

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 57 (1966)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Aspects particuliers de la Centrale thermique de Chavalon  
**Autor:** Monprofit, M.A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916598>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

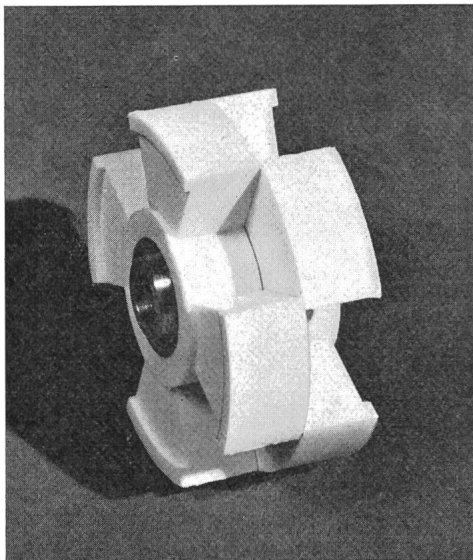


Fig. 4

Sternstütze für Präzisionsstecker

etwa 5 Jahren wurde jedoch auch in den Vereinigten Staaten erkannt, dass die bisher in grosser Breite eingeführten Stift-Buchse-Stecker für eine rationelle und präzise Hochfrequenz-Messtechnik nicht geeignet seien. Diese Erkenntnis fand ihren Niederschlag in der Gründung eines besonderen Komitees zur Normung von Hochpräzisionssteckern<sup>5)</sup>. Dieses

<sup>5)</sup> Precision Coaxial Connector Sub-Committee of the Electronic and High-Frequency Instruments Committee of IEEE G-I.M.

Komitee hat bereits in einer seiner ersten Sitzungen für die neu zu normenden coaxialen Präzisionsstecker ausdrücklich vorgeschrieben, dass nur Zwitterstecker in Betracht gezogen würden.

Die Arbeiten und Forderungen des Komitees haben zu Präzisionssteckern einer bisher nicht für möglich gehaltenen Qualität geführt. So wurden beispielsweise auch die in Fig. 3 wiedergegebenen Stecker in Zusammenarbeit der Verfasser mit dem erwähnten Präzisionsstecker-Komitee entwickelt.

Die speziellen Eigenschaften der Hochfrequenz-Zwitterstecker verschaffen dieser Gattung coaxialer Leitungsverbinder in neuerer Zeit wachsendes Interesse sowohl in der alten als auch in der neuen Welt; da es nicht nur gelungen ist, ein umfangreiches System relativ preisgünstiger «Normal-Zwitterstecker» zu schaffen, sondern da auch höchsten Ansprüchen genügende Präzisionsausführungen zur Verfügung stehen, darf man der weiteren Entwicklung dieses Gebiets mit Interesse entgehen.

#### Literatur

- [1] F. R. Huber und H. Neubauer: Koaxiale Präzisionsstecker. Rohde und Schwarz Mitt. -(1965)19, S. 189...194.
- [2] F. R. Huber und H. Neubauer: Dezfiststecker und andere koaxiale HF-Leitungsbaulemente. Teil 1, Rohde und Schwarz Mitt. -(1961)16, S. 75...85, Teil 2, -(1965)17, S. 115...129.
- [3] HF-Steckverbindungen 8/21, 14/38, 21/57, 42/115. DIN-Normen Nr. 47285...47288.

#### Adressen der Autoren:

Dipl.-Ing. F. R. Huber und Dipl.-Ing. H. Neubauer, Rohde & Schwarz, Mühlendorfstrasse 15, D-8000 München 8 (Deutschland).

## Aspects particuliers de la Centrale thermique de Chavalon

Conférence donnée à l'Assemblée de discussion de l'ASE, le 29 octobre 1965 à Lausanne,

par M. A. Monprofit, Lausanne

J'ai reçu mission de présenter la Centrale Thermique de Chavalon; les règles de l'art imposeraient de faire apparaître le sujet sous ses divers aspects en respectant un bon équilibre entre ceux-ci; cependant, sauf à demeurer trop superficiel, le temps imparti m'oblige à transgresser nettement ces règles.

L'exposé que je vais avoir l'honneur de développer devant vous s'attachera plus particulièrement à la conception d'ensemble, aux idées directrices, à l'influence du site et à certains points particuliers touchant la réalisation ou le fonctionnement des installations; en d'autres termes, il se placera plutôt du point de vue du constructeur de l'ouvrage, voire de l'exploitant, que de celui du thermicien ou de l'économiste. Il tendra ainsi à considérer comme des données d'une part, le site, d'autre part, les caractéristiques principales de l'équipement; ce choix m'a paru trouver sa justification dans le caractère même de cette conférence, simple prologue à la visite que vous allez effectuer.

La centrale est implantée au lieu dit «Chavalon» (fig. 1), sur un terrain d'une superficie totale de 37000 m<sup>2</sup>, aménagé en une plate-forme principale à la cote 833, à quelque 460 m au-dessus de la plaine du Rhône; elle est distante de 10,5 km des Raffineries du Rhône qui lui fournissent son combustible; ces simples chiffres ont déterminé les principaux traits de l'ouvrage, la surface — moins de la moitié de celle couramment réservée — a nécessité un groupement compact des bâtiments; l'altitude, par rapport au Rhône, a entraîné le recours à la

réfrigération en circuit fermé, l'éloignement des Raffineries a motivé la création d'un oléoduc et d'une station relais de stockage de combustible.

Au stade définitif atteint en décembre 1966, la puissance installée sera de 300 MW en deux tranches ou groupes blocs identiques de 150 MW. Je rappellerai brièvement que chaque tranche comporte:

- 1 générateur monotubulaire Sulzer, capable de produire à l'heure 460 t de vapeur à 191 kg/cm<sup>2</sup>, 540°C et de resurchauffer 380 t à 39 kg/cm<sup>2</sup>, 540°C; ce générateur est équipé d'un poste de compression et réchauffage de combustible alimentant 16 brûleurs, il est doté d'une régulation électronique;
- 1 groupe turbo-alternateur de 150 MW, de construction Escher Wyss-Oerlikon, avec poste de réchauffage d'eau, alimenté par 8 soutirages;
- 3 pompes alimentaires avec pompes nourricières, dont une turbo-pompe et deux motopompes;
- 2 motopompes de circulation;
- 2 tours de réfrigération à ventilateur, système Balcke;
- 1 transformateur-élévateur 14,5/245 kV de 175 MVA;
- 1 transformateur de soutirage 14,5/6 kV de 12 MVA et les tableaux auxiliaires 6 kV et 380 V.

Chaque tranche possède ses batteries d'accumulateurs 125 et 48 V ainsi qu'une installation de production et distribution de courant alternatif permanent 220/380 V.

La salle de commande est commune aux deux tranches, de même que les ouvrages, installations et équipements suivants: le transformateur 20 MVA, 245/6 kV pour le démarrage de la Centrale, les transformateurs de liaison au réseau 20 kV de la SRE,

les traitements d'eau d'appoint pour la circulation et pour les  
chaudières,  
le chauffage auxiliaire,  
les compresseurs d'air pour les servo-moteurs de régulation,  
le ramonage des chaudières et les besoins de l'atelier,  
le stockage du combustible,

la cheminée. Disons de suite que celle-ci, d'une hauteur de 120 m comporte un fût en béton monolithé et un chemisage en briques sur-cuites sur les 110 premiers mètres, en briques anti-acides sur les 10 derniers mètres; elle est dimensionnée pour évacuer 1200 t de fumée à l'heure à une température de 130 °C; la vitesse maximale de sortie des fumées, à pleine charge des deux tranches, est de l'ordre de 22 m/s.

A cet ensemble installé à Chavalon s'ajoutent d'une part, l'oléoduc qui depuis les Raffineries du Rhône, alimente la centrale et, d'autre part, une station de pompage d'eau d'appoint édifiée près du canal Stockalper et équipée de 2 groupes motopompes de chacun 1100 kW, qui ont à assurer une fourniture journalière de 12 à 15000 m<sup>3</sup> d'eau.

Ayant ainsi circonscrit le sujet, j'en viens à ses aspects particuliers et tout d'abord à l'implantation de ses éléments principaux. Les fig. 2 et 3a illustrent les impératifs du site: d'ouest en est, de la route forestière d'accès à Chalavornaire jusqu'à l'extrémité de l'éperon: 188 m; du nord au sud: 157 m, dont 32 m obtenus par remblayage. La plate-forme et les fondations de la centrale ont nécessité 180 000 m<sup>3</sup> de terrassement dans un terrain constitué de roches en place, d'allure très irrégulière, recouvert de moraine.

Pour déterminer le niveau de base du bloc-usine, on a comparé, d'une part, le coût d'une surélévation des bâtiments et d'une augmentation du volume des travaux d'infrastructure des tours de réfrigération — les cotes de sortie d'eau des condenseurs et des plans d'eau des tours sont liées par diverses

conditions telles que hauteur de dispersion, nécessité d'assurer un remplissage correct des tubes supérieurs des condenseurs tout en évitant une charge excessive sur les plaques tubulaires (fig. 3b), d'autre part, le coût d'un aménagement de sous-sols dans le bâtiment de la salle des machines, cette dernière solution se révéla préférable, sous réserve d'une exacte adaptation des implantations au terrain.

La structure et la forme du terrain, l'orientation des lignes 245 kV d'évacuation de l'énergie, l'obligation de placer les tours de manière que la vapeur d'eau émise ne soit pas chassée par les vents dominants: foehn ou bise, vers les ouvrages haute tension, ont amené à développer la salle des machines en longueur, c'est-à-dire à placer l'axe longitudinal des groupes turbo-alternateurs perpendiculairement à l'axe de symétrie des générateurs de vapeur; la plate-forme principale s'est ainsi trouvée divisée en 3 zones parallèles: le poste 245 kV, le bloc-usine, les bâtiments annexes. Sur une seconde plate-forme, au sud-ouest de la première, à la cote 829, ont été implantées les 4 tours Balcke et la station de traitement des eaux usées avec le bassin de mise en charge pour la restitution au canal Stockalper. Mais l'exiguïté de la surface totale disponible obligeait encore à recourir à un développement en super-structure de toutes les installations auxiliaires qui pouvaient se prêter à cette disposition; c'est ainsi que dans l'espace créé entre les générateurs de vapeur (fig. 4) et qui correspond à l'intervalle imposé entre les groupes turbo-alternateurs, a été édifié un bâtiment comportant 4 planchers que je vais maintenant décrire (fig. 5):

Au niveau du sol, cote zéro, ont été implantées, séparées par un large couloir d'accès d'une part, les deux chaînes de

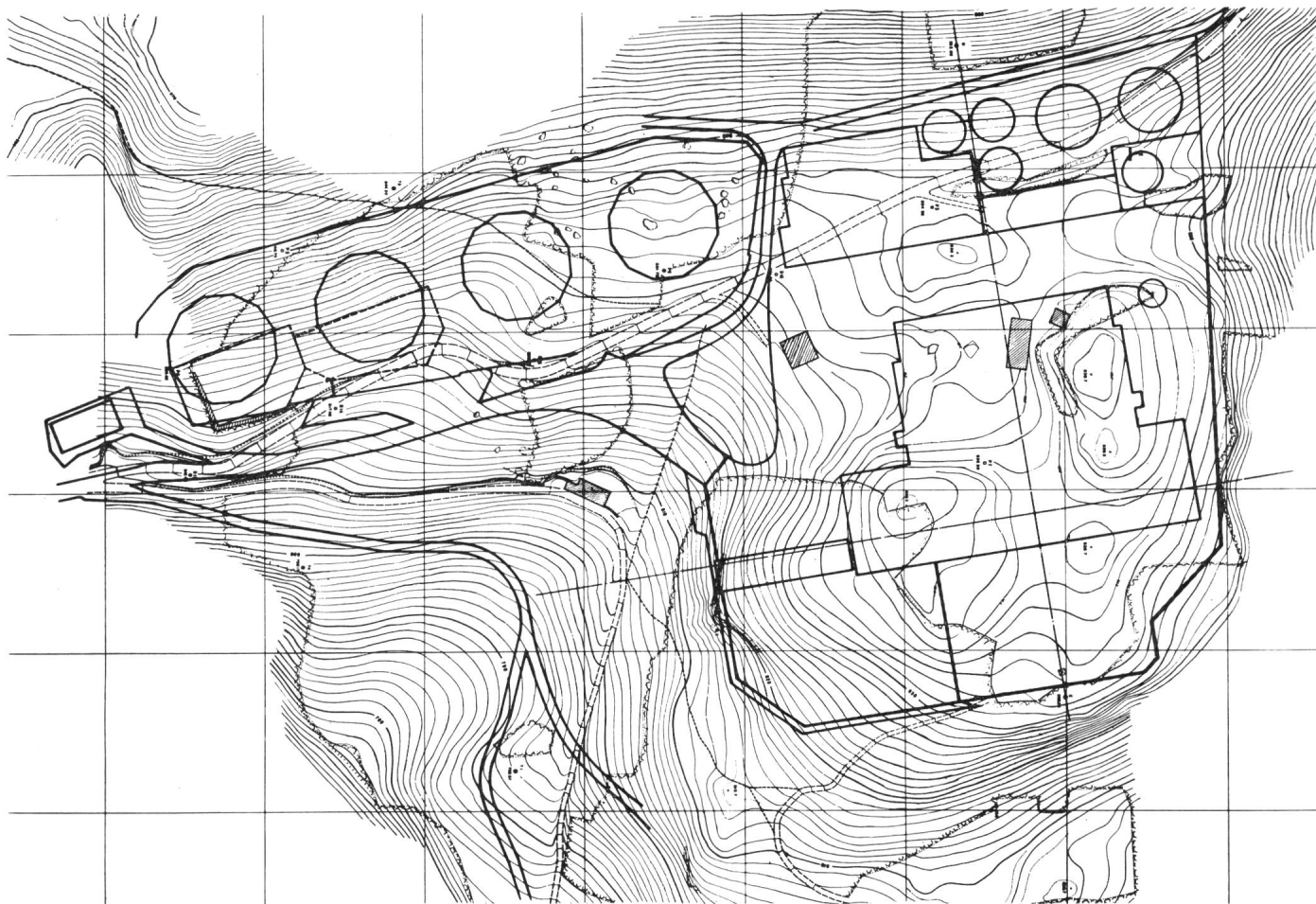


Fig. 2  
Disposition de la centrale thermique

déminéralisation totale d'autre part, les deux chaudières auxiliaires à eau surchauffée et le local d'échantillonnage de l'eau du cycle, puis au-delà, vers la salle des machines, les batteries d'accumulateurs, les convertisseurs et transformateurs pour l'alimentation du réseau 220/380 permanent, la station relais de déshuilage et de séchage d'air de régulation ainsi que le compresseur de conditionnement d'air.

Aux niveaux 3,26 et 5,75 sont les entrepôts des câbles de puissance 6 kV et 380 V et de la filerie. Une pièce pour le laboratoire de chimie a été réservée à ce dernier niveau dans l'angle sud-ouest.

De plein pied avec le plancher salle des machines, au niveau +9, ont été disposées la salle de commande, les salles des relais et des armoires du contrôle électronique, toutes dotées du conditionnement d'air et les cellules 6 kV et 380 V des auxiliaires électriques.

Enfin au niveau 14,04 ont été aménagés un atelier pour les petits travaux d'électro-mécanique et d'électronique du Service technique, un ensemble vestiaire-réfectoire à l'usage du personnel de quart et diverses pièces dont deux salles de conférence pour la formation du personnel; dans l'une de ces salles ont été provisoirement installés les bureaux pour l'état-major de la centrale, bureaux qui seront regroupés dans un bâtiment à édifier vers le pignon sud de la salle des machines et dont la construction a été différée jusqu'en 1967, afin de laisser disponible une place de manœuvre et de stockage convenable pour l'amenée à pied d'œuvre du matériel de la tranche sud.

Ce groupement de locaux, qui a l'inconvénient mineur d'augmenter les longueurs de câbles 6 kV et 380 V puisque

les consommateurs importants sont implantés à la cote zéro, est par ailleurs de nature à faciliter les contrôles et essais des équipements électriques ainsi que le service de surveillance, en ce sens que le bloc-usine constitue ainsi un ensemble fonctionnel à l'intérieur duquel les circulations du personnel sont courtes et faciles.

Les bâtiments annexes, développés parallèlement au bloc-usine, ont avec celui-ci de multiples liaisons:

- a) Tuyauteries de combustible lourd et léger,
- b) Réseau de chauffage des réservoirs de combustible et des locaux;
- c) Tuyauteries principales d'air comprimé, d'eau potable et d'incendie;
- d) Câblages électriques et divers.

Toutes ces liaisons empruntent des galeries souterraines, dont l'une est d'ailleurs posée au-dessus des canalisations d'eau qui vont du condenseur de la tranche nord vers les tours de réfrigération; ces galeries qui prolongent les sous-sols de la salle des machines ont permis de créer au niveau du sol le dégagement entre bloc-usine et bâtiments annexes qui était indispensable pour l'approche du matériel pendant les travaux de montage du générateur de vapeur; elles facilitent également le service de surveillance puisqu'il est possible d'accéder aux installations de traitement d'eau, à la salle des compresseurs et à la station de pompage du parc de stockage de combustible, sans avoir à sortir de locaux abrités.

C'est également l'obligation de disposer de ce dégagement qui a déterminé l'implantation de la cheminée au nord de la plate-forme plutôt qu'entre les chaudières; il en est évidemment résulté un allongement du carneau de fumée de la tranche sud,



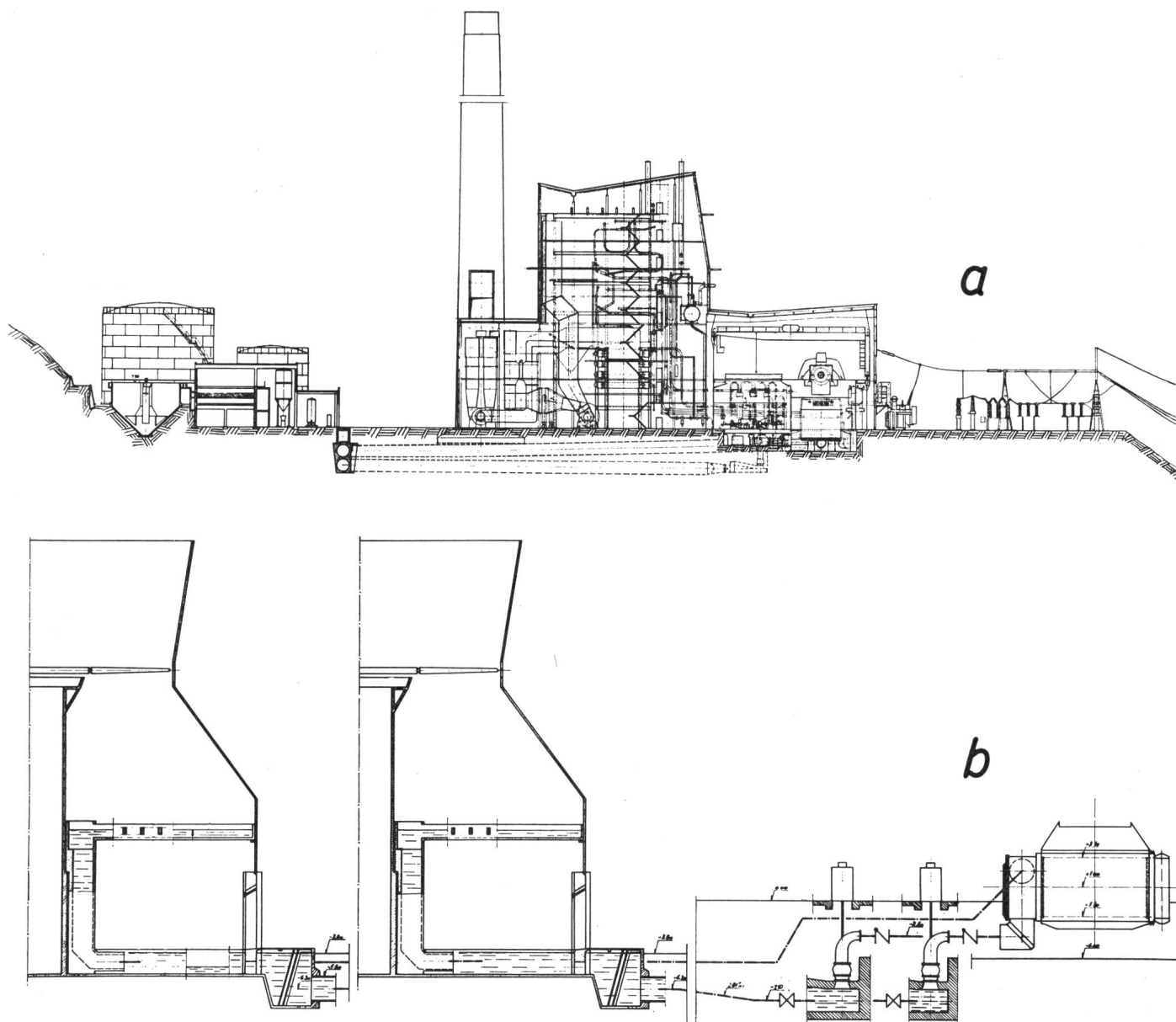


Fig. 3

**Coupe de la centrale thermique**

*a* Coupe transversale; *b* Schéma du circuit de circulation débit pour 1 tranche 19 400 m<sup>3</sup>/h; débit par pompe 2,7 m<sup>3</sup>/s; tuyauterie principale  $\phi$  2,20 m; tuyauterie 1/2 débit  $\phi$  1,60 m; vitesse de l'eau 1,42 m/s; perte de charge des tuyauteries: asp. 0,45 m, ref. 2,00 m; perte de charge du condenseur 4,80 m; hauteur de refoulement 17,00 m

mais en contrepartie la cheminée se trouve parfaitement dégagée des bâtiments et les fumées ne peuvent en aucun cas subir l'influence de l'aspiration des ventilateurs d'air de combustion.

L'encombrement des tours de réfrigération à tirage naturel excluait l'emploi de cette technique et malgré les dimensions relativement faibles des tours à ventilateur, l'exécution de la plate-forme sur laquelle elles sont édifiées a exigé, en raison de l'allure tourmentée du terrain, un important travail d'infrastructure, en particulier les tours appartenant à la tranche sud ont dû être posées sur des dalles elles-mêmes supportées par des piliers; les ouvrages ont été traités de façon à ménager sous ces deux tours deux réservoirs d'une capacité totale de 12000 m<sup>3</sup>, dans lesquels aboutit la conduite de refoulement du canal Stockalper; ce relais assouplit le régime de service de la station de pompage, aide à la régularisation du fonctionnement de l'installation de traitement d'eau brute et fournit une réserve d'eau correspondant à environ 24 h de service des deux tranches à pleine charge.

Les procédés de construction employés à Chavalon appellent deux remarques qui concernent, l'une le bloc-usine, l'autre le massif-support des groupes turbo-alternateurs.

Les superstructures du bloc sont métalliques, le poids total, y compris passerelle et plancher, est de l'ordre de 2000 t; cette solution est à la fois moins onéreuse et d'une exécution plus rapide que l'ossature béton. Les travaux confiés à un Consortium: Ateliers de constructions mécaniques de Vevey, Zwahlen & Mayr, Giovanola Frères, ont été préparés en ateliers, en majeure partie l'hiver 1963/64 et le montage à Chavalon put commencer dès le printemps suivant.

Les parois de la salle des machines sont constituées d'éléments préfabriqués Siporex entre les cotes 0 et +9, de tôles d'aluminium au-dessus.

L'importance des surfaces à couvrir et la grande hauteur des ossatures ont en effet conduit, pour des considérations économiques, à rechercher un revêtement de type léger, de pose facile et rapide.

Fig. 4  
Plan schématique de la centrale  
Coupe du tunnel

Les revêtements des capots des chaudières sont entièrement en tôle d'aluminium.

Le massif-support du groupe turbo-alternateur est une construction en béton; il est essentiellement constitué d'une table, dont le poids est d'environ 1800 t, posée par l'intermédiaire d'un système de vérins et de ressorts sur deux longrines appartenant elles-mêmes chacune à un portique constitué de 9 piliers; ce type de massif laisse disponible sous les corps de turbine un volume dont l'importance facilite l'installation des tuyauteries et robinetteries haute et basse pression.

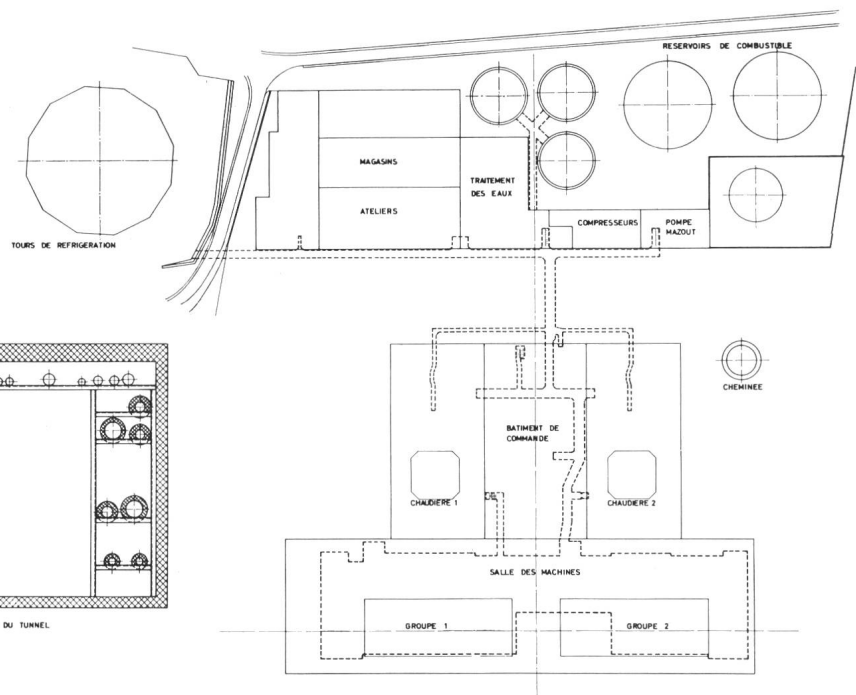
Avant de quitter la salle des machines, disons que les manutentions principales y sont effectuées au moyen de deux semi-portiques de 65 t chacun, de construction Vevey; l'accouplement des deux engins est nécessaire seulement pour les manutentions du corps basse pression de la turbine et du stator alternateur, le levage s'opère alors par interposition d'un palonnier qui ne permet naturellement pas la rotation de la pièce; l'inconvénient est négligeable et cette disposition conduit à un gain de hauteur de la salle des machines de près de 1 m.

Par rapport au pont classique, le semi-portique se justifie économiquement lorsque le plan de la salle des machines est un rectangle très allongé; par rapport au portique normal, il présente l'avantage de dégager les passages entre chaufferie et salle des machines.

Ce que nous venons de voir a cherché à vous rendre familier l'ensemble, à première vue insolite et à sa manière provocant, qui surplombe la vallée, à bonne distance des points d'approvisionnement du combustible et de l'eau de réfrigération et à l'écart de la voie ferrée.

Considérons-en maintenant l'équipement thermo-électrique: la centrale est prévue pour assurer essentiellement une production de base à puissance nominale, selon un horaire annuel d'utilisation qui pourra varier entre 4000 et 7200 h, du moins pendant les 15 premières années; dans les calculs économiques la durée d'utilisation a été estimée à 90000 h.

Ces données ont motivé le choix d'un cycle à haut rendement, dont les caractéristiques sont, à charge nominale, les suivantes: Pour la source chaude, mesurées à l'admission turbine:



- |   |                        |
|---|------------------------|
| a) Pression vapeur vive (eff.)          | 181 kg/cm <sup>2</sup> |
| b) Température                          | 535 °C                 |
| c) Pression vapeur resurchauffée (eff.) | 36 kg/cm <sup>2</sup>  |
| d) Température                          | 535 °C                 |

Le poste de réchauffage-dégazage fournissant l'eau d'alimentation à la température de 255°C.

Pour la source froide:

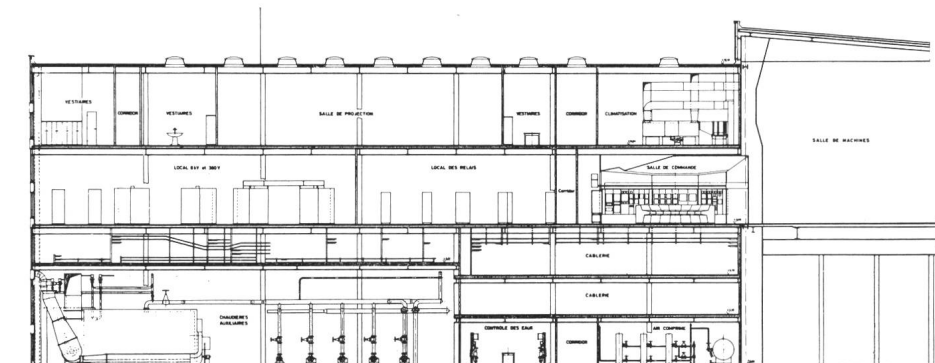
- |   |                         |
|---|-------------------------|
| a) Température à l'entrée au condenseur | 14°C                    |
| b) Débit                                | 17150 m <sup>3</sup> /h |

Ce cycle, du point de vue rendement, est sensiblement équivalent, compte tenu du pompage, à celui adopté parfois en Europe pour des unités de 250 MW et défini par une pression de vapeur vive de 165 kg et des températures de surchauffe et de resurchauffe de 565°C. Il semble bien que chacune des deux tendances se soit en quelque sorte rattachée à un type de générateur de vapeur, générateur à réservoir à circulation plus ou moins assisté pour la première, générateur à circulation forcée pour la seconde.

Il est bien certain que le choix du cycle dépend aussi des conditions de construction et de marché propres à chaque région.

Le dimensionnement de la source froide résulte de l'étude économique de l'ensemble corps basse pression turbine — condenseur — pompes et canalisations de circulation d'eau — tours de réfrigération —, l'optimum ne pouvant être déterminé que par approximations successives.

Fig. 5  
Coupe longitudinale du bâtiment  
de commande



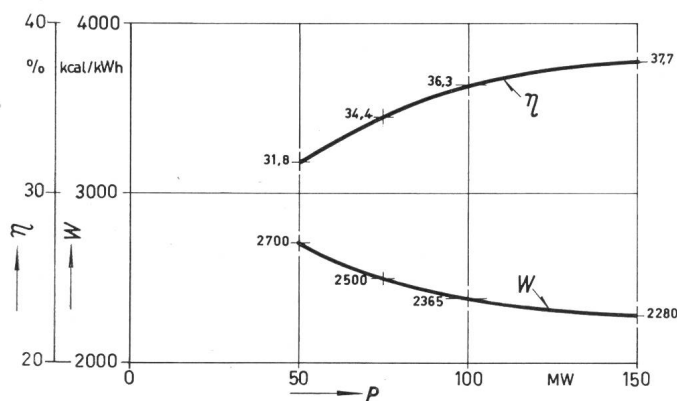


Fig. 6  
Centrale thermique de Chavalon

Rendements nets ( $\eta$ ) et consommations par kWh ( $W$ ) disponibles en fonction de la puissance nette ( $P = 140\,000\text{ kW}$ )  
Eau froide  $14^\circ\text{C}$

Sur la base d'une température ambiante moyenne de  $+3^\circ\text{C}$  au thermomètre sec, les dispositions constructives suivantes ont été retenues :

- a) pour la turbine : 3 flux basse pression,
- b) pour le condenseur principal : une surface de  $7450\text{ m}^2$ ,
- c) pour les tours : un refroidissement de  $22^\circ\text{C}$  à  $14^\circ\text{C}$ ; le débit total horaire d'eau à refroidir atteint  $19\,400\text{ m}^3$ , dont  $17\,150$  pour le condenseur principal et le reste pour le condenseur de la turbine auxiliaire et pour divers réfrigérants. On notera que la vitesse des ventilateurs des tours peut varier de 20 à 74 tr/min, en fonction de la température de l'eau froide par action automatique sur un accouplement Voith.

La quantité de vapeur reçue par le condenseur principal dans les conditions de fonctionnement considérées comme normales, c'est-à-dire avec turbopompe alimentaire et transformateur de chaleur en service est de  $265\text{ t/h}$ , soit donc  $1,8\text{ kg}$  par kWh produit.

L'énergie nette disponible pour le réseau  $245\text{ kV}$  représente à puissance nominale environ  $93\%$  de l'énergie produite : la consommation optimale par kWh livré, c'est-à-dire celle que l'on enregistrerait en régime continu de pleine charge, si les réglages et l'état du matériel étaient exactement en ordre, serait voisine de  $2200\text{ cal}$ . (évaluée sur pouvoir calorifique inférieur); bien entendu cette valeur ne peut jamais être atteinte en exploitation et une majoration variable avec les conditions d'utilisation de la tranche, disons pour fixer les idées de l'ordre de  $4\%$ , doit être prévue pour couvrir les conséquences d'irrégularités de combustion, de vide défectueux ainsi que les dépenses de démarrage et d'essais.

Le diagramme (fig. 6) montre les variations de consommation réelle, en fonction de la puissance disponible pour le réseau : entre 100 et 50 % de charge le rendement de la chaudière baisse de 0,8 point et celui du groupe turbo-alternateur d'environ 1,8 point; l'augmentation relative de consommation des auxiliaires intervient pour 0,7 point dans la chute de rendement que reflète le diagramme. Les valeurs données sont basées, pour le matériel principal, sur les garanties de rendement imposées au Constructeur. Les essais de réception seront effectués en principe en février 1966.

L'incidence du site sur la consommation de chaleur, autrement dit la différence, évidemment positive, entre la consommation de la centrale thermique de Chavalon et celle d'une centrale de caractéristiques identiques qui, accolée aux Raffineries, utiliserait directement l'eau du Rhône est, pour un horaire moyen d'utilisation, de  $4500\text{ h}$ , centré sur la saison

d'hiver, d'environ  $3\%$  à répartir à peu près par moitié entre l'accroissement de consommation des auxiliaires et la diminution de chute de chaleur utilisable.

Le générateur de vapeur proprement dit et le groupe turbo-alternateur en service à Chavalon diffèrent très peu du matériel que Sulzer et Escher Wyss — Oerlikon ont livré ces dernières années pour l'équipement de grandes centrales thermiques, ces constructions sont suffisamment connues pour qu'il soit superflu d'en donner ici une description détaillée.

La technique d'emploi du combustible liquide pour le chauffage des générateurs évolue actuellement sous l'influence de recherches faites, tant pour accroître la sécurité que pour supprimer ou tout au moins réduire les corrosions à basse température.

Je donnerai quelques indications sur l'équipement de chauffe de Chavalon et sur les dispositions prises dans le fil des préoccupations que je viens de rappeler.

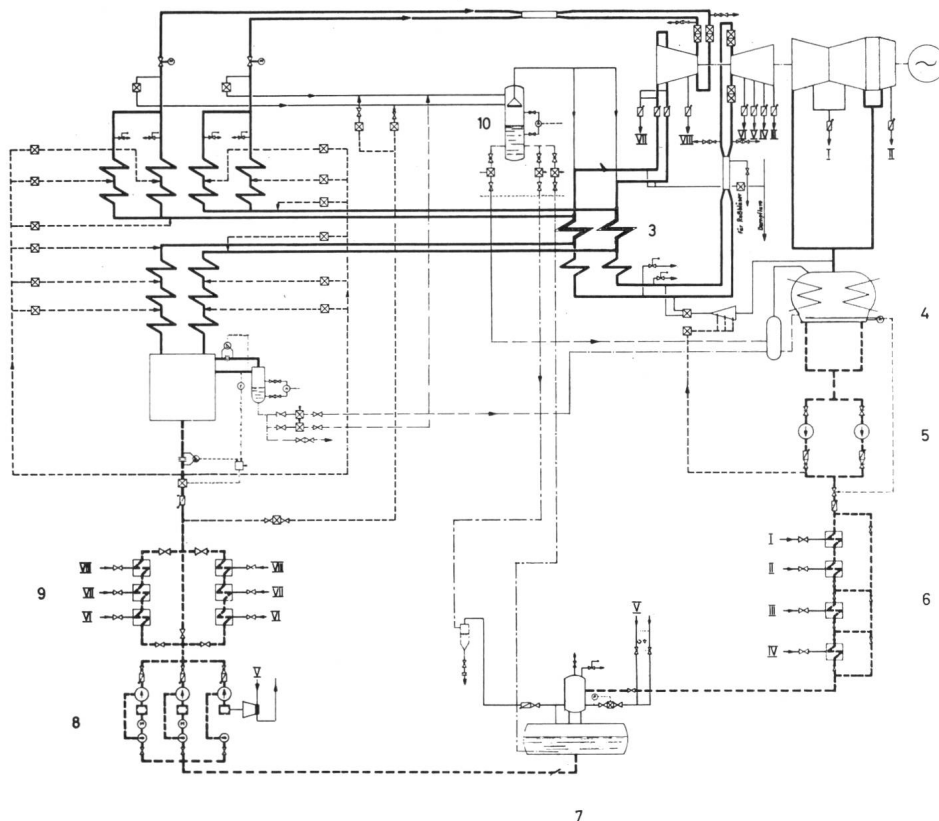
Le foyer est de conception «International Combustion»; il comporte 16 brûleurs du type à pulvérisation mécanique, à retour, répartis en quatre horizons et placés aux quatre angles de la chambre de combustion. Il consomme, à plein régime de la chaudière,  $32,5\text{ t/h}$  d'un combustible à  $9500\text{ kcal/kg P.C.I.}$ ; les pression et température du combustible à la tuyère du brûleur sont respectivement  $31,7\text{ kg/cm}^2$  et  $120^\circ\text{C}$ , donnant une viscosité du mazout de 12 à 15 cSt ( $2,1$  à  $2,4^\circ\text{E}$ ). L'air est fourni à la boîte à brûleur à la température de  $290^\circ\text{C}$ .

Le contrôle automatique de chauffe et le réglage interne de la chaudière sont assurés par le système électronique «Contronic» de Schoppe & Faeser. En régime normal, les flammes sont surveillées par 2 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 3 flammes coupe les feux et met l'ensemble des brûleurs en recirculation.

La télévision des flammes est prévue, mais l'installation n'a pas encore été réalisée. Cet équipement peut, pensons-nous, fournir d'utiles renseignements sur le comportement des brûleurs, en particulier lors du démarrage, mais elle ne joue pas de rôle notable en ce qui concerne la sécurité.

Il est bien connu que les disponibilités des générateurs de vapeur chauffés au mazout ont été sérieusement affectées par les corrosions des surfaces à basse température et notamment des réchauffeurs d'air. Mis à part le préchauffage de l'air de combustion et l'élévation systématique, au détriment du rendement, de la température des fumées à la base de la cheminée, l'injection d'additifs dans les flammes ou dans les fumées d'une part, la réduction de l'excès d'air de combustion d'autre part, constituent les deux moyens de lutte contre ces corrosions; le premier, le plus ancien, n'a pas toujours donné les résultats escomptés; les nombreux paramètres impliqués dans le processus de corrosion fournissent l'explication des discordances observées; en outre, ce procédé accélère l'encrassement des surfaces de chauffe et des ventilateurs de tirage; il nécessite de ce fait le ramonage et parfois le lavage des échangeurs intéressés; le second procédé, très prometteur et qui diminue aussi la consommation des auxiliaires, se heurte pour l'instant à diverses difficultés d'application: il faudrait réduire l'excès d'air jusque vers  $2\%$  et peut-être même  $1\%$  pour assurer une protection pratiquement complète: cette mesure, si l'on veut par ailleurs éviter la production d'imbrûlés solides ou gazeux, exige des équipements en jeu: doseurs d'air aux brûleurs,

1 chaudière 460 t/h, 190 kg/cm<sup>2</sup>; 2 turbo-générateur 150 MW; 3 resurchauffeur «Tri-flux»; 4 condenseur; 5 pompe d'extraction; 6 rechauffeur BP; 7 bache alimentaire; 8 pompe d'alimentation; 9 rechauffeur HP; 10 séparateur de bypass



analyseurs de O<sub>2</sub>, opacimètres, une précision qui n'est pas encore atteinte industriellement et qu'il restera sans doute difficile de maintenir à charge variable.

Il a été décidé d'installer à Chavalon un dispositif d'injection d'oxyde de magnésium et de fonctionner avec un excès d'air de combustion maximum de 5 % à pleine charge. Des essais seront entrepris pour déterminer les meilleures conditions de service, compte tenu de ce que la teneur en soufre du combustible utilisé restera inférieure à 1,7 %.

Cette évocation des difficultés dues au soufre s'achèvera sur le souhait que des recherches soient poursuivies, avec les moyens financiers et la volonté nécessaires au sein de groupements réunissant pétroliers, constructeurs de chaudières et exploitants de centrales, — car le succès est au prix d'une mise en commun des données, des expériences et des points de vue —, recherches ayant pour objectif la mise au point d'un procédé économique de réduction de la teneur en soufre du combustible jusqu'à une valeur suffisamment basse pour que son emploi ne pose plus en matière de corrosion ou de pollution atmosphérique que des problèmes mineurs.

Notons que parmi les diverses solutions qui sont raisonnablement à étudier figure celle qui comporte l'installation d'un atelier de désulfuration fournissant le combustible sous forme gazeuse au foyer suralimenté du générateur de vapeur.

L'étude de l'équipement électromécanique de la Centrale de Chavalon s'est attachée à satisfaire les exigences d'une disponibilité élevée; cette préoccupation qui a influencé d'une part, les schémas et le choix du matériel auxiliaire, d'autre part, les implantations relatives des équipements a aussi conduit à éliminer certaines solutions assurément attrayantes, mais qui, au moment de l'établissement du projet, ne paraissaient pas encore justifier d'une expérience suffisante, au moins en Europe; par exemple pour la chaudière, la chambre de combustion pressurisée; pour l'alternateur, l'excitation par courant alternatif redressé; pour les relays, la généralisation de l'électronique; pour la salle de commande le traitement des informations.

A propos des implantations relatives aux équipements, je rappellerai seulement que la concentration verticale répartissant certaines installations annexes entre les cotes -3,50 et +14,04 a permis de s'affranchir dans une certaine mesure des sujétions imposées par la faible surface disponible et en conséquence de construire large; toutes les machines auxiliaires: groupes motopompes divers, turbopompe alimentaire, réchauffeurs d'eau, équipement de compression et de régulation

de combustible, sont disposées de telle manière que leur accès soit facile, tant pour leur surveillance que pour leur révision. De même une attention particulière a été apportée à la distribution des circulations des personnes et du matériel: les monte-charge — chaufferie, l'ascenseur du bâtiment de commande desservent les différents niveaux en des points tels que la plupart des itinéraires de surveillance se trouvent sur des plans horizontaux.

La fig. 7 montre, extrêmement simplifié, le schéma thermique; on distingue les soutirages répartis comme suit: 2 sur le corps haute pression, 4 sur le corps moyenne pression et 2 sur la basse pression; la bache dégazante en charge sur les pompes nourricières des groupes d'alimentation et la turbopompe alimentaire qui reçoit normalement la vapeur motrice du soutirage 5; les éléments importants comportent une réserve installée; c'est ainsi qu'ont été prévus:

- 2 motopompes d'extraction, chacune dimensionnée pour le plein débit;
- 2 motopompes de circulation, chacune capable du demi-débit total; en fait les courbes débit-pression de la pompe et débit-perte de charge des circuits sont telles que, dans la fonctionnement en solo, les 2/3 environ du débit total sont encore assurés;
- 3 groupes motopompes haute pression/réchauffeurs, chacun pour 27 t/h pour l'injection de combustible aux brûleurs;
- 2 motopompes alimentaires de demi-débit et
- 1 turbopompe de plein débit.

Cette dernière installation doit faire l'objet de quelques développements:

Pour l'entraînement des pompes alimentaires, le constructeur de centrales thermiques a le choix entre trois solutions:

- a) le moteur électrique,
- b) l'arbre de la turbine principale,
- c) la turbine à vapeur auxiliaire.

Pour les puissances unitaires jusqu'à 125 MW à cycle modéré, le moteur électrique, dans les variantes, 2 pompes de plein débit, ou 3 pompes de demi-débit, fournit la formule à la



fois la plus simple d'installation et la plus facile d'exploitation; son rendement est relativement médiocre du fait de la cascade de transformations de l'énergie depuis et y compris l'alternateur jusqu'à l'accouplement de la pompe. Mais l'accroissement des puissances unitaires, donc du débit, permettant par ailleurs l'amélioration du cycle, dont l'augmentation des pressions fait que ce mode d'entraînement, compte tenu de l'interposition d'un variateur et d'un multiplicateur de vitesse, devient difficile et onéreux; pour fixer les idées, à plein débit, pour la Centrale Thermique de Chavalon, la pompe alimentaire absorbe 3 % de la puissance recueillie bornes-alternateur.

La turbine auxiliaire peut fournir une puissance maximum de 5000 kW à 5000 t/m; elle est dotée d'un condenseur indépendant.

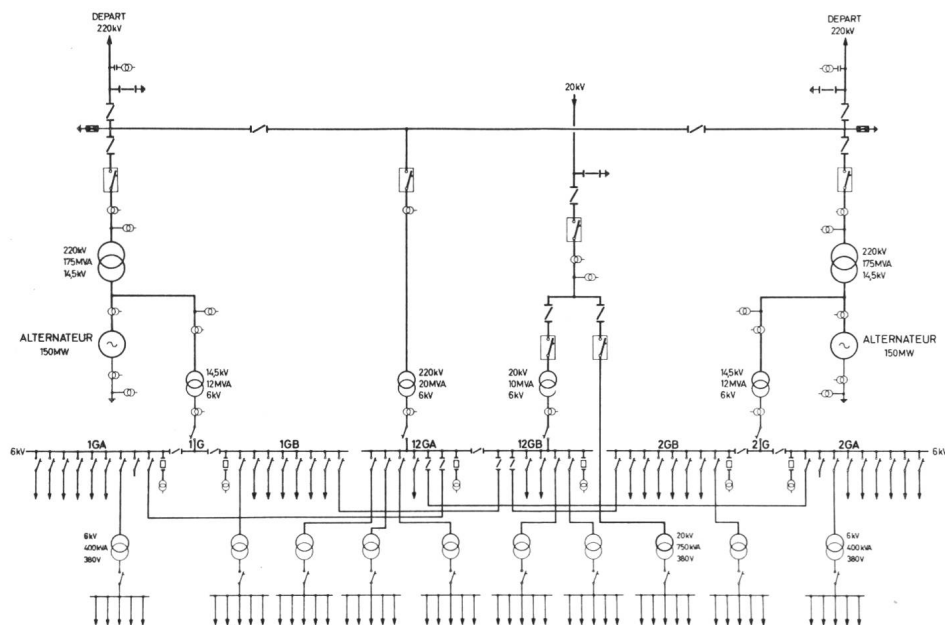


Fig. 8  
Schéma électrique unifilaire

- a) plafond de tension pendant 10 s pour 150 MVA, 700 V,
- b) temps de désexcitation (jusqu'à 10 % de la valeur nominale du courant d'excitation) env. 3 s.

La liaison entre alternateur et transformateur-élévateur est faite par un jeu de barres, dont chaque phase est placée sous gaines de protection en aluminium.

Les conducteurs profilés, en aluminium, de section totale 11000 mm<sup>2</sup> sont centrés dans les gaines et tenus sur des isolateurs par l'intermédiaire d'un montage souple; les gaines sont réunies entre elles à chacune de leur extrémité et mises à la terre en un seul point. Le champ dû au courant dans le conducteur induit dans la gaine un courant sensiblement de même valeur, en opposition de phase; les efforts électrodynamiques entre barres ou gaines de phases différentes sont pratiquement annulés, de même que les pertes dans les charpentes-supports. Les bornes des transformateurs sont recouvertes de capots étanches en tôle d'aluminium, sur lesquels les gaines se raccordent par l'intermédiaire de soufflets en caoutchouc.

Une dérivation également en barres gainées est prise entre alternateur et transformateur-élévateur pour alimenter le transformateur auxiliaire 12 MVA, 14,5/6 kV, dit de soutirage.

En service normal, les auxiliaires de tranche sont raccordés à ce transformateur; après le démarrage du groupe turbo-alternateur un changement de source d'alimentation des auxiliaires doit donc être effectué; la substitution est opérée par l'intermédiaire d'un équipement de commutation rapide avec comparateur électronique de phase, système BBC.

Les cellules 6 kV de chaque tranche sont du type blindé, elles sont équipées de disjoncteurs magnétiques, débouchables

BBC; elles ne comportent qu'un seul jeu de barres, mais celui-ci peut être sectionné en deux parties, chacune de ces parties alimentant l'une des deux lignes des auxiliaires doublés (motopompes, motoventilateurs).

D'une manière générale la sécurité interne de l'alimentation des auxiliaires 6 kV et 380 V est assurée par une répartition judicieuse de ceux-ci et une possibilité de secours mutuels.

Les auxiliaires basse tension essentiels à maintenir en cas d'incident qui priverait la tranche de toute tension sur les barres 6 kV (pompes à huile du groupe turbo-alternateur, vireur, chargeurs de batterie, pompe à incendie) dépendaient d'un tableau qui reçoit par commutation automatique la tension de secours provenant d'un transformateur 20/380 V, raccordé au réseau de la SRE.

Le réglage électronique du générateur de vapeur, les mesures, certaines tensions de commande, l'éclairage de la salle de commande et des salles de relais, sont reliés aux barres réglées 220/380 V d'un transformateur lui-même secouru par un convertisseur continu/alternatif de 30 kVA, c'est le réseau alternatif permanent.

Tous les moteurs sont à cage, à démarrage direct; les moteurs d'une puissance supérieure à 300 kVA fonctionnent sous 6 kV, ils sont de construction Sécheron; ils peuvent démarrer sous une tension minimum de 0,85  $U_n$  et supportent en régime permanent toute tension comprise entre 0,85  $U_n$  et 1,10  $U_n$ , leur tension de décrochage est d'environ 0,7  $U_n$ .

La salle de commande (fig. 9) qui occupe une position centrale dans le bloc-usine comporte pour chaque tranche un

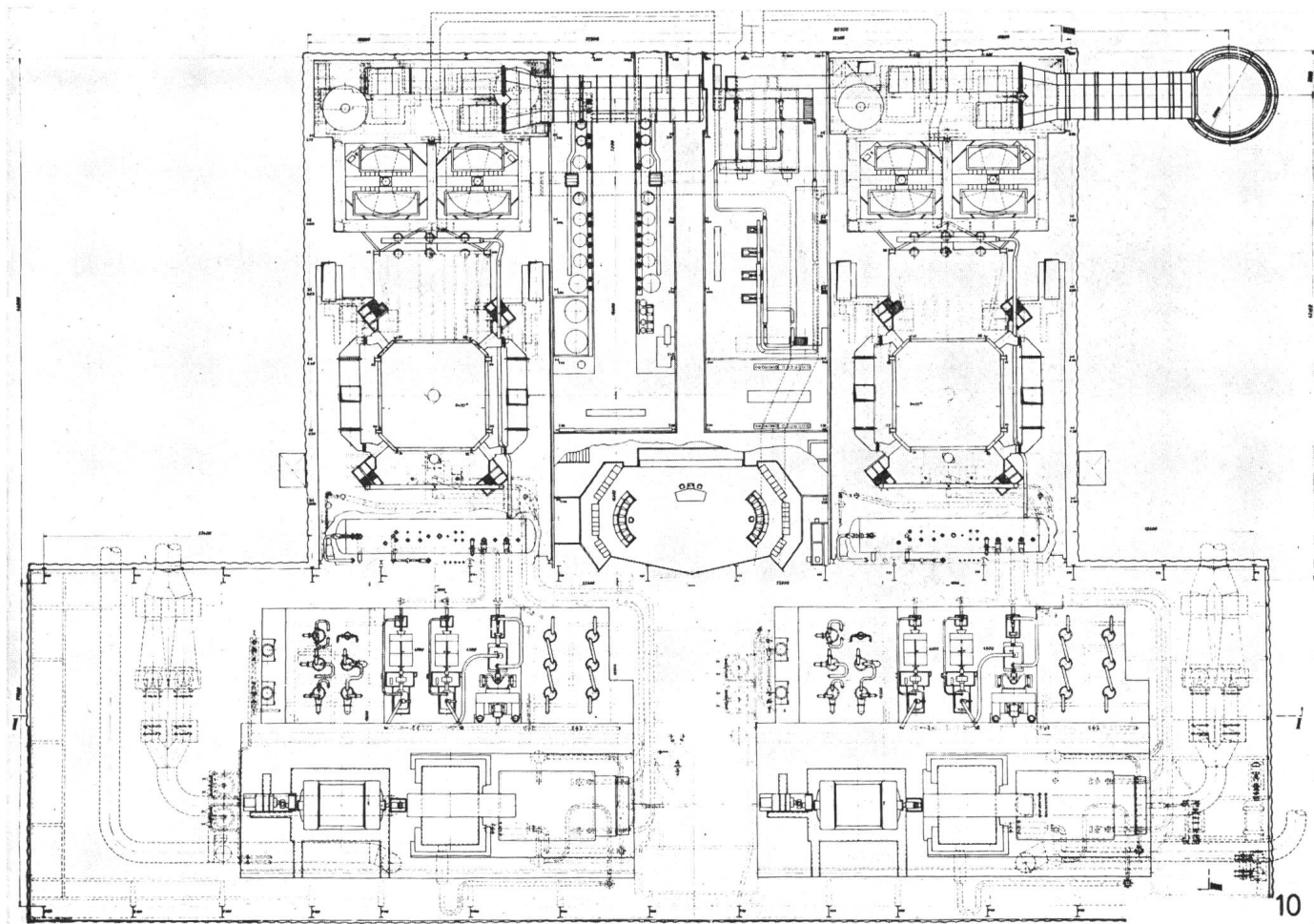


Fig. 9  
Vue en plan du bloc-usine

ensemble pupitre-tableaux et pour les services généraux un tableau disposé entre les deux tranches, elle utilise la technique miniature Siemens et s'écarte ainsi notablement des dispositions couramment rencontrées auxquelles on peut parfois reprocher l'encombrement des pupitres et l'emploi d'un matériel de commande lourd et difficilement accessible. J'insisterai cependant davantage sur la conception de cette salle que sur sa réalisation; elle garde les traits généraux classiques tant en ce qui concerne le caractère des commandes qu'elle permet d'opérer que celui des informations qu'elle reçoit; toutefois la tendance s'affirme de commander non plus un appareil isolément, mais une fonction intégrant dans une commande unique le processus complet du démarrage de l'appareil, c'est, fragmentairement, la commande séquentielle. Les informations transmises depuis les installations sont limitées aux grandeurs essentielles définies comme celles dont la connaissance est indispensable en permanence ou pendant les opérations de mise en service ou d'arrêt; exploité en service normal par un seul homme, le chef de bloc, l'ensemble pupitre-tableaux de tranche ne peut en effet pas être encombré d'indications qui, sans utilité immédiate, ne feraient que s'opposer à une bonne vue générale du fonctionnement du matériel; les ensembles auxiliaires importants: traitement d'eau, chauffage, sont dotés de tableaux locaux incluant des schémas synoptiques à partir desquels, seules les informations essentielles parviennent en salle de commande; les autres donnent lieu à un renvoi d'alarme, provoquant, sur instructions du chef de bloc, l'intervention locale du surveillant-rondier. Les grandeurs dont les valeurs ou les variations ne sont de nature ni à compromettre la continuité du service, ni à nuire à la conservation du matériel, au moins à courte échéance, font l'objet d'alarmes en général en deux stades, le premier apparaît immédiatement dès que la valeur de consigne n'est plus respectée; le second signale le déclenchement lorsque l'intervention a été inopérante ou trop tardive; des tableaux placés près des machines tournantes auxiliaires importantes permettent au rondier de surveiller le détail des opérations de mise en service ou encore de procéder aux contrôles de routine.

Les services auxiliaires généraux sont installés comme cela a déjà été dit, 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.

Construites pour une pression de  $15 \text{ kg/cm}^2$  et une température d'eau de  $150^\circ\text{C}$ , les chaudières à eau surchauffée peuvent fournir  $8 \cdot 10^6 \text{ cal/h}$ . 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.

Lorsque la température ambiante est supérieure à  $-10^\circ\text{C}$ , 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 comporte deux installations: dans la première est traitée la quasi totalité de l'eau prélevée au canal Stockalper, dans la seconde seulement l'eau destinée à la compensation des pertes du circuit du condensat. La première est dimensionnée pour un débit maximal continu de  $600 \text{ t/h}$ , 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 d'autre part, la seconde installation, c'est-à-dire la déminéralisation totale, celle-ci constituée de deux chaînes de capacité de  $25 \text{ t/h}$ ; chacune est du type classique, échangeurs de cations et d'anions, lit mélangé, régénération par soude caustique et acide chlorhydrique; les installations sont très largement automatisées. Les consommations moyennes-horaire sont respectivement pour chaque circuit  $400 \text{ t}$  et  $12 \text{ t}$ .

Le parc de stockage des combustibles comporte trois réservoirs: deux de  $5000 \text{ m}^3$  chacun, réservés au fuel lourd et un de  $1500 \text{ m}^3$  réservé au gasoil. Les réchauffeurs équipant les réservoirs permettent d'amener le mazout à  $90^\circ\text{C}$  à l'entrée de la station des pompes de reprise; laquelle comporte 3 pompes à vis servant de pompes nourricières au poste de compression-réchauffage des chaudières principales.

Le parc à combustibles est le terminal d'un ouvrage de transport qui, pour l'alimentation d'une centrale thermique, peut revendiquer une certaine originalité.

Les données de ce transport étaient:

a) débit moyen à assurer	65 t/h avec maximum de l'ordre de 100 t/h
b) distance	10,5 km
c) dénivellation totale entre départ et arrivée	462 m
d) viscosité du combustible à $100^\circ\text{C}$	variable entre 34 et 310 cSt
e) point de congélation (pour point)	$+45^\circ\text{C}$
f) température à prévoir pour le transport:	$110/120^\circ\text{C}$

La situation géographique, la disposition des propriétés le long du seul parcours possible et l'obligation d'en ménager les accès interdisaient pratiquement, en plaine, le passage en superstructure; la nature des terrains traversés (zones de tourbe), le niveau élevé de la nappe phréatique, rendaient onéreuse et peu sûre l'adoption des techniques du chauffage urbain. Les conditions de pompage ne pouvaient guère être satisfaites dans le cas d'une station unique que par des machines alternatives.

L'oléoduc, dans la version adoptée, est constitué comme suit: Dans la partie en plaine, soit sur 9,3 km, la conduite est enterrée. Elle comporte:

- a) 2 tubes concentriques, soit
  - 1 tube intérieur en acier X 42 de  $\varnothing 181,1/193,7 \text{ mm}$ ,
  - 1 tube extérieur de  $\varnothing 395,2/406,4 \text{ mm}$ , celui-ci revêtu à l'extérieur, pour sa protection contre l'agressivité du sol, de voile de verre et bitume.

Des pièces d'écartement tous les quatre mètres guident le déplacement axial du tube intérieur; dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, donc sur une épaisseur de 100 mm, une poudre isolante «Pulvinsul» a été mise en place. La dilatation est absorbée par des compensateurs (lyres) placés dans des fosses étanches exécutées en béton sur les parois desquelles s'arrêtent les tubes extérieurs; des manchettes flexibles constituent des joints pour la poudre isolante entre tuyauterie extérieure et compensateur à l'intérieur des fosses, les lyres sont revêtues d'un calorifugeage de type classique.

b) Les points fixes sont constitués par une bride solidarissant le tube intérieur au tube extérieur, ce dernier étant simplement maintenu en place par le frottement dans le terrain.



Dans la partie ascendante, soit sur 1 km, la conduite est à l'air libre, parallèle à la conduite de refoulement d'eau du canal Stockalper et à la conduite de restitution des eaux usées, mais posée sur sellette indépendante; elle est constituée de 8 segments comportant chacun un tube intérieur de mêmes caractéristiques que celui du tronçon en plaine et un tube extérieur dont les diamètres ont été portés à 444,6/457,2 mm, de manière à augmenter l'épaisseur de poudre isolante. Pour chaque segment, 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, le tube extérieur est interrompu à chaque lyre. Dans la centrale, la conduite enterrée à nouveau sur une certaine longueur repasse à l'air libre pour se raccorder à la robinetterie des réservoirs par des joints à rotule Barco. Pour l'ensemble de l'oléoduc, 54 compensateurs, d'envergure variant de 5 à 11 m, ont été utilisés.

L'ouvrage comporte deux stations de pompage, l'une implantée aux Raffineries, l'autre près du canal Stockalper, à 8,9 km de la première dans un bâtiment qui abrite également les deux motopompes refoulant l'eau d'appoint à la centrale.

Chaque station est équipée de deux groupes centrifuges à deux étages, entraînés chacun directement par moteur électrique de 170 kW à 2970 tr/min. Les quatre pompes sont identiques, toutefois leur réchauffage est assuré aux Raffineries par circulation de vapeur, au canal Stockalper par câbles électriques chauffants. Le débit de l'oléoduc varie de 60 à 110 t/h, selon que les schémas de pompage réalisés incluent 2, 3 ou 4 pompes en série. La mise en service de l'ouvrage nécessite un réchauffage à 90/100 °C; on utilise à cet effet un fuel mi-lourd, dont le point de congélation est de -10 °C, l'opération de réchauffage dure 3 h. Il n'a pas été prévu d'équipement de réchauffage entre les Raffineries et la Centrale, aussi pour éviter le colmatage de l'oléoduc, faut-il prendre soin, soit de limiter à une vingtaine d'heures l'arrêt de pompage, soit, lorsqu'un arrêt de plus longue durée est prévu, de remplir la conduite de gasoil.

L'oléoduc est doté d'une installation de nettoyage par piston-racleur, 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 de télécommandes et de télémessures qui permettent de surveiller depuis la centrale les deux stations de pompage et de varier le nombre de pompes en opération; toutefois les mises en service et les arrêts de l'oléoduc exigent une surveillance locale.

Je terminerai par quelques indications sur l'organisation du personnel de la Centrale, valable pour les deux tranches: à la tête sont un directeur et un directeur-adjoint, assistés de trois ingénieurs, chefs respectifs des Services d'exploitation, tech-

nique et entretien, chacun de ceux-ci comportant lui-même deux sections:

Pour l'Exploitation:

Transport et stockage des combustibles, production d'énergie.

Pour le Service Technique:

Appareillage et contrôle économique, chimie.

Pour l'Entretien:

Préparation du travail et gestion des magasins, exécution.

La section «Production» du Service d'Exploitation est constituée de quarts comportant un chef de quart pour les deux tranches et par tranche un chef de bloc; ce dernier réside en permanence dans la Salle de commande, il dispose de trois surveillants rondiers affectés, l'un à la Salle des machines, l'autre à la chaudière, le troisième aux auxiliaires communs. Les rondiers restent en liaison avec la Salle de commande grâce à un réseau de téléphones et d'interphones, installé le long des itinéraires qui leur sont assignés.

La section «Appareillage» «Contrôle Economique» du Service Technique effectue les contrôles de routine de rendement des installations et assure l'entretien et la bonne marche des appareils de mesure spéciaux et de régulation.

La section «Chimie» est chargée de la production de l'eau d'appoint, de la surveillance de qualité de l'eau du cycle et de l'eau du circuit des condenseurs ainsi que des divers contrôles chimiques des installations.

Le section «Exécution» du Service d'entretien comporte les sous-sections électricité, mécanique et chaudronnerie. Lors des révisions générales, elle est renforcée par le personnel des constructeurs et par des éléments locaux.

L'effectif total de la Centrale de Chavalon sera de 105 personnes, étant entendu d'une part, que la Centrale sera à l'arrêt pendant 4 à 5 mois par an et que d'autre part, les activités purement administratives ou commerciales seront reportées au siège social de CTV.

L'effectif d'une centrale n'est pas indépendant des idées générales qui en ont inspiré la réalisation; le personnel de production varie en nombre, selon le degré d'automatisation des fonctions de surveillance, le personnel d'entretien selon le degré d'autonomie conféré à la Centrale en particulier, selon la politique pratiquée pour l'approvisionnement des pièces de rechange, pour l'aménagement de l'atelier d'entretien selon les conditions de recours au personnel spécialisé des constructeurs.

Dans tous les cas, la conduite, au sens général du terme, d'une centrale thermique, telle que Chavalon, exige impérativement qu'un très grand soin soit apporté à la formation et à l'entraînement du personnel du haut en bas de la hiérarchie.

Adresse de l'auteur:

A. Monprofit, ingénieur-conseil de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, 12, Place de la Gare, 1003 Lausanne.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Betriebserfahrungen mit der ersten grossen Generatoreinheit: Dampf- mit Gasturbine

621.165 : 621.438

[Nach T. H. George: The World's First Large Combined Cycle (Steam Turbine — Gas Turbine) Generating Unit: How Is It Doing? IEEE Transact. on Power App. and Systems 84(1965)12, S. 1182...1186]

Im Juni 1963 hat die Oklahoma Gas and Electric Co. eine neuartige Kombination einer Dampfturbine mit einer Gasturbine

in Betrieb genommen, wobei die Abgase der Gasturbine die gesamte Verbrennungsluft für den Dampfkessel liefern. Es erübrigt sich dadurch die Vorwärmung der Luft. Damit kommt zur Leistung des Dampfturbinengenerators von 258 MVA noch eine elektrische Leistung des Gasturbinengenerators von 32 MVA hinzu. Man erhoffte sich von der Kombination der beiden Maschinen eine verbesserte Energieausnutzung des Naturgases von mindestens 4 %.