

BIBLIOGRAPHIE

L'ÉVOLUTION DES GRANDES CENTRALES THERMIQUES. — Numéro hors-série de la Revue *Science et Industrie*.

Consacré à l'évolution des grandes centrales thermiques, le numéro spécial publié en 1938, par l'excellente revue technique française *Science et Industrie*, est un in-folio de 220 pages, d'une exécution très soignée, contenant de très nombreuses et très belles illustrations, plans, cartes, diagrammes, schémas et clichés photographiques.

L'importance du rôle des centrales thermiques, dans l'économie nationale, est très brièvement exposée dans un éditorial servant d'introduction à l'ouvrage, auquel ont collaboré des spécialistes éminents. Ce rôle reste considérable en France, malgré la puissance croissante des moyens de production de l'énergie électrique, de provenance hydraulique. Non seulement il importe d'y maintenir un juste équilibre entre les deux modes de production de cette énergie, mais les centrales thermiques peuvent jouer, dans les grands réseaux interconnectés, grâce à leur souplesse d'exploitation, un rôle régulateur indispensable pour parer aux irrégularités saisonnières ou accidentelles des sources d'énergie hydraulique.

En 1935, la même revue a publié, sous le titre « L'énergie électrique en France », un numéro consacré aux centrales hydrauliques et au réseau d'interconnexion. Elle a tenu à réunir dans un nouveau numéro hors-série, d'une part, une vingtaine d'articles consacrés chacun à une des questions intéressant la technique des centrales thermiques, montrant les progrès réalisés; notamment par l'utilisation de très hautes pressions et de températures de surchauffe élevées, ainsi que par l'emploi de groupes turbo-alternateurs de plus en plus puissants; d'autre part, une série de monographies où le lecteur trouvera la description sommaire, les caractéristiques thermiques, mécaniques et électriques, ainsi que la situation topographique et le rôle économique, de chacune des grandes centrales thermiques françaises.

Je ne pouvais songer à résumer ici, ni ces monographies qui fournissent une documentation généralement complète et d'un grand intérêt, ni toutes les études théoriques ou techniques, dans lesquelles des personnalités compétentes exposent les progrès réalisés pendant ces dernières années, tant en France qu'à l'étranger. Les auteurs de

ces études y examinent la nature et les conséquences de ces progrès, qui ont été poursuivis et rendus possibles grâce à des perfectionnements récents, réalisés notamment dans la métallurgie en vue de satisfaire les exigences de l'industrie électrique, et dont d'autres industries ont également bénéficié.

Quelques articles non signés, d'ailleurs accompagnés de renseignements bibliographiques indiquant l'origine de la documentation utilisée, rendent compte de l'état des questions examinées, dans quelques pays étrangers. Il me suffira de citer les titres de ces articles :

Etat actuel de la technique de la vapeur en Allemagne;

La Centrale thermique de 120.000 kw. de Fulham;

Les tendances actuelles dans les Centrales thermiques des Etats-Unis;

Et une documentation américaine sur les foyers de chaudières.

Ci-après, je passerai en revue très brièvement chacun des douze mémoires originaux qui forment la partie essentielle de l'ouvrage examiné. Leur ensemble constitue une remarquable mise au point des questions traitées dans ces mémoires, de l'état actuel des centrales thermiques et des perfectionnements dont elles restent susceptibles.

I. — EVOLUTION TECHNIQUE DES CENTRALES THERMIQUES, par M. Mancy.

D'après M. Mancy, Ingénieur-Conseil à l'U. D. E., la puissance totale des génératrices françaises d'électricité, qui n'était que de 40.000 kw. en 1910, atteint actuellement dix millions de kw., dont un tiers dans les usines hydrauliques et deux tiers dans les centrales thermiques.

Après un bref rappel des conditions de production de l'énergie thermique à la fin du siècle dernier, l'auteur fait mention des premières applications de la turbine de Laval, à roue unique, vers 1883 et de la turbine Parsons, à condensation, en 1892; puis il rend un hommage mérité à l'étude très remarquable publiée en 1897 par Auguste Rateau dans la *Revue de Mécanique* et au traité de Stodola sur les turbines à vapeur, 3^e édition, qui date de 1905.

Il note que l'usine de Saint-Denis, équipée avec des turbo-alternateurs de cinq à six mille kw., a été mise en route en 1905 et montre la progression rapide :

de la puissance des unités génératrices, 15.000 kw. en 1914, à Saint-Ouen; 55.000 kw. en 1931, à la centrale Arrighi, et 50.000 kilowatts en 1933, à Saint-Denis II;

de la pression de marche des chaudières : 18 kg./cm² en 1914, 39 en 1931 et 70 en 1933;

de la température de la vapeur surchauffée : 350°-375° en 1914, 450-475 en 1931 et 465-480 en 1933.

Dans une suite de paragraphes, M. Mancy passe en revue les principaux progrès réalisés, parmi lesquels je citerai :

l'augmentation du rendement, qui a réduit de moitié la dépense de charbon par kilowatt-heure;

l'augmentation de la puissance unitaire des turbines et des chaudières;

la sécurité de fonctionnement due au fait que « malgré l'accumulation des difficultés, la turbine à vapeur est maintenant remarquablement robuste »;

la souplesse de fonctionnement, rendue nécessaire par l'interconnexion des réseaux et par la défaillance toujours possible, d'une ligne à haute tension ou d'un groupe producteur de grande puissance.

Examinant les voies ouvertes au développement ultérieur des centrales thermiques à grand rendement, M. Mancy se contente de citer diverses questions qui sont traitées plus longuement par les autres collaborateurs de *Science et Industrie*. Il termine son article en rappelant la mémoire de deux ingénieurs éminents, MM. Arrighi de Casanova et Nicolini.

II. — L'EVOLUTION DE LA CHAUDIERE A VAPEUR MODERNE, par M. Lorain.

La recherche de l'économie d'exploitation et de l'amélioration du rendement propre de la chaudière et de la turbine ayant conduit à l'adoption de pressions et de températures élevées, M. Lorain constate d'abord que « la résistance des aciers à haute température limite à un peu plus de 500° le maximum de température réalisable pratiquement, à moins que l'on emploie des aciers spéciaux coûteux ».

A propos de l'amélioration du rendement du générateur, l'auteur signale le chauffage de l'eau d'alimentation à 150° environ; la

réduction des pertes à la cheminée par la diminution de l'excès d'air; l'utilisation des réchauffeurs d'air, qui portent la température de celui-ci à 100 ou 200°, ce qui augmente la température de combustion et rend nécessaire la protection des parois; la réduction des pertes par imbrûlés et des pertes par rayonnement.

Une simplification du service a été obtenue par un accroissement considérable des dimensions unitaires, qui a fait passer la production horaire de vapeur des chaudières, de 10 à 15 tonnes à plus de 100 tonnes.

Le lecteur trouvera dans l'article très complet et très intéressant de M. Lorain, un tableau donnant les caractéristiques de quelques chaudières de construction récente, installées dans des centrales françaises et étrangères, des coupes de ces chaudières et de nombreux diagrammes, notamment ceux de Munzinger.

L'application des pressions et des températures élevées soulève des difficultés spéciales, parmi lesquelles je signalerai : les tensions résultant des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur des tubes vaporisateurs; le fait que tous les métaux et en particulier les métaux ferreux perdent une partie de leur résistance à haute température; l'obligation d'assumer une circulation régulière, et l'importance de la qualité de l'eau d'alimentation.

Toutes ces questions sont étudiées dans l'article de M. Lorain. D'après cet auteur, les constructeurs s'en tiennent autant que possible à l'acier au carbone, malgré les qualités remarquables des aciers spéciaux, à cause de leur prix trop élevé.

A propos du traitement de l'eau d'alimentation, il rappelle que « l'emploi de l'eau distillée, généralisé dans toutes les grandes centrales, ne suffit pas à donner la sécurité, car l'eau distillée n'est jamais exempte de tout produit minéral, et l'eau pure attaque le fer ». D'où la nécessité de combattre les incrustations, en maintenant dans l'eau une certaine teneur en carbonates alcalins, en éliminant par le dégazage l'oxygène dissous dans l'eau et, enfin, en surveillant de très près la valeur du pH.

M. Lorain s'occupe ensuite du réglage de la surchauffe et de la séparation de l'eau et de la vapeur; puis il décrit quelques générateurs de type normal, notamment ceux de la centrale Saint-Denis II, Arrighi, chauffés au charbon pulvérisé, timbrés à 35 kgs, 2.675 m² de surface de chauffe, température de surchauffe de 450°.

Il consacre la dernière partie de son intéressant mémoire à quelques chaudières spéciales, systèmes Velox, Löffler, Benson, Sulzer et La Mont, dit quelques mots seulement des chaudières à vapeur de mercure et déclare dans ses conclusions « qu'avec les progrès de la métallurgie, nous verrons se généraliser les installations à 100 kgs/cm², avec une température de 525 à 550° ».

III. — LES ACCUMULATEURS DE CHALEUR DANS LES CENTRALES THERMIQUES, par M. Marchand.

La réduction du volume d'eau des chaudières ne leur permettant plus de jouer le rôle d'auto-accumulateur de chaleur et de parer ainsi aux variations rapides de la charge, il est actuellement nécessaire de leur adjoindre des accumulateurs de vapeur ou d'eau chaude, afin d'assurer le passage des pointes et de compenser ces variations.

Ces accumulateurs interviennent : soit par un envoi d'eau chaude aux chaudières, ce qui entraîne l'obligation pour celles-ci de fournir un supplément de vaporisation et, pour les turbines, de supporter un surcroît de charge; soit par un dégagement de vapeur, provoqué dans l'accumulateur par une baisse de pression. Dans ce cas, on peut utiliser cette vapeur ou bien dans des turbines spéciales de pointe, ou bien dans des turbines à deux vapeurs, qui reçoivent la vapeur vive des chaudières dans les étages H. P. et la vapeur des accumulateurs dans les étages B. P.

Les accumulateurs de chaleur constituent dans toutes les centrales une réserve momentanée et une assurance contre la panne; ils sont spécialement nécessaires dans les centrales mixtes, destinées à la fois au chauffage urbain et à la fourniture de l'énergie électrique, et dans les centrales de traction, toujours exposées à des pointes instantanées imprévisibles.

A titre d'exemple, M. Marchand cite la centrale municipale de Malmoë, en Suède, où deux accumulateurs Ruths, de 225 m³, timbrés à 7 kgs, alimentés par une petite chaudière électrique, emmagasinent une réserve de 3.800 kwh., utilisables en 50 minutes dans une turbine de 3.750 kw. à deux vapeurs; celle-ci tourne à vide, en marche normale, alors que la centrale est alimentée par une ligne hydro-électrique; elle est mise en charge automatiquement, en cas de rupture de cette ligne.

IV. — LA REGULATION AUTOMATIQUE DES CHAUDIERES A VAPEUR, par M. L. Courtois.

D'une part, les variations de la charge influencent défavorablement le rendement des chaudières, d'autre part, le réglage du combustible, de l'air primaire et secondaire, ainsi que le maintien du niveau de l'eau rendent très ardue la tâche du chauffeur, qui peut difficilement surveiller tous les appareils indicateurs ou de contrôle et opérer en temps opportun et simultanément les différentes opérations de réglage.

C'est ce qui a rendu nécessaire l'adoption de procédés de régulation semi-automatiques ou complètement automatiques, qui remplacent le réglage manuel et dont l'action est simultanée.

M. Courtois décrit successivement le dispositif semi-automatique en fonctionnement à Issy-les-Moulineaux et une dizaine d'autres systèmes complètement automatiques, à transmissions électrique, hydraulique ou pneumatique; il donne des schémas de ces systèmes; il note que le problème se présente différemment selon qu'il s'agit d'une chaufferie neuve ou déjà existante; il fait observer qu'il peut suffire, dans le cas d'une batterie de chaudières débitant sur un même collecteur, de n'en régler qu'une, dite chaudière de pointe; que d'ailleurs « toutes les installations de régulation automatique de la chauffe prévoient le réglage à la main, en cas de défaillance momentanée du matériel ».

V. — LE CYCLE THERMIQUE. SON RENDEMENT. SES LIMITES, par M. Chambadal.

L'article de M. P. Chambadal, Ingénieur-mécanicien de l'Université de Gand, mériterait un compte-rendu plus détaillé et plus complet que celui que je puis lui consacrer ici. C'est une très belle et très savante étude théorique du cycle thermique, synthèse des différentes transformations de la vapeur au cours de son évolution.

L'auteur rappelle d'abord la théorie de Carnot et la formule

$$\rho = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \text{ qui donne la valeur limite du rendement du cycle}$$

thermique, entre les températures absolues T_1 et T_2 , lorsque l'évolution du fluide moteur est telle que les changements de température se produisent le long de droites à entropie constante ou adiabatiques, condition qui n'est pas réalisable dans la pratique.

Examinant ensuite le cycle de Rankine, à vapeur saturée, il montre que pour $T_2 = 303^\circ$, ce qui correspond à 30°C , le rendement passe par un maximum pour $T_1 = 623^\circ$ ou 350°C , et que la valeur de ce rendement est donnée, à moins de 1 p. c. près, par la formule parabolique suivante, entre les limites $T_1 = 373^\circ$ à 623° , ou $t_1 = 100^\circ\text{C}$ à 350°C :

$$\rho = 0,403 - 3,61 \times 10^{-6} (623 - T_1)^2.$$

Il établit aussi que la différence entre les rendements du cycle de Carnot et du cycle de Rankine à vapeur surchauffée est encore plus élevée que dans le cas où la vapeur est saturée à son entrée dans la turbine; mais il fait remarquer, à ce propos, que ce qui importe pour l'appréciation pratique d'un cycle, ce n'est pas la comparaison des rendements théoriques, mais la valeur du rendement propre de ce cycle.

M. Chambadal étudie successivement : l'influence de la pression et de la température initiale de la source chaude; celle de la source froide (température finale ou vide au condenseur), le cycle à prélèvement continu de vapeur, pour le réchauffage de l'eau d'alimentation, qui conduit à un accroissement du rendement de 12 à 28 p. c., sensible surtout aux pressions élevées; le cycle à résurchauffe, qui comporterait théoriquement le réchauffage continu de la vapeur, au cours de sa détente dans la turbine, mais ne comprend pratiquement qu'une seule opération de résurchauffe; le cycle à contrepression, utilisé dans certaines industries, où on a besoin d'énergie thermique, et dans les centrales mixtes, fournissant l'énergie électrique et le chauffage urbain; et enfin, le cycle à soutirage, combinaison du cycle à combustion et de celui à contrepression.

Il consacre encore un bref paragraphe au cycle à plusieurs fluides, dont le rendement peut dépasser notablement celui d'une installation utilisant la vapeur d'eau comme fluide moteur, et termine son important mémoire par quelques considérations pratiques, relatives au choix de la pression de vapeur, de la température de surchauffe, du vide au condenseur, du réchauffage de l'eau d'alimentation, de la résurchauffe et du fonctionnement à contrepression ou à soutirage.

Après quelques exemples, choisis notamment à Langerbrugge, à Witkowice et dans des centrales françaises et américaines, l'auteur formule quelques prévisions générales quant au futur développement des centrales thermo-électriques et spécialement des installations uti-

lisant, en plus de l'énergie électrique, des quantités importantes de chaleur pour le chauffage.

VI. — LE PROGRES DE LA TURBINE A VAPEUR, par G. Bricard.

L'auteur qualifie de pré-industrielle la période comprise entre, d'une part, 1880, date de la création de la turbine à vapeur d'action à un seul disque par de Laval, suivie bientôt de l'invention par Charles Parsons du principe fécond de la subdivision de la détente, et, d'autre part, l'Exposition universelle de 1900, qui a marqué « l'apogée de la machine alternative à vapeur et l'entrée de la turbine dans le domaine industriel, d'où elle devait chasser la précédente ».

Il rappelle qu'en 1900, la machine à vapeur à allure très lente, 70 tours par minute, ne dépassait pas 5.000 ch., consommait par cheval-heure 5 kgs de vapeur à moins de 15 kgs et avait un rendement total de l'ordre de 13 p. c.

Après un bref historique des progrès réalisés par les turbines depuis 1900, qui lui donne l'occasion de citer les noms d'Auguste Rateau, de Zoelly et de Curtiss, M. Bricard signale l'existence d'unités de plus de 200.000 kw. et de rendements tels que l'on obtient « en énergie disponible sur les feeders de l'usine, plus de 30 p. c. de celle qui est libérée par la combustion du charbon ».

Il expose ensuite une théorie sommaire de la turbine à vapeur, caractérisée par le peu d'importance des pertes extérieures et le fait que les pertes se retrouvent surtout sous forme de chaleur incorporée à la vapeur d'échappement. Il examine successivement, dans une série de paragraphes, la turbine d'action à disques de Rateau, la turbine à tambour à réaction de Parsons, la turbine à étages de vitesse de Curtiss.

Son étude des pertes dans les turbines est particulièrement développée; il y montre les causes de ces pertes, l'influence défavorable de la vitesse de sortie de la vapeur et l'importance des fuites dans les turbines à réaction. Il discute ensuite les questions ci-après, que je ne puis qu'énumérer en notant pour chacune d'elles quelques renseignements particulièrement dignes d'intérêt :

Turbines mixtes comportant une région à haute pression, fonctionnant par action, et une à basse pression, fonctionnant par réaction.

Utilité des grandes vitesses de rotation. — En Europe, on utilise surtout le courant triphasé à 50 périodes; d'où il résulte que les alternateurs bipolaires doivent tourner à 3.000 t./min. et les tétrapolaires à 1.500 t./min.

Puissance maximum réalisable avec un nombre de tours déterminé. — Cette puissance dépend, pour une vitesse de rotation imposée, de 3.000 t./min. par exemple : 1°) du diamètre du dernier disque, limité actuellement par la vitesse périphérique, qui ne peut excéder 370 m./sec.; 2°) du débit volumétrique de la vapeur et de la pression au condenseur; 3°) de la température et de la pression de la vapeur à l'admission.

Actuellement, on construit des turbines à 3.000 t./min. d'une puissance de 20.000 kw.; la même vitesse périphérique permet de donner aux turbines à 1.500 t./min. des dimensions deux fois plus grandes et des surfaces quadruplées, ce qui permet d'atteindre 80.000 kw. avec un seul corps.

Turbines à double flux. Turbines à évacuations multiples. — A ce sujet, l'auteur donne les coupes et la description du groupe de 160.000 kw. de Hellgate (New-York) comprenant une turbine H. P. à simple flux et une turbine B. P. à double flux, actionnant chacune des arbres et des alternateurs différents. Il décrit aussi deux groupes de 50.000 kw. de la Société d'Electricité de Paris, dont les turbines à haute et basse pressions sont montées sur le même arbre que l'alternateur.

Turbines de faible puissance. — La réalisation économique des turbines de faible puissance est malaisée, si on leur impose la vitesse habituelle de 3.000 t./min.; en effet, pour les puissances inférieures à 15.000 kw., elles ont à peu près les mêmes proportions et le même coût; de plus, les pertes par fuites deviennent très considérables.

La solution, adoptée également pour les navires de guerre et les grands paquebots comme le « Queen-Mary », consiste à faire tourner la turbine plus vite, par exemple à 6.000 t./min., et à utiliser une transmission par engrenages pour l'alternateur.

Rendement des turbines. — Alors que le rendement d'un étage est de l'ordre de 80 p. c., celui de la turbine peut atteindre 85 p. c., les pertes de chaque étage se transformant en énergie calorifique, utilisable dans les étages suivants.

Superposition. — Ce nom a été donné par les américains à un procédé de transformation des centrales, qui comporte le remplace-

ment des anciennes chaudières à moyenne pression par des générateurs de vapeur à très haute pression, et l'installation de turbines à contrepression, recevant cette vapeur, et dont la décharge alimente les anciennes turbines.

Construction des turbines. — Dans un dernier chapitre, consacré à la construction des turbines, M. Bricard passe en revue successivement :

Le *stator*, pièce de moulage jadis en fonte, pour laquelle il est maintenant nécessaire d'ajouter à l'acier du chrome, du vanadium et du molybdène; on évite les épaisseurs inégales, on supprime les brides et on rapporte parfois les tubulures par soudure; certains *stators* pour turbines « superposées » à très haute pression sont à double enveloppe; dans l'espace annulaire s'établit la pression d'un étage intermédiaire, ce qui permet de réduire l'épaisseur des parois.

Le *rotor*, qui est en acier forgé au chrome et au nickel, avec addition de vanadium ou de molybdène. Notons une circonstance favorable, résultant du fait que les disques recevant la vapeur à haute pression et à température élevée sont de diamètre moindre que ceux qui sont voisins de la décharge, où la vapeur est à basse température.

Les *aubages*, d'abord en laiton, sont construits en acier inoxydable chrome-nickel; l'auteur donne quelques détails sur leur mode de fixation.

Il s'occupe encore des vibrations des turbines, de leur vitesse critique et de leur régulation, qui peut être obtenue notamment par étranglement de la pression d'admission ou bien en réglant l'introduction de la vapeur vive à un étage intermédiaire.

Après une brève mention de la salissure des ailettes par des sels de sodium, qui réduisent la section de passage de la vapeur et la puissance de la turbine, il conclut que les progrès réalisés depuis trente ans sont immenses, que la puissance unitaire des turbines a dépassé 200.000 kw., que le rendement calorifique, primitivement de 10 p. c., atteint aujourd'hui 25 p. c. et a même dépassé 50 p. c. dans certaines centrales, ce rendement étant d'ailleurs calculé en rapportant l'énergie électrique, fournie aux *feeders*, au pouvoir calorifique du charbon consommé pendant une longue période de fonctionnement.

VII. — LA SOUDURE A L'ARC ELECTRIQUE DANS LES CENTRALES THERMIQUES, par M. R. Woïrin.

Parmi les avantages signalés par l'auteur, de l'emploi de la soudure dans la construction des appareils à vapeur, je citerai un meilleure étanchéité des joints, une réduction du poids par la suppression des couvre-joints, des rivets et du recouvrement des fonds, une augmentation de la rapidité et de la facilité de montage, c'est-à-dire des avantages d'ordre économique ou technique.

M. Woïrin fait en outre état de la sécurité des assemblages par soudure; mais cette sécurité ne peut être obtenue que par l'observation des conditions exposées par l'auteur spécialement pour les collecteurs et pour les tuyauteries.

Après un court historique, il fait connaître séparément pour les Etats-Unis, pour l'Allemagne et pour la France, les moyens de contrôle des soudures employés et la réglementation imposée dans ces trois pays en vue d'assurer la sécurité.

VIII. — LES TURBO-ALTERNATEURS A 3.000 T./MIN., par M. R. Langlois-Berthelot.

Une note de l'auteur, Ingénieur en chef des services techniques aux Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont, signale que son étude a été établie en collaboration avec M. Devillez, Ingénieur en chef aux Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi.

Cette étude comporte trois parties consacrées respectivement à l'examen : 1°) de la spécification des conditions à satisfaire par la machine; 2°) du calcul et de la construction; 3°) des essais, de l'installation et du service. Elle envisage surtout l'état actuel des questions traitées en ce qui concerne les groupes turbo-alternateurs à 50 périodes, tournant à 3.000 t./min., attendu que la vitesse de 1.500 tours tend à disparaître, groupes de 70 à 80.000 kva. en une seule unité, mais dont la puissance réalisable peut être portée à 125.000 kva.

Les données qu'il importe de fixer, lors de la commande de l'alternateur, forment l'objet de trois paragraphes repris ci-après :

1°) *Tension.* — Les tensions usuelles sont comprises entre 6 et 12 kv.; on peut cependant obtenir 15 kv. sans moyens spéciaux et jusqu'à 45 kv. en utilisant des bobinages appropriés.

2°) *Conditions d'exploitation.* — Les cas suivants sont examinés successivement : fonctionnement exceptionnel sur capacité, fonction-

nement régulier sur réseau capacitif et fonctionnement en compensateur synchrone.

3°) *Courant instantané de court-circuit.* — Non seulement la machine doit pouvoir résister à un courant de court-circuit pouvant atteindre 2,5 fois la valeur efficace de la composante alternative initiale, mais l'ensemble constitué par cette machine, les transformateurs, les récepteurs et le réseau, doit réaliser un système stable.

A la fin de leur première partie, les auteurs examinent encore les conditions qu'il convient de satisfaire, en application des clauses réglementaires, relatives à l'échauffement et aux épreuves diélectriques.

Leur deuxième partie a pour titre « Calcul et construction »; elle est toutefois consacrée surtout aux tendances nouvelles apparues depuis 1930 et à l'importante question de réduction des pertes. Ils y donnent, dans un intéressant tableau la répartition détaillée des pertes d'un alternateur de 30.000 kva., construit en 1930; ils s'y occupent ensuite des dispositifs de ventilation assurant le refroidissement direct de l'enroulement du rotor, ainsi que de la réduction des pertes dans le fer, dans le cuivre et à la surface de ce rotor.

Enfin, ils fournissent dans leur troisième partie, ayant pour objets les essais de réception de la machine, son installation, ses dispositifs de protection et son entretien, de très nombreux renseignements d'ordre pratique, que je ne puis énumérer ici.

IX. — L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE DES CENTRALES THERMIQUES, par M. Bellisson.

Cette étude a un caractère général; dans un court préambule, l'auteur note, d'ailleurs, qu'il n'y a pratiquement aucune différence entre l'équipement électrique des centrales thermiques et celui des centrales hydrauliques.

Après un bref examen de la conception générale de cet équipement, M. Bellisson décrit des sectionneurs, disjoncteurs, transformateurs, appareils de manœuvre, de protection, de contrôle ou de mesure, isolateurs, relais, etc.

Son article est accompagné d'une vingtaine de fort beaux clichés photographiques, parmi lesquels je citerai : des sectionneurs, dont un à couteau triangulaire pour 45.000 v. et un rotatif, à 110.000 v., avec couteau de mise à la terre; de nombreux disjoncteurs à bain ou

à jet d'huile et à air comprimé; des postes de transformation extérieurs, des parafoudres, et des salles de commande, entièrement séparées de la salle des machines.

X. — L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES DANS LES CENTRALES THERMIQUES, par M. P. Letrilliart.

Quoi qu'il arrive, il est nécessaire d'assurer le bon fonctionnement et l'indépendance des services auxiliaires, tels que : la manutention des charbons, l'alimentation en eau et la ventilation des foyers. C'est pourquoi on installe généralement, pour la fourniture du courant à ces services, un ou plusieurs groupes indépendants, dont les bornes peuvent être, suivant les besoins, isolées des barres omnibus des groupes principaux, ou connectées à ces barres. Il faut prévoir en outre des groupes convertisseurs pour la charge des batteries qui alimentent les circuits d'éclairage de secours et certains mécanismes de commande à distance, qui permettent de réduire le personnel et d'accroître la sécurité de marche.

Après avoir examiné les dispositifs de protection mécanique des moteurs des services auxiliaires et les caractéristiques électriques de ces moteurs, l'auteur décrit quelques installations de manutention des charbons : déchargeuses, transporteurs à courroies ou autres, distributeurs, sècheurs et pulvérisateurs. Il dit quelques mots de l'alimentation en eau et s'occupe successivement de la ventilation des foyers à grilles mécaniques et des foyers au charbon pulvérisé.

A propos de ces derniers, il écrit que « les fumées sont aspirées par des ventilateurs de tirage qui les refoulent dans les cheminées », sans faire la moindre allusion aux installations de dépoussiérage de ces fumées, cependant si nécessaires et actuellement si employées dans les centrales thermiques consommant du charbon pulvérisé.

XI. — L'INTERCONNEXION DES CENTRALES, par M. Josse.

L'auteur expose d'abord les avantages bien connus de l'interconnexion, qui sont surtout d'ordre économique, mais peuvent être aussi envisagés au point de vue technique et sur le plan de l'économie nationale. Il examine ensuite les inconvénients et difficultés, qu'il a été nécessaire de vaincre : installation de lignes à très haute tension, création d'organes nouveaux de contrôle et de commande, dénom-

més *Dispatching*, augmentation de la puissance de court-circuit, solidarité en cas d'accident des réseaux interconnectés.

Le lecteur trouvera notamment dans l'article de M. Josse des photographies et d'intéressants renseignements relatifs à la ligne aérienne à 220.000 v. réunissant le Massif central à la région parisienne, une carte des canalisations souterraines, également à 220.000 v., réalisées entre Saint-Denis et Clichy-sous-Bois au moyen de câbles à huile, du type Pirelli, et un schéma du réseau français à haute tension.

A titre d'exemple, M. Josse expose ce qui a été fait, pour le réseau à 60.000 v. de la région parisienne, afin d'y réduire le nombre des incidents, de diminuer l'importance de leurs répercussions, de limiter les courants de courts-circuits, d'augmenter les résistances d'isolement, la stabilité de la tension des centrales interconnectées ou des réseaux et d'assurer la continuité du service.

Il donne enfin une description détaillée des installations et du fonctionnement du *dispatching* des Sociétés d'Electricité de Paris et de la Seine, à Saint-Denis.

XII. — LA REPARTITION ECONOMIQUE DES CHARGES ENTRE UNITES EN PARALLELE OU ENTRE UNITES INTERCONNECTEES, par M. Ricard.

Dans cet article, le demier dont je donnerai l'analyse, l'auteur a cherché à résoudre mathématiquement un très important problème économique, posé par l'interconnexion des centrales et des réseaux, qui consiste à déterminer la répartition des charges susceptible d'assurer le prix de revient minimum.

Des trois éléments de ce prix de revient : 1°) charges du capital; 2°) frais de conduite et d'entretien du matériel; 3°) prix des combustibles, M. Ricard écarte le premier, parce qu'il considère un ensemble de matériel existant, et le second à cause de sa complexité; de plus, il substitue au troisième la notion de « consommation totale horaire » exprimée en calories.

Il s'agit donc de rendre minimum la somme Q des consommations horaires $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$, leurs productions horaires exprimées en kilowattheures ou en calories, constituant les variables indépendantes p_1, p_2, \dots, p_n de la somme $\Sigma p_n = p$.

L'auteur écrit l'équation différentielle :

$$dQ_1 - k dp_1 = 0$$

d'où :

$$\frac{dQ_1}{dp_1} = \frac{dQ_2}{dp_2} \dots = \frac{dQ_n}{dp_n} = k.$$

Les dérivées des consommations, par rapport aux productions, doivent donc être égales pour toutes les unités. « Ces dérivées, que l'on désigne sous le nom d'ailleurs impropre de « consommations différentielles », correspondent à la notion intuitive de « coût du kilowattheure supplémentaire ».

Poursuivant son étude, l'auteur donne des exemples de courbes des consommations totales horaires et des consommations différentielles, en fonction de la production horaire; il montre comment on peut déterminer, pour une charge donnée, quelles unités devront être mises en route; il examine les courbes de consommation caractéristiques des groupes turbo-alternateurs, des chaudières, des services auxiliaires et d'une usine considérée dans son ensemble.

Il examine ensuite la répartition de la charge entre les usines, l'intervention des pertes dans les transformateurs et dans les lignes et les échanges d'énergie entre des compagnies différentes.

Il conclut enfin « que la méthode différentielle, qui est la seule rationnelle, ne doit être appliquée que si l'on est arrivé à une précision suffisante dans la détermination des courbes de consommation, faute de quoi on risquerait de faire apparaître des bénéfices qui ne correspondent pas à la réalité ».

* * *

J'ai déjà signalé qu'il n'est rien dit, dans l'article de M. Letrilliart, consacré aux services auxiliaires, de la question du dépoussiérage des fumées. Je n'ai trouvé aucune mention de cette question dans les autres articles que j'ai analysés.

Par contre, la centrale thermique de Fulham, de 120.000 kw., inaugurée le 26 septembre 1936, dont une description figure dans le numéro spécial de *Science et Industrie*, comporte des installations de dépoussiérage et de désulfuration, représentées schématiquement par une des figures accompagnant cette description.

Celle-ci a été établie d'après *Engineering*, 2 et 16 octobre 1936, et *The Engineer*, 2 et 9 octobre 1936. D'après une note préliminaire

qui l'accompagne, la centrale de Fulham, commencée en 1934, se trouve le long de la Tamise, à l'Ouest de Londres, dans une région où la densité de la population est élevée; « aussi le Comité de l'Electricité n'autorisa-t-il l'établissement de la centrale qu'à la condition que toutes les dispositions soient prises pour l'élimination aussi complète que possible des fumées, des poussières et des composés sulfureux ».

Signalons encore que la puissance totale envisagée est de 300.000 kilowatts, qu'on a prévu 16 chaudières, timbrées à 44 kgs, de 2.150 m² chacune, équipées d'une grille Taylor à poussoirs, d'un économiseur, de réchauffeurs d'air et de son installation d'épuration des fumées, par lavage au moyen d'une solution alcaline. Chaque chaudière donne une production horaire de 119 tonnes de vapeur surchauffée à 454° C.

En examinant les monographies déjà citées au début de mon compte-rendu, des principales centrales thermiques françaises, qui ont un intérêt statistique et documentaire, j'y ai vainement cherché quelques détails au sujet des appareils dépoussiéreurs, dont l'utilisation s'impose cependant lorsque les chaudières sont chauffées au charbon pulvérisé.

Cependant, j'ai pu dresser le tableau ci-après, en utilisant les renseignements assez vagues qui accompagnent la plupart de ces monographies. Il montre que sur les 26 centrales décrites; 15, totalisant une puissance de 1.726.500 kw., consomment du charbon pulvérisé; 6, d'une puissance globale de 350.000 kw., ont des grilles mécaniques, et 5, avec 181.000 kw., brûlent des lignites sur des grilles mécaniques.

Pour le dépoussiérage des fumées provenant de la combustion du charbon pulvérisé, j'ai relevé sept applications des électro-filtres et quatre installations de dépoussiéreurs hydrauliques. Pour les foyers à grilles mécaniques, les quelques installations de dépoussiéreurs signalées utilisent la centrifugation.

V. FIRKET.

Sociétés	Centrales	Puissance totale en kw.	Combustible et système	Dépoussiérage
Mines d'Anzin	Thiers	64.000	Charbon pulvérisé.	»
Mines de Béthune	Turenne	8.000	Charbon, grilles autom.	»
Mines de Bruay	Mazingarbe	78.000	Charbon pulvérisé.	Electro-statique.
Forces Motrices du Centre	Lalouisière	60.000	idem	Hydraulique.
Continental du Gaz	Châlon-s-Saône	100.000	Charbon, grilles mécan.	Néant.
Mines de Dourges	Sequedin-lez-Lille	98.000	Charbon pulvérisé.	Electro-statique.
Minier. et Electr. des Landes	Henin-Liétard	39.000	Houille et coke s. gr. mécan.	Centrifugation.
E. E. L. Méditerranéen	Dourges	36.000	Charbon, grilles mécan.	Néant.
Cie Lorraine	Hostens	25.000	Charbon pulvérisé.	Electro-statique.
Electricité de Marseille	Sainte-Tulle	96.000	Lignite, grilles mécan.	Néant.
Sté Nantaise	Lingostière	60.000	idem	»
Cie Electricité du Nord	Vincey	60.000	idem	»
Electricité et Gaz du Nord	Cap-Pinède	91.500	Charbon, grilles mécan.	Electro-statique.
Electricité R. V. A.	Chantenay	85.000	Charbon pulvér. et mazout.	»
E. E. du Nord de la France.	Beautour	34.000	Charbon pulvér. et grilles.	Electro-statique.
Electricité de Paris	Maubeuge	60.000	Charbon pulvér. et grilles.	Centrifugation.
Electricité de la Seine	Valenciennes	45.000	Charbon pulvérisé.	Sec et humide.
Cie Parisienne	Comines	180.000	Charbon pulvérisé.	Electro-statique.
Sté de Sarre et Moselle	Saint-Denis II	150.000	Charbon pulvér. et grilles.	Hydraulique-Modave.
Union d'Electricité	Ivry-Port	75.000	Charbon pulvérisé.	»
Mines de V. N. et D.	Saint-Ouen	400.000	Charbon pulvérisé.	»
	Issy-les-Moulineaux	200.000	idem	»
	Paul-Weiss	44.000	idem	Cyclone.
	Arrighi	220.000	idem	Hydraulique.
	Gennevilliers	340.000	»	»
	Drocourt	24.000	Charbon pulvérisé.	Electrique.
		2.672.500		