

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 68 (1942)
Heft: 9

Artikel: Réalisations italiennes dans le domaine des installations à vapeur
Autor: Colombi, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51798>

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: 26.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Paraisant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.

Rabais pour annonces
répétées.



ANNONCES-SUISSES s.a.
5, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL, G. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : *Réalisations italiennes dans le domaine des installations à vapeur*, par Ch. COLOMBI, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne. — *Le chauffage industriel à l'aide de la pompe thermique* (suite et fin), par PAUL DUSSEILLER, ingénieur. — *La pénurie de charbon et la limitation de l'emploi du ciment*. — *Association vaudoise pour la navigation du Rhône au Rhin*. — SERVICE DE PLACEMENT.

Réalisations italiennes dans le domaine des installations à vapeur

par M. Ch. COLOMBI,

professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Il y a quelques mois, M. le professeur Colombi publiait dans la « Technique moderne¹ » une longue étude où il examinait avec un sens critique averti les opinions émises par M. le professeur italien Belluzzo sur les solutions de quelques problèmes soulevés en Italie par l'industrie thermique. Il donnait en outre la description de quelques centrales caractéristiques. Nous regrettons ne pouvoir reproduire ici cet article dans son ensemble. Toutefois, à l'instant où notre industrie, avec la collaboration de nos autorités, cherche à tirer parti de nos ressources en charbon indigène, il nous a paru opportun de soumettre à nos lecteurs la partie de l'étude précitée où il est fait plus particulièrement des solutions admises dans le cas d'installations de production de vapeur conçues précisément avec le souci de réduire au minimum la consommation de combustible liquide, de limiter l'emploi de houille étrangère, de mettre en valeur les ressources italiennes en combustible de moindre qualité.

(Réd.)

I. — La centrale thermique de Santa-Caterina².

Données générales et description sommaire de la centrale.

La centrale thermique de Santa-Caterina présente un vif intérêt à divers points de vue. Elle appartient à la

Società Elettrica Sarda et elle est, circonstance qu'il convient de souligner, destinée à utiliser exclusivement des charbons provenant des mines de la Sardaigne, pulvérisés à la centrale. Prévue pour une puissance de 50 000 kVA elle peut augmenter les disponibilités de l'île en énergie électrique d'environ $250 \cdot 10^6$ kWh par année. Cette centrale est reliée par un réseau de 70 kV, d'une part, aux installations hydroélectriques de la société ci-dessus désignée et, d'autre part, à la sous-station qui alimente la nouvelle zone minière de Carbonia.

L'emplacement de la centrale a été déterminé en tenant compte des nécessités suivantes :

- Se trouver à proximité de la mer afin de faciliter la fourniture et l'évacuation de l'eau de refroidissement des condenseurs ;
- Se trouver dans la zone où la consommation d'énergie électrique est la plus importante ;
- Se trouver dans le voisinage des mines de charbon afin de réduire autant que possible les frais de transport du combustible ;
- Pouvoir utiliser les moyens de transports existants entre les mines de charbon et le port charbonnier de Sant'Antioco.

La construction des bâtiments de la centrale de Santa-Caterina a obligé, par suite des conditions défavorables du terrain, les constructeurs à prendre des précautions spéciales de génie civil et notamment à recourir à des fondations sur de très nombreux pieux de différentes dimensions. Nous ne faisons que rappeler la chose pour mémoire, car elle sort du cadre des questions que nous voulons examiner de plus près.

¹ La Technique moderne, janvier et février 1941.

² I nuovi impianti di produzione e di trasporto della Società Elettrica Sarda. La centrale termica di Santa-Caterina, par I. M. R. Energia Elettrica, avril 1939.

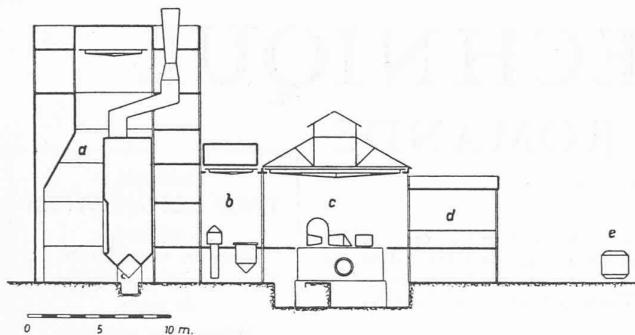


Fig. 1. — Coupe longitudinale schématisée de la centrale de Santa-Caterina.

a. Bâtiment des chaudières et des appareils de traitement du combustible ; — b. Bâtiment des appareils de traitement de l'eau d'alimentation ; — c. Bâtiment des machines ; — d. Bâtiment de l'appareillage électrique à basse tension ; — e. Transformateurs.

La centrale comporte quatre corps de bâtiments principaux, comme le montre la figure 1 dans laquelle nous avons schématisé, aussi simplement que possible, une coupe longitudinale de celle-ci, ce qui nous a semblé intéressant notamment pour bien mettre en évidence la disposition spatiale adoptée pour le montage des appareils de traitement de l'eau d'alimentation. En effet, le corps de bâtiment désigné par la lettre *a* est celui destiné à abriter les chaudières et les appareils de traitement et de manutention du combustible. Le bâtiment *b* contient les appareils réservés au traitement de l'eau d'alimentation, en particulier les épurateurs et distillateurs de ce fluide qui est, comme on le verra plus en détail, de l'eau de mer ; cet emplacement est celui qui correspond, dans les dispositions ordinaires de centrales présentant des caractéristiques analogues à celle que nous étudions, au local des pompes. Le bâtiment des machines est figuré en *c*, tandis que le bâtiment *d* est réservé à l'appareillage électrique à basse tension, les transformateurs élévateurs se trouvant à l'air libre, en *e*.

Parmi les dispositions particulièrement intéressantes de cet ensemble, nous signalons les suivantes :

Bâtiment des générateurs de vapeur (a). — Cinq planchers intermédiaires destinés à faciliter les manœuvres des divers appareils montés ; quatre silos de 250 m³ chacun (un par groupe chaudière-turbine-alternateur) à section rectangulaire dans leur partie supérieure et à trémie inférieure, les poussées dues au poids du matériel emmagasiné étant compensées par des nervures verticales et horizontales.

Bâtiment des appareils de traitement de l'eau d'alimentation des générateurs (b). — Pas de plancher intermédiaire ; le plafond supporte quatre réservoirs à eau de 250 m³ et deux de 100 m³ (charge totale environ 1500 t).

Bâtiment des machines (c). — Les fondations des turbo-alternateurs sont en béton armé, d'une hauteur de 5,40 m, calculées de façon que la fréquence de leurs vibrations diffère de 30 % de celle des vibrations du groupe supporté.

La surface couverte atteint environ 3000 m² et le cube environ 70 000 m³.

Un joint de dilatation est réalisé entre le bâtiment des appareils de traitement de l'eau d'alimentation et celui des machines.

La disposition générale des générateurs et des machines est unitaire. Chaque unité comporte en effet :

1. Une installation de pulvérisation du charbon pour 6 t de pulvérisé par chacun des deux pulvérisateurs qui la constituent.

2. Un générateur de vapeur de 50 t/h à 40 kg/cm² et 420° C.

3. Une installation de distillation pour 5500 kg d'eau par heure et une de dégazage pour 55 000 kg d'eau par heure.

4. Un groupe turbo-alternateur de 12 500 kVA, 5000 V, 50 cycles, 3000 t/min.

5. Un transformateur de 12 000 kVA, 5/70 kV.

Seule l'installation de transport du charbon à l'intérieur de la centrale est commune à tous les groupes ; elle laisse cependant subsister une large autonomie à chacun d'eux par le fait que chaque générateur est pourvu d'un silo à charbon individuel largement suffisant pour la consommation journalière correspondante.

Quoique la mise en parallèle se fasse sur le circuit à 70 kV, la notion de l'indépendance unitaire n'a pas été poussée au point que la réparation d'une partie d'un complexe générateur-turbo-transformateur entraîne absolument la mise hors service de la totalité de ce groupe. Afin d'éviter un tel inconvénient, il a été prévu un collecteur sur les tuyauteries principales de vapeur, un collecteur pour l'eau d'alimentation des générateurs et un système de barres de liaison électrique à 5000 V de façon à rendre possible un groupement en Z.

Le charbon, dont l'utilisation est prévue, pourra être de qualité inférieure (4000 cal/kg avec 10 % d'humidité) ; on pourra cependant, moyennant des adaptations faciles, brûler également du semi-coke et d'autres produits de la distillation des houilles.

Le transport du combustible par fer étant assuré, il était inutile de prévoir un parc à charbon. Par contre, la construction de voies de chemin de fer convenablement disposées dans le voisinage immédiat de la centrale a été indispensable. La consommation totale de l'installation étant évaluée à 50 t/h on a réalisé, pour le transport du charbon des wagons aux silos, une installation unique d'un débit de 100 t/h en dédoublant les organes qui nécessitent un entretien particulièrement soigné.

Les wagons sont déchargés dans des trémies et de celles-ci sur un transporteur incliné qui débite le charbon dans deux concasseurs (réduction à 20/30 mm) ; de ceux-ci le matériel est convoyé par deux élévateurs verticaux à godets jusqu'au plan de chargement des silos dans lesquels il est distribué par un transporteur à ruban (caoutchouc).

La pulvérisation du combustible est réalisée au moyen de deux pulvérisateurs type Lœsche (à moyenne vitesse) à chemin de broyage plan et galets coniques ; pression réglable par ressorts ; butées empêchant le contact entre

les galets et le chemin de broyage, conformément à la description que donne de ces appareils le traité Bleibtreu-Saur¹. Ces broyeurs sont précédés d'une balance automatique qui débite dans deux réservoirs en tôle destinés, d'une part, à éviter des discontinuités dans le fonctionnement de la balance et, d'autre part, à réaliser l'étanchéité nécessaire pour les doseurs qui, comme l'ensemble des appareils de pulvérisation, travaillent sous une pression inférieure à la pression atmosphérique. En plus de ce que nous venons de dire au sujet des broyeurs, il y a lieu de noter que, dans le cas particulier, on peut, pour le séchage du charbon, utiliser des gaz de combustion extraits du circuit après le surchauffeur, à la température de 450° C, de l'air préchauffé à une température de 200° C, de l'air atmosphérique ou un mélange quelconque de ces trois fluides. On peut donc ainsi obtenir la température nécessaire au séchage, de même qu'un réglage de la teneur en oxygène tel qu'il en résulte une diminution du danger d'allumage.

Les brûleurs utilisés sont des appareils à turbulence montés, au nombre de quatre par générateur, sur deux files horizontales en façade.

Chaque installation de pulvérisation et de séchage comporte une puissance installée d'environ 150 kW ce qui correspond, vu le débit horaire prévu de 12 t (6 t par pulvérisateur) à 12,5 kW/t.

Les générateurs de vapeur sont du type à rayonnement total et à circuit unique. La chambre de combustion est revêtue de tubes d'eau ; inférieurement elle est pourvue d'un réseau à tubes espacés destinés, comme de coutume, à la granulation des scories. Un réseau analogue à ce dernier se trouve à la partie supérieure dans le but de faciliter la granulation des cendres entraînées par le courant gazeux et de refroidir ce dernier avant son entrée dans le surchauffeur. Celui-ci est constitué par deux faisceaux tubulaires montés en série et branchés sur quatre collecteurs ; il est suivi d'un économiseur en tubes d'acier, puis d'un réchauffeur d'air type Ljungström.

Les surfaces de transmission sont :

Evaporateur, en mètres carrés	422
Surchauffeur, en mètres carrés	400
Réchauffeur d'eau (économiseur), en mètres carrés	460
Réchauffeur d'air, en mètres carrés	2100

Pour la circulation air-gaz, on dispose d'un ventilateur foulant qui prend l'air dans les parties les plus hautes du local (récupération des calories que ce fluide contient) et d'un système d'évacuation des gaz Prat.

Les scories sont évacuées de la chambre de combustion dans un canal parcouru par le retour de l'eau de réfrigération des condenseurs ; elles sont ainsi amenées dans des réservoirs extérieurs et acheminées de là au dépôt de scories longeant la mer.

Un désurchauffeur à faisceau tubulaire et à niveau d'eau variable permet de maintenir constante la température de la vapeur débitée pour des charges comprises entre 50 % et 100 %. Le niveau de l'eau régulatrice de

¹ Le charbon pulvérisé, le poussier de charbon et leurs applications. Edit. Dunod, Paris, 1932, p. 106.

cet appareil est réglé par un dispositif thermostatique Askania.

C'est également un système régulateur Askania qui règle la vitesse de fonctionnement des doseurs de charbon en fonction de la pression de vapeur dans les canalisations d'alimentation des turbos et complète les dispositifs manuels dont les commandes (relais pour moteurs des pulvérisateurs, ventilateurs, évacuateurs de gaz, etc...) sont groupées dans un tableau placé à côté de chaque générateur.

L'eau d'alimentation est de l'eau de mer, ainsi que nous l'avons signalé plus haut. Elle est traitée préalablement avec du carbonate de soude, épurée puis distillée. Mélangée avec le condensat des condenseurs à surface, elle est ensuite dégazée, réchauffée à 120° C et envoyée à la chaudière. Le détail des dispositions utilisées (type Prache-Bouillon) est schématisé sur la figure 6 ; nous reviendrons, dans la suite, sur ce schéma.

Les pompes d'alimentation des générateurs, au nombre de deux par groupe, sont établies pour un débit de 55 t/h d'eau à 120° C chacune ; elles sont à commande électrique. En outre une pompe de 100 t/h est installée avec commande par turbine à vapeur (alimentation à 40 kg/cm², 400° C et évacuation à contre-pression de 1,5 kg/cm²). Le réglage de l'alimentation a lieu par des dispositifs thermostatiques qui maintiennent le niveau d'eau constant aussi en fonction de la vitesse de la vapeur dans la canalisation générateur-turbo. Ce réglage est complété par un automatique Askania qui, quel que soit le débit, maintient constante la différence de pression entre les pompes et la chaudière. A ce même système est dévolue la tâche de déterminer la mise en marche de la pompe commandée par turbine au cas où la pression fournie par les pompes à commande électrique diminuerait au-dessous d'une limite établie, de même que celle du réglage de ce groupe auxiliaire.

Actuellement sont installés deux groupes turbo-alternateurs avec turbines à condensation de 12 500 kVA chacun ; et un groupe pour services auxiliaires à contre-pression de 1,5 kg/m² ; deux autres groupes de 12 500 kVA seront montés par la suite.

Les turbines principales sont à deux corps pourvues de prises de vapeur à 4,5 et 1,5 kg/cm² destinées aux appareils de distillation et de dégazage, d'une part, et au préchauffage de l'eau d'alimentation, d'autre part.

Le circuit réfrigérateur des condenseurs est alimenté par de l'eau de mer, ainsi que nous l'avons déjà signalé ; chaque appareil est pourvu de deux pompes de circulation et le réseau tubulaire de chaque condenseur est partagé en deux parties égales afin de rendre le nettoyage possible en marche.

Traitemennt de l'eau et dispositifs récupérateurs.

Au sujet de la turbine pour services auxiliaires, nous ajouterons à ce que nous avons déjà dit qu'elle est pourvue, elle aussi, d'une prise de vapeur à la pression de 4,5 kg/cm²

Nous pouvons maintenant examiner de plus près le

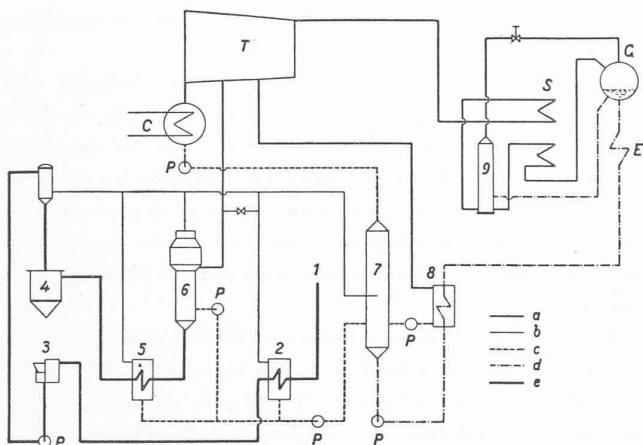


Fig. 2. — Schéma des principaux circuits thermiques de la centrale de Santa-Caterina.

1. Arrivée de l'eau saumâtre; — 2. Échangeur de chaleur; — 3. Traitement chimique de l'eau; — 4. Cuve de décantation; — 5. Réchauffeur; — 6. Distillateur; — 7. Dégazeur; — 8. Réchauffeur; — 9. Désurchauffeur.

C. Condenseur à surface; — E. Économiseur; — G. Générateur; — P. Pompe; — S. Surchauffeur; — T. Turbine principale.

a = circuits de vapeur vive ou de prises; *b* = circuits de vapeur produite par les appareils évaporateurs; *c* = circuits d'eau distillée; *d* = circuits d'eau distillée et dégazée; *e* = circuits d'alimentation en eau brute puis traitée chimiquement et par décantation (jusqu'à distillation).

schéma de la figure 2 qui est particulièrement intéressant par le fait de la nature spéciale de l'eau d'alimentation du générateur de chaque groupe.

L'eau saumâtre est amenée en (1); elle est chauffée dans un échangeur de chaleur (2) alimenté par de la vapeur provenant soit de la prise à basse pression de la turbine principale (T), soit des appareils de distillation. Cette eau est ensuite traitée chimiquement en (3), puis passe dans une cuve de décantation (4). De cette dernière l'eau est amenée, à travers le réchauffeur (5), alimenté de façon analogue au (2), au distillateur (6). On notera que le réchauffeur (5) est en fait un appareil à mélange; nous l'avons fait figurer avec les indications usuelles pour les échangeurs à surface afin de mieux distinguer les circuits essentiels. Au moyen d'un jeu de pompes approprié (toutes les pompes sont désignées par la notation P), l'eau distillée est amenée au dégazeur (7) qui reçoit également le condensat du condenseur à surface (C), de même que celui des réchauffeurs à surface. Après son dégazage l'eau traverse le réchauffeur (8) alimenté par la prise de haute pression de la turbine, pour aboutir à l'économiseur (E), au générateur (G) et au surschauffeur (S). Ce dernier est complété par le désurchauffeur (9) déjà mentionné. Pour mémoire, nous rappelons que les circuits de vapeur de chauffage à 1,5 et 4,5 kg/cm² sont également alimentés par l'échappement et par la prise de la turbine des services auxiliaires.

On remarquera particulièrement (et c'est aussi pour mettre cette circonstance en évidence que nous avons établi le schéma de la figure 2 différemment de ce qu'il est dans la publication examinée) le soin apporté à tout ce qui concerne l'économie de chaleur en effectuant très attentivement toutes les récupérations possibles.

Quoique les objets mentionnés ci-dessous ne rentrent

pas dans le cadre de nos investigations, nous signalons les quelques données sommaires que voici:

Alternateurs: 5000/5500 V; 50 cycles; 3000 t/min;

Interrupteurs: à air comprimé;

Transformateurs principaux: 12 000 kVA; type à l'air libre; refroidissement naturel;

Transformateurs pour services auxiliaires: 4 transformateurs, 750 kVA; 5000/260 V;

Transmission des ordres: par téléphone et haut-parleurs, avec signalisations optiques de réception et d'exécution de l'ordre.

L'ensemble des dispositions notées montre que l'installation en cause se trouve, selon toutes probabilités, dans des conditions économiques qui correspondent justement à l'un des cas que nous avons signalés dans la première partie de cet article. Le combustible utilisé est certainement d'un bas prix, les frais de transport sont faibles, la main-d'œuvre pour manutention à l'intérieur de la centrale est réduite, grâce aux dispositions mécaniques rappelées.

Par suite le terme $\Sigma \frac{V}{Q_c}$ qui intervient dans l'équation (7)¹ est certainement peu important².

Par contre les dispositions de manutention mécanique, de préparation du combustible, de traitement de l'eau d'alimentation et de préchauffage de cette eau pèsent fatalement sur le prix Pr de l'installation même. En conséquence, il est, pour le moins, fortement improbable qu'une augmentation de la pression initiale puisse diminuer la consommation spécifique c de façon à réduire, dans une mesure appréciable, le prix de revient du kWh. En effet une augmentation de l'enthalpie initiale (donc de p_a ou de t_a ou de ces deux paramètres) aurait entraîné une augmentation de Pr (turbines à trois corps éventuellement, augmentation des systèmes récupérateurs de chaleur, augmentation des machines nécessaires aux services auxiliaires, augmentation du cube bâti, etc.) et la diminution de c correspondante, agissant sur un facteur de coût faible par lui-même, $c \cdot \Sigma \frac{V}{Q_c}$, n'aurait pas compensé, ou ne l'aurait fait que dans une faible mesure, l'augmentation de ce coût due au facteur $\frac{\Sigma x \cdot Pr}{\Sigma (kWh)}$.

Ainsi croyons-nous que se justifie, dans cette manifestation pratique de l'activité technique italienne d'autant

¹ Cette équation est:

$860 \cdot c \cdot \frac{Vt}{Q_c} = R = 860 \cdot c \cdot \Sigma \frac{V}{Q_c} + \frac{\Sigma x \cdot Pr}{\Sigma (kWh)}$

Dans celle-ci:

R = valeur (prix de revient) du kWh débité par l'installation;

860 = équivalent thermique du kWh;

c = consommation spécifique de l'installation;

Q_c = pouvoir calorifique du combustible utilisé;

ΣV = somme des éléments formant le prix de l'unité de poids du combustible rendu aux générateurs de vapeur, y compris la manutention manuelle à l'intérieur de la centrale;

x = pourcentage pour intérêts et amortissements affectés à chacune des parties de l'installation;

Pr = coût d'établissement de chacune des parties de l'installation prise en considération (c'est-à-dire auxquelles réfèrent les pourcentages x mentionnés ci-dessus);

ΣkWh = travail débité annuellement par l'installation;

Unité = ets, kg, cal, kW, h.

² Voir *La Technique moderne*, t. XXXIII, n°s 1 et 2, 1^{er}-15 janvier 1941, page 7.

plus remarquable qu'elle tend à la mise en valeur des rares richesses minières dont dispose l'Italie, le choix de conditions initiales de la vapeur utilisée qui, à première vue, pourraient paraître peu élevées.

II. — Essais à la centrale de Porto-Marghera¹.

Buts poursuivis et recherches préliminaires.

La centrale de Porto-Marghera, propriété de la Società Adriatica di Elettricità, est une centrale de réserve. Par suite, pour les raisons que nous avons exposées, l'emploi d'une pression de vapeur relativement faible se comprend aisément. Aussi n'est-ce pas aux dispositions générales et spéciales de cette centrale que nous allons nous arrêter maintenant, mais à quelques résultats fournis par de récents essais exécutés sur les chaudières de cette installation.

Une description de la centrale en question est donnée dans une étude de M. Mainardis², étude dans l'introduction de laquelle l'auteur souligne justement le caractère de centrale de réserve de Porto-Marghera et relève que le coût du kWh débité par cette centrale est constitué pour 50 % par l'intérêt et l'amortissement du capital engagé ($\Sigma x \cdot Pr$), ce que nous notons, car il en résulte la confirmation des raisonnements que nous avons exposés.

Par contre l'étude de M. Foffano expose les essais faits dans cette installation en vue de l'utilisation de houilles livrées par les bassins italiens de l'Istrie et de la Sardaigne. C'est dire que cette étude relate des recherches guidées par les mêmes conceptions d'économie générale que celles qui ont amené la Società Elettrica Sarda à la réalisation de la centrale de Santa-Caterina.

Cette conception générale est d'ailleurs très nettement résumée par M. Foffano dans l'introduction à son article, par la remarque suivante :

Le programme national italien en matière de combustibles (à l'exclusion de ce qui concerne la traction automobile) peut se résumer en trois points :

a) Réduire la consommation de combustibles liquides importés au minimum admissible en vue de la sécurité nationale.

b) Limiter l'emploi des houilles étrangères aux besoins des très rares installations dans l'exploitation desquelles elles ne peuvent absolument pas être remplacées par d'autres.

c) Mettre en valeur les ressources nationales en combustibles et en étendre l'utilisation peu à peu dans toutes les industries, après avoir exécuté les transformations nécessaires.

Après avoir exposé par moyens quels l'Association nationale pour le contrôle de la combustion (A. N. C. C.) est arrivée à réaliser son programme et observé que, dès maintenant, pour les chaudières importantes projetées par les constructeurs italiens en vue de l'emploi de com-

¹ Realizzazioni autarchiche nella centrale termo-elettrica di Porto-Marghera par M. le Docteur Ingénieur P. FOFFANO, Directeur de la section de la Vénitie Occidentale de l'Association nationale pour le contrôle de la combustion. *Energia Elettrica*, novembre 1939.

² *Energia Elettrica*, septembre 1927.

bustibles de provenance italienne, ces industriels s'engagent à des garanties de rendement comprises entre 82 et 88 %, l'auteur remarque que les conditions d'exploitation des centrales thermo-électriques (rapidité de mise en service, surcharges brusques, fonctionnement irrégulier) semblaient présenter des difficultés particulières pour l'utilisation envisagée. Des recherches furent donc entreprises en collaboration entre l'A. N. C. C. et les Sociétés de distribution d'électricité, notamment la Società Sarda et la Società Adriatica.

Les investigations de la Società Sarda, qui ont revêtu le caractère d'essais préliminaires, ont débuté en 1932-1933 dans la centrale de Cagliari de cette entreprise. En voici les caractéristiques essentielles :

Combustible utilisé :

Provenance : charbon de Bauu-Abis.

Analyse et données principales :

Humidité	5,48 %
Incombustibles	21,10 %
H ₂	4,21 %
C ₂ total	52,87 %
S ₂ total	9,10 %
O ₂ + N ₂	7,24 %
Pouvoir calorifique supérieur	5 680 cal/kg
Pouvoir calorifique inférieur	5 420 cal/kg

Cendres :

Température initiale de transformation	1 115° C
Température de ramollissement	1 150° C
Température de fusion	1 220° C

Générateur :

Construction Borsig	
Surface de chauffe	658 m ²
Timbre	30 kg/cm ²
Grille : type Riley, très longue	19 m ²
Volume de la chambre de combustion :	95 m ³ (sans écrans d'eau)

Pour une production de vapeur de 30 t/h obtenue au début des essais, la charge, manifestement excessive, de la chambre de chauffe dépassait 330 000 cal/m³; elle a été ensuite réduite à 240 000 cal/m³.

Les revêtements réfractaires, exécutés partiellement en briques à haute teneur de silice, ont été endommagés par l'action des scories basiques provenant du combustible et dont le point de fusion avait été atteint et dépassé, ce qui est naturel aux charges initiales, mentionnées ci-dessus, de la chambre de chauffe.

Par le montage d'une protection partielle au moyen de tubes à eau (sur 800 mm de hauteur à partir de la grille et en remplacement du revêtement en carborundum qui occupait primitivement cette partie des parois de la chambre de chauffe) on a pu éliminer l'inconvénient signalé.

Une série d'adaptations successives a ensuite permis d'améliorer la combustion qui se trouvait être défavorable à l'origine, si bien que, à la fin de 1933, après d'importantes transformations dont le détail n'est pas indiqué, on est arrivé à un rendement global de 81,1 %.

Les essais faits à Porto-Marghera en collaboration avec l'A. N. C. C. ont débuté en 1938, avec du charbon Arsa (bassin d'Istrie) sur une chaudière Borsig très bien conditionnée, mais destinée à être alimentée normalement avec

de la houille de Westphalie de qualité supérieure. Ces essais n'ont pas donné des résultats satisfaisants, par suite de la faible résistance opposée par la maçonnerie à l'action des cendres (scories).

Une seconde tentative fut faite sur une autre chaudière de même type avec du charbon de Sardaigne (Caput Acquas). La chambre de combustion avait été pourvue d'un revêtement réfractaire de haute qualité. Les essais permirent d'établir le bilan thermique du générateur de façon très exacte, mais ne donnèrent pas des conclusions certaines au sujet de la façon dont se comporteraient en définitive les maçonneries réfractaires avec le combustible mentionné, dont il est intéressant de reproduire ici les caractéristiques.

Humidité	4,08 %
Incombustibles	20,45 %
H ₂	4,23 %
C ₂	54,50 %
S ₂	9,54 %
O ₂ + N ₂	7,20 %
Pouvoir calorifique supérieur	6 013 cal/kg
Pouvoir calorifique inférieur	5 770 cal/kg
Cendres :	
Température initiale de transformation . . .	1 060° C
Température de ramollissement	1 420° C
Température de fusion	1 155° C
SiO ₂ O ₂	40,00 %
Fe ₂ O ₃	19,15 %
Al ₂ O ₃	24,85 % ¹

Cet ensemble de recherches a dans tous les cas montré qu'il était indispensable d'abandonner les chambres de combustion simples et de passer à des chambres protégées par des écrans tubulaires si l'on voulait arriver à tirer parti rationnellement des combustibles mentionnés. Cette solution présente d'ailleurs les avantages connus de diminuer les opérations relatives au service du foyer, de permettre l'emploi de réfractaires usuels et relativement peu coûteux, de réduire les surfaces de transmission, etc.

Essais exécutés sur un nouveau générateur Tosi.

Ceci étant, la centrale de Porto-Marghera se trouvait dans l'alternative ou bien de transformer profondément des chaudières existantes, ou bien de remplacer une d'elles par une nouvelle unité étudiée spécialement en vue de l'emploi de combustibles provenant de gisements italiens. C'est cette dernière solution qui a été adoptée par la Società Adriatica di Elettricità qui a passé commande à la S. A. Franco Tosi à Legnano (près de Milan) d'un générateur de vapeur dont voici les caractéristiques principales :

Combustibles à utiliser : tous combustibles ayant une teneur en matières volatiles supérieure à 10 %, combustibles de provenance italienne compris (soit nécessité de recourir à la chauffe au pulvérisé).

Débit	70 à 80 t/h
Timbre	30 kg/cm ²
Température de la vapeur surchauffée . . .	400° C

¹ On remarquera que la composition chimique des cendres en question rentre bien dans les valeurs moyennes indiquées par le traité de Bleibtreu-Saur déjà cité. Par contre, il n'est pas fourni d'indications relatives aux conditions dans lesquelles les températures de ramollissement et de fusion des cendres ont été déterminées. Enfin, puisque l'occasion se présente, nous observons que l'action chimique des scories mise en évidence par les essais en cause confirme l'exactitude de la remarque formulée à ce sujet à la page 494 des *Nouvelles études sur la Chaleur*, de Ch. Roszak et M. Véron (Dunod, Paris, 1929).

Disposition générale : à rayonnement, avec tubulures protectrices aux parois de la chambre de combustion et écrans tubulaires de granulation ; surchauffeur à serpentins verticaux ; économiseur tubulaire ; réchauffeur d'air.

Surfaces de transmission :

Surface chauffée du générateur (soit surfaces absorbant de la chaleur par rayonnement et par convection)	1 300 m ²
Surchauffeur	600 m ²
Economiseur	500 m ²
Réchauffeur d'air	2 736 m ²
Volume de la chambre de combustion	336 m ³

Parois creuses avec maçonnerie intérieure (réfractaire et briques poreuses très légères) solidaire des tubes de protection et revêtement extérieur étanche, en plaques de tôle (faible accumulation de chaleur).

Augmentation de la température de l'air dans le réchauffeur à 150° C (ce qui justifie la surface relativement faible de l'économiseur).

Les essais ont été exécutés avec du charbon Arsa dont les caractéristiques sont les suivantes :

	échantillon	
	sec	humide
Humidité		6,54 %
Incombustibles	12,34	11,53 %
C ₂	67,34	62,94 %
S ² (dont 85 % combustible)	10,04	9,38 %
H ₂	4,84	4,52 %
O ₂ + N ₂ (par différence)	5,44	%
Total	100,00 %	
Pourcentage maximum de (CO ₂ + SO ₂) en gaz de combustion (avec air théorique) . .	18,35 %	
Volume d'air théorique (0°C, 760 mm/Hg) . .	6,871 m ³ /kg	
Volume (réduit) des gaz anhydres	6,653 m ³ /kg	
— — — — — vapeur d'eau	0,586 m ³ /kg	

Les principaux essais exécutés ont donné les résultats suivants :

A. ESSAI DE MISE EN MARCHE

Départ de l'état froid. Durée de la mise en marche à partir de l'allumage des brûleurs à huile (brûleurs auxiliaires de départ) jusqu'à l'obtention de la pression de 30 kg/cm² = 30 min. Consommations correspondantes (en notant que le contenu en eau de la chaudière est de 43 m³) : 220 kg d'huile et 3075 kg de charbon.

B. ESSAI DE RENDEMET A CHARGE NORMALE

De nombreux graphiques publiés par M. Foffano donnent les détails des relevés dont sont déduites les valeurs moyennes suivantes :

Durée de l'essai, en heures	6
Consommation totale de charbon, en kilogrammes	55 318
Chaleur fournie en moyenne par 1 m ³ de la chambre de combustion, référée au pouvoir calorifique supérieur, en calories par mètre cube	176 570
Pourcentage de cendres, en pour-cent	12,94
Pourcentage de C ₂ en cendres, en pour-cent	7,70
Température maximum dans la chambre de combustion, en degrés centigrades	1 350
Puissance moyenne absorbée par les services auxiliaires, en kilowatts	312,75
Température moyenne de l'eau d'alimentation à l'entrée dans l'économiseur, en degrés centigrades	63,9
Température de l'eau à la sortie de l'économiseur en degrés centigrades	112,9
Pression moyenne effective de la vapeur débitée, en kilogrammes par centimètres carrés	28,1
Température moyenne de la vapeur surchauffée, en degrés centigrades	416,2
Production horaire de vapeur en moyenne, en kilogrammes	69 252

Utilisation de la chaleur :	
Economiseur, en pour-cent	5,98
Surchauffeur, en pour-cent	13,47
Générateur et réchauffeur d'air, en pour-cent .	67,98
Perthes (référées au pouvoir calorifique inférieur) :	
Imbrûlés solides, en pour-cent	1,27
Chaleur sensible des gaz de combustion, en pour-cent	6,64
Imbrûlés gazeux, suies, rayonnement, déperditions, en pour-cent	4,66
Total des pertes, en pour-cent	12,57
Rendement global, en pour-cent	87,43

Ce résultat global est d'autant plus remarquable que, lors de l'essai, l'isolation de quelques parties de la chaudière n'était pas complète.

C. ESSAI A 80 t/h

Cet essai, d'une durée de 90 min, a mis en évidence une température maximum, dans la chambre de combustion de 1390° C, une température des gaz à la sortie du réchauffeur d'air de 152,7° C, une puissance moyenne absorbée par les services auxiliaires de 346 kW, une perte par imbrûlés solides de 1,27 % et un rendement global de 86,95 %.

Il y a lieu de remarquer que le pourcentage de pertes par imbrûlés solides est très faible aussi bien au régime normal (70 t/h) qu'au régime de 80 t/h. Les cendres se présentent sous la forme de petits grains sphériques qui restent, pour la plus grande partie, en suspension dans les fumées. Ces grains sont ainsi expulsés avec les fumées et n'encombrent pas les conduits ; mais, vu leur forte quantité (1100 kg/h environ en régime normal), un dépoussiérage des gaz est nécessaire.

Les résultats obtenus au cours de ces recherches sont manifestement d'un grand intérêt et la satisfaction qu'en témoigne l'auteur de l'étude examinée est entièrement justifiée.

* * *

Nous croyons avoir montré par les notes et discussions qui précèdent, non seulement que les questions relatives aux installations à vapeur retiennent l'attention des milieux techniques italiens plus qu'on ne le pense généralement, mais aussi que les résultats pratiques obtenus par ces milieux et par l'industrie italienne sont des plus intéressants. Ils le sont tant par eux-mêmes que par le fait qu'ils mettent en évidence une unité de doctrine en matière d'économie nationale dont il convient d'estimer l'importance à sa juste valeur, aussi bien pour ce qui concerne ses répercussions à l'intérieur du pays que pour ce qui a trait aux échanges commerciaux de l'Italie avec l'étranger.

Le chauffage industriel à l'aide de la pompe thermique

par PAUL DUSSEILLER, ingénieur.

(Suite et fin).¹

IV. Description d'une installation de pompage thermique à grande puissance pour besoins industriels.

La station de pompage thermique dont il a été fait mention plus haut, est destinée à une importante entreprise

¹ Voir *Bulletin technique* du 18 avril 1942, page 85.

industrielle située sur les bords du lac de Constance. Cette fabrique assurait jusqu'à aujourd'hui l'alimentation en chaleur de ses divers départements exclusivement à l'aide d'un vaste réseau de distribution de vapeur à la pression de 3 à 4 kg/cm². Cette vapeur est produite par des chaudières à vapeur qui fonctionnent jour et nuit pendant environ 360 jours de l'année. Une installation de turbines à vapeur permet à la fabrique de produire elle-même une certaine partie de sa force motrice.

Le bureau technique de la Centrale de chauffage de l'Ecole polytechnique fédérale fut chargé, il y a environ un an, d'étudier les possibilités de réduire la consommation de charbon de cette entreprise qui s'élève actuellement à plusieurs milliers de tonnes par année. L'électrification de la production de chaleur par l'installation de chaudières électriques présentait des difficultés momentanément insurmontables et ne pouvait être envisagée, vu les quantités considérables d'énergie électrique nécessaires, que pour les mois d'été. Le projet d'une station de pompage thermique s'imposa par contre du fait que les bâtiments de la fabrique en question se trouvent sur la rive même d'un grand lac, réservoir gratuit de chaleur de faible température.

Les principaux problèmes à résoudre à cet effet furent les suivants :

a) Est-il possible d'envisager la distribution de la chaleur sous forme d'eau chaude au lieu de vapeur, sans nuire à l'exploitation et sans modifications exagérément coûteuses de l'appareillage ?

b) Peut-on garantir une température suffisamment constante et stable de l'eau chaude de ce réseau malgré les variations saisonnières de la température de l'eau du lac, entre 3 et 20° ?

c) Notre industrie mécanique est-elle en mesure de construire des groupes thermopompes d'une puissance unitaire de l'ordre de 1 à 2 millions de kcal/h, permettant de chauffer le réseau d'eau chaude à environ 70°, à un prix permettant une rentabilité suffisante et d'un fonctionnement assez parfait pour pouvoir garantir un service ininterrompu pendant plus de 8000 heures par an ?

d) Est-il possible de réaliser une station de pompage thermique absolument automatique, ne nécessitant pas une surveillance ininterrompue, tout en prévoyant par mesure de sécurité, un retour immédiat à la production de chaleur par les chaudières à charbon en cas de dérangement ?

Une étude approfondie, en étroite collaboration avec la direction de la fabrique d'une part et la maison Brown, Boveri et Cie d'autre part, a permis de répondre affirmativement à ces questions et, en mai 1941, l'entreprise en question décidait de réaliser le projet dont voici les grandes lignes.

La moitié environ des besoins annuels de chaleur, soit 10 000 millions de kcal, pourra être désormais fournie sous forme d'eau chaude d'une température moyenne de 66°, grâce à la transformation adéquate de l'appa-