

pur ou mélangé à des matières terreuses abonde dans certaines régions où il forme parfois des filons d'une grande puissance; en réservant à la fabrication des objets de choix les variétés les plus pures et en utilisant pour la production des verres colorés les variétés communes, il nous semble qu'on réaliserait là un grand progrès dans l'industrie déjà si perfectionnée du verre.

L'idée n'est du reste pas nouvelle, car plusieurs auteurs ont déjà mentionné la fusion facile du quartz dans le four électrique. En 1893, Moissan a étudié attentivement les propriétés et la volatilisation de la silice dans le four qu'il avait inventé un an auparavant: en plaçant des fragments de cristal de roche dans un creuset de charbon soumis à l'action d'un arc de 350 ampères sous 70 volts, il remarqua que la silice entraînait en fusion et ne tardait pas à se volatiliser. Les expériences de Gabreau ont de même montré que le quartz fondait facilement dans un creuset chauffé extérieurement par une série d'arcs disposés circulairement.

Bronn lui-même, en vue d'étudier cette fusion, se servit comme matière première de sable du Rhin, dit « sable cristallisé », qui donnait comme produit fondu une substance blanchâtre, à arêtes transparentes, et dont l'opacité ne semblait due qu'à l'inclusion d'un grand nombre de petites bulles gazeuses dans la masse liquide. Le quartz ainsi préparé possède l'excellente qualité de se laisser travailler et tirer facilement en fils longs et fins, lorsqu'il est à une température suffisamment élevée. Un de ses plus grands avantages est son insensibilité aux changements brusques de température: en outre de cela, le quartz possède une dureté très supérieure à celle du verre ordinaire et même à celle du cristal et il peut, par suite, être utilisé dans un grand nombre de cas où le verre serait un produit bien imparfait.

Comme on peut s'en rendre compte, l'avenir nous réserve bien des chances de réussite dans la fabrication électro-thermique d'un produit, qui, soit de même nature que le verre, soit ayant toutes ses qualités et présentant sur lui les avantages précités, viendrait rendre à l'industriel de grands services en réduisant à une valeur presque négligeable la main d'œuvre et les frais d'extraction de la matière première.

Une solution très avantageuse, et qui mérite également d'être mentionnée, serait peut-être aussi celle qui a été proposée récemment par M. Côte et qui est la suivante: utilisation de l'oxygène de l'air par la liquéfaction de ce dernier gaz (procédé G. Claude) avec transformation partielle des fours actuels, et installation hydro-électrique comprenant, par exemple, une série de fours à carbure de calcium et appareils à liquéfier l'air pour la production de la flamme oxyacétylénique, devenue, par ce procédé, économique et pratique.

Nous laissons aux industriels actifs et compétents le soin de juger par eux-mêmes quel sera le meilleur parti à prendre à la suite de cette étude en vue d'une fabrication large et méthodique du verre, espérant que les discussions qu'elle pourra soulever amèneront une solution efficace de ce problème.

Jean ESCARD, *Ingénieur Civil,*

Ancien Elève du Laboratoire Central de la Société Internationale des Electriciens.

Traction électrique des Chemins de fer Suisses

Suite du Rapport de la Commission Suisse d'Etudes pour la traction électrique des Chemins de fer

Par le Secrétaire général, Professeur Dr WYSSLING (*)

Les calculs précédents montrent que, sur les 1 200 000 chevaux-heures qui sont nécessaires pour le trafic d'un jour d'été, un sixième au plus, soit 200 000 chevaux-heures environ, serait récupérable et cela dans le cas d'un système de traction parfait sous ce rapport. Cela représenterait une économie sensible. Mais il y a lieu de remarquer que cette récupération n'aurait pas partout la même importance. Sur la ligne de Brünig, sur les chemins de fer rhétiens, sur le

(*) D'après le *Bulletin technique de la Suisse Romande*. Pour la première partie de cette étude, voir le n° de décembre de *La Houille Blanche*.

Gothard, l'énergie ainsi disponible, théoriquement, se monte à un tiers du travail total, tandis que, sur l'ensemble des chemins de fer fédéraux, la proportion est de un huitième, et tombe à un treizième dans le III^e arrondissement. Si l'on tient compte, en outre, du fait que la récupération amène toujours des complications et qu'elle ne peut jamais donner des résultats complets, on reconnaît que le souci de la récupération ne doit influencer que secondairement, ou seulement pour certaines lignes, la question du système de traction à appliquer; le bénéfice à réaliser de ce fait sera en tous cas relativement minime.

La diminution de dépense en hiver est importante. Comme on l'a vu plus haut, l'énergie nécessaire aux chemins de fer a été calculée non seulement pour un jour d'été, mais aussi pour une journée d'hiver. Le résultat est beaucoup plus faible dans ce dernier cas; il y a lieu, par contre, d'ajouter la dépense d'éclairage et de chauffage.

Comme on le voit, le travail de traction proprement dit ne s'élève en hiver qu'aux trois quarts environ du total de l'été; ce rapport tombe pour quelques lignes à 50 pour 100 (sur le Brünig à 25 pour 100); par contre, il s'élève plusieurs fois à 90 pour 100.

Si l'on ajoute à cela le chauffage et l'éclairage, qui montent en moyenne à 13 pour 100 de la dépense de traction, on constate que la dépense d'hiver est, en moyenne, les 77 pour 100 de celle de l'été. Remarquons que cette valeur n'est pas un minimum, car on a choisi un jour ouvrable (le minimum se produit le dimanche, le service des marchandises étant supprimé ce jour-là).

Nous supposons désormais que les forces hydrauliques disponibles sont munies de réserves d'eau suffisantes pour parer aux différences d'énergie qui se présentent en hiver et en été. La constitution de ces réserves s'imposera d'elle-même pour obvier aux variations de puissance qui seront nécessaires, ainsi que pour compenser la variabilité des cours d'eau dans les différentes saisons.

Du moment que ces réserves sont supposées exister, il n'y a plus à tenir compte que de la moyenne annuelle de l'énergie journalière nécessaire, plus brièvement, de l'énergie annuelle. Voici de quelle façon cette quantité a été déterminée. On s'est basé sur le trafic réel exprimé en tonnes-kilomètres par an, obtenu en prenant la moyenne entre le trafic d'un jour ouvrable d'été et d'un jour ouvrable d'hiver, et en déduisant 7 pour 100 pour la suppression du service des marchandises le dimanche (le trafic des marchandises étant estimé à 50 pour 100 du trafic total). L'énergie dissipée par le chauffage et l'éclairage a été comptée pour un tiers de sa valeur réelle d'un jour d'hiver, ce qui correspond à admettre par an 20 jours complets de chauffage et d'éclairage.

Le travail moyen de traction, exprimé en tonnes-kilomètres, représente, pour les voies normales, le 78 pour 100; pour les voies étroites, le 68 pour 100 du travail d'un jour d'été.

Le travail journalier moyen exprimé en chevaux-heures s'élève à 80 pour 100 de celui d'un jour d'été et à 105 pour 100 de celui d'un jour d'hiver.

L'énergie moyenne nécessaire par jour, pour la traction, le chauffage et l'éclairage, a été trouvée égale à 966 000 chevaux, ce qui représente, en calculant par excès, 2 400 000 chevaux-heures à fournir par les turbines des stations centrales, ce qui correspond à une puissance permanente de 100 000 chevaux aux turbines.

LA PUISSANCE NÉCESSAIRE, ET EN PARTICULIER SON MAXIMUM. — La détermination de la puissance exigée par les divers réseaux et tronçons n'est pas utile seulement pour l'étude des centrales hydrauliques, mais encore pour celle des canalisations électriques. Nous ne nous occuperons ici, pour le moment, que des forces hydrauliques.

Voici de quelle façon il a été procédé:

Un barème des vitesses d'après les rampes fut établi, cor-

respondant à peu près à ce qui peut être atteint actuellement par la traction à vapeur dans des circonstances favorables. D'après ces vitesses et les valeurs admises plus haut pour la résistance au roulement, on construisit alors le *diagramme des puissances pour un train de 100 tonnes*, c'est-à-dire un graphique donnant, pour chaque catégorie de trains, la puissance en fonction de la rampe.

D'après ce premier diagramme, on put établir, pour chaque tronçon de ligne et chaque catégorie de trains, un *diagramme des trains* pour un train de 100 tonnes, en prenant le temps pour abscisse ; la puissance en chevaux fut portée en ordonnées sur l'horaire graphique, et cela dans l'hypothèse que le train marchait sur chaque tronçon à la vitesse admise pour la *rampe maxima* de ce tronçon. Cette hypothèse simplificatrice peut évidemment être adoptée pour le calcul de la *puissance maximum*, puisque celle-ci est réellement nécessaire à certains moments ; il est bien entendu, par contre, que la *puissance moyenne* que l'on obtiendrait en planimétrant ce diagramme des trains serait beaucoup plus élevée que dans la réalité des choses.

En portant sur l'horaire graphique les diagrammes de tous les trains circulant dans la journée sur la ligne considérée, on obtient finalement le *diagramme de chaque tronçon pour un train de 100 tonnes*.

Ce travail fut fait sur l'horaire d'été 1904 en tenant compte de tous les trains périodiques ou facultatifs. En prenant ensuite, sur les tableaux de charges des trains des chemins de fer fédéraux, les *pooids maximum* (d'août, pour les trains de voyageurs ; d'octobre, pour les trains de marchandises) de chaque numéro de trains, on construisit un *diagramme des puissances pour chaque tronçon*, en additionnant toutes les 10 minutes (et parfois à de plus courts intervalles) les puissances exigées par tous les trains en circulation. Pour les lignes autres que celles des chemins de fer fédéraux, on se basa sur les poids maximum indiqués par les horaires de service.

On admit aussi que les trains se suivaient à la distance de blocage. Pour toutes les descentes jusqu'à 6 pour 1 000, on calcula avec la puissance nécessaire en palier ; sur les pentes les plus fortes, on admit que le mouvement se faisait sans apport d'énergie.

On n'a pas tenu compte spécialement de la puissance nécessaire à l'*accélération* ; en effet, avec les accélérations actuelles de 0,1 à 0,15 m. par sec. sec, on peut considérer que cette puissance est largement couverte par la supposition que chaque train, dès son départ, exige la puissance nécessaire pour la rampe maxima du tronçon considéré.

En résumé, toutes les hypothèses faites doivent donner des puissances maximum plutôt supérieures à celles qui seront nécessaires en réalité.

On put ensuite procéder à la confection des *diagrammes de puissance* de réseaux quelconques, tout simplement en additionnant les ordonnées du même instant. Il en résulta naturellement que, plus les réseaux étaient étendus, plus les courbes de puissances devenaient régulières.

Pour pouvoir les utiliser dans la suite pour le calcul des réseaux de distribution électriques et celui des machines des stations centrales, il fut nécessaire de dessiner les diagrammes de puissances de tous les tronçons. En effet, dans l'exécution future de la traction électrique et d'après la distribution géographique des forces hydrauliques disponibles, il conviendra d'attribuer un point d'alimentation à chaque groupe de tronçons, et à chaque centrale le service d'un certain nombre de ces points d'alimentation.

L'ensemble du réseau suisse fut partagé en un certain nombre de réseaux (140 environ), pour chacun desquels on établit le diagramme des puissances, en se basant sur le travail journalier total et par conséquent sur la *puissance moyenne nécessaire 24 heures par jour*.

Le rapport entre la puissance maximum et cette puissance moyenne varie dans la plupart des tronçons entre 7 et 12 ; pour un assez grand nombre, il s'élève à 15 ou 20 (au maxi-

mum 37). Par contre, les cas où ce rapport tombe jusqu'à 6 sont assez nombreux, et sur quelques lignes isolées, sur le Gothard notamment, il descend jusqu'à 4 et 3,2 pour des tronçons en rampe relativement longs.

On reconnaît par ces quelques données que les *fluctuations de la puissance* exigée sont très considérables.

En groupant en un petit réseau un ensemble de tronçons partant d'un des futurs points d'alimentation, on reconnaît que les fluctuations n'y sont guère plus faibles. Prenons, par exemple, le réseau d'Etzwylen, composé de cinq sections faisant en tout 161 km, 34. Le diagramme montre, pendant les 22 heures que dure le service journalier, une puissance moyenne (rapportée à 24 heures) de 1517 chevaux et présente vingt-cinq maxima et minima, tandis que la puissance maxima du même réseau s'élève à 10 500 chevaux (ce qui représente 6,9 fois la puissance moyenne). La plus forte fluctuation de puissance représente environ le 60 p. 100 de la puissance maxima. Les tronçons dont se compose le réseau, pris un à un, ont des maxima qui se montent au décuple de leur puissance moyenne ; la somme de ces maxima s'élèverait à 14 050 chevaux. Les maxima des diverses sections ne se produisant pas simultanément, la réunion en un seul réseau abaisse le maximum de 14 050 et 10 500 chevaux, ce qui représente une amélioration qui se chiffre par le rapport de 10 à 6,9.

En ajoutant au réseau d'Etzwylen les réseaux de Wil (187, 9 kms) et de Rorschach (89,3 kms), on obtient un réseau de 439 km de lignes, qui correspond à peu près au 4^e arrondissement des chemins de fer fédéraux, diminué de la ligne Altstätten-Goire, mais augmenté par contre des lignes secondaires de la région. Le rapport de la puissance maxima à la puissance moyenne (toujours comptée sur 24 heures) tombe alors à 5, et la plus forte variation ne s'élève plus qu'à 35 pour 100 de la puissance maxima (abstraction faite de la brusque variation qui se produit à l'ouverture et à la clôture de l'exploitation journalière).

Des constatations analogues peuvent être faites sur tous les réseaux du même développement (soit d'environ 30 000 chevaux de puissance maxima aux routes motrices).

Il ne sera pas souvent possible de composer des réseaux plus étendus dépendant d'une seule usine génératrice ; l'examen des travaux déjà faits permet de conclure qu'il n'est guère possible de faire descendre au-dessous de 5 le rapport entre la puissance maxima et la puissance moyenne ; ce rapport doit donc être considéré comme la limite inférieure de ce qui pourra être obtenu dans cet ordre d'idées.

INSTALLATION DES USINES CENTRALES. — Les résultats que l'on vient de lire, extraits du travail de M. l'ingénieur Thormann, pourront servir de base à l'étude des installations pour la force motrice et la distribution. Nous allons en tirer immédiatement quelques conclusions.

Les usines centrales devront tout d'abord être capables de supporter des *variations énormes* de débit ; même en groupant les lignes en réseaux étendus alimentés par des usines hydrauliques aussi puissantes que possible, les machines et l'ensemble des installations devront pouvoir fournir à l'occasion le *quintuple* de leur puissance moyenne. Pour les réseaux de faible développement, dont les centrales seront relativement petites, et pour les stations de transformation, il arrivera facilement que les puissance maxima s'élèveront au *décuple* de la puissance moyenne.

On se rend compte à la réflexion qu'il n'y a pas possibilité, dans l'état actuel des choses (et peut-être pour toujours), de songer à égaliser les puissances demandées aux centrales par l'emploi de batteries d'accumulateurs. On est donc amené à imposer aux usines génératrices et à leurs réserves hydrauliques le soin de parer aux variations de puissance ; ce fait limite le choix des emplacements d'usines à ceux qui sont situés près des lacs, car on ne peut songer, au point de vue économique, à faire des installations où on laisserait s'écouler, sans l'utiliser, l'eau surabondante aux instants

de charge moyenne. Ce dernier genre d'usines ne peut donc être employé qu'en connexion avec des installations possédant des réserves hydrauliques. Comme, d'autre part, l'installation de réserves ne peut se faire économiquement qu'avec de hautes chutes, ce sont ces dernières qu'il conviendra surtout d'utiliser.

Dans tous les cas où des réservoirs ne pourront pas être placés à proximité des centrales, il faudra chercher à créer des réserves indirectes, au moyen de moteurs électriques, de pompes ou de réservoirs à haute chute placés à une certaine distance.

Nous allons essayer de nous rendre compte, superficiellement au moins, de la puissance totale des chutes nécessaires. Nous pourrions admettre en première approximation que le rendement est à peu près le même à la plus forte charge qu'à la puissance moyenne, c'est-à-dire que ce rendement est égal à celui qui a été supposé plus haut dans le calcul de l'énergie. En effet, le rendement des moteurs, du réglage et des transformateurs est plus élevé à forte charge qu'à puissance moyenne, tandis que pour des canalisations électriques, c'est le contraire.

Ici encore, nous pourrions adopter 45 pour 100 comme rendement de la transmission des turbines aux rails, même dans les cas d'un système très désavantageux, d'autant plus que nous pouvons admettre que la présence d'accumulateurs électriques n'amènerait pas de changements notables dans ce rapport ; mais nous ne calculerons ici qu'avec 40 pour 100, comme dans la première partie de ce rapport ; en outre, nous adopterons encore les rapports de cinq entre les puissances maxima et moyenne.

Les 100 000 chevaux de puissance moyenne donneront alors 500 000 chevaux comme puissance des turbines des stations centrales ; ces 500 000 chevaux seraient employés en plein 4 heures 45 minutes par jour, en moyenne ($\frac{24}{5} = 4^h45$). Ceci dans l'hypothèse de très grandes usines génératrices ; s'il devient nécessaire de fractionner ces usines, il faudra multiplier les 100 000 chevaux par un nombre plus grand que 5.

Si la récupération sur les pentes arrive à pouvoir se faire pratiquement, l'utilisation de la puissance maxima diminuera ; mais cette puissance maxima elle-même ne diminuera pas beaucoup ; ce ne sera guère que sur l'énergie journalière ou annuelle qu'il y aura bénéfice.

A propos de la meilleure utilisation des Chutes

Les forces hydrauliques ont acquis, aujourd'hui, une valeur incomparablement plus grande que celle qu'elles avaient il y a quelques années, depuis qu'il est possible, grâce au développement du transport de l'énergie électrique, de transmettre à de grandes distances et avec succès des quantités considérables d'énergie. On peut ainsi employer de nombreuses forces hydrauliques éloignées, auxquelles il n'était pas permis de songer autrefois et, en considération de la hausse des prix de la houille, il est hors de doute que l'emploi de ces forces hydrauliques ne se prépare rapidement.

Deux inconvénients, cependant, viennent amoindrir la valeur de ces forces hydrauliques. C'est, d'abord, l'irrégularité de la puissance qui, parfois, après des pluies abondantes, amène une surabondance d'eau dont l'utilité est nulle, tandis qu'à d'autres moments, surtout pendant les grands froids, ou les temps de sécheresse, le débit courant devient très faible et, par suite, insuffisant pour procurer l'effort nécessaire au fonctionnement complet des installations. On peut remédier avantageusement à cet inconvé-

nient en aménageant des barrages, surtout dans les pays de montagnes, afin d'y accumuler les eaux de pluie de toute l'année, et de les distribuer chaque jour suivant les besoins.

Le second inconvénient, dont l'aplanissement fait l'objet

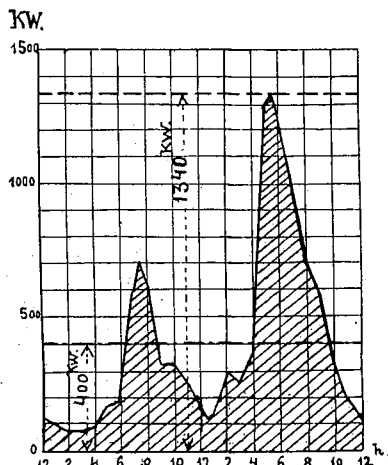


Fig. 1. — Diagramme d'une centrale d'éclairage (Décembre)

Maximum = 1340 kw.
Moyenne de 24 heures = 400 kw.
Maximum
Moyenne = 3,35.
Facteur de charge = 30 %.

de l'exposé ci-après, consiste en ce que les forces hydrauliques disponibles sont très souvent *incomplètement utilisées* par les consommateurs, de sorte qu'une grande partie de l'eau s'écoule du barrage sans rendre de services, et que le facteur de charge (c'est-à-dire le rapport existant entre l'énergie effectivement utilisée et celle réalisable par la force hydraulique dont on dispose) est très minime. La charge la plus désirable serait celle qui donnerait un rendement stable pendant 24 heures, c'est-à-dire un rendement dont chaque kilowatt produit par l'énergie hydraulique serait complètement utilisé par le consommateur.

Dans certains genres d'industrie, le travail est bien de 24 heures à pleine charge, comme, par exemple, dans les fabriques électro-chimiques, dans les moulins, dans les papeteries, etc. ; au contraire, dans la grande majorité des usines, le travail est *très variable* ou intermittent. Ce cas concerne surtout les centrales d'éclairage électrique, de distribution de force, et les centrales pour la traction électrique, qui n'ont, la plupart du temps, qu'un facteur de charge très faible (souvent seulement de 30 ou 50 pour cent). Les figures 1 et 2 représentent un graphique de centrale qui fonctionne effectivement pour l'éclairage et pour actionner de petits moteurs, et qui n'a qu'un facteur de charge de 30 à 38 pour 100. La figure 3 représente un graphique de chemin de fer (chemin de fer de la Valteline) n'ayant que 28 pour 100 de facteur de charge. La figure 4, enfin, donne le graphique d'une fabrique travaillant dix heures, et où l'eau reste inutilisée pendant 14 heures par jour, ce qui représente seulement une utilisation de 42 % de la charge.

Fig. 2. — Diagramme d'une centrale pour éclairage, force et traction.

Maximum = 3700 kw.
Moyenne de 24 heures = 1400 kw
Maximum
Moyenne = 2,64.
Facteur de charge = 38 %.

Dans de semblables stations hydrauliques, l'utilisation est donc *très minime*, et le rendement en est fortement diminué, car le rendement d'une station hydraulique dépend, en première ligne, d'un facteur de charge élevé. Si ce dernier est faible, la concurrence de la vapeur ou des moteurs calorifiques est plus à craindre et, lorsque cette