turbines présentent certaines particularités intéressantes que nous allons examiner.

1<sup>o</sup> Corps à haute pression. — Le corps à haute pression de la turbine de la Société Alsthom comporte une enveloppe, cependant que celui de la turbine de la General electric Company en comporte deux. Entre les deux enveloppes existent des matelas de vapeur, dont la pression varie suivant le rang des groupes d'étages qu'ils entourent. Cette disposition diminue considérablement les gradients de pression et de température existant dans le métal entre la veine de vapeur et l'atmosphère, ainsi que les contraintes qui en résultent.

La butée de la turbine de la Société Alsthom est située entre les deux corps, tandis que la turbine de la General electric Company est munie d'une butée en tête, de sorte que la dilatation s'y produit dans la seule direction de l'alternateur. Il n'existe qu'un palier intermédiaire, entre corps, dans cette dernière turbine, qui se trouve situé à l'intérieur de l'enceinte d'échappement.

Les aubages fixes, construits par fraisage, sont soudés aux diaphragmes qui les supportent.

2<sup>o</sup> Corps à basse pression. — Le corps à basse pression de la turbine de la Société Alsthom est de forme classique, construit en fonte et relié au condenseur par quatre joints à brides. Les tuyauteries de liaison des deux corps sont disposés horizontalement sous le plancher de la machine. L'enceinte d'échappement de la turbine de la General electric Company recouvre entièrement le corps à basse pression et contient

TABLEAU III. — Caractéristiques principales des groupes turboalternateurs de 100 000 kilowatts.

	Groupe n° 3 (Alsthom)	Groupe n° 4 (General electric Co)
<i>Turbines.</i>		
Puissance nominale .....	100 MW	110 MW
Puissance maximum .....	110 MW	110 MW
Vitesse de rotation .....	3 000 t : mn	
Corps à haute pression : Nombre d'étages .....	15	20
Corps à basse pression : Nombre d'étages .....	5, en double flux	
Diamètre moyen de la dernière roue .....	2 000 mm	1 847 mm
Hauteur d'aubage de la dernière roue .....	530 mm	589 mm
Enthalpie de l'eau à la sortie du dernier réchauffeur, à 100 000 kW .....	237,4 kcal:kg	236,1 kcal:kg
Rang des étages de soutirage .....	7 <sup>e</sup> , 11 <sup>e</sup> , 15 <sup>e</sup> , 17 <sup>e</sup> , 19 <sup>e</sup>	8 <sup>e</sup> , 11 <sup>e</sup> , 15 <sup>e</sup> , 20 <sup>e</sup> , 23 <sup>e</sup>
Consommation spécifique garantie aux bornes, à 100 000 kW.	2 183 kcal:kW-h	2 183 kcal:kW-h
<i>Alternateurs.</i>		
Puissance nominale .....	125 MV-A	
Puissance maximum .....	137,5 MV-A	
Tension normale entre phases ..	14 500 V	
Courant, à la puissance nominale	4 950 A	
Courant normal d'excitation ...	1 000 A	
Pression effective de l'hydrogène :		
à 125 MV-A .....	0,35 kg:cm <sup>2</sup>	
à 137,5 MV-A .....	1,05 kg:cm <sup>2</sup>	
Rendement maximum .....	99,06 pour 100	

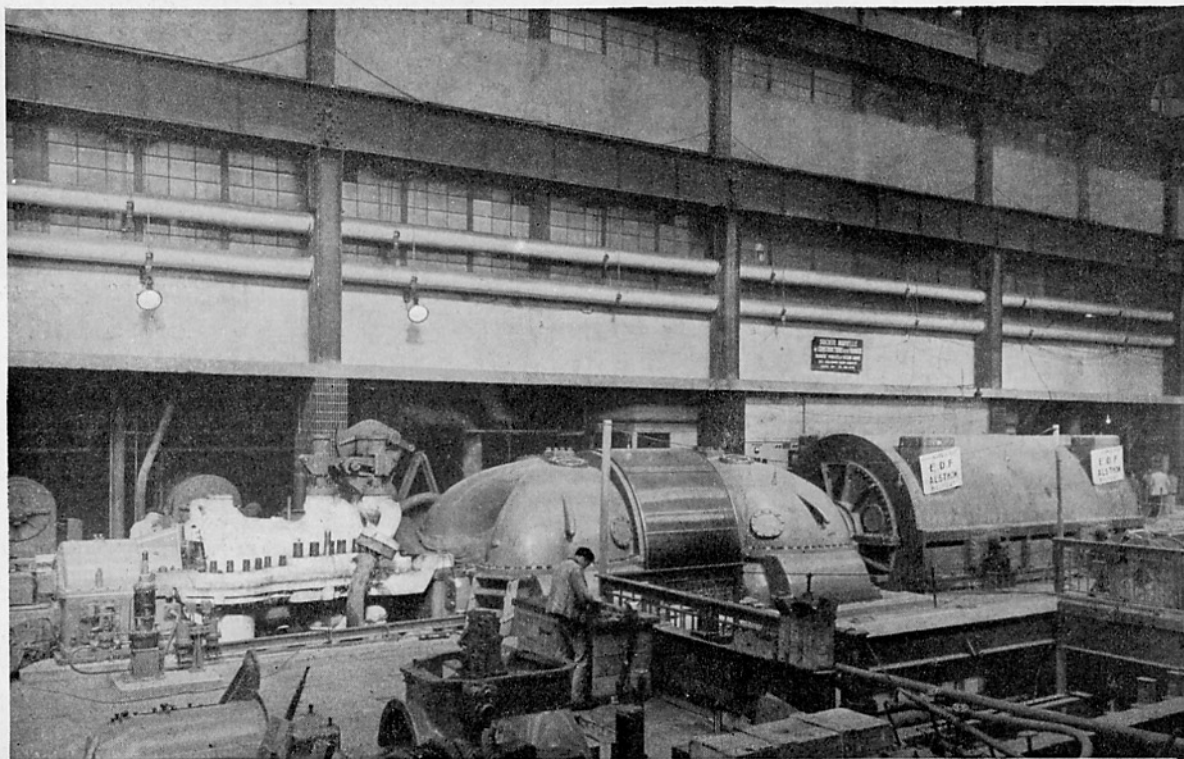


Fig. 28. — Vue du groupe turboalternateur de 100 000 kW de la Société Alsthom, complètement assemblé. (Clé-hé P. Lemaire.)

le conduit de vapeur entre corps. Cette enceinte est construite en tôle soudée, et assemblée au condenseur par soudage.

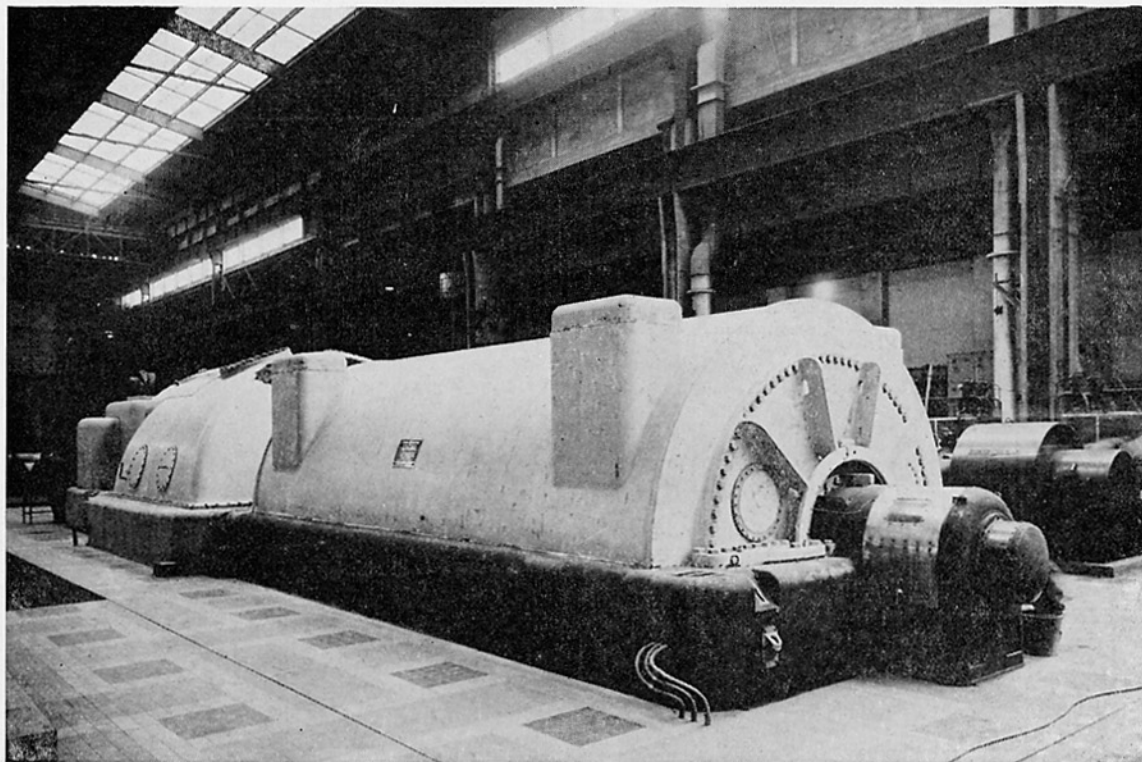
Les aubages fixes, en acier inoxydable, sont supportés par des diaphragmes en fonte.

3° *Rotors.* — Les parties mobiles des turbines comportent des rotors tournés dans la masse. L'assemblage des rotors des deux corps du groupe construit par General electric Company comporte un accouplement encastré d'une très grande rigidité. Le démontage de ces rotors oblige à retirer de la turbine l'ensemble du corps mobile, qui se présente ainsi sous forme d'une pièce unique.

4° *Soupapes d'arrêt.* — Chaque machine est munie de deux

soupapes d'arrêt (fig. 32), chacune d'elle étant suffisante pour assurer l'alimentation en vapeur de la turbine à pleine charge. Elles sont munies de servo-moteurs à huile. Une commande à distance permet de vérifier successivement pendant la marche le fonctionnement, à la fermeture, de chaque soupape. Ces groupes turboalternateurs sont en effet conçus pour fonctionner pendant de longues durées sans aucun arrêt, et il est important de pouvoir s'assurer à tout moment du bon état de leurs organes de sécurité. Cette vérification a lieu actuellement trois fois par jour.

5° *Soupapes de réglage.* — Les soupapes de réglage sont au nombre de six pour la turbine de la Société Alsthom, et de



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 29. — Vue du groupe turboalternateur de 100 000 kW de la General electric Company.

huit pour la turbine de la General electric Company. Il existe, en outre, des soupapes de surcharge, au nombre de deux et quatre respectivement, par lesquelles on peut admettre, devant le cinquième étage, de la vapeur prélevée à la sortie du premier étage.

Ces soupapes sont commandées par des arbres à came, système qui présente l'avantage principal d'éloigner toute capacité d'huile des pièces métalliques à haute température, réduisant ainsi les risques d'incendie. Un autre avantage de ce mode de commande, conjugué avec l'existence d'un grand nombre de soupapes, est de permettre une diminution appréciable des pertes par laminage aux ouvertures partielles, et un réglage commode et stable des recouvrements d'ouverture. Un dernier avantage, enfin, est que l'on peut, en choisissant convenablement les profils des cames, obtenir un taux

de statisme indépendant de la puissance de la machine et dont les plages singulières présentent une étendue très réduite.

En cas de diminution instantanée de la pression d'huile de régulation, la fermeture complète des soupapes de réglage est obtenue en moins de 0,5 s et celle des soupapes d'arrêt en 4 s environ.

6° *Régulation.* — Outre les dispositifs habituels, la régulation à huile (fig. 33) comporte deux particularités. Il existe, en effet, un régulateur à pression d'admission, dont l'action se substitue à toute autre lorsque la pression à l'admission de la turbine devient inférieure à une certaine valeur prédéterminée, et tend à réduire la puissance produite par la machine. Il existe également un autre dispositif, qui permet d'annuler l'action du régulateur de vitesse dans une plage

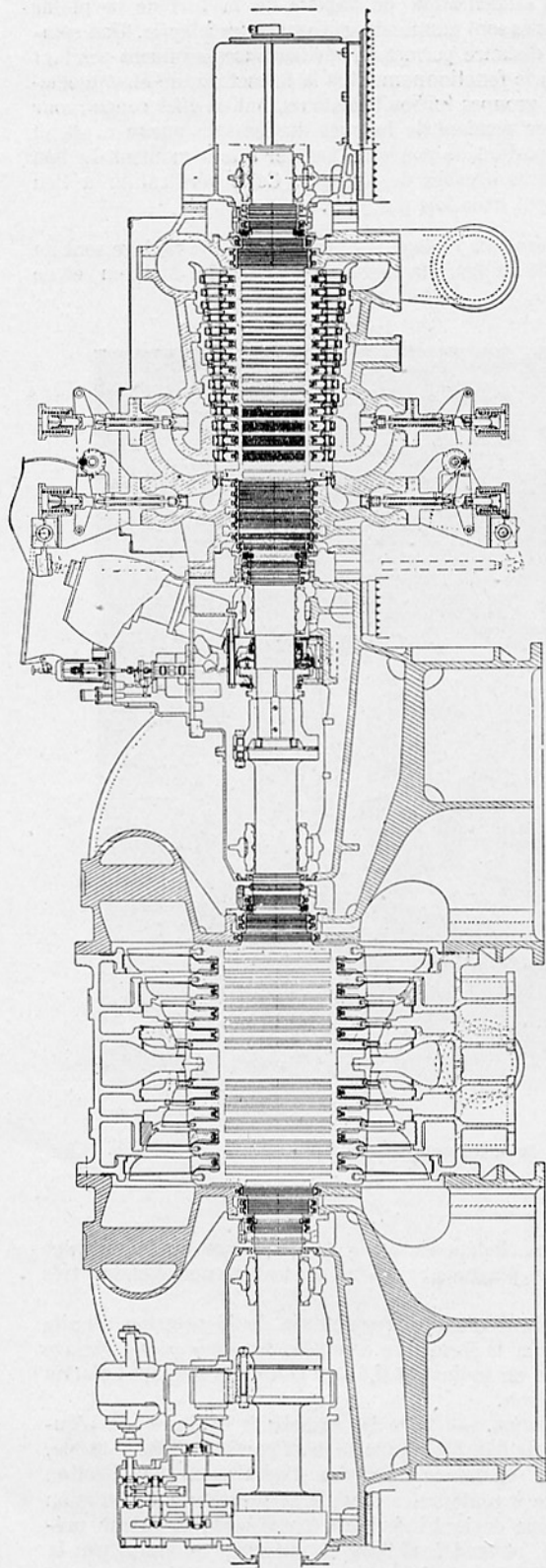


Fig. 30. — Coupe longitudinale de la turbine de 100 000 kW de la Société Alsthom.

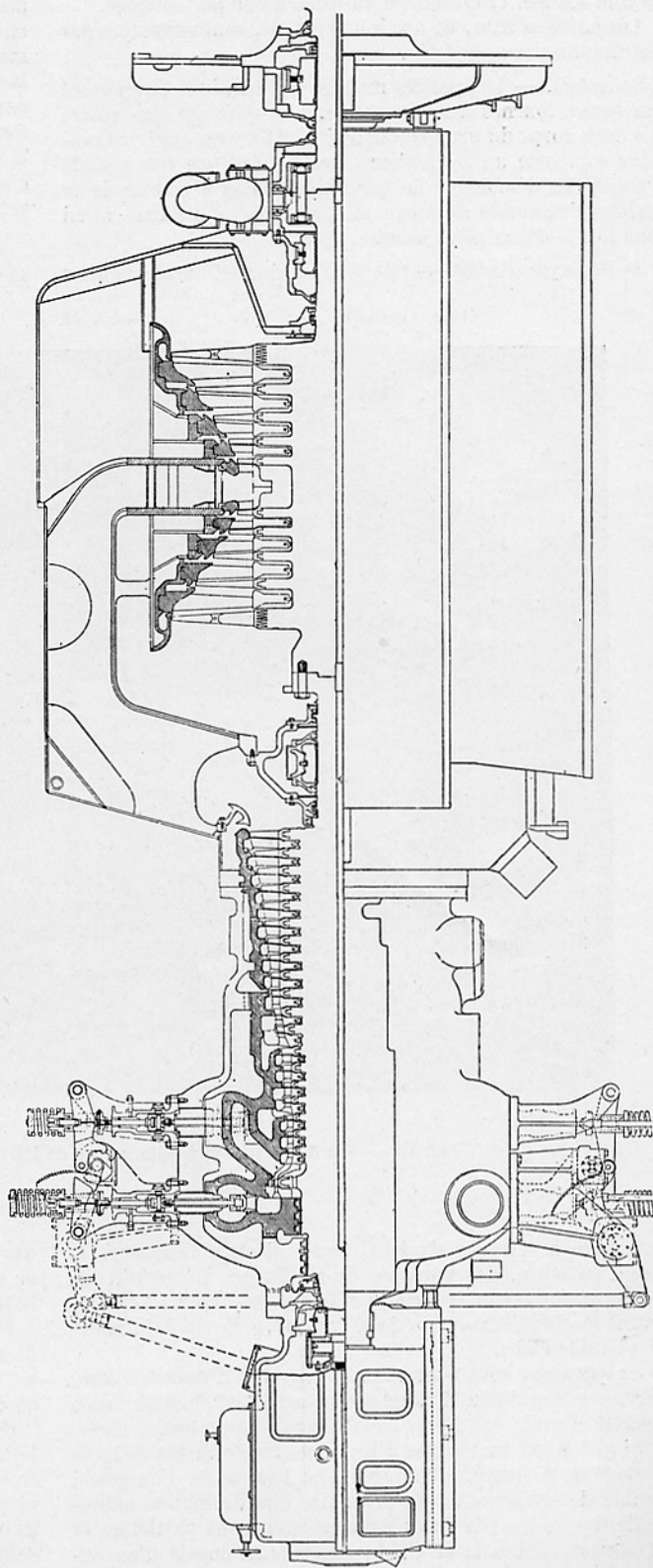


Fig. 31. — Coupe longitudinale de la turbine de 100 000 kW de la General electric Company.

de vitesses déterminée et rend possible ainsi le réglage éventuel de la puissance par un autre régulateur, de principe différent et agissant suivant une loi différente. Il est bien évident cependant que la mise en service de ces appareils ne doit diminuer en rien la sécurité de fonctionnement. En particulier, le régulateur centrifuge reprend la commande des soupapes en cas de déclenchement du disjoncteur de l'alternateur.

**7° Circuit d'huile.** — On a recherché dans l'étude du circuit d'huile une protection spéciale contre toute possibilité d'incendie. A cet effet, toutes les tuyauteries d'huile et les organes de régulation se trouvent réunis sous un capot commun situé en tête du corps à haute pression. Pour la turbine de la General electric Company une disposition spéciale augmente encore la sécurité. Les tuyauteries d'alimentation et de retour sont coaxiales, ou, plus justement, les tuyauteries de retour, où la pression est faible, entourent complètement les tuyauteries d'amenée. C'est ainsi, par exemple, que la liaison entre le bac à huile de réserve, qui contient 14 tonnes d'huile, disposé à une certaine distance de la turbine, et le capot de régulation, est assuré par une tuyauterie unique, de grand diamètre, qui en contient sept autres.

La pompe à huile principale est une pompe centrifuge montée sur l'arbre de la turbine. Ce type de pompe demande, en effet, une précision d'exécution moindre que les pompes à engrenages autrefois utilisées; il ne nécessite pas d'arbre supplémentaire et, par conséquent, se trouve moins sujet à avaries. La caractéristique du débit en fonction de la pression de cette pompe a été étudiée spécialement pour que le débit augmente très rapidement lorsque la pression de refoulement diminue.

La pompe principale est alimentée par une pompe immergée dans le réservoir d'huile de la turbine et entraînée par une turbine à huile qui, à son tour, reçoit une partie du débit de la pompe principale. Une pompe électrique permet la mise en service de l'installation et une pompe à turbine à vapeur, munie d'un régulateur, se met automatiquement en marche en cas de défaillance du système principal.

Une installation spéciale, à proximité de la turbine, permet un traitement complet et continu de régénération de l'huile du réservoir. Une centrifugeuse a été jointe à cette installation pour assurer un traitement moins complet mais plus simple à surveiller.

**8° Instruments de contrôle** — La plupart des indications nécessaires à la conduite des deux groupes turboalternateurs sont rapportées à deux panneaux de contrôle juxtaposés, qui forment l'un des côtés de la salle de réglage général de la chaufferie et des machines.

Ces panneaux comportent, outre la commande à distance du démarrage des moteurs des auxiliaires les plus importants, l'enregistrement ou l'indication des principales pressions et températures de la turbine, de l'alternateur et du poste d'eau, la signalisation des incidents et la répétition des ordres du pupitre de commande électrique, et des indicateurs spéciaux, construits par la General electric Company, qui enregistrent certaines caractéristiques mécaniques du fonctionnement.

Ces appareils, qui comportent des tubes électroniques, enregistrent les caractéristiques suivantes : vitesse de la machine ou position de l'arbre à cames, excentricité de l'arbre, amplitude de vibration, et dilatation.

**a) Enregistrement de la vitesse ou de la position de l'arbre à cames.** — L'élément primaire d'indication de la vitesse est

un petit alternateur à aimant permanent, entraîné par l'arbre de la turbine. Lorsque l'on couple la machine au réseau et qu'il n'est plus nécessaire d'enregistrer la vitesse, un inverseur automatique permet l'indication de la position de l'arbre à cames de commande des soupapes, exprimée en centièmes de la course angulaire totale. L'élément primaire est alors un diviseur de tension.

**b) Enregistrement de l'excentricité de l'arbre.** — L'excentricité de l'arbre, en tête de la turbine, est enregistrée au

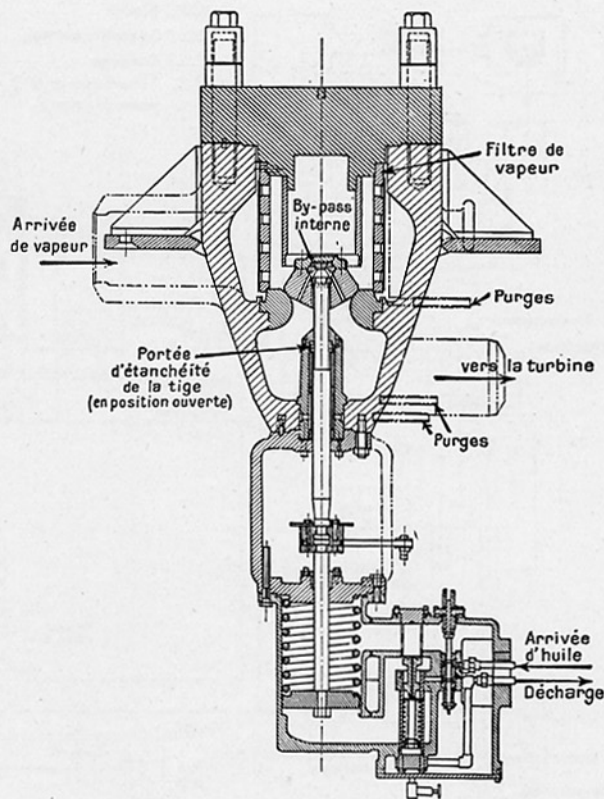


Fig. 32. — Coupe d'une soupape d'arrêt de la turbine de la General electric Company.

moyen d'un élément primaire qui comporte une bague fixée à l'arbre, et une bobine fixe à noyau magnétique. Les variations d'entrefer entre la bague et les pôles du noyau de la bobine produisent la modulation d'une tension alternative à 450 Hz créée par un oscillateur. Cette modulation est filtrée, redressée et enregistrée.

**c) Enregistrement de l'amplitude de vibration.** — On mesure l'amplitude des vibrations aux cinq paliers de la ligne d'arbre. Les éléments détecteurs sont constitués par un aimant permanent lié au palier et une bobine, entourant l'aimant, suspendue par des ressorts. Les déplacements relatifs de l'aimant et de la bobine induisent dans celle-ci une tension, dont les variations sont intégrées pendant une durée déterminée. La tension intégrée, proportionnelle au total des déplacements, commande l'enregistreur. La sensibilité de l'appareil est accrue aux faibles indications par l'utilisation d'une graduation logarithmique.

**d) Dilatation.** — L'appareil enregistre par points séparés

le déplacement d'un point du stator de la turbine par rapport aux fondations, et, de manière continue, le déplacement relatif de l'arbre et du stator.

L'élément détecteur est constitué, pour l'indication de dilatation différentielle par exemple, par une bague portée par l'arbre, qui se déplace entre deux bobines. La variation d'impédance du circuit des bobines, résultant du déplacement, est mesurée et enregistrée.

Chaque appareil est muni d'un appareil auxiliaire de

contrôle, à commutateur multiple (de 10 à 30 directions), qui permet, à tout moment, de vérifier, sans aucun branchement supplémentaire de filerie, le bon état de l'appareil principal, en comparant les indications d'un milliampère-mètre aux indications obtenues lors de l'étalonnage initial.

9° *Vireurs*. — Chaque groupe turboalternateur est équipé d'un vireur à moteur électrique, à débrayage automatique, capable d'entraîner l'arbre d'un mouvement lent et continu. Cet appareil présente une très grande importance du fait

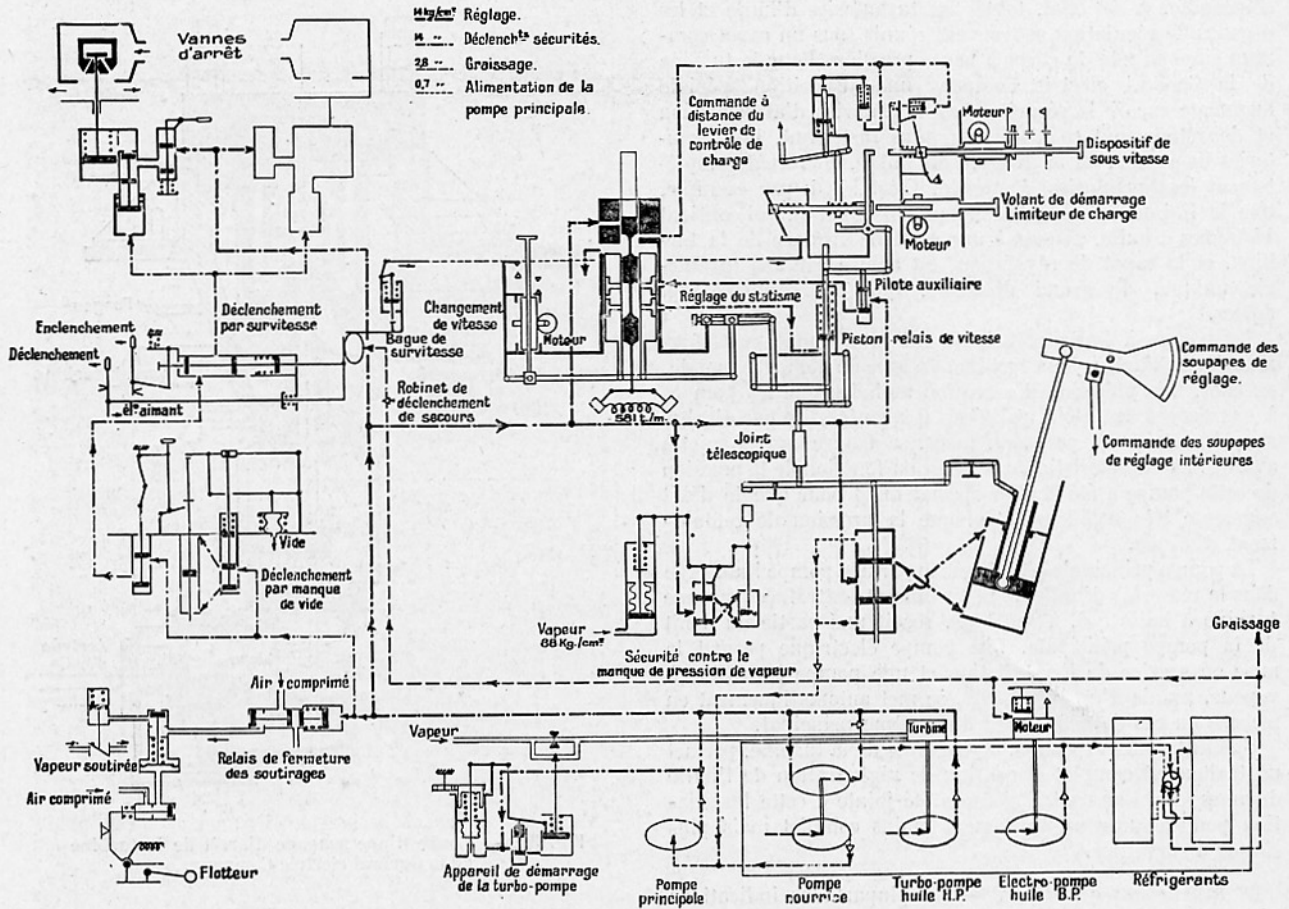


Fig. 33. — Schéma général de distribution d'huile de la turbine de la General electric Company.

de la température élevée de la vapeur à l'admission, et des grandes épaisseurs de métal du corps à haute pression. C'est ainsi qu'à l'arrêt de la machine, par exemple, il peut être nécessaire de la virer pendant douze à quinze heures consécutives. Une pompe à huile spéciale assure le graissage durant la période où le vireur est en service.

2. ALTERNATEURS PRINCIPAUX. — L'alternateur du groupe de la General electric Company a été entièrement achevé en atelier. Le transport du stator, d'un poids de 165 t, de Schenectady à Gennevilliers a posé plusieurs problèmes, et a conduit, entre autres, à installer spécialement au bord de la Seine un derrick orientable d'une force de 200 t, qui se trouve être maintenant l'un des engins de levage les plus puissants disponibles sur la Seine dans la Région parisienne.

L'alternateur de la Société Alstom a été terminé à l'usine de Gennevilliers même, où l'on a procédé à l'empilage des tôles et au bobinage du stator.

Le noyau magnétique est fixé à la carcasse par l'intermédiaire de supports élastiques dont le rôle est de supprimer les vibrations du stator.

L'alternateur est refroidi par l'hydrogène. Il est cependant capable de fonctionner dans l'air. Dans ce cas, la puissance maximum que peut fournir la machine est réduite à 70 MW environ.

L'utilisation de l'hydrogène comme fluide de refroidissement présente plusieurs avantages.

Tout d'abord, les risques d'incendie sont totalement supprimés, ainsi que tout effet nuisible de l'effet de couronne sur les enroulements. De plus, l'hydrogène possédant à la fois

une densité plus faible et une conductibilité thermique plus élevée que l'air, son utilisation procure une amélioration de rendement de l'ordre de 0,5 à 1 pour 100 en diminuant les pertes par ventilation, et, surtout, une évacuation plus efficace des pertes thermiques de l'alternateur, ce qui permet de réduire les dimensions du noyau magnétique et d'augmenter les densités de courant admissibles.

Le poids des parties utiles d'un alternateur diminue ainsi d'un cinquième environ lorsqu'on le refroidit par de l'hydrogène au lieu d'utiliser l'air, en conservant les mêmes échauffements et la même puissance maximum.

L'étanchéité du circuit d'hydrogène doit être parfaite, et le gaz est maintenu constamment en surpression par rapport à l'atmosphère; cette surpression varie avec la puissance apparente de l'alternateur. Elle est de 0,035 kg : cm<sup>2</sup> jusqu'à 100 MV-A, 0,350 kg : cm<sup>2</sup> à 125 MV-A et 1,05 kg : cm<sup>2</sup> à 137,5 MV-A. Une conséquence indirecte de ces nécessités est le maintien de l'alternateur en parfait état de propreté.

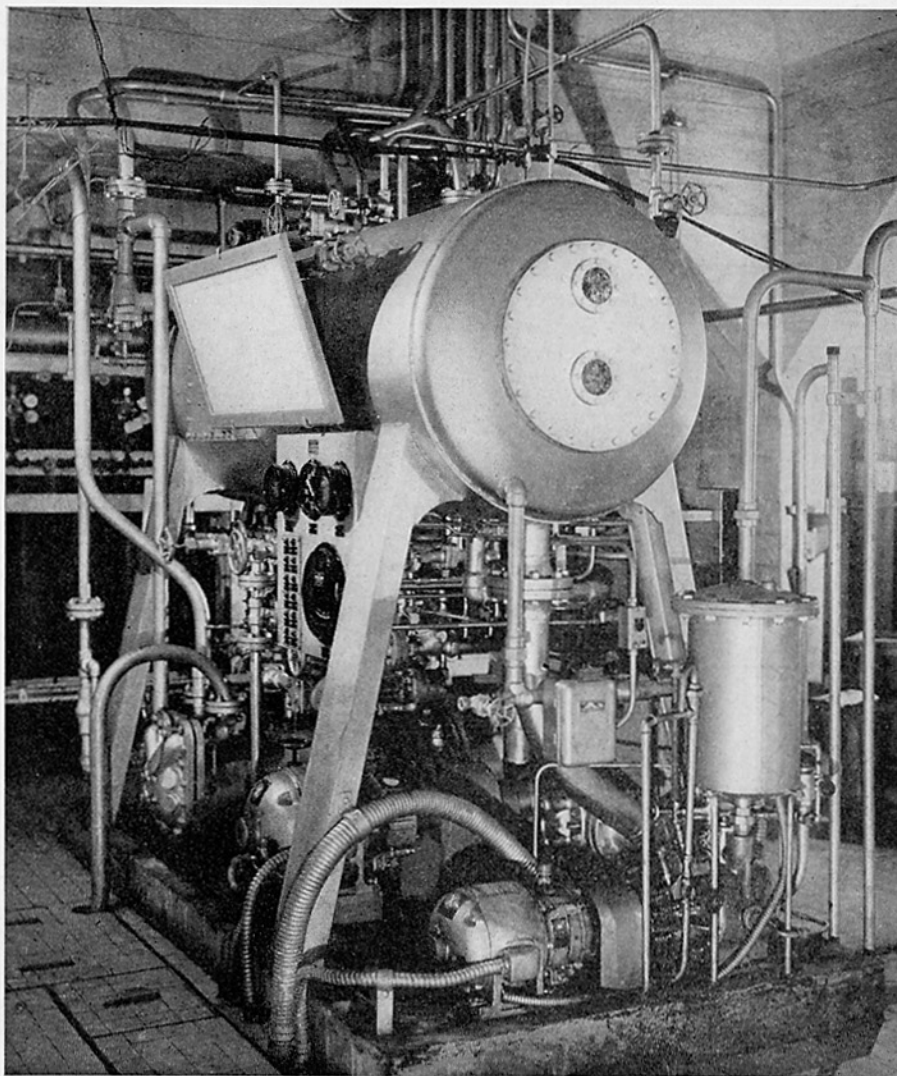
La carcasse est réalisée en tôle d'acier soudée. Les paliers sont supportés par les flasques d'extrémité du stator elles-mêmes. L'étanchéité au passage de l'arbre est obtenue par des joints à huile. L'huile qui les alimente, de même nature que l'huile de graissage des paliers, est fournie par une installation spéciale automatique, qui comprend essentiellement une pompe à huile principale, une pompe à huile de secours, et un réservoir où l'huile subit une déshydrogénation et une désaération complètes. En cas d'avarie simultanée des deux pompes, ou d'interruption de l'alimentation de leurs moteurs électriques, l'étanchéité reste encore assurée par le circuit d'huile de graissage des paliers. Dans ce cas cependant, la pureté de l'hydrogène de l'alternateur décroît avec le temps, et il peut devenir nécessaire de le vidanger.

La figure 34 représente cet appareil, dont le fonctionnement de principe est illustré par la figure 35.

L'hydrogène est refroidi dans quatre réfrigérants disposés dans la carcasse même de l'alternateur, visibles sur la vue de la figure 29, au moyen d'eau condensée. Chaque réfrigérant comporte deux sections séparées, afin d'assurer en cas d'avarie le minimum de diminution de la puissance disponible.

Lorsque la température de l'eau condensée devient notablement élevée, en été par exemple, elle est refroidie avant son admission aux réfrigérants d'hydrogène, au moyen d'un échangeur spécial alimenté en eau de Seine. On notera que

la diminution de rendement du cycle due à ce procédé, qui semble a priori coûteux, est faible, du fait de l'existence de cinq étages de réchauffage et de la position de cet échangeur immédiatement à la sortie du condenseur. Les garanties d'échauffement de l'alternateur sont de 85°C pour le rotor et de 60°C pour le stator, au-dessus d'une température ambiante normale de 40°C. Un appareil Leeds enregistre en permanence, au moyen de thermomètres à résistance, les tempé-



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 34. — Vue du dispositif d'alimentation en huile des garnitures d'étanchéité des alternateurs.

ratures du bobinage en huit points jugés les plus représentatifs. Des thermomètres indicateurs permettent également de connaître la température de l'hydrogène en neuf points.

Le remplissage de l'alternateur en hydrogène s'effectue en deux opérations successives, dont l'ordre est inversé pour la vidange. Ces manœuvres sont réalisables en marche, mais pratiquement sont toujours exécutées à l'arrêt, ce qui réduit considérablement les quantités de gaz à utiliser. Dans une première phase, on chasse l'air de la carcasse en introduisant lentement de l'anhydride carbonique à sa partie inférieure ;

on chasse ensuite l'anhydride carbonique au moyen d'hydrogène que l'on introduit à la partie supérieure. Un analyseur de gaz à conductibilité thermique, muni de trois ponts de mesure, permet de suivre les phases de remplissage et de

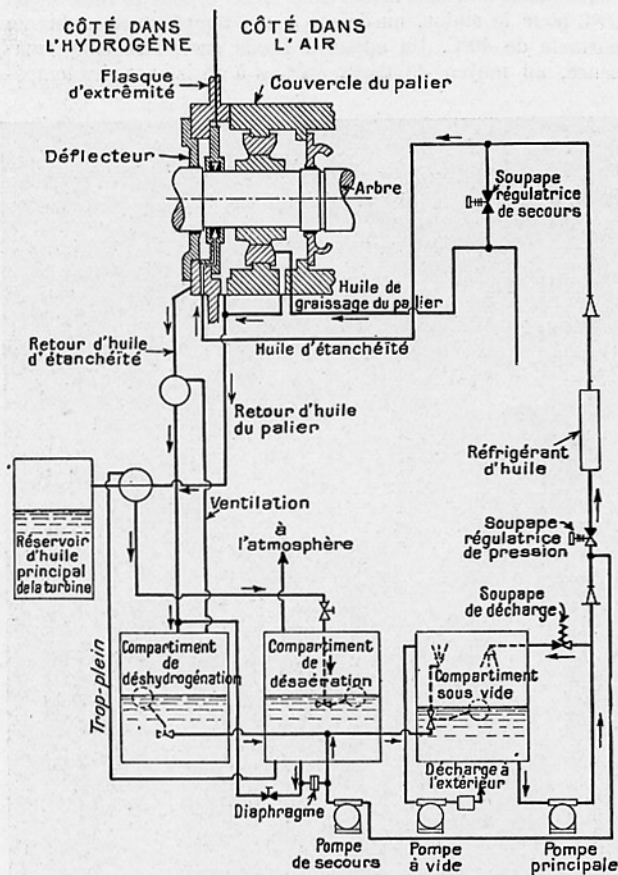


Fig. 35. — Schéma du fonctionnement du circuit d'huile d'étanchéité.

vidange, et de connaître, pendant la marche, le degré de pureté de l'hydrogène de l'alternateur.

1° *Circuit d'excitation et réglage de la tension.* — L'excitatrice, séparée du groupe turboalternateur, est entraînée par un moteur asynchrone. Ses caractéristiques principales sont :

Puissance nominale .....	330 kW
Tension normale .....	275 V
Tension maximum .....	400 V
Courant normal .....	1 000 A
Courant de surrégime (2 s) .....	1 700 A
Puissance du moteur .....	500 ch
Vitesse de rotation .....	990 t : mn

L'excitation de l'excitatrice, donc le réglage de la tension principale, est assurée par l'intermédiaire d'une génératrice pilote amplidyne, entraînée par un moteur asynchrone. Les schémas de principe de la figure 36, très simplifiés, permettent de comprendre son fonctionnement.

L'amplidyne ne doit jouer qu'un rôle de maintien et il est préférable de régler manuellement le rhéostat d'excitation de l'excitatrice lors de variations de charge de l'alternateur, de manière à maintenir nul, en moyenne, le courant produit par l'amplidyne. Le système régulateur est cependant capable d'assurer à lui seul le réglage de la tension au cas

où la position du rhéostat principal serait maintenue fixe, la puissance de la machine variant.

Le principe du fonctionnement est le suivant : une tension signal triphasée, en provenance des réducteurs de tension de l'alternateur, alimente un transformateur spécial qui la transforme en tension diphasée. Celle-ci est à son tour transformée en signal monophasé au moyen d'une résistance et d'une réactance linéaire. Le signal monophasé est proportionnel à la moyenne des tensions des trois phases. L'adjonction en parallèle de bobines d'inductance et de condensateurs permet l'accord de ce circuit de réponse à la fréquence normale. La tension monophasée ainsi compensée est appliquée aux éléments principaux du régulateur, qui comprend trois circuits :

- Le circuit linéaire fournit un courant continu proportionnel à la tension du signal monophasé ;
- Le circuit saturable fournit un courant continu qui varie en fonction de la tension du signal monophasé, de telle sorte que, dans une certaine zone, le courant de sortie varie considérablement pour une faible variation de tension du signal alternatif. Le niveau, l'étendue et la pente de ce semi-palier sont réglables ;
- Le circuit de comparaison oppose, aux bornes de l'enroulement d'excitation principal de l'amplidyne, les courants de sortie des deux circuits ci-dessus. Lorsque la tension du signal alternatif croît à partir de zéro, le débit du circuit linéaire croît continuellement, en restant supérieur à celui du circuit non linéaire. L'amplidyne augmente la tension de l'alternateur par l'intermédiaire de l'excitatrice principale. Le circuit non linéaire commence à se saturer lorsque la tension de l'alternateur devient voisine de la tension désirée, et le point de fonctionnement normal est obtenu lorsque le courant débité par l'amplidyne est nul. La sensibilité de la régula-

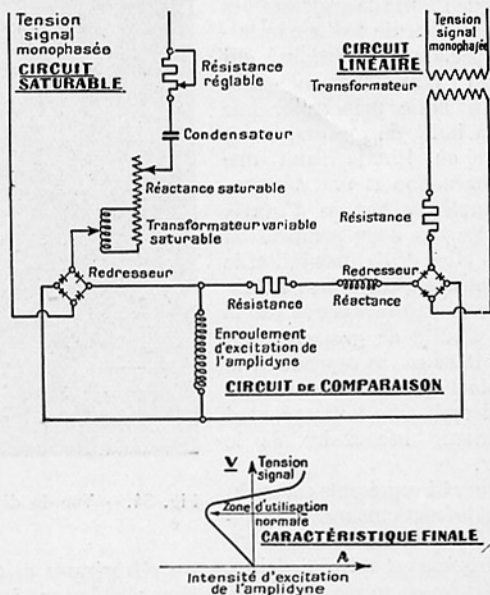


Fig. 36 — Schémas de principe du réglage de la tension au moyen d'une génératrice amplidyne.

tion est d'autant plus élevée qu'est faible la pente du semi-palier.

L'appareillage comporte également un limiteur de minimum d'excitation, un limiteur de maximum d'excitation, un inverseur automatique de polarité de l'excitatrice qui permet

également son amorçage, un circuit d'équilibrage qui règle le partage de la production d'énergie réactive entre les machines en parallèle, et un compensateur de pertes en ligne.

Signalons enfin que le groupe moteur-génératrice amplidyne est muni d'un contacteur de survitesses destiné à arrêter ce groupe en cas d'interruption de l'alimentation du moteur, la génératrice tournant alors en moteur.

2° *Liaison de l'alternateur au transformateur.* — L'alternateur principal est relié directement à un transformateur 14,5 kV/60 kV, composé de trois éléments monophasés. Les barres à 14,5 kV sont conduites au transformateur dans une gaine métallique. Chaque tronçon de gaine est isolé des tronçons adjacents par un joint en bakélite. La liaison entre les tôles d'un même tronçon est assurée par des joints en éverite. La mise à la terre de chaque tronçon est effectuée par un câble dont le trajet suit celui de la gaine. Des précautions spéciales sont prises pour éviter une mise à la terre supplémentaire accidentelle d'un tronçon quelconque de la gaine. Les barres, disposées en nappe plane, sont munies de points fixes et de lyes de dilatation. L'ensemble a été calculé par les procédés utilisés pour le calcul des tuyauteries en température. Un ventilateur situé au départ de l'alternateur assure une circulation d'air en légère surpression dans la gaine.

3. **CONDENSEURS.** — Les condenseurs des turbines principales comportent un seul passage d'eau de circulation. Ils sont divisés en deux demi-condenseurs, ce qui permet de les nettoyer en marche, en abaissant momentanément à 50000 kW la puissance produite par le groupe turboalternateur. Leur surface totale d'échange est de 5570 m<sup>2</sup>. Le diamètre des tubes est de 22 mm, leur longueur de 9,14 m.

Le condenseur du groupe de la Société Alsthom, fourni par la Société des Condenseurs Delas, est construit entièrement en tôle soudée et comporte une double coque. Celui du groupe de la General electric Company (fig. 37), est construit également en tôle soudée, mais les boîtes à eau sont en fonte. De construction monocoque, et renforcé par des entretoises intérieures, ce condenseur est soudé au conduit d'échappement de la turbine.

La fourniture d'eau de refroidissement est assurée par deux pompes verticales à hélice, munies de moteurs à deux polarités. Deux débits sont donc possibles. Les caractéristiques principales de ces pompes de circulation sont les suivantes :

Débit .....	9 000 m <sup>3</sup> : h ou 7 000 m <sup>3</sup> : h
Hauteur de refoulement .....	6 m
Vitesses de rotation (au synchronisme)	428 t : mn ou 333 t : mn
Puissances nominales du moteur .....	300 ch et 145 ch

Ces pompes aspirent dans des puisards reliés aux galeries d'amenée préexistantes. L'exécution de ces puisards a soulevé certaines difficultés, car il était nécessaire, pour maintenir une « submergence » suffisante des rouets des pompes, d'at-

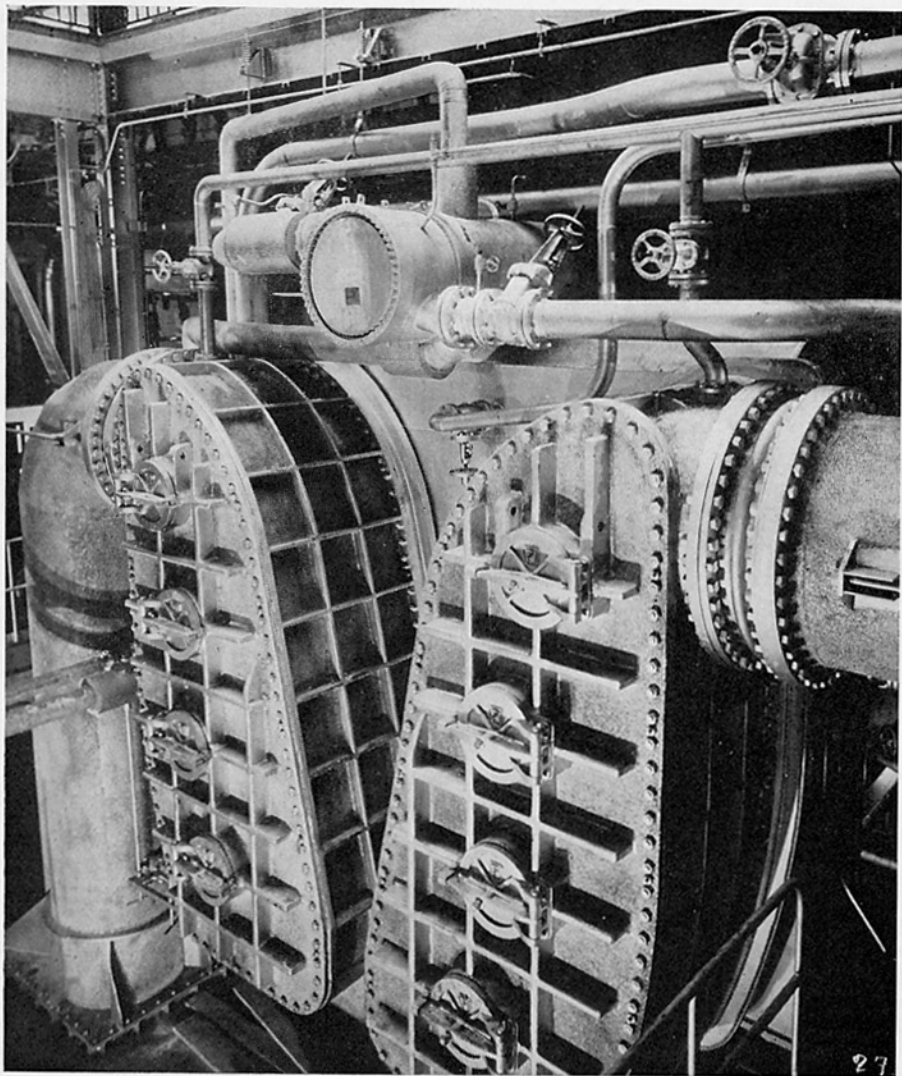


Fig. 37. — Vue d'une extrémité du condenseur de la turbine de la General electric Company.

(Cliché H. Baranger.)

teindre un niveau inférieur à celui de la nappe aquifère du terrain naturel; aussi a-t-on dû procéder par congélation. Trois mois de congélation du terrain furent nécessaires avant que l'on puisse entreprendre le fonçage des puisards, et la station frigorifique resta en service continu pendant huit mois au total.

L'eau de Seine utilisée pour la condensation est au préalable traitée par mise en solution de chlore gazeux, en procédé intermittent.

La fourniture de chlore est assurée par un système spécial, installé à proximité de la prise d'eau, de fonctionnement semi-automatique.

Le maintien du vide des condenseurs est obtenu par des éjecteurs à vapeur à éléments jumelés, comportant deux étages d'aspiration pour le groupe de la General electric Company et trois étages pour le groupe de la Société Alsthom.

Aux faibles charges de la turbine, on assure un débit suffisant à la pompe d'extraction d'eau condensée par un dispositif de recirculation commandé par un diaphragme de mesure du débit d'eau.

schématiquement le circuit normal d'eau condensée d'une tranche. On voit que ce circuit comporte trois étages de pompage. Les capacités d'aspiration du condenseur, la bêche d'eau condensée et la bêche alimentaire.

À la sortie du condenseur, l'eau est reprise par les pompes d'extraction. Une seule des deux pompes installées suffit à

4. CIRCUITS D'EAU CONDENSÉE. — La figure 38 représente

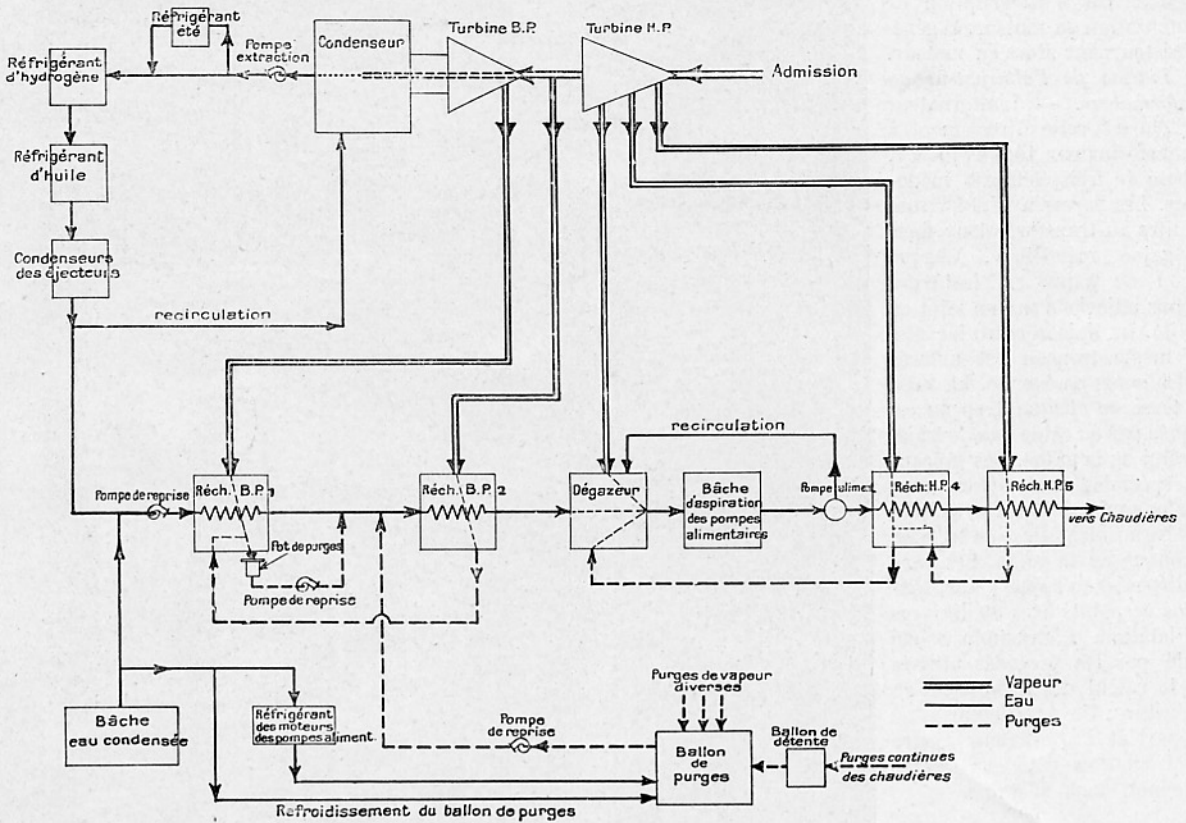


Fig. 38. — Schéma du circuit normal d'eau condensée d'une turbine principale.

assurer le débit maximum. L'eau traverse ensuite le réfrigérant d'été, le réfrigérant d'hydrogène, le réfrigérant d'huile et les condenseurs d'éjecteurs; elle est alors aspirée par l'une des deux pompes de reprise, qui la refoule jusqu'au dégazeur à travers les deux réchauffeurs à basse pression. Les pompes alimentaires l'expédient enfin aux chaudières après passage dans les deux réchauffeurs à haute pression.

Tous les autres réchauffeurs sont situés à l'intérieur du bâtiment de la chaufferie.

Le dégazeur a été placé aussi haut qu'il était possible, de manière que les risques de vaporisation à l'entrée des pompes alimentaires soient réduits en cas de brusque chute de pression de la vapeur de réchauffage, provoquée par exemple par

Les réchauffeurs à basse pression, du type horizontal, sont à tête dilatable. Les réchauffeurs à haute pression ont un faisceau tubulaire en épingle à cheveux. Comme les tuyauteries d'eau condensée desservant ces derniers sont soudées, le faisceau tubulaire est fixe, et c'est l'enveloppe de vapeur que l'on retire lors du démontage. Les enveloppes sont, dans ce but, montées sur galets, et des chemins de roulement permettent leurs déplacements.

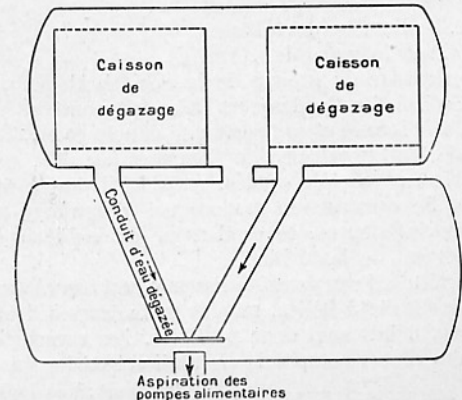


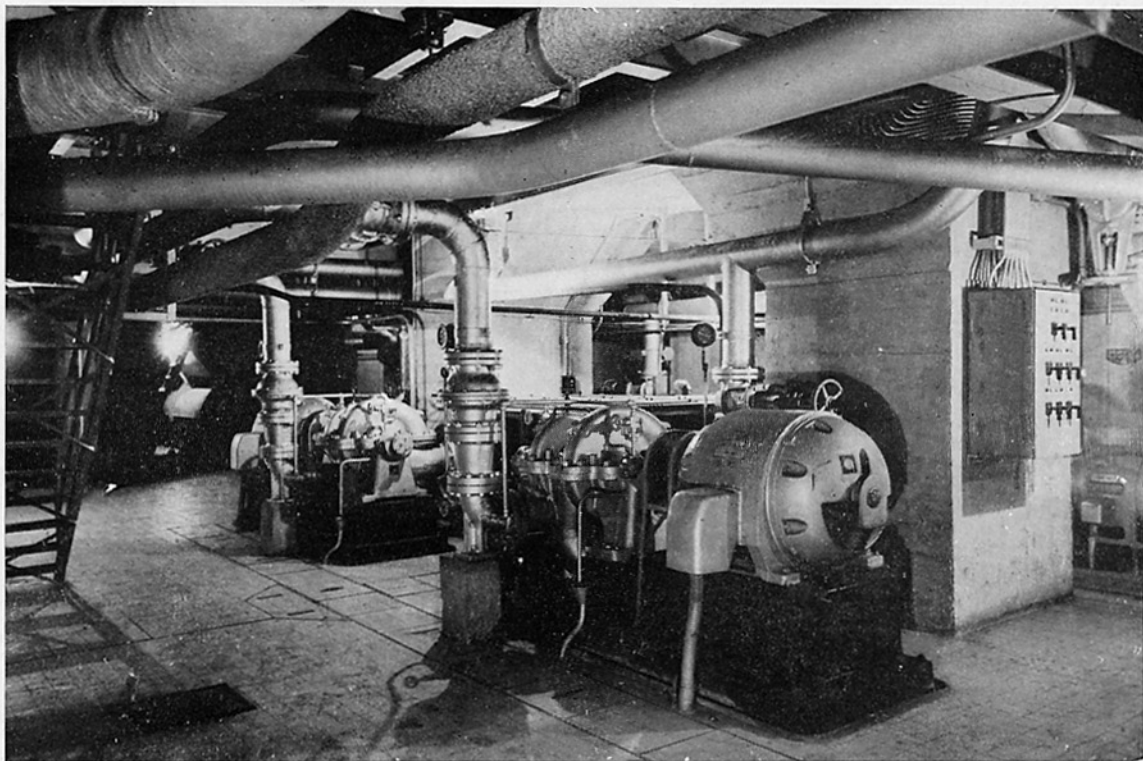
Fig. 39. — Coupe schématique du dégazeur du circuit d'eau principal.

Le réchauffeur à basse pression du groupe de la General electric Company, dont une extrémité est visible sur la figure 37, présente la particularité d'être logé dans le condenseur. Cette disposition procure une économie d'encombrement et réduit à une longueur négligeable le trajet des tuyauteries de vapeur de grand diamètre nécessaires. Le réchauffeur correspondant du groupe de la Société Alsthom est posé sur le condenseur, de sorte que les tuyauteries de vapeur y sont également très courtes.

une diminution rapide du débit admis à la turbine, ou par un déclenchement du groupe. De plus, la tuyauterie d'aspiration est considérablement élargie à son départ du déga-

zeur, pour permettre un dégagement plus aisé des bulles de vapeur pouvant éventuellement se produire.

Enfin, des tuyauteries spéciales (fig. 39) conduisent l'eau



(Cliché H. Baranger.)

Fig. 40. — Vue des pompes de reprise d'eau condensée d'une turbine principale.

dégazée à travers la bache alimentaire jusqu'au voisinage de l'orifice d'aspiration des pompes, de sorte qu'en cas de décharge brusque, l'eau la plus froide soit dirigée, par priorité, vers les pompes. Divers essais spéciaux sont en cours, qui permettront de vérifier le comportement de la colonne d'aspiration en cas de déclenchement de l'alternateur principal.

Les tuyauteries de vapeur qui alimentent les réchauffeurs, sauf celles conduisant au réchauffeur à la plus basse pression, sont munies de clapets de non-retour, qui évitent, en cas de déclenchement, le retour de vapeur des réchauffeurs à la turbine. Ces clapets comportent une ouverture commandée contre un ressort antagoniste par un servomoteur à air

comprimé. La commande de ce moteur est exécutée par un relais à huile lié à la régulation de la turbine, qui provoque la fermeture en cas de déclenchement de la turbine. En cas de noyade du réchauffeur, un flotteur commande également la fermeture de ce clapet.

Un robinet spécial permet de vidanger manuellement le cylindre moteur de ces clapets pour vérifier leur fonctionnement. De plus, les vannes d'isolement des tuyauteries de vapeur de soutirage sont munies de moteurs électriques commandés à distance.

Les purges des réchauffeurs à haute pression sont renvoyées normalement en cascade au dégazeur. Lorsque la différence

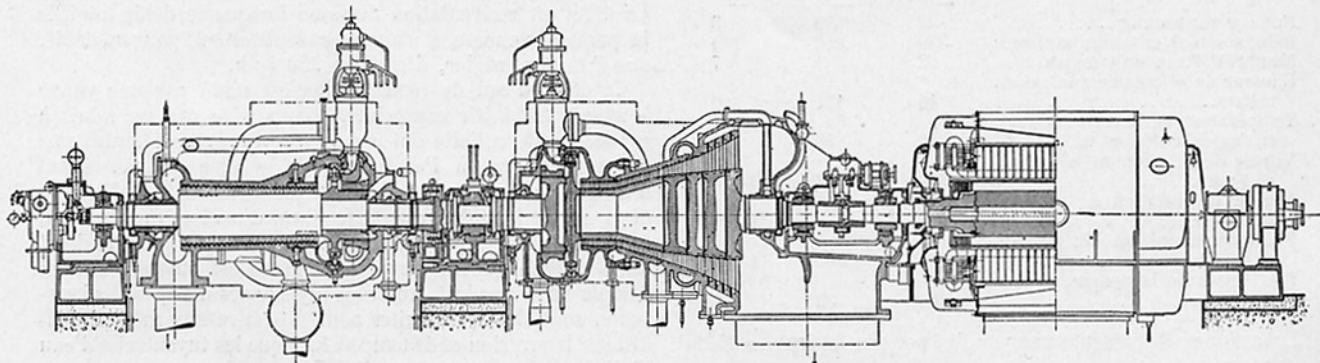


Fig. 41. — Coupe longitudinale du groupe turboalternateur auxiliaire de 8 000 kW (Compagnie Electro-Mécanique).

des pressions aux étages de soutirage ne permet pas de compenser la différence d'altitude du dégazeur et des réchauffeurs, aux faibles charges de la turbine, un flotteur réglé à un niveau supérieur à celui du régulateur normal envoie automatiquement les purges de celui-ci au réchauffeur n° 4 au réchauffeur n° 2. Les purges de celui-ci sont envoyées au réchauffeur n° 1, puis sont recueillies dans un pot relié par un tube en U au condenseur. Le niveau d'eau dans ce pot de purges, où aspire une pompe de reprise, est normalement inférieur à celui de l'orifice de décharge au condenseur. Un

système complet de by-passes permet, le cas échéant, de renvoyer au condenseur les purges de tous les réchauffeurs.

Les niveaux dans les réchauffeurs et dans le condenseur sont réglés, de manière continue, par des flotteurs dont le déplacement modifie la pression de l'air comprimé maintenue sur la membrane d'une vanne de réglage.

L'évacuation de l'air des réchauffeurs est assurée par des tuyauteries les reliant en cascade jusqu'au condenseur et munies d'un système complet de by-passes.

Les gaz non condensables provenant du dégazeur sont évacués

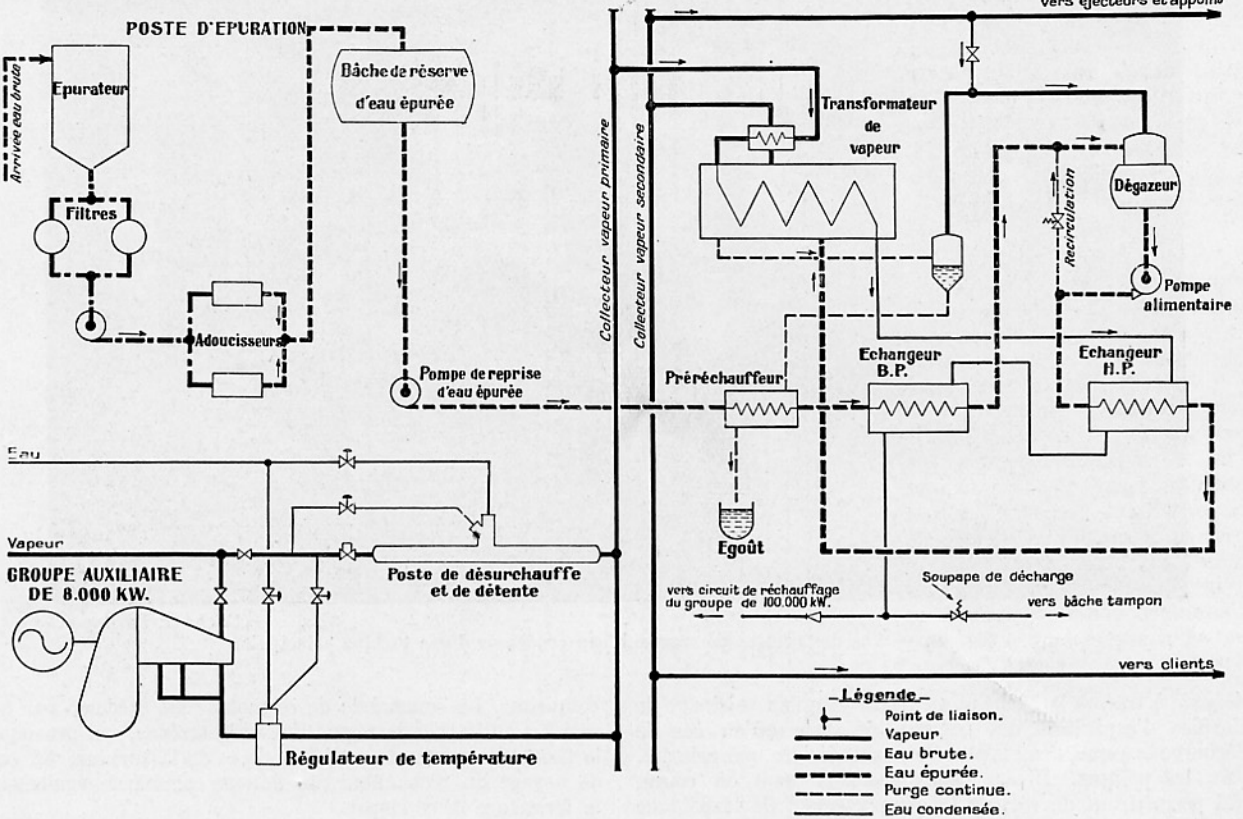


Fig. 42. — Schéma du circuit d'eau condensée d'un groupe générateur auxiliaire.

cués à l'air libre sur la terrasse de la chaufferie.

Les caractéristiques principales des pompes d'eau condensée sont les suivantes :

	Pompes d'extraction	Pompes de reprise	Pompes alimentaires
Nombre par tranche .....	2	2	3
Débit nominal, en tonnes par heure	330	350	265
Nombre d'étages de pression .....	2	2	7
Hauteur de refoulement totale, en mètres.....	46	131	1 260
Température de fonctionnement, en degrés centésimaux .....	40	40	165
Vitesse de rotation de la pompe, en t : mn.....	970	1 450	3 800
Vitesse de rotation du moteur, en t : mn.....	»	»	1 470
Puissance nominale du moteur, en chevaux.....	100	200	1 750
Rendement de la pompe, en centièmes .....	66	82	73,5

La figure 40 présente une vue des pompes de reprise d'eau condensée.

Le corps des pompes alimentaires est construit d'un seul

bloc. Un chariot spécial permet le démontage du rotor, qui s'effectue par l'extrémité à haute pression de la pompe.

Un dispositif de recirculation au dégazeur permet de conserver un débit minimum de 60 t : h environ à chaque pompe, quel que soit le débit d'alimentation des chaudières. Le débit en recirculation diminue lorsque le débit total de la pompe augmente, et s'annule complètement pour un débit, que l'on peut régler, d'environ 200 t : h.

Ce débit d'eau de recirculation est réglé par une vanne à membrane à air comprimé, commandée par un relais à pression différentielle qui reçoit ses ordres d'un diaphragme de mesure situé à l'aspiration de chaque pompe. Avant d'atteindre le dégazeur, l'eau en recirculation est détendue dans un tronçon de tuyauterie muni d'orifices multiples. Il est évident que si, par suite d'une fausse manœuvre, le débit est nul alors que la vanne de réglage est ouverte, aucune détente ne se produit. Aussi les tuyauteries d'eau de recirculation sont-elles construites pour satisfaire aux mêmes conditions de pression et de température que les tuyauteries d'eau d'alimentation proprement dites.

Les circuits d'eau condensée des deux turbines princi-



Dans la salle des machines sont installés également deux ballons de purges et leurs pompes de reprise, qui refoulent dans le circuit d'eau principal.

Ces pompes, au nombre de trois par ballon, sont équipées d'un système automatique de démarrage et d'arrêt, commandé par des flotteurs à différents niveaux des ballons. A chaque flotteur est liée une tige d'acier qui, en se déplaçant entre les pôles d'un aimant permanent, entraîne celui-ci et provoque le basculement d'un interrupteur à mercure.

L'installation comprend également quatre pompes à eau brute, verticales à hélice, qui alimentent à une pression de  $8 \text{ kg} : \text{cm}^2$  à travers des filtres rotatifs le circuit d'eau de service de l'usine, des compresseurs d'air de service à

$7 \text{ kg} : \text{cm}^2$ , et un compresseur spécial destiné à l'alimentation des appareils de régulation et des servomoteurs pneumatiques.

Signalons enfin que les alternateurs auxiliaires débitent sur les barres du tableau général auxiliaire à 3 kV, et fonctionnent normalement en réseau autonome.

**VI. Les installations électriques.** — A. Poste à 220 kilovolts (Poste Fallou). — L'usine comporte un poste de transformation 220 kV/60 kV/11 kV, équipé actuellement de deux transformateurs, constitués chacun par trois éléments monophasés d'une puissance unitaire de 32 000 kV-A. Ces appareils sont reliés au réseau à 60 kV par des câbles à huile, et au réseau à 220 kV par trois lignes aériennes tri-

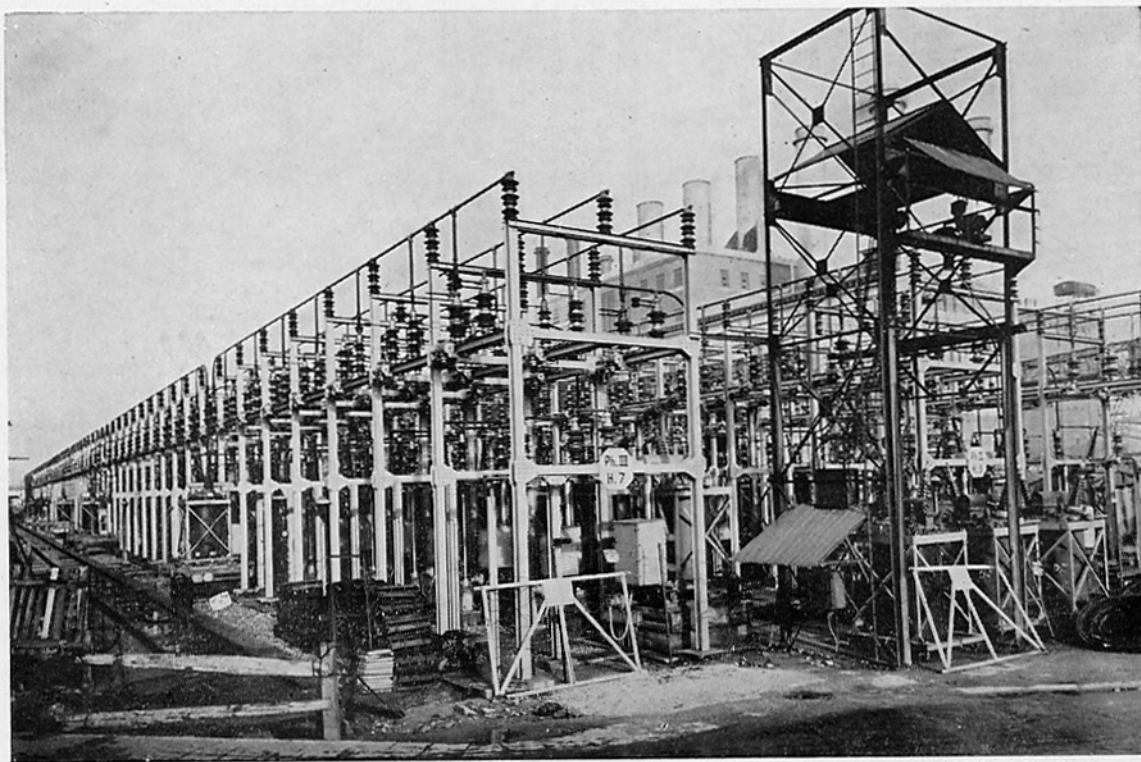


Fig. 44. — Vue prise d'une extrémité du poste extérieur à 60 kV.

(Cliché H. Baranger.)

phasées, dirigées respectivement vers les postes de Saint-Denis (Poste Ampère), de Villevaudé et de Creil-Carrières.

Il est prévu d'installer un troisième transformateur, dont l'emplacement est désigné sur la figure 43.

L'existence de ce poste n'est signalée ici que pour mémoire, car l'installation de matériel thermique nouveau n'a pas eu de répercussion directe sur sa composition, sauf en ce qui concerne la salle de commande, à partir de laquelle il sera exploité.

**B. Poste à 60 kilovolts.** — Le poste à 60 kV est, par contre, entièrement neuf. L'ancien poste comprenait huit tranches, correspondant aux huit machines de l'usine existant en 1939.

Au cours de la guerre de 1939-1943, un bombardement mit hors service le quart de cette installation, et endommagea le bâtiment, de telle sorte que la sécurité n'y était plus assurée. Il était tout à fait impossible, d'autre part, d'y placer les appareils correspondant aux tranches des groupes turboal-

ternateurs à haute pression et aux développements nouveaux du réseau.

Si l'on ajoute à cela que ce poste était du type intérieur à phases imbriquées, type opposé à celui que la tendance actuelle généralise, on aboutit finalement à reconnaître la nécessité d'une reconstruction totale.

Le poste à 60 kV actuel, du type extérieur à phases séparées, dont les figures 43 et 44 montrent la situation, a son axe parallèle à celui de la salle des machines, et est compris entre celle-ci et le poste à 220 kV.

Il est divisé en trois tranches (quatre lorsque l'installation sera complète), qui peuvent être reliées soit directement, soit par l'intermédiaire de bobines d'inductance. Il comporte présentement 60 cellules et en comportera 78 dans son état final. Chaque tranche peut elle-même être séparée en demi-tranches. Cette division s'explique par le souci de maintenir en tous les cas la plus grande sécurité possible de fonctionnement et les arrivées et les départs sont judicieusement répar-

lis entre les six demi-tranches existantes (fig. 45 et 46).

Le bouclage des 60 cellules est assuré dès maintenant par câbles souterrains.

Ce poste est muni de trois jeux de barres, le troisième jeu de barres permettant de reporter électriquement une cellule d'une tranche à une autre, de manière à équilibrer les charges des diverses tranches, ou à assurer une sécurité plus grande à certains départs. Il permet également, en cas de défaut d'un appareil, de le remplacer immédiatement par un appareil de réserve.

Les appareils eux-mêmes ne sont pas sensiblement différents de ceux existant dans les installations courantes. Les disjoncteurs sont du type à grand volume d'huile, et sont commandés électriquement par des solénoïdes. Les sectionneurs sont du type à deux colonnes tournantes. Leurs bras se

déplacent dans un plan horizontal. Ils sont commandés par air comprimé, au moyen d'un cylindre à air, fixé sur l'appareil lui-même. Le circuit de production et de distribution d'air comprimé à 6 kg/cm<sup>2</sup> qui les alimente est spécialement étudié pour que la sécurité de fonctionnement soit maximum. Les valves d'admission d'air sont commandées électriquement.

Les transformateurs des groupes turboalternateurs à haute pression sont composés de trois éléments monophasés 14,5 kV / 60 kV, d'une puissance unitaire de 45 MV-A. Ils sont munis d'un système de protection contre l'incendie, par pulvérisation d'eau, à fonctionnement automatique, et sont installés entre des cloisons pare-feu en béton.

La protection du poste contre les défauts à la terre, les seuls possibles, est assurée de la manière classique, par demi-

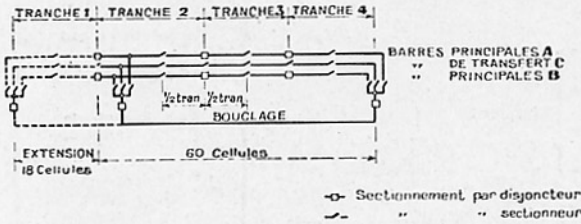


Fig. 45. — Schéma unifilaire du poste à 60 kV.

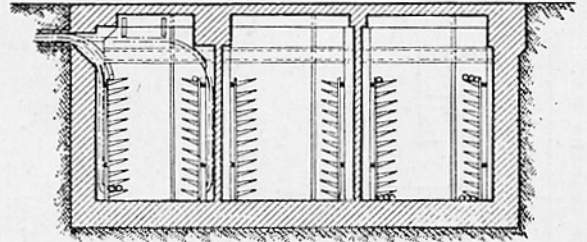


Fig. 48. — Coupe de la galerie de filerie (section à trois passages).

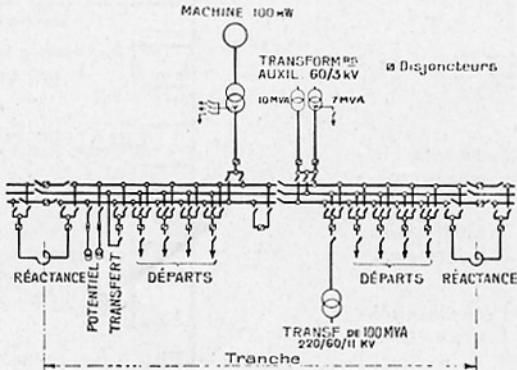


Fig. 46. — Schéma unifilaire d'une tranche du poste à 60 kV.

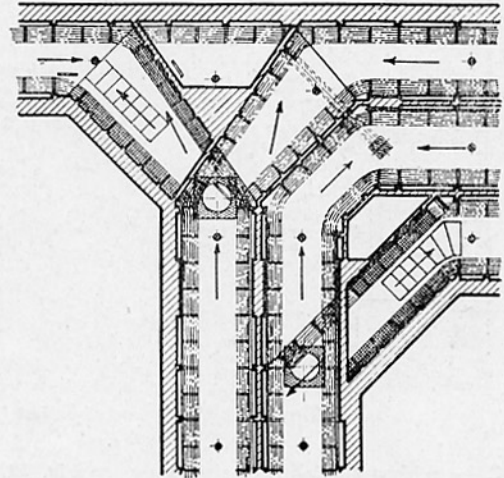


Fig. 49. — Plan de l'ouvrage de jonction des galeries de filerie.

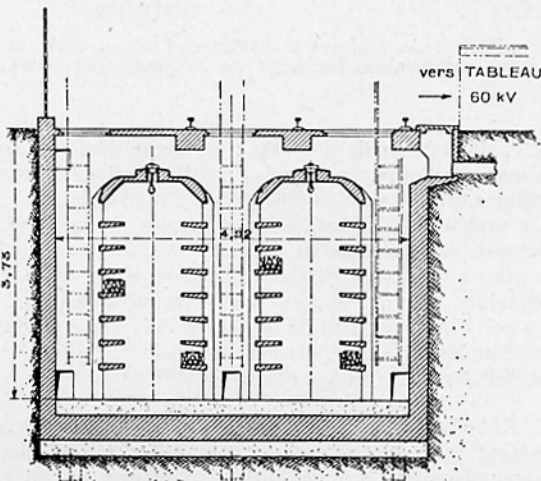


Fig. 47. — Coupe de la galerie des câbles à 60 kV.

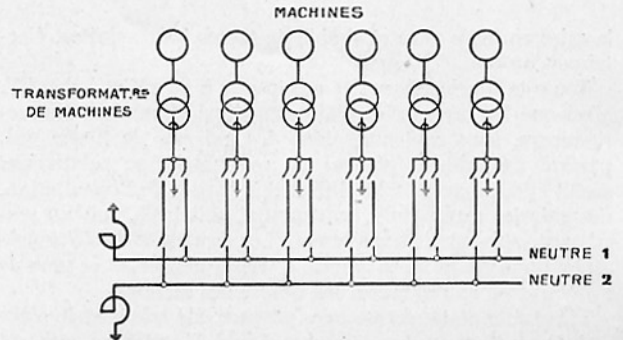


Fig. 50. — Schéma de la mise à la terre des points neutres des transformateurs élévateurs.

tranche, au moyen d'un transformateur de courant, branché entre la charpente et le réseau général de terre.

L'infrastructure de ce tableau à 60 kV offre, par contre, des particularités très intéressantes.

Les cellules sont, en effet, desservies par une galerie qui sert à canaliser les câbles à 60 kV venant de l'extérieur, ou de l'usine, pour les conduire à proximité des cellules.

La construction de cette galerie a été imposée par le peu de largeur disponible entre le tableau à 60 kV et le tableau à 220 kV, qui ne permettait pas de placer en terre, de manière satisfaisante, les câbles nécessaires et, surtout, par le désir de faciliter les remaniements que l'expérience avait montrés fréquemment nécessaires. La figure 47 montre la disposition intérieure de cette galerie, dont la situation est indiquée sur le

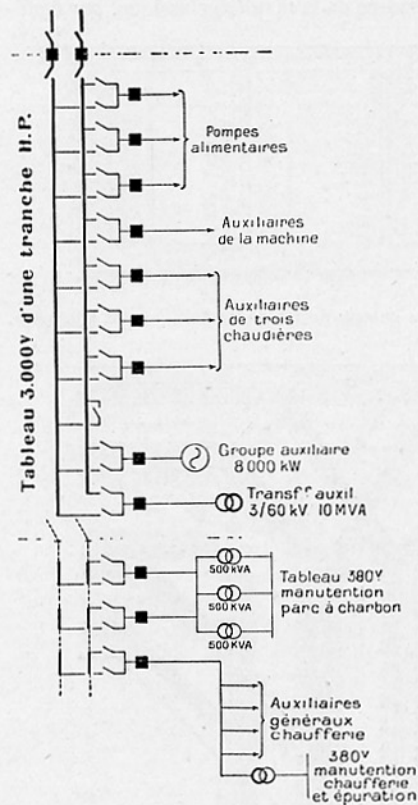


Fig. 51. — Schéma unifilaire des circuits d'alimentation d'une tranche à haute pression du tableau d'auxiliaires à 3 kV.

la mise en terre pure et simple de toutes les conduites, électriques ou non.

Toute la filerie nécessaire aux postes à 60 kV et à 220 kV, ainsi que les tuyauteries d'air comprimé alimentant les sectionneurs, sont contenues dans des galeries de filerie qui, partant du tableau général de commande, se subdivisent ensuite pour desservir les différentes parties de l'installation. Ces galeries comportent, soit quatre, soit trois, soit un seul passage, suivant l'emplacement. Les figures 48 et 49 représentent une coupe de la galerie à trois passages, et le plan de l'ouvrage où se rejoignent les différentes sections.

L'installation de ces galeries procure une très grande sécurité d'entretien et d'exploitation. Les différentes sections ont été réalisées de manière à présenter les meilleures garanties d'étanchéité, et sont munies, comme la galerie des câbles à

plan de la figure 43. Tous les déplacements de câbles dans cette galerie sont ainsi exécutés sans le moindre terrassement. Sur les tablettes où ils reposent, les câbles sont noyés dans du sable, et entourés de murettes de briques.

Cette galerie étant située à l'extérieur de la troisième phase, il restait nécessaire de faire traverser les cellules par les câbles assurant les liaisons aux autres phases, ce qui a été réalisé par des caniveaux et fourreaux en béton, dont l'ensemble, joint à ceux nécessaires à la filerie et à la canalisation de l'air comprimé, a contribué à faire de la réalisation des massifs de fondation des cellules un travail extrêmement long et minutieux. Cependant, une fois ce travail exécuté, les facilités d'entretien et d'exploitation et la sécurité sont incomparablement supérieures à ce qu'aurait permis

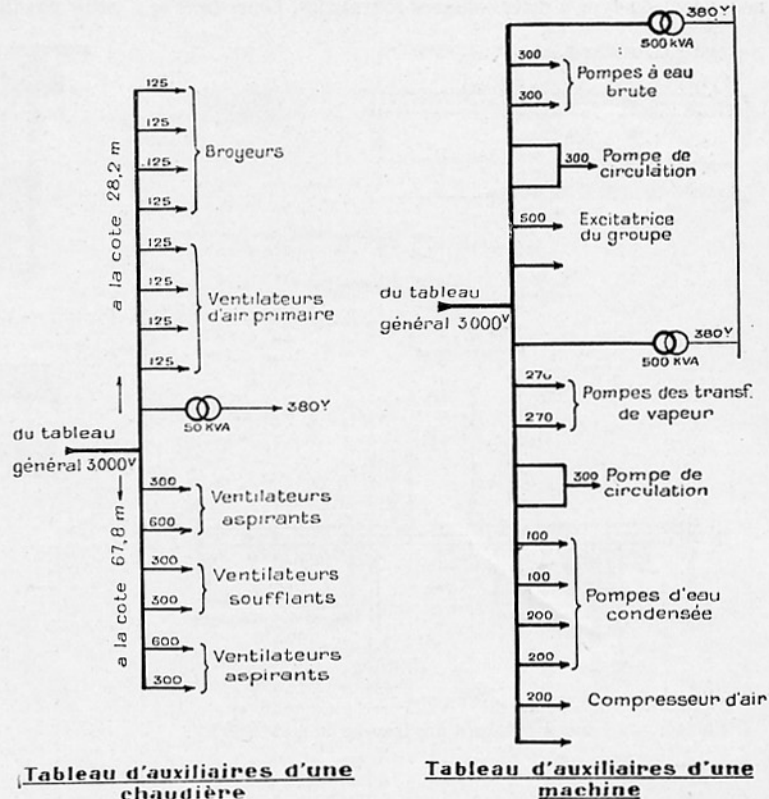


Fig. 52. — Schémas unifilaire des tableaux d'auxiliaires d'une chaudière et d'un groupe turboalternateur. Les nombres indiquent les puissances des moteurs en chevaux.

60 kV, de stations de pompage; le risque d'inondation ne diminue, d'ailleurs, en rien la sécurité de fonctionnement, les câbles utilisés étant indifférents à l'immersion.

Les supports des câbles dans ces galeries ont été créés spécialement, et se composent d'étriers métalliques amovibles accrochés à des herse verticales également métalliques.

Signalons enfin que le point neutre du réseau est relié à la terre par l'intermédiaire de bobines d'inductance, installées à l'extrémité du tableau à 60 kV et destinées à limiter le courant de défaut éventuel, conformément au schéma de la figure 50.

**C. Auxiliaires.** — Tous les moteurs des auxiliaires de l'installation à haute pression sont alimentés en courant alternatif triphasé. Ils sont du type asynchrone à démarrage sous pleine tension, à l'exception des moteurs des pompes ali-

mentaires et de certains moteurs de la manutention qui sont du type à démarrage rotorique, et des moteurs des compresseurs de ramonage qui sont des moteurs synchrones, démarrants en asynchrone et s'accrochant automatiquement en fin de démarrage. La tension principale est 3 kV. Cette tension a été choisie parce qu'un important tableau à 3 kV existait dans l'usine. On a ajouté à ce tableau deux tranches correspondant aux deux machines à haute pression.

Chaque tranche est alimentée par l'alternateur auxiliaire de 8 000 kW sous 3 kV, et par un transformateur de liaison d'une puissance de 10 MV-A, 3 kV/60 kV, permettant

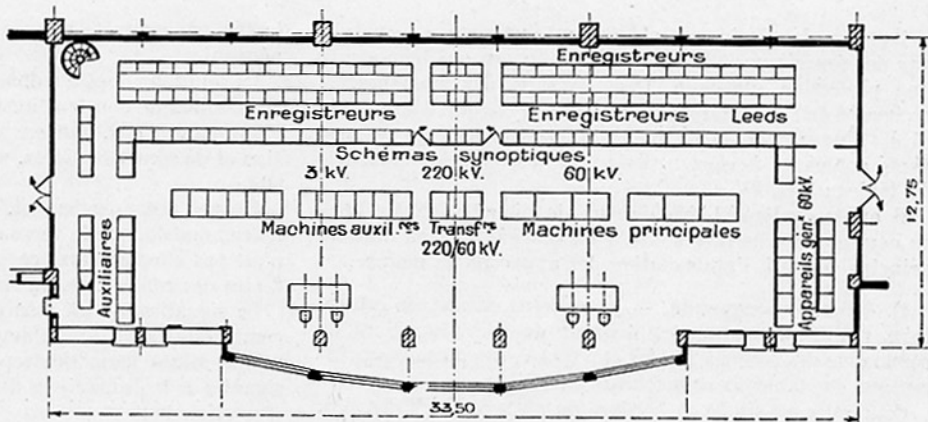
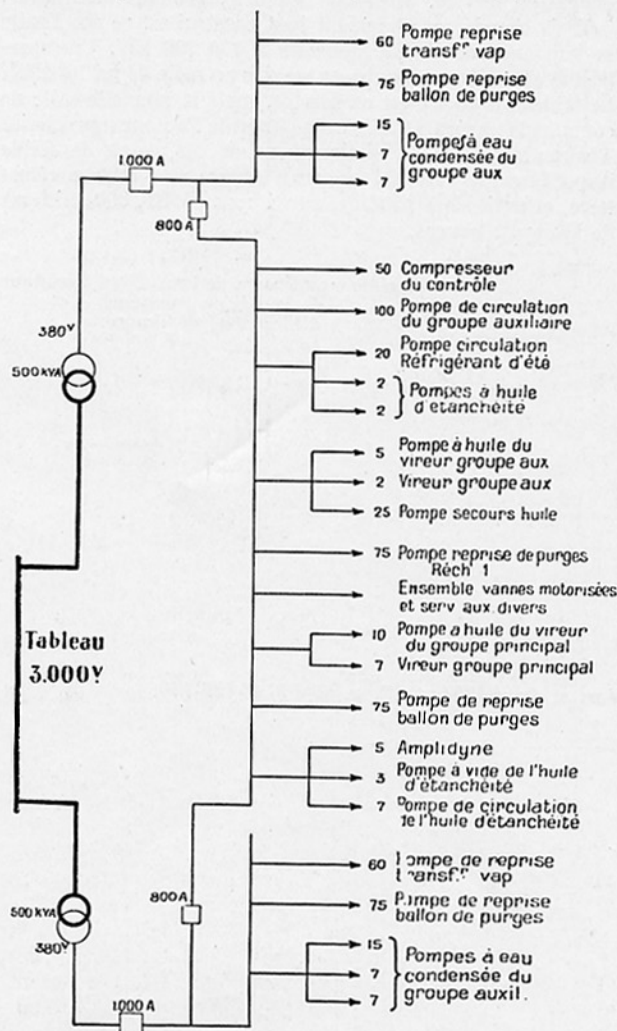


Fig. 54. — Plan de l'étage principal de la salle de commande.



(les nombres indiquent les puissances des moteurs, en chevaux)

Fig. 53. — Schéma du tableau des auxiliaires à 380 V d'un groupe principal et de son groupe auxiliaire.

soit, accessoirement, d'assurer les services auxiliaires par le réseau général, soit, principalement, de déverser dans ce réseau l'excès d'énergie produite par l'alternateur auxiliaire, dans le cas, par exemple, où l'énergie fournie dans le corps à haute pression de la turbine par le débit de vapeur prélevée est supérieure aux besoins d'énergie consommée par les auxiliaires de la tranche. Ces transformateurs de liaison ont une très forte réactance, et sont protégés par un relais à minimum de fréquence et de tension qui les sépare automatiquement du réseau à 60 kV en cas d'incident sur ce réseau.

La figure 51 représente le schéma d'alimentation à partir de ce tableau. On remarquera le petit nombre de départs, qui s'explique par le choix du mode de distribution. Chaque chaudière et chaque machine sont munies d'un tableau individuel à 3 kV, alimenté par un seul câble à partir du tableau général, et qui lui-même dessert les divers moteurs des auxiliaires de la chaudière ou de la machine (fig. 52). On notera cependant la liaison directe des pompes alimentaires.

À côté de chacun de ces tableaux individuels existent des transformateurs 3 000 V/380 V, à liquide ininflammable, qui alimentent à leur tour les installations à 380 V. On remarquera la disposition du tableau à 380 V des machines, où l'on a pris soin d'assurer au maximum la sécurité de fonctionnement de la turbine auxiliaire (fig. 53).

Les câbles de distribution aux moteurs, de fabrication américaine, ne comportent ni enveloppe de plomb, ni feuillard.

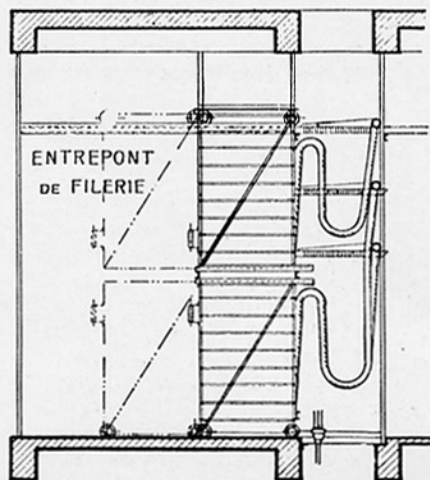


Fig. 55. — Panneau mobile supportant les contacteurs de répétition.

Dans la chaufferie, ces câbles sont supportés et conduits par des fourreaux en tubes d'acier doux, ce qui leur assure une protection suffisante. Dans la salle des machines, la recherche de l'encombrement minimum a conduit à garnir ces câbles d'une enveloppe de plomb, et à les disposer sur des supports analogues à ceux utilisés dans les galeries de filerie du tableau à 60 kV.

Il existe également des réseaux de distribution à 110 V en courant alternatif et à 125 V en courant continu destinés principalement à l'alimentation des appareils de mesure.

**D. Salle de commande.** — La salle de commande centralisée réunit la totalité des organes de surveillance et de commande des postes à 220 kV et à 60 kV, des machines principales, des tableaux et machines auxiliaires.

Cette salle est située en bordure du poste à 60 kV (fig. 43).

Sa disposition est représentée en figure 54, sur laquelle on remarque ses dimensions importantes. Elle comprend, à l'étage principal, trois schémas synoptiques, concernant les trois postes à 220 kV, 60 kV et 3 kV, et les pupitres de commande des machines.

À l'étage inférieur, formant un entrepont de filerie, se trouvent les relais de protection et les contacteurs des schémas synoptiques. La figure 55 représente le mode d'installation adopté pour ces contacteurs, et l'économie d'encombrement qui en résulte.

La réalisation des schémas synoptiques avec des appareils de type courant aurait conduit à des dimensions exagérées : la longueur de la salle de commande aurait atteint 70 mètres environ, ce qui était inadmissible.

L'utilisation d'appareillage analogue au matériel téléphonique aurait facilement résolu la question, mais cette solution a été écartée parce que les appareils de mesure à cette échelle n'auraient pas présenté une précision suffisante, de même que

le type de contacts utilisés n'aurait pu assurer la sécurité nécessaire.

La solution adoptée a donc été de demander au fournisseur, les Ateliers de Construction Oerlikon, d'étudier et de réaliser des appareils qui, tout en présentant les garanties de précision et de sécurité exigées, soient d'un encombrement admissible.

Il est à noter également, dans la description de la salle de commande, que le verrouillage du poste extérieur à 60 kV n'est pas effectué dans ce poste même, mais par l'intermédiaire des contacteurs du schéma synoptique.

La signalisation est assurée par la répétition à la salle de commande, sous forme lumineuse, du fonctionnement des relais, situés dans l'entrepont de filerie. Les défauts sont signalés de trois manières différentes : signalisation d'urgence (feu clignotant et avertisseur sonore intermittent, du type « klaxon »), de deuxième urgence et de fin de défaut.

**VII. État actuel des installations.** — Au mois de février 1951, les deux groupes turboalternateurs principaux étaient en service, ainsi que les deux groupes auxiliaires.

Trois chaudières seulement sont construites, ce qui limite la puissance de l'usine nouvelle à 170 000 kW. Une quatrième chaudière sera mise en service au mois de juillet 1951. Le tableau à 60 kV est en service, mais la nouvelle salle de commande ne sera utilisée qu'à partir de l'automne prochain. Abstraction faite de quelques mises au point de faible importance, le matériel nouveau assure une charge régulière, et avait déjà produit, au 31 mars 1951, 900 millions de kilowatts-heures.

J. STOLZ,

Ingénieur au Groupe de Production thermique  
de la Région parisienne  
d'Electricité de France.

---

*Extrait de la REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ, Mars et Avril 1951, t. 60, p. 89-106 et 129-146.*

---

