L'équipement thermique de la Centrale de Vouvry

Autor(en): **Peter, R.W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **92 (1966)**

Heft 7: **Numéro spécial sur la Centrale thermique de Vouvry**

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-68349

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

L'ÉQUIPEMENT THERMIQUE DE LA CENTRALE DE VOUVRY

par R. W. PETER, ingénieur dipl. EPUL, Pully

Dans le sens de circulation des flux d'énergie, la Centrale thermique de Vouvry comprend les principaux ouvrages suivants :

A. Oléoduc ;
B. Générateurs de vapeur ;
C. Groupes turbo-alternateurs ;
D. Services auxiliaires généraux.

A. Oléoduc

La Centrale thermique de Vouvry est alimentée uniquement en combustibles liquides, répondant aux caractéristiques ci-après :

	Combustible lourd	Gasoil
— Viscosité à 120°C	15 à 115 cSt	
20°C		3 cSt
— Poids spécifique à 120°C	880 à 900 kg/m³	
20°C		820 kg/m³
— Point de congélation (pour point)	40 à 45°C	—12 à —16°C
— Température du combustible au départ des raffineries	110-120°C	10-20°C

Le combustible est fourni par les Raffineries du Rhône où sont installés, dans ce but, trois réservoirs de stockage de 30 000 tonnes chacun. Le transport du combustible entre les Raffineries et la Centrale, séparés par une distance de 10,5 km et une dénivellation de 460 m, se fait au moyen d'un oléoduc d'un débit normal de 65 t/h et maximum de l'ordre de 100 t/h, suivant approximativement le canal du Bras-Neuf, sur la rive gauche du Rhône, depuis les Raffineries jusqu'à sa jonction avec le canal Stockalper, puis ce dernier jusqu'au droit d'un chemin vicinal situé entre Vouvry et la Porte-du-Scex, pour se diriger ensuite dans la direction de la Centrale. Arrivé à destination, le combustible se déverse dans deux réservoirs-tampons de 5000 m³ chacun. Outre ces deux réservoirs, un troisième d'une contenance de 1500 m³ est prévu pour le stockage du combustible léger (gasoil) utilisé lors du démarrage et de l'arrêt de la Centrale.

Chaque réservoir est muni d'un indicateur de niveau automatique et d'une alarme de niveau maximum indépendante, transmis électriquement et enregistrés dans la salle de commande.

Les réservoirs de 5000 m³ sont équipés d'un réchauffeur de fond à eau chaude de 315 m² et d'un réchauffeur de prise de 300 m², à eau chaude également.

Le réservoir de 1500 m³ est doté d'un réchauffeur de fond de 60 m².

Dans la partie en plaine, sur une distance de 9,3 km environ, l'oléoduc est enterré ; dans la partie ascendante, soit sur 700 m environ, il est à ciel ouvert, installé parallèlement à la conduite de refoulement de l'eau d'appoint du canal Stockalper et à la conduite de restitution des eaux usées, mais sur des sellettes indépendantes. Sur le plateau de Chavalon, la conduite est, sur 500 m environ, successivement en caniveau, à ciel ouvert, enterrée et de nouveau à ciel ouvert pour se raccorder finalement à la robinetterie des réservoirs au moyen de joints à rotules Barco.

Dans la partie enterrée, l'oléoduc comporte deux tubes concentriques, un tube intérieur en acier X 42 d'un diamètre de 181,1/193,7 mm et un tube extérieur de 395,2/406,4 mm, ce dernier revêtu à l'extérieur d'un voile de verre et de bitume, comme protection contre l'agressivité du sol. Des pièces d'écartement spéciales fixées sur le tube intérieur en guident le déplacement axial et assurent le centrage ; dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, donc sur une épaisseur de 100 mm, une poudre isolante en perlite (Pulvinsul) est insufflée.

La dilatation est absorbée par des compensateurs métalliques (lyres) placés dans des fosses étanches en béton, sur les parois desquelles s'arrêtent les tubes extérieurs ; des manchettes flexibles constituent des joints

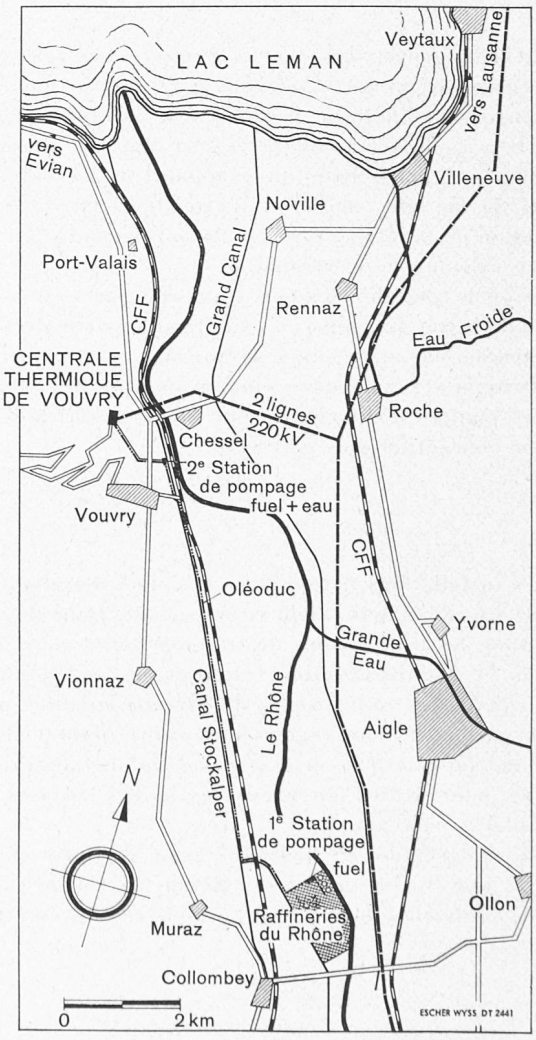


Fig. 1. — Plan de situation de la centrale thermique de Vouvry.

Sise sur le plateau de Chavalon dans le Valais, peu avant l'embouchure du Rhône dans le lac Léman.

pour le Pulvinsul entre la tuyauterie extérieure et le compensateur. A l'intérieur des fosses, les lyres sont revêtues de calorifugeage du type classique.

Pour l'ensemble de l'oléoduc, 54 compensateurs, d'envergure variant de 5 à 11 m, ont été utilisés.

Les points fixes, isolés thermiquement au moyen de manolith, sont constitués chacun par une bride solidarisant le tube intérieur au tube extérieur, ce dernier étant maintenu en place simplement par le frottement dans le terrain.

Dans la partie ascendante, le tube intérieur a les mêmes caractéristiques que celui du tronçon en plaine. Les diamètres du tube extérieur ont été portés à 444,6/457,2 mm, de manière à augmenter l'épaisseur de poudre isolante. Pour chacun des huit segments constituant la branche ascendante, le tube extérieur est tenu à un point fixe ancré dans un massif en béton. Une bride solidarise le tube intérieur au tube extérieur ; un compensateur reprend la dilatation du tube intérieur, tandis que le tube extérieur est interrompu à chaque compensateur.

L'oléoduc comporte deux stations de pompage, l'une implantée aux Raffineries, l'autre près du canal Stockalper, dans le bâtiment qui abrite également les deux motopompes refoulant l'eau d'appoint à la Centrale.

Chaque station est équipée de deux pompes centrifuges à deux étages, entraînées chacune directement par un moteur électrique de 200 kW, 380 V, 2970 t/mn à démarrage direct. L'équipement électrique de ces stations est exécuté en matériel antidéflagrant. Les quatre pompes sont identiques ; toutefois, leur réchauffage est assuré aux Raffineries par circulation de vapeur et au canal Stockalper par câbles électriques chauffants.

La mise en service de l'oléoduc nécessite un réchauffage à 90-100°C. On utilise dans ce but un combustible mi-lourd dont le point de congélation est de —10°. L'opération de réchauffage dure trois heures. Il n'a pas été prévu de réchauffage de l'oléoduc entre les Raffineries et la Centrale, aussi, pour éviter le colmatage de la conduite, il faut limiter l'arrêt de pompage à une vingtaine d'heures ou, si un arrêt plus long est prévu, remplir la conduite de gasoil.

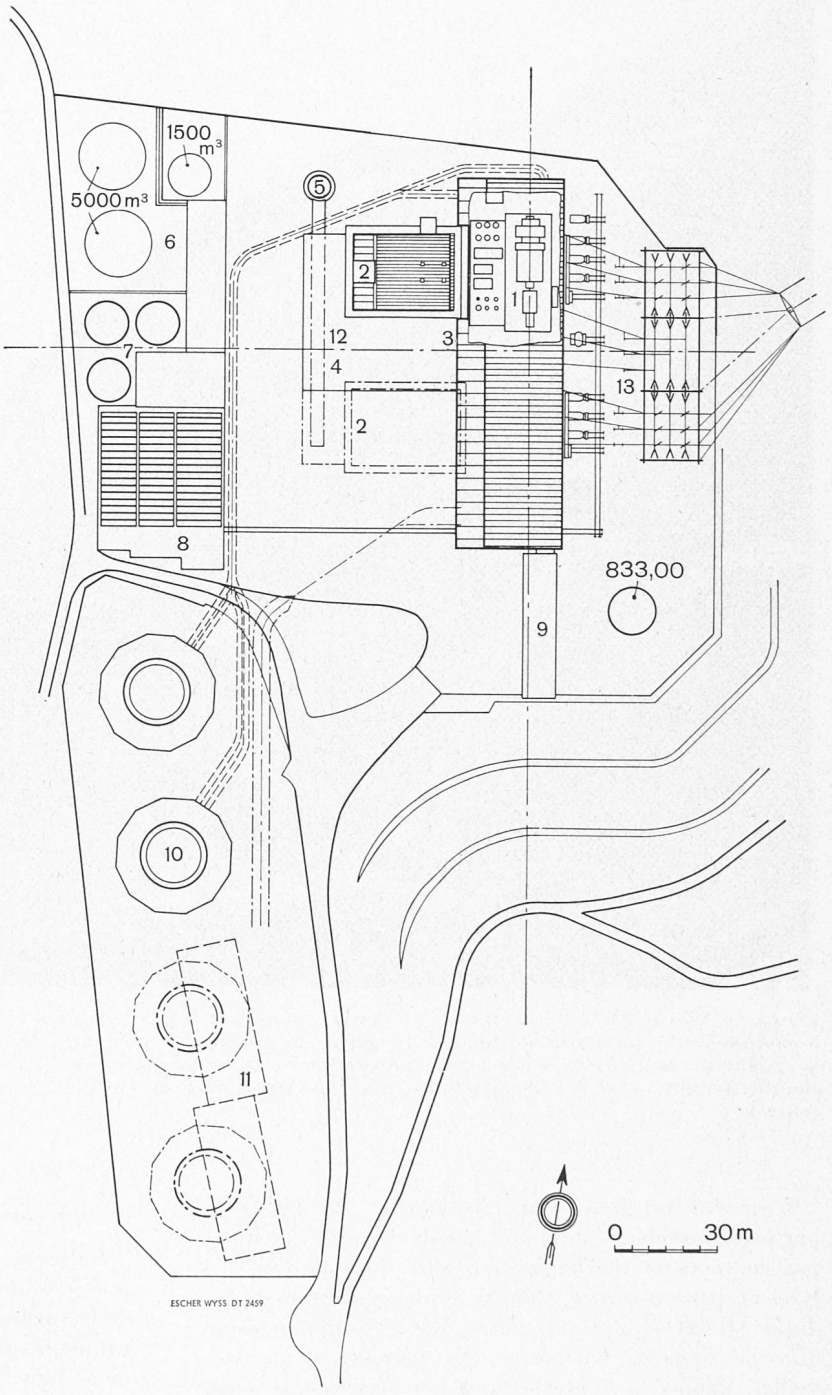


Fig. 2. — La centrale de Vouvry, première grande installation thermique suisse est équipée de deux groupes turbo-alternateurs identiques d'une puissance unitaire de 150 MW, montés en bloc avec leur chaudière respective. Le combustible lourd est stocké dans deux réservoirs de 5000 m³. Comme l'eau de refroidissement n'est pas disponible sur place en quantité suffisante, la température de l'eau est refroidie de 22 à 14°C, en circuit fermé, dans deux tours de réfrigération par groupe. L'eau évaporée est remplacée par pompage du canal Stockalper.

1 Salle des machines
2 Chaudières
3 Salle de commande
4 Déminéralisation totale
5 Cheminée
6 Stockage du combustible
7 Traitement de l'eau de circulation
8 Ateliers, magasins
9 Bâtiment d'exploitation
10 Tours de réfrigération
11 Réservoirs d'eau brute
12 Chaudières auxiliaires
13 Station de transformation et de départ 220 kV

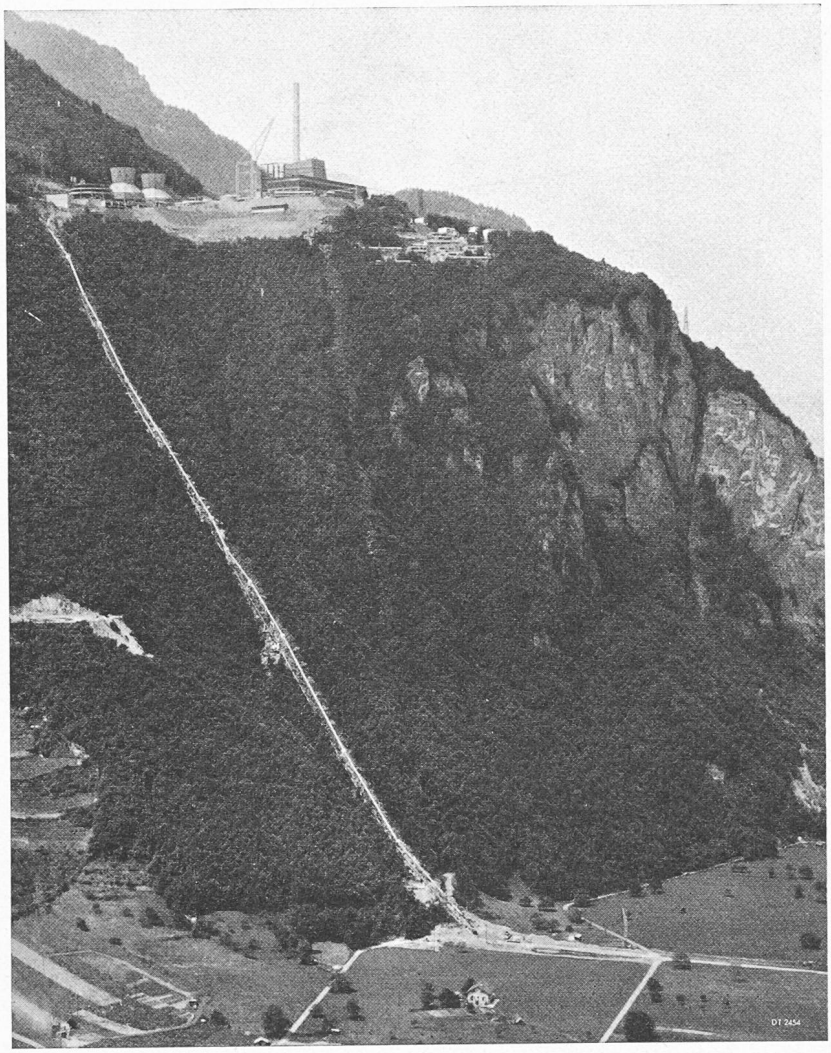


Fig. 3. — Vue aérienne de la centrale de Vouvry, montrant sa position surélevée à environ 450 m au-dessus du fond de la vallée, choisie pour éviter tout danger de pollution de l'air. Le combustible provenant de la raffinerie voisine y est chauffé à 120°C pour être pompé, ainsi que l'eau d'appoint, de la vallée à la centrale.

Les particularités de la chaudière Sulzer sont qu'elle est à circulation forcée, qu'elle possède un séparateur d'eau monté à la sortie de l'évaporateur et qu'enfin l'équipement de commande et de réglage est particulièrement soigné.

Les caractéristiques principales de chacune des chaudières de la Centrale de Vouvry sont :

- Débit de vapeur : 460 t/h.
- Timbre : 210 kg/cm² eff.
- Pression de la vapeur vive : 190 kg/cm² eff.
- Température de la vapeur vive : 540°C.
- Température de la vapeur à la sortie du resurchauffeur : 540°C.
- Pression de l'eau d'alimentation à l'entrée de l'économiseur, à pleine charge : 236 kg/cm² eff.
- Température correspondante de l'eau d'alimentation à l'entrée de l'économiseur : 255°C.
- Température des gaz de combustion à la sortie de la chaudière : 130 à 160°C.
- Nombre de brûleurs : 16.
- Débit de combustible par brûleur : 2000 kg/h.
- Pression d'amenée du combustible lourd : 32 kg/cm² eff.
- Surface de chauffe des deux réchauffeurs d'air Ljungström : 280 000 m².
- Surface de chauffe totale de l'économiseur, de l'évaporateur et des surchauffeurs : env. 11 000 m².
- Surface de chauffe des resurchauffeurs : env. 2000 m².
- Hauteur de la chaudière : env. 39 m.
- Surface occupée par la chaudière : env. 17 × 10 m.
- Longueur totale des tubes de l'économiseur, de l'évaporateur, des surchauffeurs et des resurchauffeurs : env. 110 km reliés par env. 2500 soudures.
- Volume de la chambre de combustion : env. 2000 m³.

L'oléoduc est doté d'une installation de nettoyage par pistons-racleurs, d'un système de détection de fuites par contacteurs thermiques installés dans les fosses à lyres et, pour sa partie enterrée, d'une protection cathodique. Il est équipé, en outre, de télécommandes et d'installations de télémesure qui permettent de surveiller, depuis la Centrale, les deux stations de pompage et de varier le nombre de pompes en opération. Une surveillance locale n'est exigée que lors des mises en service et des arrêts de l'oléoduc.

B. Générateurs de vapeur

Les deux générateurs de vapeur produisent chacun 460 t/h de vapeur vive à 190 kg/cm² eff. et 540°C ; de plus, chacun doit resurchauffer, à la même température de 540°C, 380 t/h de vapeur revenant de la turbine HP à 40 kg/cm² et 330°C environ.

Ces générateurs de vapeur sont du type monotubulaire à circulation forcée, développé par la maison Sulzer Frères à Winterthour il y a une trentaine d'années et fabriqué en outre sous licence par une douzaine de maisons réparties dans le monde entier.

Circuit eau-vapeur

La pompe d'alimentation refoule l'eau préalablement portée à une certaine température dans les réchauffeurs de la turbine, dans l'économiseur constitué de faisceaux tubulaires horizontaux placés dans le carneau arrière et de là dans l'évaporateur se trouvant dans la chambre de de combustion et également constitué de tubes connectés en parallèle, tapissant entièrement la chambre de combustion sur les deux tiers inférieurs environ de sa hauteur. Dans l'évaporateur, la température de l'eau augmente jusqu'à vaporisation. A la sortie de l'évaporateur, la vapeur saturée, légèrement humide, est ensuite dirigée vers un séparateur d'eau. Ce séparateur, typique de la technique Sulzer pour les chaudières sous-critiques, sert à éliminer outre l'eau de purge, les impuretés et les sels qui s'y trouvent concentrés. Ceci est surtout utile lors d'infiltrations d'eau brute au condenseur et pendant la première période de mise en service de la chaudière. Le séparateur permet en outre le recyclage de l'eau condensée pendant le démarrage ou la marche à faible charge, en assurant un débit minimum à travers l'évaporateur — nécessaire pour raisons de

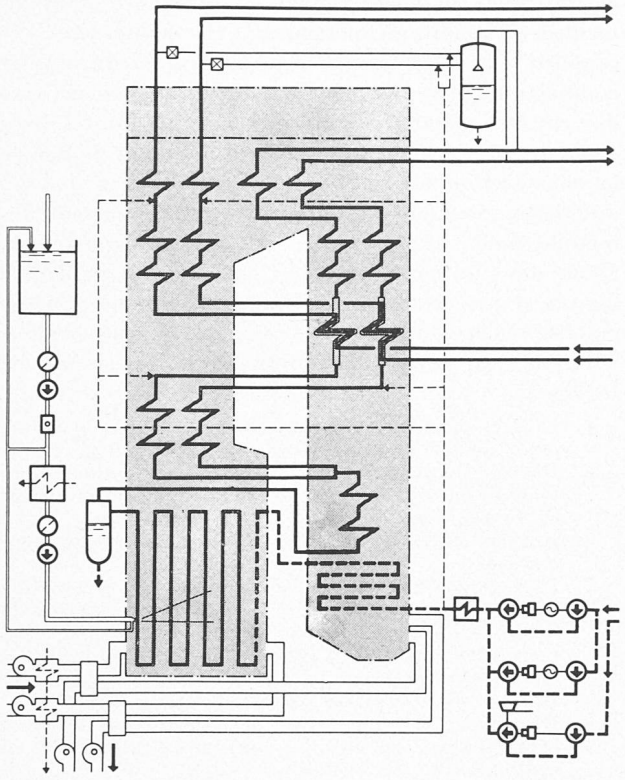


Fig. 4. — Schéma de circulation d'un générateur de vapeur monotubulaire chauffé à l'huile combustible.

Huile combustible
Eau d'alimentation
Vapeur

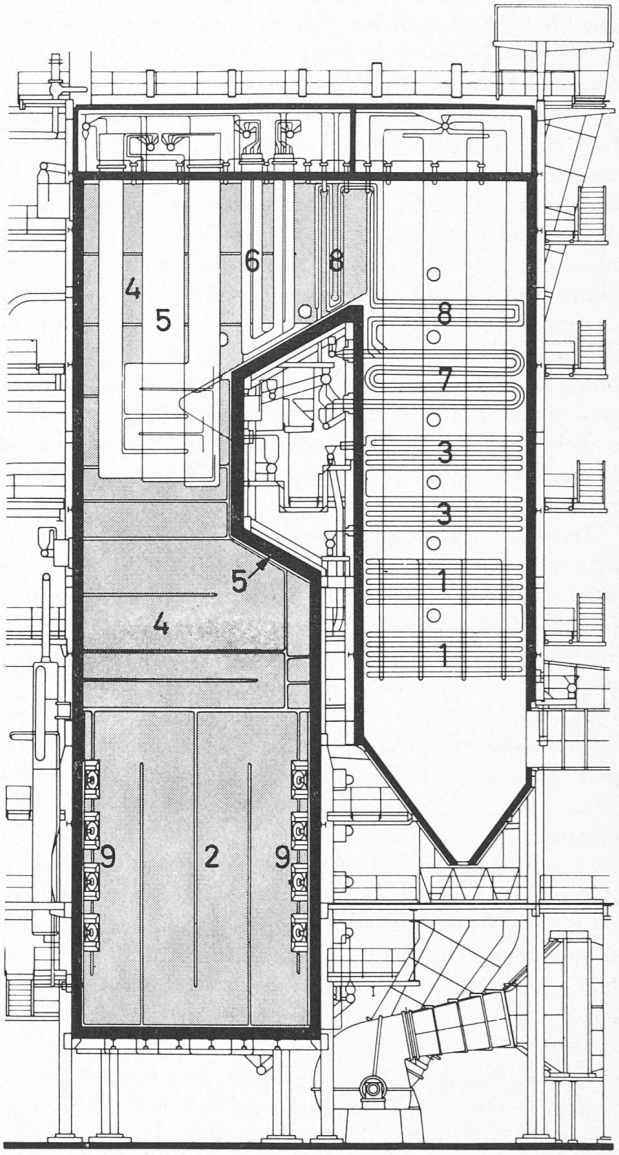


Fig. 5. — Coupe à travers la chaudière monotubulaire de la Centrale de Chavalon.

1 Economiseur
2 Evaporateur
3 Surchauffeur 1
4 Surchauffeur 2
5 Surchauffeur 3
6 Surchauffeur 4
7 Resurchauffeur « Triflux »
8 Resurchauffeur à convection
9 Brûleurs

stabilité d'écoulement — sans que la chaudière tout entière soit mise en circuit.

Après avoir quitté le séparateur d'eau, la vapeur traverse le premier surchauffeur à convection, situé dans le carneau arrière. A partir de cet endroit, la vapeur est séparée en deux flux parallèles et indépendants, disposés symétriquement par rapport à l'axe de la chaudière. Ces flux traversent successivement les surchauffeurs à panneaux tubulaires tapissant la partie supérieure de la chambre de combustion et absorbant la chaleur surtout par rayonnement, puis les surchauffeurs de compartimentage suspendus au plafond de la chambre de combustion et enfin les surchauffeurs à convection se trouvant dans le carneau horizontal. La vapeur partiellement détendue dans le corps HP de la turbine retourne à la chaudière où elle traverse le « Triflux », un échangeur de chaleur à tubes concentriques, la vapeur HP circulant dans le tube intérieur, la vapeur MP à resurchauffer dans l'espace annulaire entre les deux tubes et les gaz de combustion chauffant les tubes à l'extérieur. Par ce moyen, la vapeur est resurchauffée à une température de 540° et ensuite envoyée au corps MP de la turbine. Cette méthode de resurchauffe, un peu compliquée en apparence, présente l'avantage de permettre, sans aucune perte, le réglage de la température de resurchauffe jusqu'à des charges partielles relativement faibles, de l'ordre de grandeur d'un tiers de la charge nominale.

Lors du démarrage, la vapeur ne peut être envoyée à la turbine que lorsque sa pression et sa température ont atteint un certain minimum. Jusqu'à ce moment, la vapeur est passée dans un circuit de démarrage formé d'un by-pass HP avec soupapes de détente et d'un séparateur-désurchauffeur de démarrage, où la vapeur est amenée à peu près aux conditions qu'elle aurait à l'échappement de la turbine HP. De là, la vapeur traverse le resurchauffeur, puis les soupapes de by-pass BP. Elle est ensuite déchargée au condenseur après détente et désurchauffe dans les « saxophones », où elle atteint approximativement la température de saturation correspondant au vide du condenseur. L'eau de purge du détendeur-désurchauffeur de démarrage est également réintroduite dans le circuit.

Circuit air et combustible

L'air nécessaire à la combustion est aspiré par deux ventilateurs de soufflage, soit de l'extérieur, soit de

l'intérieur du bâtiment des chaudières. Il est ensuite préchauffé à 290°C (à pleine charge) dans deux réchauffeurs à eau chaude suivis de deux réchauffeurs d'air rotatifs du type Ljungström disposés en parallèle et dans lesquels se produit un échange de chaleur entre les gaz et l'air de combustion. Ce dernier est ensuite amené aux brûleurs pour y être mélangé au mazout pulvérisé et brûlé dans la chambre de combustion. Une partie de la chaleur de combustion est transmise directement par rayonnement aux parois de la chambre, le reste est transporté par les gaz de combustion vers les autres surfaces de chauffe de la chaudière. Après avoir abandonné, par convection, la presque totalité de leur chaleur à ces surfaces de chauffe ainsi qu'à l'air de combustion dans les réchauffeurs Ljungström, ces gaz sont aspirés par deux ventilateurs de tirage et refoulés dans la cheminée haute de 120 m, commune aux deux générateurs de vapeur de la centrale.

Dans la chambre de combustion, les gaz peuvent atteindre une température de 1500°C. Le fait d'en recouvrir les parois au moyen d'écrans tubulaires presque jointifs n'est donc pas seulement un moyen d'utiliser la chaleur produite par la combustion, mais encore une protection efficace de la maçonnerie qui se trouve derrière les tubes. Ces derniers, selon leurs dimensions et les températures auxquelles ils sont exposés, sont en acier au chrome ou au chrome-molybdène. Les 16 brûleurs à mazout, disposés sur quatre horizons dans les quatre angles de la chambre de combustion, ont été fabriqués par la International Combustion Limited (Grande-Bretagne) ; ils sont inclinables dans un plan vertical, permettant ainsi d'influencer, dans une certaine mesure, l'absorption de chaleur des différentes surfaces de chauffe. Dans le plan horizontal, l'axe des brûleurs ne pointe pas vers le centre de la chambre de combustion mais est tangent à un cylindre vertical, afin de créer un effet de cyclone ascendant. Des torches-pilotes pourvues d'électrodes d'allumage assurent la permanence de la flamme. Les brûleurs sont à pulvérisation mécanique et le réglage de débit s'effectue sur la pression de retour. Trois groupes motopompes haute pression avec réchauffeurs, chacun pour 27 t/h, sont prévus pour l'injection du combustible aux brûleurs.

Les pression et température du combustible à la tuyère des brûleurs sont respectivement de 32 kg/cm² eff. et 120°C, donnant une viscosité du mazout de 12 à 15 cSt (2,1-2,4°E). L'air est fourni à la boîte à brûleurs à la température de 290°C.

En régime normal, les flammes sont surveillées par deux circuits de détection comportant chacun quatre cellules. L'un des circuits contrôle l'horizon inférieur des brûleurs, l'autre l'horizon supérieur. L'extinction d'une flamme déclenche une alarme, l'extinction de trois flammes coupe les feux et met l'ensemble des brûleurs en recirculation.

Ces détecteurs de flammes constituent un organe de sécurité important qui s'ajoute aux autres protections usuelles, évitant les conditions de fonctionnement dangereuses par verrouillage en cas de manque de combustible, arrêt des ventilateurs de soufflage ou de tirage, excès de température dans l'évaporateur, etc.

Réglage de la chaudière

La tâche principale du réglage est d'assurer que la transformation de l'énergie chimique (contenue dans le combustible) en énergie thermique, ait lieu dans les meilleures conditions possibles. Cela signifie que les rapports entre les quantités d'eau d'alimentation, de combustible, d'air de combustion et de vapeur vive doivent être maintenus constants dans des limites assez étroites. Il est également important, au point de vue de la construction et de l'exploitation, d'éviter que les différentes pressions et températures ne subissent des modifications intempestives ou même dangereuses. Même dans les chaudières de Chavalon, à combustible liquide et par conséquent relativement simples, 30 circuits de réglage automatiques par unité sont nécessaires.

Citons ci-après les plus importants de ces circuits de réglage :

1. Réglage du débit de combustible. Il réagit à la charge de la turbine et à la pression de vapeur vive.
2. Réglage du rapport air/combustible ; il permet d'obtenir l'excès d'air optimum, en fonction de la charge et du type de combustible.
3. Réglage de la dépression dans la chambre de combustion.
4. Réglage de l'alimentation de la chaudière, en fonction du débit de vapeur saturée, de la température à la sortie de l'évaporateur et du niveau d'eau du séparateur HP. Ce réglage agit sur la vitesse de la turbopompe alimentaire.
5. Réglage de niveau du séparateur HP (purge).
6. Réglage de la température de vapeur surchauffée et resurchauffée, au moyen d'injections d'eau HP et combiné avec le « Triflux ».
7. Réglage du by-pass de vapeur HP, qui s'ouvre au cas d'une augmentation excessive de la pression de vapeur à la sortie de la chaudière.
8. Réglage de la décharge du by-pass de démarrage au condenseur, avec détente et désurchauffe de la vapeur.

La construction des chaudières et la conception de leurs réglages sont le résultat d'études très poussées et d'essais très complets sur les installations déjà exécutées. Ces réglages ont été projetés par Sulzer Frères S.A., tandis que les appareils tels que les amplificateurs, intégrateurs, etc., entièrement électroniques et transistorisés, sont issus du système à modulation continue « Contronic » créé par la maison Schoppe et Faeser à Minden (Allemagne de l'Ouest). Les vannes de réglage et leurs servo-moteurs ont été fabriqués par Sulzer.

C. Les groupes turbo-alternateurs

Chacun des deux groupes Escher Wyss-Oerlikon est composé d'une turbine à trois corps, entraînant un alternateur refroidi à l'hydrogène et prévu pour les caractéristiques suivantes :

Puissance maximale continue, mesurée aux bornes de l'alternateur, la turbopompe d'alimentation étant en service	149 450 kW
Puissance développée par la turbine auxiliaire, mesurée à l'accouplement de la pompe alimentaire	4 375 kW
Pression et température nominales de la vapeur vive, mesurées aux brides d'entrée des soupapes d'arrêt	181 kg/cm² abs., 535°C
Pression et température de la vapeur resurchauffée	36 kg/cm² abs., 535°C
Température finale de réchauffage de l'eau d'alimentation, à pleine charge	257°C
Température moyenne de l'eau de circulation	14°C
Débit d'eau de circulation	18 850 m³/h
Puissance apparente nominale de l'alternateur	175 MVA
Facteur de puissance	0,85
Tension nominale aux bornes	14,5 kV

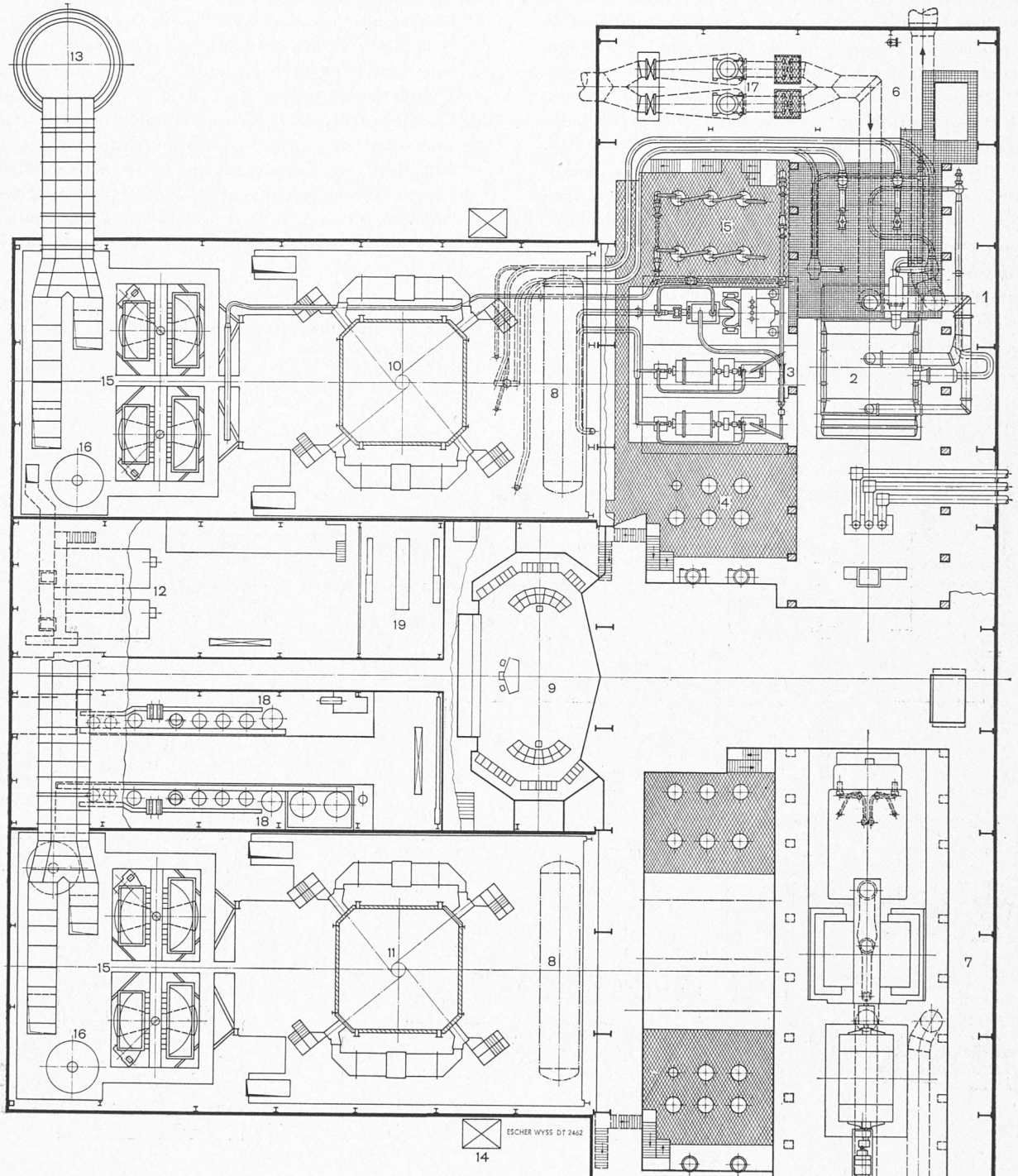


Fig. 6. — Vue en plan de la disposition des deux groupes.

1 Groupe nº 1 à la cote 0 et + 4,75
2 Condenseur
3 Groupes de pompes d'eau de circulation
4 Réchauffage BP
5 Réchauffage HP
6 Entrée et sortie de l'eau de réfrigération
7 Groupe nº 2 à la cote 9
8 Réservoirs d'eau d'alimentation
9 Salle de commande
10 Chaudière monotubulaire Sulzer nº 1, 460 t/h - 190 kg/cm², 540/540ºC
11 Chaudière monotubulaire Sulzer nº 2, 460 t/h - 190 kg/cm², 540/540ºC
12 Chaudières auxiliaires de démarrage
13 Cheminée, hauteur 120 m
14 Ascenseur
15 Réchauffeurs d'air
16 Réservoirs supplémentaires d'eau d'alimentation
17 Pompes d'eau de circulation pour les condensateurs
18 Installation de déminéralisation totale
19 Station d'analyses d'eau et de vapeur

La vapeur produite par la chaudière (chiffre 1, fig. 7) arrive à la turbine après avoir passé les soupapes d'arrêt, placées de chaque côté de la turbine, et les soupapes de réglage ; elle traverse le corps haute pression (HP) (8) pour retourner dans la chaudière où elle traverse le resurchauffeur (5), entre dans le corps moyenne pression (MP), puis dans le corps basse pression (BP) (9 et 10) et se transforme de nouveau en eau dans le condenseur (5). De là, le condensat est aspiré par deux groupes motopompes d'extraction (18), dimensionnés chacun pour 100 % de la production maximale d'eau condensée.

Ces pompes à plusieurs étages présentent une sortie intermédiaire par laquelle le condensat est refoulé tout d'abord à travers le condenseur de l'éjecteur à vapeur (19), le réfrigérant auxiliaire de condensat (21) et les réfrigérants d'hydrogène (12) de l'alternateur. Puis le condensat retourne, à travers les filtres à pré-couche (23) dans l'étage suivant des pompes d'extraction pour être refoulé dans le poste de réchauffage BP à quatre étages (24), dans lequel sont insérés un refroidisseur de purge de déconcentration de la chaudière et le condenseur de buées des labyrinthes, pour aboutir dans le dégazeur et la bâche d'eau d'alimentation (7). De là, le condensat est repris par les pompes d'alimentation (27). Une de ces pompes est prévue pour le débit total du condensat à pleine charge ; ses caractéristiques, à charge nominale, sont :

Pression de refoulement pompe nourricière .	9 kg/cm²
Pression de refoulement pompe principale .	260 kg/cm²
Température de l'eau	157°C
Débit maximum	520 t/h

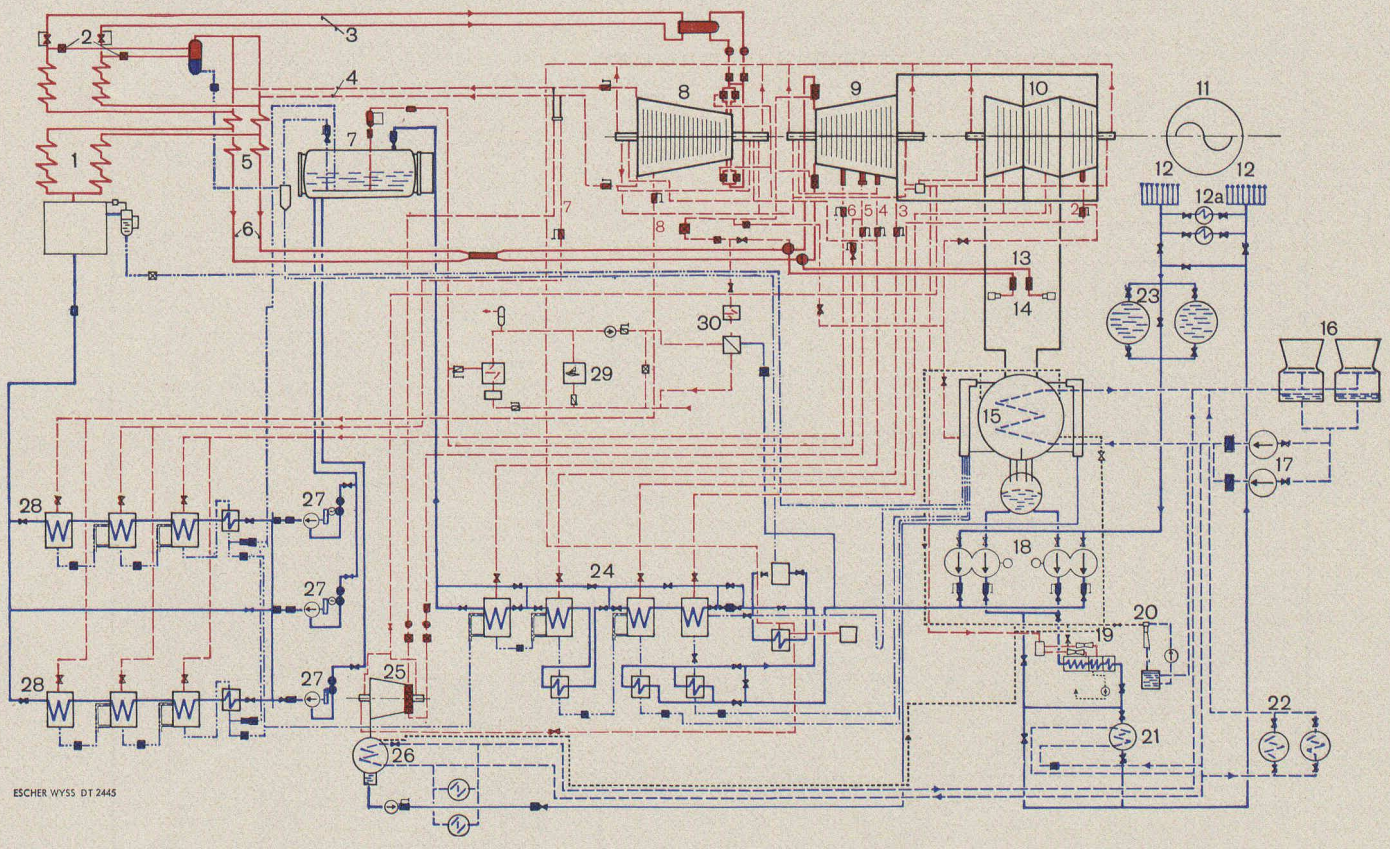


Fig. 7. — Schéma des conduites pour la vapeur vive de 190 kg/cm² à 540°C, le soutirage, l'eau de refroidissement, le condensat, l'eau d'alimentation et l'air.

Vapeur vive
Vapeur de soutirage et de bourrage
Condensat principal, resp. eau alimentaire
Eau de réfrigération
Condensat des réchauffeurs
Extraction d'air
1-8 Conduites de soutirage

1 Chaudière monotubulaire Sulzer
2 Soupapes de by-pass haute pression
3 Conduites de vapeur vive
4 Conduites froides de resurchauffe
5 Resurchauffeur
6 Conduites chaudes de resurchauffe
7 Bâche d'alimentation et dégazeur
8 Corps turbine haute pression
9 Corps turbine moyenne pression
10 Corps turbine basse pression
11 Alternateur
12 Réfrigérants d'hydrogène
12a Réfrigérants d'huile d'étanchéité alternateur
13 Soupapes de by-pass basse pression
14 Saxophones
15 Condenseur principal
16 Tours de réfrigération
17 Pompes d'eau de circulation
18 Pompes d'extraction
19 Ejecteur de service
20 Ejecteur de démarrage
21 Réfrigérant auxiliaire du condensat
22 Réfrigérants d'huile
23 Filtres de l'eau de condensation
24 Réchauffeurs basse pression
25 Turbine auxiliaire
26 Condenseur auxiliaire
27 Pompes alimentaires
28 Réchauffeurs haute pression
29 Chaudières auxiliaires
30 Echangeur de chaleur et surchauffeur pour vapeur de bourrage au démarrage

Elle est entraînée par une turbine en dérivation (25). La réserve est assurée par deux groupes motopompes refoulant chacun le 50 % du débit maximum. Les deux groupes de réserve sont utilisés lors du démarrage de la chaudière et en cas d'indisponibilité du groupe d'alimentation principal.

Les trois pompes alimentaires sont précédées de pompes nourricières qui fournissent la hauteur nécessaire de mise en charge, pour éviter tout danger de cavitation dans les pompes principales qui refoulent le condensat dans le poste de réchauffage HP (28) à trois étages, et de là dans la chaudière. Le réchauffage du condensat a lieu par les 8 soutirages de vapeur prévus dans la turbine ; les numéros 1 à 4 alimentent les réchauffeurs BP (24), le 5, la bâche (7), les 6 à 8 les réchauffeurs HP (28). Le condensat de ces derniers s'écoule en cascade dans le dégazeur jusqu'à une charge du groupe de 30 % environ.

Au-dessous de cette charge, une soupape automatique l'envoie dans le réchauffeur BP 4, puis en cascade jusqu'au condenseur, après avoir traversé un ballon de détente.

La turbine auxiliaire reçoit sa vapeur du soutirage nº 5 par trois soupapes de réglage, commandées par un régulateur de vitesse, la vitesse étant ajustée par la régulation de la chaudière.

La pression de la vapeur variant pratiquement proportionnellement à la charge du groupe, il pourrait arriver qu'à charge partielle elle baisse à tel point que la turbine n'aurait plus la puissance nécessaire pour entraîner la pompe à la vitesse demandée par la chaudière. Dans ce cas, une quatrième soupape de réglage, branchée sur le soutirage 7 (conduite froide de resurchauffe), s'ouvre pour fournir la puissance manquante.

La vapeur de la turbine auxiliaire s'échappe dans son condenseur ; le condensat est pompé dans le condenseur principal par un petit groupe motopompe.

L'équipement pour l'aspiration d'air du condenseur est du type Körting ; il comporte deux éjecteurs : l'un hydraulique (20) pour la mise sous vide rapide de l'installation lors du démarrage, l'autre (19) pour le service normal, ce dernier constitué de deux étages à jets de vapeur, d'un condenseur à surface et d'un groupe motopompe à anneau liquide ; il est alimenté en vapeur à 1,03 kg/cm² et peut extraire 18 kg d'air à l'heure sous une pression de 0,036 ata ; l'éjecteur de démarrage peut être utilisé en régime permanent en cas de défaillance de l'éjecteur de service normal. Comparé au système Westinghouse-Leblanc, dont la sécurité de fonctionnement est d'ailleurs très satisfaisante, à capacité d'aspiration égale, la dépense totale en énergie de l'appareil Körting, soit 35 kW, est trois fois plus faible.

Le souci de maintenir l'eau du cycle en parfait état de pureté a conduit à installer deux éléments filtrants à cellulose (solka-floc) pouvant chacun traiter 180 t/h de condensat, dans le circuit de celui-ci.

Le condenseur principal et celui de la turbine auxiliaire sont reliés côté air de sorte qu'ils sont évacués simultanément.

L'eau de circulation du condenseur parcourt un circuit fermé : en sortant du condenseur, elle va se refroidir dans deux tours de réfrigération Balcke à ventilation forcée, passe ensuite par les pompes de circulation qui la refoulent à travers le condenseur jusqu'aux tours de réfrigération et ainsi de suite.

Les tours de réfrigération sont calculées pour une température ambiante moyenne de 3ºC au thermomètre sec. Chaque tour est capable de refroidir 9700 m³/h d'eau de 22º à 14ºC. La vitesse des ventilateurs (diamètre 16 m !) peut varier entre 20 et 74 t/mn, en fonction de la température de l'eau froide, par action automatique sur un accouplement Voith. Les deux motopompes de circulation sont dimensionnées chacune pour le demi-débit total. En fait, les caractéristiques de la pompe et des circuits sont telles que, dans le fonctionnement avec une pompe seulement, les deux tiers environ du débit total sont assurés.

La vapeur de bourrage qu'il est nécessaire de fournir aux labyrinthes avant le démarrage du groupe, est produite par un échangeur de chaleur recevant d'une chaudière auxiliaire de l'eau chaude à une température de 175ºC pour produire 2,5 t/h de vapeur saturée à 150ºC. Cette vapeur est surchauffée à 400ºC dans un surchauffeur électrique.

L'exploitation normale du groupe turbo-alternateur est assurée de la salle de commande, à laquelle sont transmises par télécommandes, appareils indicateurs et enregistreurs, toutes les grandeurs mécaniques, thermiques et électriques permettant les opérations de mise en service, de conduite et d'arrêt de l'installation.

La turbine et ses accessoires (fig. 8)

Les corps sont d'une construction rigoureusement symétrique par rapport au plan horizontal passant par l'axe des rotors. L'admission de la vapeur a lieu par quatre soupapes de réglage, deux sur la partie supérieure et deux sous la partie inférieure du corps HP. Lors de la mise en marche, toutes les soupapes de réglage sont ouvertes pour assurer un chauffage régulier de la machine. Dès que la régulation entre en fonction, c'est-à-dire lorsque la turbine a atteint une vitesse un peu inférieure à celle de la vitesse normale, seule une soupape supérieure et une inférieure restent ouvertes pour assurer un chauffage symétrique.

Les tuyères sont insérées et soudées dans des boîtes à tuyères ; ces dernières sont fixées par un anneau vissé et soudé dans le corps de la turbine. L'étanchéité est assurée par une soudure qui n'empêche pas la libre dilatation des boîtes.

Les brides, assez épaisses par rapport au reste du corps, sont chauffées par de la vapeur prélevée sur la conduite chaude du resurchauffeur. L'admission de la vapeur de chauffage est commandée par un régulateur chargé de maintenir la différence de température entre les parties internes et externes de la bride dans des limites admissibles.

Un vireur électrique fait tourner les rotors pour que leur chauffage ou refroidissement soit uniforme à la mise en marche ou à l'arrêt. La manœuvre de ce dispositif se fait à la main ou automatiquement.

A l'arrêt du groupe, le vireur se met automatiquement en marche dès que la vitesse du rotor de la turbine est descendue aux environs de 90 t/mn. Le vireur tourne alors en marche à vide, il est accouplé automatiquement à la turbine lorsque celle-ci atteint 79 t/mn.

Les différentes températures auxquelles la turbine est soumise en période transitoire produisent des allongements et des contractions dont il faut tenir compte. Pour cela, le point fixe du groupe par rapport aux fonda-

tions est à la hauteur du corps BP pour permettre une liaison sans déformation entre turbine et condenseur.

Le bâti des paliers entre corps HP et MP est monté sur glissières lubrifiées. Le bâti du palier de tête, supportant le bloc de la régulation, est par contre fixe pour ne pas produire des déformations aux conduites d'huile y aboutissant. Les pattes antérieures du corps HP peuvent glisser sur leurs surfaces d'appui, pour absorber les dilatations des corps HP et MP.

Le palier de butée, représentant le point fixe du rotor par rapport au stator, se trouve dans le bâti entre les corps HP et MP et se déplace donc avec lui, réduisant ainsi le déplacement relatif entre parties fixes et mobiles à un minimum, surtout aux endroits les plus chauds. Côté palier de tête, le rotor est relié au bloc de régulation par un accouplement à dents permettant un déplacement axial. Tous les accouplements entre les rotors étant rigides, le rotor de l'alternateur sera aussi affecté par le déplacement du palier de butée et par l'allongement des rotors de la turbine ; aussi est-il prévu à cet effet un jeu suffisant entre les épaulements de ses paliers. Côté excitatrice, un accouplement élastique à l'engrenage réducteur du rotor de l'alternateur absorbera les déplacements axiaux.

L'expansion de la vapeur ayant lieu principalement dans les diaphragmes, l'étanchéité entre ceux-ci et le rotor, dans les différents étages, est assurée par des éléments à labyrinthes formés de segments montés élastiquement dans le moyeu du diaphragme. Ils sont maintenus dans leur position par des ressorts à lames en nimonic, dans les parties à hautes températures.

Les arbres de la turbine et de l'alternateur sont élastiques ; leur vitesse critique, en position accouplée, se trouve entre 2400 et 1400 t/mn, pour une vitesse de régime de 3000 t/mn.

La construction du corps HP, avec ses boîtes à tuyères protégeant la surface interne de l'enveloppe d'un contact direct avec la vapeur fortement surchauffée, les distributeurs montés avec jeux radiaux permettant leur libre dilatation, ainsi que le chauffage des brides, limite les différences de température dans toute l'enveloppe.

Ces mesures réduisent si bien les tensions internes que, même aux démarrages rapides et lors de brusques variations de charge toutes les contraintes restent infé-

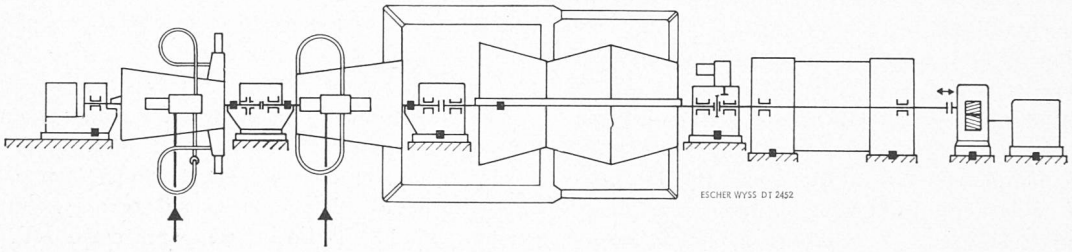


Fig. 9. — Le choix des points fixes est important pour la bonne marche d'une turbine à vapeur à trois corps, car il ne faut pas empêcher une libre dilatation des divers éléments de la machine soumis à des températures parfois très élevées. Dans le cas présent, le bâti de palier entre les corps haute et moyenne pression peut glisser sur sa base. Cette disposition limite à un minimum le déplacement des rotors par rapport aux diaphragmes, empêchant ainsi tout frottement entre parties fixes et mobiles.

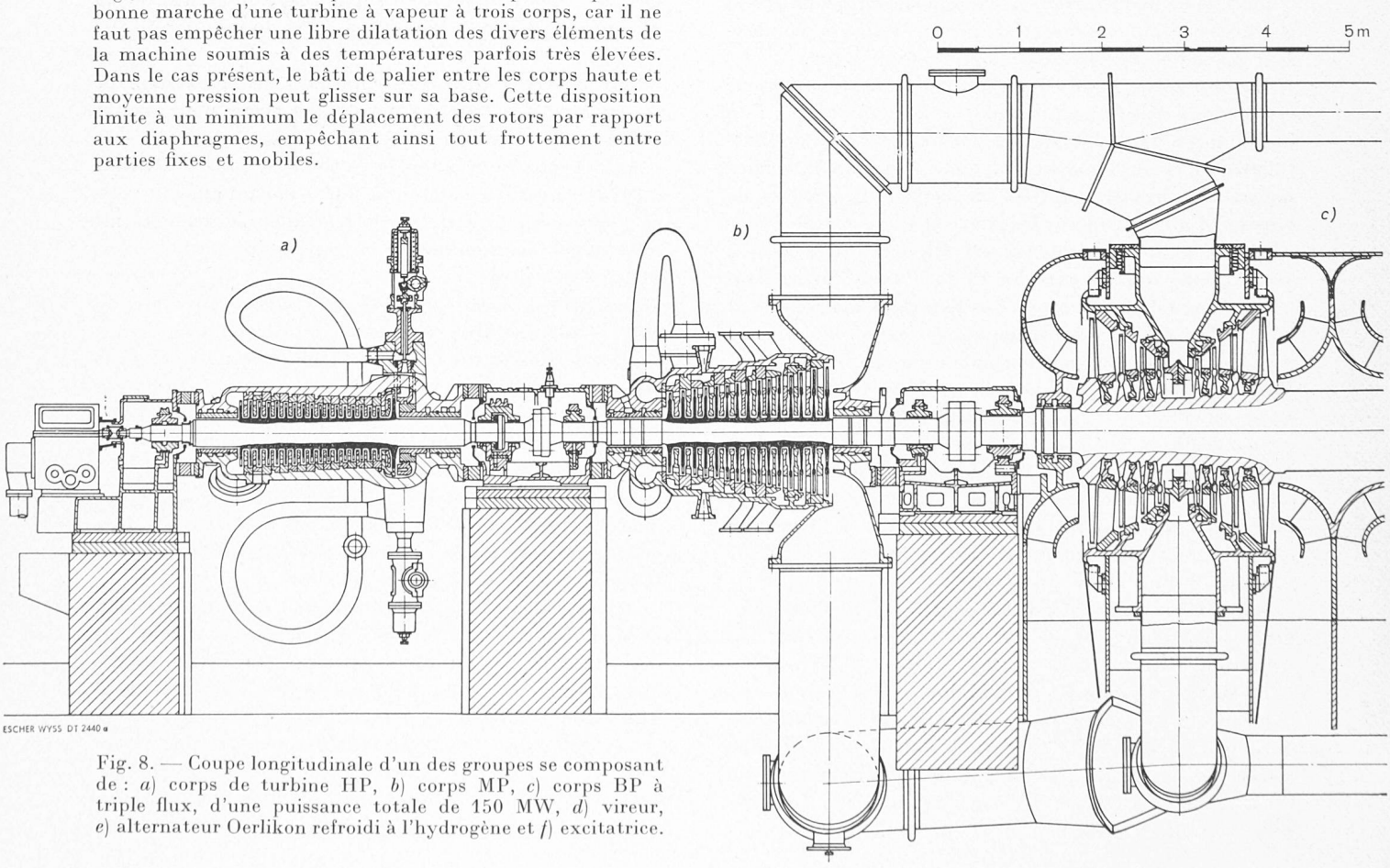


Fig. 8. — Coupe longitudinale d'un des groupes se composant de : *a*) corps de turbine HP, *b*) corps MP, *c*) corps BP à triple flux, d'une puissance totale de 150 MW, *d*) vireur, *e*) alternateur Oerlikon refroidi à l'hydrogène et *f*) excitatrice.

rieures aux valeurs maximales admissibles, ce qui permet à ces turbines d'être mises en marche rapidement et de prendre la charge demandée dans le délai le plus court.

Durant la marche, les différences de température et les dilatations différentielles sont contrôlées et enregistrées pour surveiller continuellement la position réciproque des différentes parties du groupe.

Une marche spécialement tranquille est le résultat d'un équilibrage très soigné des rotors. Déjà dans les aciéries, ils subissent un traitement à chaud pour supprimer les tensions internes et pour égaliser tout défaut d'homogénéité. Pendant l'usinage, des contrôles du comportement à chaud sont faits à maintes reprises, dans un four électrique spécial.

Une fois l'usinage terminé, le rotor est équilibré plusieurs fois dynamiquement, au cours de l'ailettage, sur une machine qui permet de déceler un balourd de 30 grammes seulement sur un rotor de 36 tonnes. Des gorges dans les roues et des trous taraudés dans les derniers étages du rotor BP permettent de placer les contrepoids voulus.

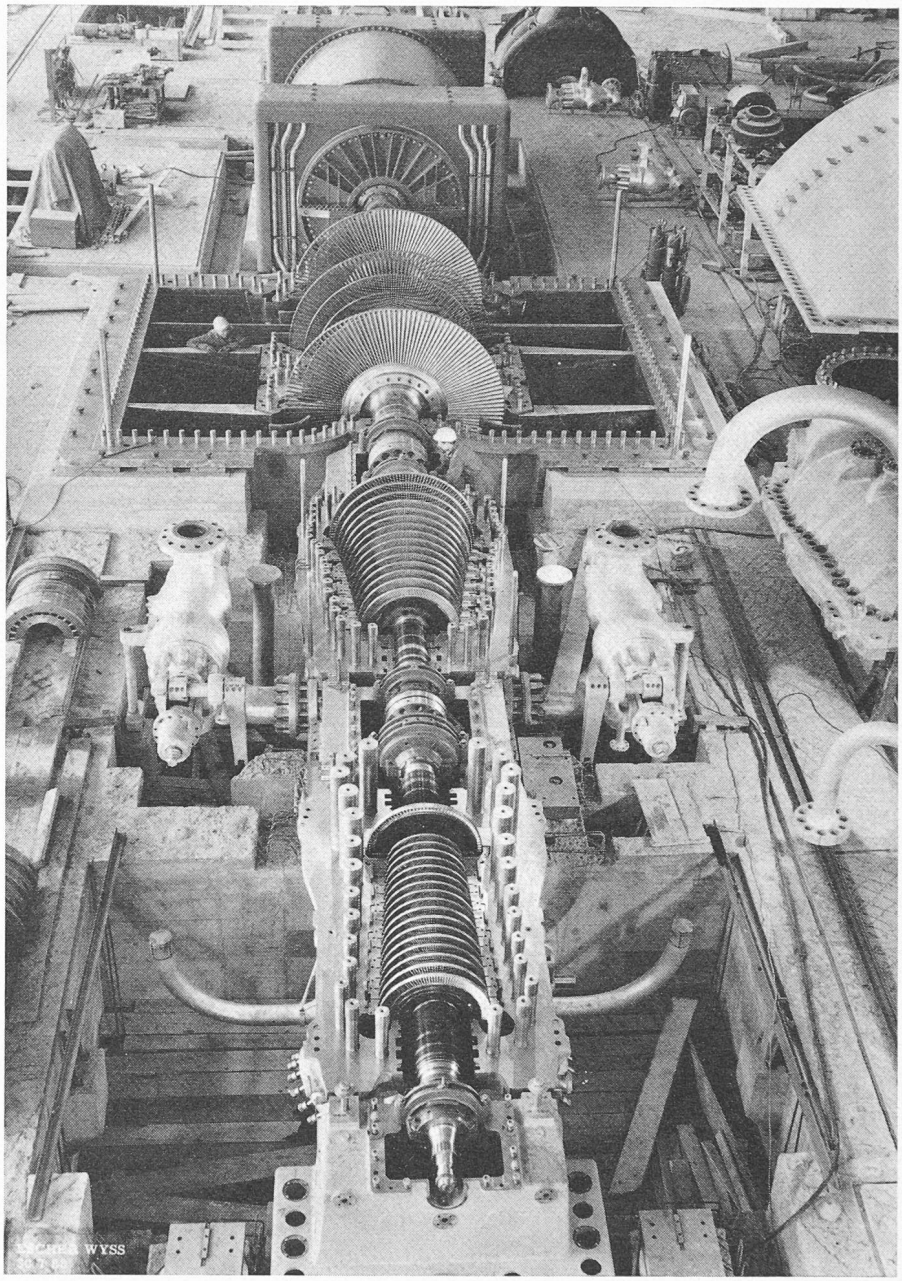
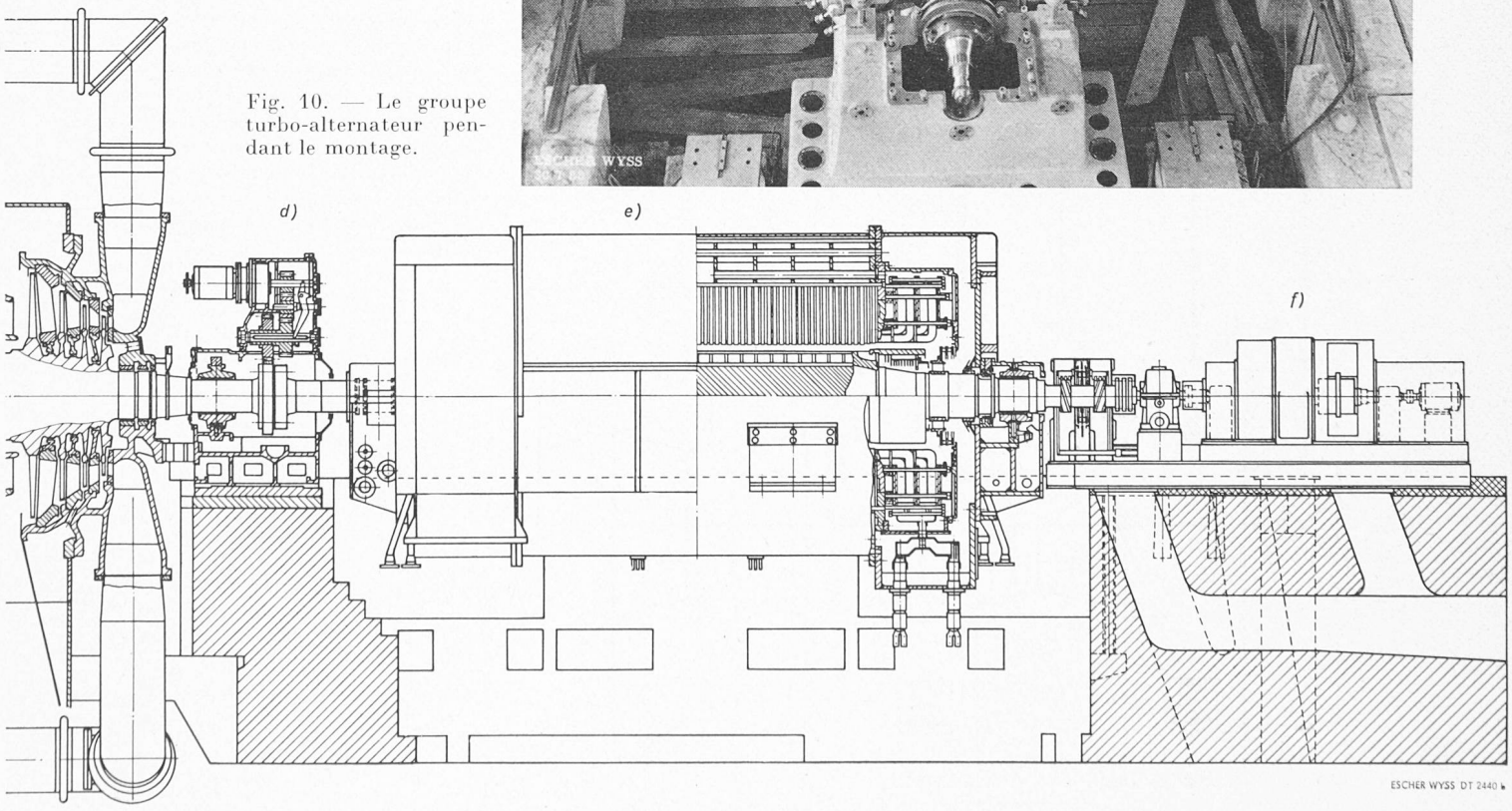
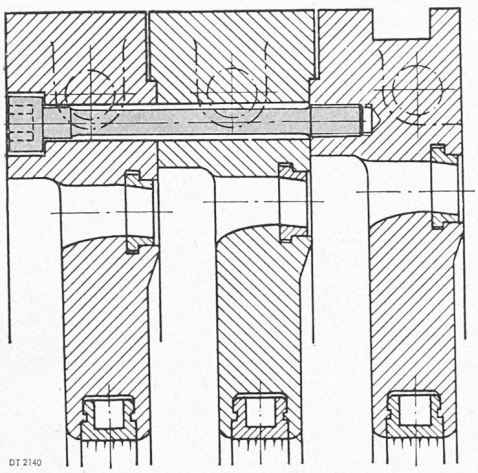


Fig. 10. — Le groupe turbo-alternateur pendant le montage.





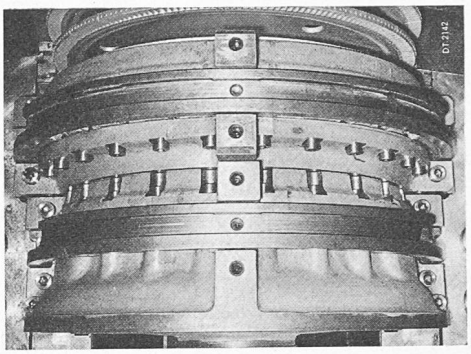


Fig. 11. — Les diaphragmes sont boulonnés axialement en groupes de deux à trois pour empêcher des inétanchéités entre les étages. Ces paquets sont montés avec un jeu radial et reposent sur la partie inférieure à la hauteur de l'axe, de manière qu'ils puissent se dilater librement tout en restant parfaitement centrés.

D. Services auxiliaires généraux

Les services auxiliaires généraux sont installés soit à l'intérieur du bloc-usine, soit dans le corps des bâtiments parallèles à ce bloc ; les chaudières à eau surchauffée appartiennent au premier groupe, les installations de stockage et de reprise des combustibles au second ; l'équipement de traitement d'eau se répartit entre les deux (fig. 6).

Construites pour une pression de 15 kg/cm² et une température d'eau de 150°C, les deux chaudières à eau surchauffée peuvent fournir $8 \cdot 10^6$ cal./heure chacune. En cas d'arrêt de la centrale en hiver, elles en assurent la mise hors gel ; en service normal, elles couvrent les besoins de chauffage concurremment avec les échangeurs de chaleur insérés dans les postes d'eau des tranches ; les consommateurs les plus importants sont les préchauffeurs d'air comburant et les réchauffeurs de mazout.

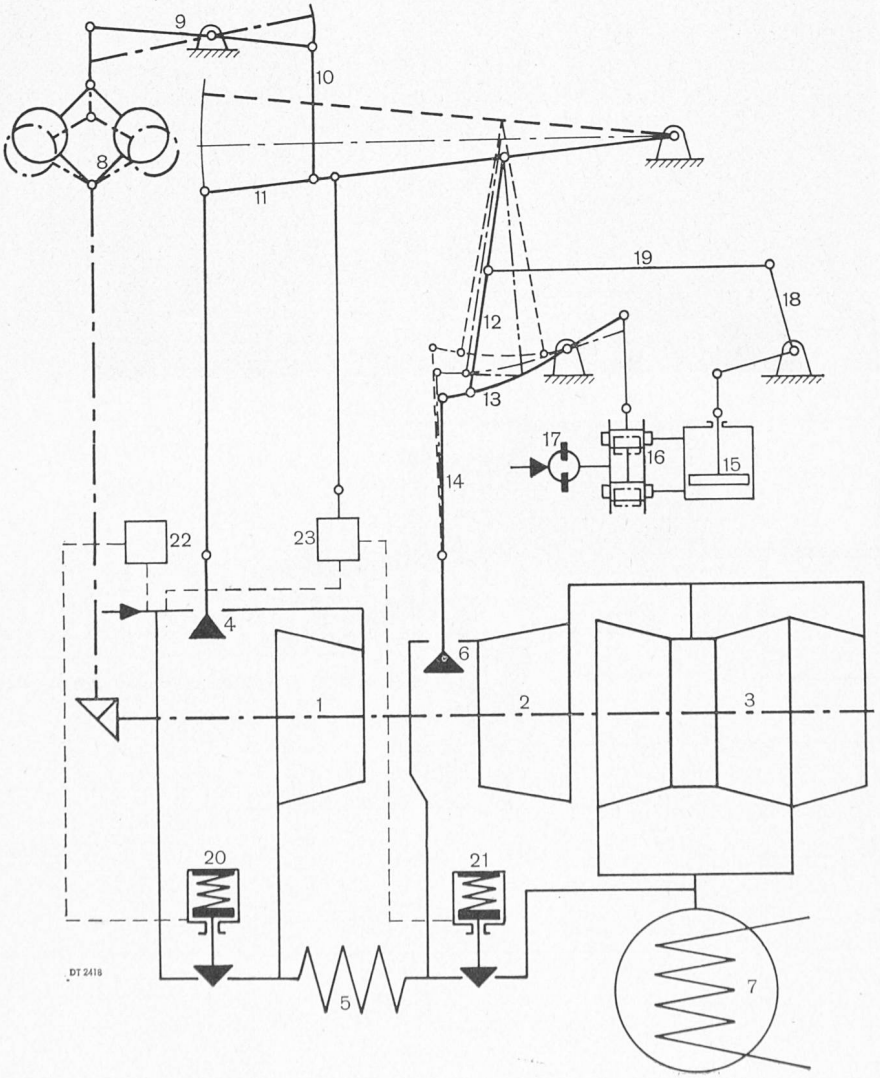


Fig. 12. — La régulation compound, développée par Escher Wyss, interrompt non seulement, en cas de décharge, l'arrivée de vapeur vive dans le corps haute pression, mais aussi, par les soupapes d'interception, celle dans le corps moyenne pression. La fermeture simultanée et rapide de ces deux soupapes par le pendule accélérométrique maintient, même en cas de délestage total, la vitesse en dessous des valeurs de déclenchement des dispositifs de sécurité.

1 Corps haute pression
2 Corps moyenne pression
3 Corps basse pression à triple flux
4 Soupapes de réglage de la vapeur vive
5 Resurchauffeur
6 Soupapes d'interception
7 Condenseur
8 Pendule tachymétrique
9 et 10 Leviers
11 Levier de jonction
12 Levier de la coulisse
13 Coulisse
14 Levier commandant les soupapes d'interception
15 Servo-moteur
16 Tiroir de commande
17 Diaphragme
18 et 19 Leviers commandant la coulisse
20 et 21 Soupapes de by-pass haute et basse pression
22 et 23 Dispositif de commande des soupapes de by-pass haute et basse pression par la pression chaudière et la régulation de la turbine

Lorsque la température ambiante est supérieure à —10°C, les échangeurs de chaleur sont seuls en service, la chaleur fournie par ces appareils est naturellement moins coûteuse que celle produite par les chaudières, compte tenu de la réduction des puissances électriques que leur utilisation provoque ; la limitation de leur capacité vient en particulier de l'obligation de disposer des chaudières pour les arrêts éventuels de la centrale en hiver.

L'équipement de préparation d'eau d'appoint, de fabrication Théodor Christ à Bâle, comporte deux installations : dans la première est traitée la quasi-totalité de l'eau prélevée au canal Stockalper, au moyen de deux groupes motopompes de 1100 kW chacun, qui refoulent l'eau dans deux réservoirs d'une capacité totale de 12 000 m³, édifiés sous les tours III et IV. Ce relais assouplit le régime de service de la station de pompage et fournit une réserve d'eau correspondant à environ vingt-quatre heures de service des deux tranches à pleine charge. Dans la seconde est traitée l'eau destinée à la compensation des pertes du circuit du condensat. La première est dimensionnée pour un débit maximal continu de 600 t/h ; elle fait subir à l'eau brute un traitement de floculation-décantation, suivi d'une décarbonatation à la chaux et d'une filtration sur gravier ; elle alimente, d'une part, le circuit de réfrigération, et d'autre part, la seconde installation, c'est-à-dire la déminéralisation totale, celle-ci constituée de deux chaînes de capacité de 25 t/h chacune, du type classique à échangeurs de cations et d'anions, lit mélangé, régénération par soude caustique et acide chlorhydrique ; les installations sont très largement automatisées. Les consommations moyennes horaires sont respectivement pour chaque circuit 400 t et 12 t environ.

Les clichés des figures 2, 3 et 6 à 12 ont été obligeamment prêtés par la maison Escher Wyss S. A. à Zurich. Ceux des figures 4 et 5 l'ont été par Sulzer Frères S.A., Winterthour.

L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DE LA CENTRALE THERMIQUE DE VOUVRY

par JEAN-MARTIN KAELIN, ingénieur dipl. EPUL, Pully

L'équipement électrique de la Centrale thermique de Vouvry, sise à Chavalon, est conçu pour répondre aux exigences d'exploitation de la partie thermique et tenir compte des conditions locales de l'installation.

Chacune des deux tranches, c'est-à-dire un groupe chaudières, turbines, alternateurs, transformateurs-élévateurs, a un équipement électrique indépendant. Certains organes principaux sont dédoublés afin de permettre, en cas de perturbations, de fonctionner à puissance réduite avec une demi-chaîne d'auxiliaires. Les deux tranches sont, dans leur principe, identiques.

Les services communs aux deux tranches sont groupés en auxiliaires généraux qui sont commandés et alimentés séparément.

Le turbo-alternateur, de fabrication Escher-Wyss-Oerlikon, entraîné directement par la turbine, a les caractéristiques suivantes :

Puissance apparente nominale	175 MVA
Cos phi	0,85
Tension nominale	14,5 kV ± 10 %
Fréquence	50 Hz
Vitesse	3000 t/mn
Pression d'hydrogène	2 kg/cm² eff.

Il est du type à refroidissement par hydrogène, complètement fermé et autoventilé.

Les réfrigérants sont incorporés verticalement, de part et d'autre, aux deux extrémités du stator. Les joints à huile assurant l'étanchéité de l'hydrogène sont supportés par des flasques en deux parties.

Le corps magnétique du stator, constitué par des segments de tôle dynamo à faible perte, est subdivisé longitudinalement en paquets séparés par des entretoises. Les fentes radiales ainsi formées permettent à l'hydrogène d'accéder facilement aux endroits à refroidir. Les barres d'encoches du bobinage statorique sont isolées en orlitherm, une isolation de classe B supportant les variantes de température sans déformation. Grâce à son élasticité, cette isolation participe aux dilatations du cuivre sans se décoller.

Le corps du rotor est un monobloc usiné d'une pièce de forge en acier spécial. Deux ventilateurs, calés sur l'arbre aux deux extrémités de celui-ci, maintiennent une circulation énergique d'hydrogène à travers le générateur et les réfrigérants. Le refroidissement du bobinage rotorique est réalisé par un courant d'hydrogène passant dans l'encoche même, entre les rangées de conducteurs nus sur leurs faces latérales. Ces rangées sont maintenues en place par de nombreuses cales trapézoïdales isolées. L'encoche proprement dite est isolée par un matériau à base de tissu de verre.

L'excitatrice, d'une puissance de 725 kW sous 500 V, est entraînée à 1800 t/mn par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenages. Un alternateur auxiliaire triphasé de 10 kVA, 300 V, autoexcité, placé en bout d'arbre sur l'excitatrice, alimente les transducteurs du régulateur.

Le régulateur automatique de tension, à transducteurs, permet une désexcitation rapide (jusqu'à 10 % de la valeur nominale du courant d'excitation en moins de 3 secondes), une limitation de l'angle rotorique, une bonne régulation pour une valeur quelconque de la tension 0,95 et 1,07 Un et un réglage très rapide en cas de variation de tension brusque ou de court-circuit.

La liaison entre turbo-alternateur et transformateur-élévateur, réalisée en couplage bloc, est constituée par un jeu de barres dont chaque phase est enveloppée d'une gaine cylindrique en aluminium. Le conducteur, en profilé d'aluminium de 11 000 mm², est centré dans la gaine par trois isolateurs, avec montage souple. Il permet le passage d'un courant en régime continu de 7800 A/phase. Les connexions souples sont faites par des tresses de cuivre étamé aux extrémités, recouvertes d'un capot étanche. Le raccordement de ce dernier, sur les transformateurs, se fait par un soufflet en néoprène permettant un déplacement de celui-ci de 3 cm en tous sens. Les conducteurs sont pourvus de plusieurs joints de dilatation.