

LA HOUILLE BLANCHE

Revue Mensuelle des Forces Hydro-Electriques
et de leurs Applications

CHAMBRE-SYNDICALE
DES FORCES HYDRAULIQUES
33, Rue de Lisbonne.
PARIS-8^e

11^e Année. — Janvier 1912. — N^o 1.

La houille noire a fait l'industrie moderne ;
la houille blanche la transformera.

DISTRIBUTIONS D'ÉNERGIE

HOUILLE BLANCHE ET HOUILLE NOIRE

Nous sommes de l'avis d'un certain nombre d'hydrauliciens — et non des moindres — qui pensent que plus on aménagera de forces hydrauliques, plus on construira de moteurs thermiques. Et cela s'explique :

Le transport électrique de l'énergie, dont la portée s'allonge chaque jour, permet l'utilisation des chutes d'eau les plus inaccessibles ; il n'est point de région industrielle située à 300 kilomètres des pays de houille blanche qui ne puisse recevoir par fil la force motrice des torrents captés. Or, ce n'est pas à nos lecteurs que nous apprendrons que dans les hautes chutes, le calcul de l'aménagement le plus économique conduit presque toujours à utiliser des débits tels que la puissance installée varie de 1 (étiage) à 3 (débit utilisable pendant six mois, quelquefois même cinq mois seulement). C'est dans ces conditions qu'on obtient le minimum pour le prix de revient du kilowatt-heure. — Il n'en est plus ainsi pour les basses chutes, à gros débit, où le prix de revient du kilowatt-heure, se rapproche d'autant plus du minimum que l'on aménage un débit plus voisin de l'étiage. Néanmoins, dans beaucoup de petites chutes (et nous entendons par là celles de quelques 20 à 30 mètres de hauteur, faisant moins de 1 000 chevaux) on a encore intérêt à utiliser beaucoup plus que le débit d'étiage.

Quand ces installations, à puissance très variable, sont faites pour alimenter des distributions d'énergie, il faut évidemment combler les creux de leurs courbes de débit par de l'énergie empruntée aux moteurs thermiques. Bien rares sont les chutes où des réservoirs peuvent emmagasiner l'eau durant les périodes de faible charge pour passer ensuite les pointes qui se produisent en certaines heures et à certaines saisons, surtout l'hiver, époque habituelle de l'étiage pour beaucoup de rivières.

Il n'y a pas très longtemps (et ceci peut surprendre tellement on a fait de chemin en moins de dix ans) que l'on s'est rendu compte de l'intérêt qu'il y a, et qui n'est plus discutable, à utiliser dans les hautes chutes des débits de six ou cinq mois seulement, pour alimenter des réseaux de distribution où d'autre part l'on comble les creux des chutes, et passe les pointes par le moyen de centrales à moteurs thermiques. Peut-être serait-il plus juste de dire que ce n'est pas depuis très longtemps qu'on a pu réaliser le prix de revient minimum du kilowatt-heure en accouplant : chute à débit variable et moteur thermique. Cette possibilité dépendait, en effet, essentiellement des progrès de la transmission électrique de l'énergie. Dans telle région d'accès difficile au charbon, l'énergie des forces hydrauliques restait, quoi qu'on fasse, toujours sensiblement meilleur marché que celle de la houille noire, et dans telle autre région éloi-

gnée des pays de houille blanche, c'était l'inverse. Il a fallu les perfectionnements apportés au matériel électrique du transport d'énergie pour qu'un réseau de distribution puisse étendre ses branches depuis les chutes jusqu'aux centres d'approvisionnement économique en combustible, et, par le fait, unir ces deux sources comme le tube relie deux vases communicants.

Autrefois — et cet autrefois ne remonte pas à beaucoup plus de dix ans, — quand on voulait distribuer de l'énergie dans une région qui possédait des chutes d'eau, l'on installait d'abord la chute en estimant « à l'œil » le débit qui paraissait devoir rester entre de sages limites. Puis, quand la force hydraulique révélait un débit par trop inconstant, on la doublait, en un point plus ou moins bien choisi du réseau, d'une machine à vapeur de secours. C'était bien alors une station de secours ! Secours contre les défaillances imprévues de la chute, et secours contre les pannes intempêtes des lignes aériennes. Mais secours coûteux, car le charbon n'arrivait pas toujours facilement.

Aujourd'hui les rôles sont renversés. Quand on établit un réseau de distribution d'énergie dont la houille blanche doit être la principale source, on commence par établir la station thermique, au bon endroit ; puis on termine par l'aménagement des forces hydrauliques. Mais la centrale à vapeur n'est plus une station de secours ; c'est un centre d'alimentation du réseau tout simplement, ayant un rôle complémentaire nettement déterminé à l'avance ; si bien même qu'en certaines installations en cours, parfaitement étudiées à tous les points de vue, l'on pourrait se demander si secours il devait y avoir, lequel servirait l'autre de la houille blanche ou de la houille noire ?

Ces progrès, dont le résultat essentiel est de donner aux abonnés des réseaux de distribution d'énergie, le kilowatt au plus bas prix possible, sont en réalité dus à des facteurs plus complexes qu'on ne l'a laissé entendre plus haut. L'un de ces facteurs est assurément le progrès des moteurs thermiques et qui a marché parallèlement à celui du transport de l'énergie ; entre eux l'on pourrait presque dire que la lutte a eu quelque ressemblance avec celle si fameuse que se livrent l'éclairage à l'incandescence par le gaz et l'éclairage électrique.

Comme tout le monde le sait, les perfectionnements des moteurs thermiques se poursuivent surtout en deux classes de machines : les turbines à vapeur et les moteurs à gaz pauvres et à huiles lourdes. Nos lecteurs ne seront donc pas surpris de voir paraître bientôt, à cette place, un certain nombre d'études sur la production de l'énergie électrique par ces diverses sources. Nous commencerons prochainement la publication d'un fort intéressant travail d'ensemble sur les turbines à vapeur par notre collaborateur M. Paul BERGEON, sous-directeur de l'Institut Electrotechnique de Grenoble. Viendront ensuite les études sur l'utilisation des gaz de hauts-fourneaux par M. F. CHARLES, électrométallur-

giste, qui montrera ce merveilleux appareil, susceptible de donner de l'énergie à aussi bon compte que bien des chutes d'eau économiques, pouvant être aussi bien considéré comme un gazogène dont la fonte est un sous-produit. Enfin, nous consacrerons quelques articles aux moteurs à huile lourde du type Diesel, qui sont bien, à ce qu'il semble, les véritables machines de secours de l'avenir, pour de très nombreuses usines employant le moteur électrique aux confins des réseaux de distribution d'énergie, ou le moteur hydraulique sur d'inconstants petits cours d'eau.

La puissance unitaire des turbines à vapeur croît avec une rapidité surprenante, et, pour en donner une idée, en attendant les études annoncées, nous reproduisons ici une curieuse photographie : un tracteur de 32 chevaux-avoine, remorquant une partie d'une machine de 25 000 chevaux-vapeur. Cette photographie représente en effet le transport de l'une des plus grosses pièces d'une turbine à vapeur de 25 000 HP, construite par la Compagnie Electro-Mécanique du Bourget, et destinée à l'usine de la Société d'Electricité de Paris, à Saint-Denis. Le rotor de la turbine (que représente la photographie) pèse 38 tonnes. La partie inférieure



TRANSPORT DU ROTOR D'UNE TURBINE A VAPEUR DE 25 000 CHEVAUX, PIÈCE PESANT 38 TONNES

du cylindre pèse 41 tonnes. Si l'on ajoute que chacun des charriots portant ces pièces pèse plus de 12 tonnes, on comprendra que ces transports aient nécessité des attelages de 32 chevaux pour le premier et 35 chevaux pour le second. En raison de leurs dimensions, ces pièces indivisibles n'auraient pu être transportées par chemin de fer depuis les ateliers du Bourget jusqu'à l'usine de Saint-Denis.

On sait que cette usine est actuellement la plus forte station centrale de l'Europe ; elle comporte, en effet, 10 turbo-groupes Brown, Boveri-Parson's, de 10 000 HP chacun. C'est à ces groupes que vient s'ajouter le turbo-alternateur de 25 000 HP. Grâce aux perfectionnements apportés et à la diminution d'encombrement qu'ils ont permis de réaliser, on a pu installer cette machine dans l'emplacement précédemment réservé à un groupe de 10 000 HP. Le nouveau groupe a pour dimensions :

Largeur = 3,40 mètres ; longueur totale = 13,60 mètres (dont 8,50 pour la turbine et 5,10 pour l'alternateur). Son poids total est de 300 tonnes environ, dont 140 tonnes pour la turbine seule.

La houille blanche est battue ; elle avait des turbines de 15 000 chevaux ; c'est maintenant la houille noire qui détient le record de la puissance unitaire. La revanche est probablement possible. Mais quand l'aurons-nous ?

E.-F. CÔTE.

SYMBOLES DIAGRAMMES POUR COURANTS ALTERNATIFS SPÉCIFICATIONS DES MACHINES

*Décisions de la Commission Electrotechnique Internationale
(Réunion de Turin-1911)*

Les décisions suivantes sont adoptées provisoirement par la Commission électrotechnique internationale :

SYMBOLES

- 1° a. Les grandeurs électriques instantanées (variables dans le temps) sont représentées par des lettres minuscules ;
- b. Les grandeurs électriques efficaces ou constantes sont représentées par des lettres majuscules ;
- c. Les valeurs maxima des grandeurs électriques sont représentées par des lettres majuscules affectées de l'indice m ;
- d. Les grandeurs magnétiques, constantes ou variables, sont représentées par des lettres majuscules, rondes, gothiques, grasses ou type spécial ;

e. Les valeurs maxima des grandeurs magnétiques périodiques sont représentées par des lettres majuscules rondes, gothiques, grasses ou type spécial affectées de l'indice m ;

f. Les grandeurs suivantes sont représentées par les lettres ci-après :

Force électromotrice	E, e	} à titre d'exemple seulement
Quantité d'électricité	Q, q	
Coefficient de self-induction ...	\mathcal{L} \mathfrak{L} \mathbf{L}	
Intensité de champ magnétique	\mathcal{H} \mathfrak{H} \mathbf{H}	
Induction magnétique	\mathcal{B} \mathfrak{B} \mathbf{B}	
Longueur	L, l	
Masse	M, m	
Temps	T, t	

2° Les lettres I, E, R, sont adoptées définitivement pour représenter respectivement le courant, la force électromotrice et la résistance, dans l'expression algébrique de la loi d'Ohm.

3° Dans les questions relatives aux courants alternatifs, l'expression *Puissance réactive* est adoptée pour désigner la quantité $UI \sin \varphi$.

DIAGRAMME POUR COURANTS ALTERNATIFS

Dans les représentations graphiques des grandeurs électriques ou magnétiques alternatives, l'angle correspondant

à une avance de phase doit être porté dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre.

Note. — L'expression symbolique de l'impédance d'une bobine de réaction ayant une résistance R et un coefficient de self-induction L est alors $R + \sqrt{-iL\omega}$ et celle d'un condensateur de capacité C , $\frac{1}{\sqrt{-iC\omega}}$ ($\omega = 2\pi \times$ fréquence).

La convention dont il s'agit conduit à la figure ci-contre dans le cas d'un courant OI en retard de phase sur une force électromotrice OE .

SPECIFICATIONS DES MACHINES

En ce qui concerne la puissance des machines à courant continu et lorsqu'il n'en est spécifié autrement :

a. Les générateurs électriques sont caractérisés par la puissance électrique disponible à leurs bornes ;

b. Les moteurs électriques sont caractérisés par la puissance mécanique disponible sur leur arbre.

c. Les puissances électrique et mécanique sont exprimées en watts internationaux.

ÉLECTROMÉTALLURGIE

LE FOUR ÉLECTRIQUE

Appliqué à la production directe de la fonte et à l'obtention de l'acier doux en partant du minerai

Les fragments de ferro-silicium trouvés dès 1898 dans les brasquages des fours à carbure de calcium, qui ne pouvaient provenir que de la silice de la chaux et des cendres de l'antracite, de la pyrite que contenait celui-ci et du fer des ringards qui fondaient quand on piquait la charge pour dégager l'électrode suspendue et faire descendre le mélange, montraient que l'on pouvait, malgré la température de l'arc, éviter la volatilisation du fer dans le four électrique. A cette époque (1898), M. STASSANO essayait, sans succès, de réduire le minerai de fer. En 1901, M. Harmet présentait son projet de haut-fourneau électrique. Un peu plus tard, le gouvernement du Canada, désireux d'utiliser à la fois la puissance des rivières de cette contrée et les gisements inépuisables de minerai de fer qu'elle possède faisait procéder, par une commission compétente, à des essais de réduction, dans les fours connus à ce moment.

Ces essais eurent comme conséquence l'installation d'un four d'Héroult à Sault-Sainte-Marie, au Canada, et excitèrent les recherches dans cette voie ; il ne fut, toutefois, pas publié grand'chose sur leurs résultats et ce n'est que par la communication faite par MM. J.-A. LEFFLER et E. ODELBERG au *Jern Kontoret* (Association Suédoise des Maîtres de Forges), le 31 mai 1911, que l'on a connu les résultats d'un essai prolongé fait avec un matériel approprié en vue d'arriver à la réduction directe du minerai de fer au four électrique.

Nous nous proposons, dans les pages qui vont suivre, de présenter au lecteur de *La Houille Blanche* les diverses communications faites sur l'expérience poursuivie à Trollhättan. Les dimensions du four employé, les conditions d'installation de force, l'aménagement des moyens de transport du minerai et du combustible, tout concourt à faire des expériences poursuivies à Trollhättan une démonstration de ce

que l'on peut actuellement obtenir du four électrique et les renseignements que l'on a sur elles ainsi que les déductions qu'on en peut tirer permettront d'apprécier bien plus aisément les efforts poursuivis pour faire de la sidérurgie électrique une industrie autonome et de se former une opinion sur les chances de son avenir comme telle.

Nous ferons de nombreux emprunts à « *Metallurgical and Chemical Engineering* », à « *Stahl und Eisen* », « *Engineering* », « *The Iron & Coal Review* » et « *La Revue de Métallurgie* », notre excellent confrère aussi intéressant pour l'administrateur d'usine que pour le technicien, nous les prions ici d'accepter nos remerciements.

A la séance de l'« *Iron & Steel Institute* » de mai 1909, M. E.-J. LJUNGBERG, président de la « *Stora Kopparberg Bergslag's A. B.* » (Suède), à laquelle appartient l'usine de Domnarfvet, fit une communication sur l'aptitude du four électrique de MM. Grönwall, Lindblad et Stalhane, à la réduction directe du minerai de fer. Plus tard, M. Lars Yngström, directeur de la Société, publia un rapport complet sur les expériences faites et démontra qu'on pouvait baser une industrie sur l'emploi de ce four.

En Suède, où le four avait pris naissance, on reconnut promptement les mérites du procédé, d'autant que les conditions naturelles y sont très favorables à l'électrosidérurgie. Riche minerai de fer abondant, force motrice hydraulique bon marché, pénurie de houille et, par suite, de coke. Les hauts-fourneaux y sont alimentés de charbon de bois dont le prix augmente d'année en année. La possibilité de remplacer environ les deux tiers du combustible par l'énergie électrique, en même temps que la perspective d'améliorer encore la qualité du fer de Suède déjà universellement appréciée, a donné au succès de ce procédé une importance nationale et c'est ainsi qu'on l'a considéré.

Il existe en Suède une Association vieille de plus de cent cinquante ans, appelée « *Jern Kontoret* », qui groupe tous les maîtres de forges du pays et joue un grand rôle dans l'industrie sidérurgique suédoise, elle a pour objet de donner une assistance technique et financière à ses membres et, d'une façon générale, de perfectionner et développer l'industrie sidérurgique du pays.

Après avoir soigneusement analysé les résultats des expériences de Domnarfvet, le comité du « *Jern Kontoret* » décida de contracter un accord avec l'« *Electrometall A. B.* », constituée par les inventeurs du four et de faire les frais d'une installation destinée à étudier à fond la valeur industrielle du procédé. Le fait que c'était la première fois que cette association s'engageait dans une entreprise industrielle pour son propre compte, prouve l'importance qu'elle attachait au procédé. Le gouvernement suédois offrit aussi de contribuer à l'entreprise en fournissant à son usine de Trollhättan l'énergie électrique à un prix nominal.

L'installation a commencé à fonctionner le 15 novembre 1910, elle comprend un four de 2500 chevaux et possède une organisation profondément étudiée en vue de recueillir tous les renseignements scientifiques et industriels désirables.

Entre temps, l'industrie privée ne restait pas inactive. A la fin des essais poursuivis par les inventeurs, le four des Forges de Domnarfvet fut repris par la « *Stora Kopparberg's Bergslag's A. B.* », à qui il appartenait, qui continua à le faire marcher pour ses propres essais. Elle construit actuellement un nouveau four de 4000 chevaux, premier d'une série de 40000 chevaux. L'usine projetée aura une capacité annuelle de 120000 tonnes de fonte et coûtera près de 18 millions de francs.