

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 48 (1922)
Heft: 15

Artikel: Les moteurs Diesel: leur valeur économique comparée à celle d'autres machines motrices
Autor: Buchi, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37414>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Les moteurs Diesel. Leur valeur économique comparée à celle d'autres machines motrices*, par M. ALFRED BUCHI, ingénieur en chef, à Winterthur. — *Grues roulantes et pivotantes sur portique*. — *Concours pour la construction d'une église catholique à Montana-Vermala (suite)*. — *Résistances fictive et réelle des métaux à la traction*. — *Déformation et rupture des solides*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*. — CARNET DES CONCOURS.

Les moteurs Diesel.

Leur valeur économique comparée à celle d'autres machines motrices¹.

par M. ALFRED BUCHI, ingénieur en chef, à Winterthur.

Au premier abord, il semble bien un peu hardi de vouloir en Suisse, pays par excellence de la houille blanche, recommander l'installation de machines thermiques pour la production de l'énergie. Mon opinion — et je tiens à le dire expressément d'avance pour éviter des malentendus — est bien que la question ne se pose pas de savoir si l'on doit, oui ou non, tirer de nos forces hydrauliques la majeure partie de l'énergie qui nous est nécessaire. Ce doit être même notre constante préoccupation que d'y pourvoir. Toutefois, économiquement parlant, une limite est posée à leur exploitation, là où la construction de la centrale hydro-électrique exige des frais hors de proportion avec le profit à en retirer. C'est précisément de cette limite qu'il va être parlé dans la suite, où en se fondant sur les états des frais d'établissement et d'exploitation, on établira une comparaison entre les principaux moteurs employés à la production de l'énergie électrique.

Situation relative des diverses centrales d'énergie.

Avant d'entrer dans le cœur du débat, il est utile de bien fixer les facteurs qui sont déterminants pour les frais d'établissement et les dépenses d'exploitation des usines productrices d'énergie des divers genres. La centrale hydro-électrique diffère essentiellement, à ce point de vue aussi, de la centrale thermique.

Les centrales hydro-électriques exigent dans la règle un gros capital d'établissement ; deux à trois fois et plus ce que réclamerait une installation thermique de même puissance. La production de l'énergie est forcément reportée au lieu même où la force hydraulique est disponible. L'énergie produite doit par conséquent être transportée au loin vers le lieu de consommation, puis transformée là pour être distribuée au consommateur sous la forme convenable. L'installation une fois achevée, l'exploitation n'absorbe que peu de frais de personnel et d'entretien. L'intérêt et l'amortissement du capital engagé

constituent donc la majeure partie, la presque totalité, des charges. La puissance maximum disponible dépend en tout temps du régime des eaux et peut varier beaucoup selon les circonstances.

Pour exploiter une force hydraulique, il faut demander une concession à l'Etat. Cette concession est accordée pour un temps généralement limité, à l'échéance duquel l'Etat se réserve le droit de prendre l'usine à son compte, soit gratuitement, soit moyennant une certaine indemnité. Pour le transport du courant électrique, il faut également obtenir des autorisations. Enfin, l'érection de la centrale réclame un temps relativement long, tant en négociations préalables qu'en travaux de construction.

Les centrales thermiques s'établissent à moins de frais, au lieu même de consommation de l'énergie produite, ou du moins dans le voisinage direct. Par contre, elles occasionnent des dépenses constantes pendant l'exploitation, résultant de l'achat du combustible. En ce qui concerne la Suisse, ce combustible doit être acquis à l'étranger.

La construction d'une centrale thermique n'est tenue à aucune demande de concession. Il suffit qu'elle satisfasse notamment aux prescriptions de la police du feu. L'érection peut être effectuée en un laps de temps très court. Il est facile de pourvoir à des agrandissements successifs et à l'adaptation rapide au marché de l'énergie. Les moteurs thermiques peuvent toujours être utilisés jusqu'à l'extrême limite de leur puissance.

Calcul du prix de revient de l'énergie électrique dans les grandes centrales.

Turbine hydraulique ou moteur Diesel ?

Quand on compare entre eux les prix de revient de l'énergie électrique fournie par des centrales de natures diverses, les conclusions de la comparaison dépendent étroitement des hypothèses que l'on fait et du point auquel on se rapporte, dans le réseau de distribution, pour y calculer le prix du *kwh* par exemple. Les cas rencontrés sont les plus divers et il ne saurait être question de les envisager tous séparément dans le cadre restreint de cet exposé. On se bornera, en conséquence, à des considérations de l'ordre le plus général possible.

Centrales hydroélectriques. Commençons par calculer le prix du *kwh* fourni par une usine hydroélectrique, sous forme de courant *alternatif*. Le courant est supposé pris au point A (fig. 1) sur une canalisation à tension

¹ D'après des conférences faites devant les sections de Zurich, Bâle et Berne de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.

modérée. Pour avoir un coup d'œil d'ensemble et des conclusions embrassant les conditions les plus variées, le coût global de la centrale, y compris la transformation au départ est fixé, successivement à fr. 1200, 1000, 800 et 600 par *kw* de puissance nominale installée. Admettons que la ligne revienne à fr. 375, 190 ou respectivement

transformation. Par *kw* de la puissance disponible au point A, les frais d'établissement de la centrale au lieu de se monter à fr. 1200, vont atteindre fr. 1422, respectivement fr. 1330 ou fr. 1290, selon que la ligne aura 200, 100 ou 50 km. de longueur. Les frais relatifs à la ligne augmentent eux aussi en raison inverse du rendement des

transformateurs, tandis que le coût de la station transformatrice entre sans modification dans le calcul. Par addition de ces trois postes, on trouve pour le coût total de l'installation, par *kw* disponible à la prise de courant A quand la centrale donne sa puissance nominale, fr. 1909, 1626 ou 1493 selon qu'il s'agit d'une ligne de 200, 100 ou 50 km. Admettons que les dépenses annuelles, y compris les salaires et l'entretien atteignent 9 % des chiffres cités, en ce qui concerne la centrale, et 11 % en ce qui concerne la ligne et la station de transformation. Il s'ensuit pour le montant de ces dépenses annuelles 181 fr. 60, 152 fr. 10 ou respectivement 138 fr. 30 par *kw* installé, en A.

On a de même calculé les frais d'installation et les dépenses annuelles pour les cas où le coût de la centrale seule s'élève à fr. 1000, 800 et 600 le *kw*. Les résultats obtenus de la sorte permettent maintenant de déterminer le prix de revient du *kwh* débité au point A, pour un service annuel de durée donnée. Ce prix de revient est calculé, en centimes, fig. 1, en fonction de la charge moyenne de la centrale (25 à 100 %). Les courbes en trait mixte se rapportent à un service de 4000 heures par année ; le trait fort concerne le cas où la ligne a 50 km. de longueur ; le trait fin, 100 km. ; le trait pointillé, quand il en compte 1500. Dès l'abord, on remarque combien le prix du *kwh* s'élève rapidement lorsque la durée du service de même que la charge moyenne diminuent. Cela tient au fait

CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES

Calcul du prix du *kwh* (courant alternatif sous 3000 volts environ) dans diverses éventualités de frais d'établissement de la centrale, de charge, de durée du service et de longueur de la ligne (50, 100 ou 200 km.).

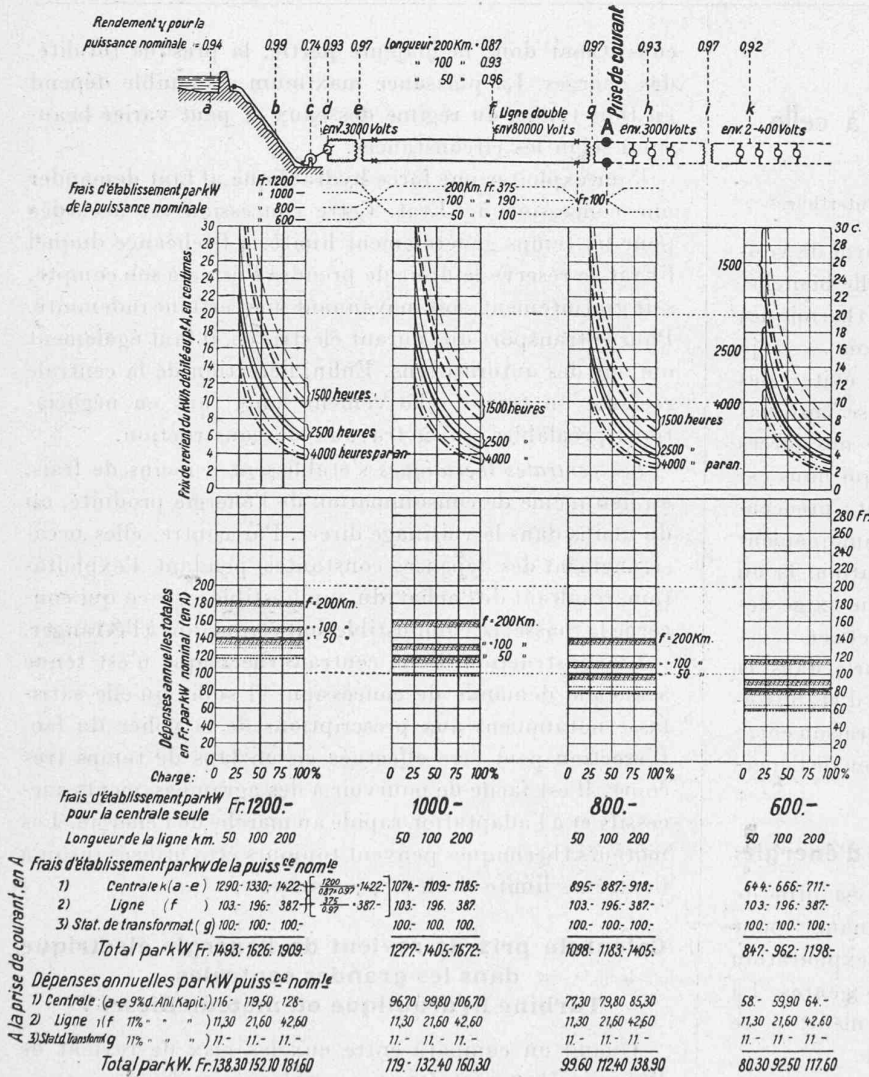


Fig. 1.

fr. 100 par *kw*, à supposer qu'elle ait 200, 100 ou respectivement 50 km. de longueur. Soit fr. 100 par *kw*, appareillage et bâtiment inclus, le coût de la station de transformation à l'arrivée au lieu de consommation. Pour obtenir le coût réel de l'installation par *kw* disponible au point A quand la centrale développe sa puissance nominale, il faut évidemment tenir compte de ce que — vu le rendement de la ligne et celui de la transformation — on ne dispose plus en ce point que d'une partie de la puissance mesurée par exemple aux bornes de départ de la centrale, ou à l'entrée dans la station de

transformation. Par *kw* de la puissance disponible au point A, les frais d'établissement de la centrale au lieu de se monter à fr. 1200, vont atteindre fr. 1422, respectivement fr. 1330 ou fr. 1290, selon que la ligne aura 200, 100 ou 50 km. de longueur. Les frais relatifs à la ligne augmentent eux aussi en raison inverse du rendement des

transformateurs, tandis que le coût de la station transformatrice entre sans modification dans le calcul. Par addition de ces trois postes, on trouve pour le coût total de l'installation, par *kw* disponible à la prise de courant A quand la centrale donne sa puissance nominale, fr. 1909, 1626 ou 1493 selon qu'il s'agit d'une ligne de 200, 100 ou 50 km. Admettons que les dépenses annuelles, y compris les salaires et l'entretien atteignent 9 % des chiffres cités, en ce qui concerne la centrale, et 11 % en ce qui concerne la ligne et la station de transformation. Il s'ensuit pour le montant de ces dépenses annuelles 181 fr. 60, 152 fr. 10 ou respectivement 138 fr. 30 par *kw* installé, en A.

On a de même calculé les frais d'installation et les dépenses annuelles pour les cas où le coût de la centrale seule s'élève à fr. 1000, 800 et 600 le *kw*. Les résultats obtenus de la sorte permettent maintenant de déterminer le prix de revient du *kwh* débité au point A, pour un service annuel de durée donnée. Ce prix de revient est calculé, en centimes, fig. 1, en fonction de la charge moyenne de la centrale (25 à 100 %). Les courbes en trait mixte se rapportent à un service de 4000 heures par année ; le trait fort concerne le cas où la ligne a 50 km. de longueur ; le trait fin, 100 km. ; le trait pointillé, quand il en compte 1500. Dès l'abord, on remarque combien le prix du *kwh* s'élève rapidement lorsque la durée du service de même que la charge moyenne diminuent. Cela tient au fait

que les dépenses totales sont les mêmes pour une installation hydroélectrique, que l'exploitation soit complète ou partielle.

Dans ce calcul du prix du *kwh*, on a compté sans l'inductance, en admettant que $\cos \phi = 1$. Cette hypothèse est trop favorable. Pratiquement, quand le réseau comporte beaucoup de moteurs, $\cos \phi$ est fort inférieur à 1. L'intensité du courant débité augmente alors et il faut majorer la section de tous les conducteurs ; il s'ensuit une augmentation sensible des frais. Il y aurait donc lieu de relever, en conséquence, le prix du *kwh* en A.

Il faut enfin considérer que pendant les périodes de basses eaux, il se peut que l'installation ne puisse pas être exploitée à fond. Bon an, mal an, la centrale ne rend en moyenne que 75 %, voire 50 % de sa puissance nominale. Il en résulte un affaissement des recettes et automatiquement, en outre, une augmentation importante du prix de revient du kwh débité.

Production de courant continu. Le courant alternatif répond très favorablement aux conditions de distribution de l'énergie, grâce particulièrement à la simplicité avec laquelle on peut le « transformer » pour ainsi dire sans pertes. Toutefois pour certaines applications — tramways, chemins de fer d'intérêt local, parfois même pour la lumière — le courant continu est plus avantageux. Il est indispensable pour l'électrolyse, pour le service des batteries d'accumulateurs, etc. Pour convertir le courant alternatif en courant continu, on se sert de groupes convertisseurs rotatifs, de commutatrices et récemment de redresseurs à vapeur de mercure. Tous ces appareils sont affectés d'un certain rendement qui n'est pas toujours particulièrement bon. D'ailleurs leur établissement implique des frais supplémentaires notables. De sorte que les réseaux de courant alternatif ne peuvent fournir du continu qu'à des prix relativement élevés. On calculera ces prix, sur la base du schéma fig. 2, pour le point B, en supposant, comme ci-dessus avec le courant alternatif, des frais d'établissement de fr. 1200, 1000, 800 et 600 par kw installé pour la centrale seule. On maintiendra aussi les chiffres relatifs à la ligne et à la station de transformation à 3000 volts. Quant à la station de conversion en continu, on fixera le prix à fr. 250 le kw. nominal, bâtiments inclus. Soit encore 84 % le rendement moyen de la conversion. Les frais d'établissement de la centrale, rapportés au kw disponible en B, à puissance nominale, sont maintenant bien supérieurs à ce qu'ils étaient en A dans le cas de la fig. 1. L'augmentation subie est en raison inverse du rendement de la conversion. Ces frais s'élèvent à fr. 1700, 1590 ou 1535, selon que la ligne a respectivement 200, 100 ou 50 km. de longueur, quand les frais à la centrale même atteignent fr. 1200 par kw installé. Pour la même raison, les frais relatifs à la ligne, rapportés au kw disponible en B, s'élèvent aussi; de même encore ceux qui sont relatifs à la transformation du courant alternatif à haute tension en courant à basse tension. Le prix de la station de conversion entre par contre sans altération dans le calcul. Le coût total de l'installation, rapporté au kw de puissance

nominale en B, se monte en conséquence, selon la longueur de la ligne, à fr. 2529, 2192.50 ou 2027 respectivement. En admettant maintenant que les dépenses annuelles à supporter comportent 9 % du capital engagé dans la centrale, 11 % du capital engagé dans la ligne et dans la

CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES

Calcul du prix de revient du kWh (courant continu sous 500 volts environ) dans diverses éventualités de frais d'établissement de la centrale, de charge, de durée du service et de longueur de la ligne (50, 100 ou 200 km.)

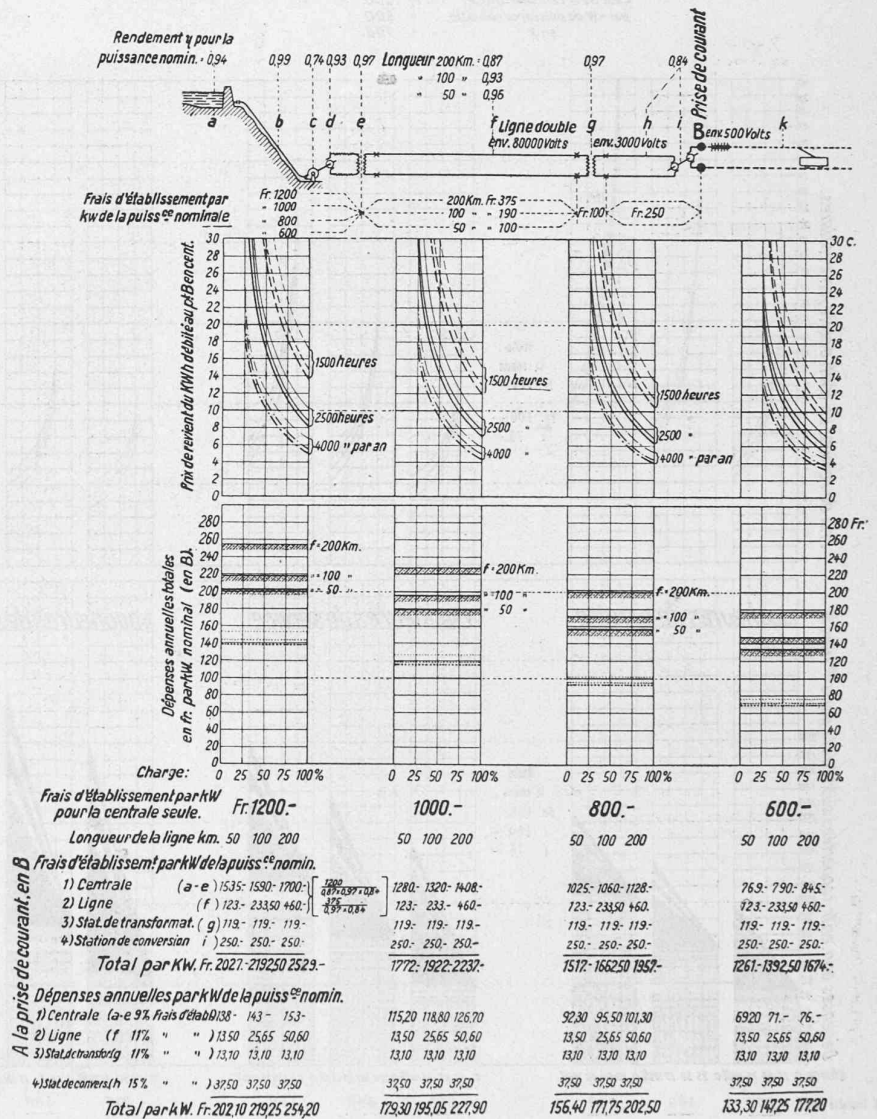


Fig. 2.

station de transformation, enfin 15 % du coût du poste de conversion, elles se chiffrent alors par fr. 254.20, 219.25, et 202.10 par kw nominal en B, lorsque les frais relatifs à la centrale seule atteignent fr. 1200 le kw. Ce calcul s'applique, sans changement, aux cas où ces frais s'abaissent à fr. 1000, 800 ou 600. Les résultats sont consignés graphiquement dans les diagrammes inférieurs de la fig. 2, tandis que les diagrammes supérieurs figurent le prix de revient du kWh en B, pour des services de 4000, 2500 et 1500 heures par an, la charge moyenne de l'ins-

Calcul du prix de revient du kWh débité par une centrale Diesel (courant alternatif ou continu, tension à volonté) dans diverses éventualités de frais d'établissement, de durée du service et de prix du combustible (75,100 ou 125 fr. par tonne).
(Grandes unités de 500 kW à plusieurs milliers de kW.)

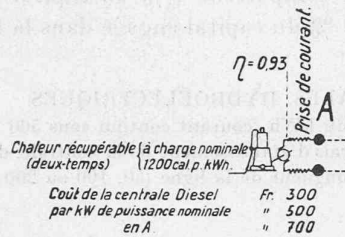
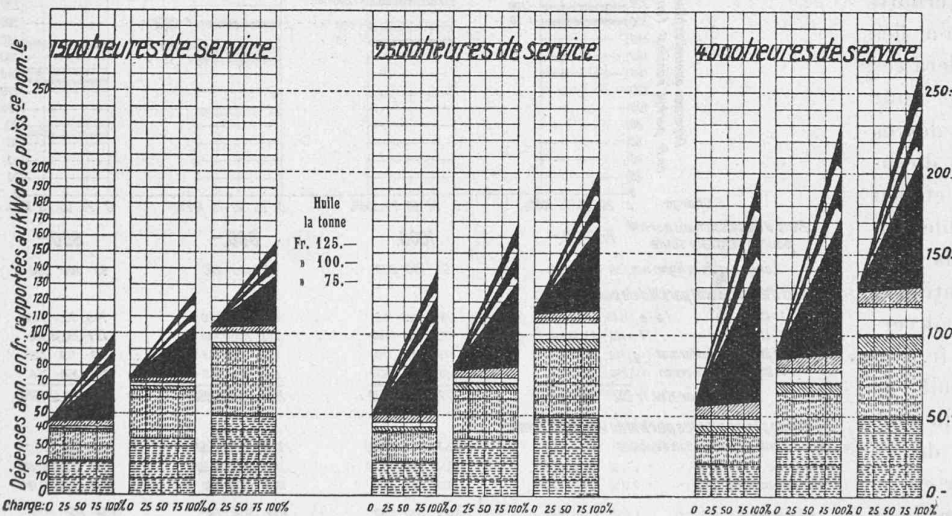
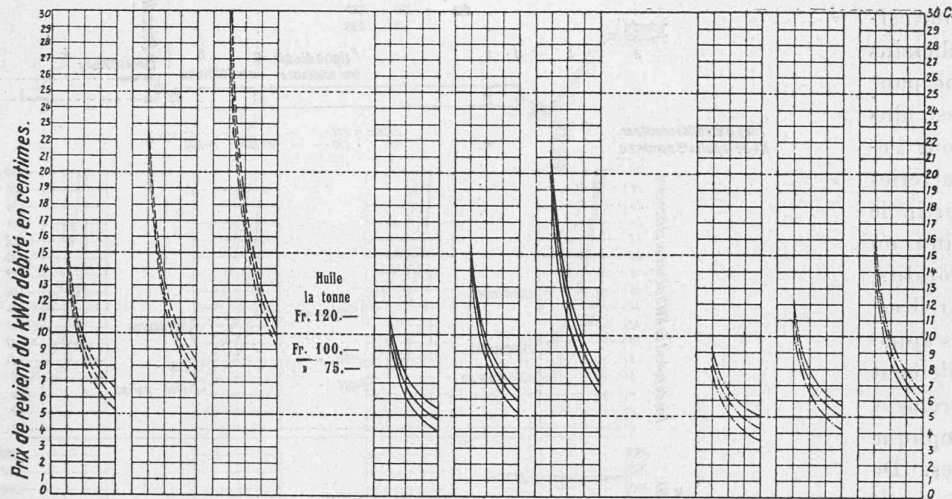


Fig. 3.



Coût par kW installé Fr.	100 heures de service			400 heures de service		
	300	500	700	300	500	700
Renouvellement cent./kWh	0,136	0,16	0,27	0,136	0,16	0,27
Personnel »	0,11	0,136	0,408	0,11	0,136	0,408
Drainage et divers	0,27	0,27	0,31	0,27	0,27	0,31
Consom. de comb. gr./kWh. (40) 410	(40) 410	(40) 410	(40) 426	(40) 410	(40) 410	(40) 426
	307 286 281	307 286 281	309 279 272	307 286 281	307 286 281	309 279 272
Rendement de la dynamo	0,93	0,93	0,925	0,93	0,93	0,925

tallation variant entre 25 et 100 % de la puissance nominale. La nature des traits change selon les conventions faites à propos de la fig. 1. Le prix de revient du kWh a subi une forte hausse, imputable aux pertes d'énergie et aux dépenses qui accompagnent la conversion.

Si en lieu et place de groupes convertisseurs, on se sert de commutatrices ou encore de redresseurs à vapeur de mercure, le rendement de la conversion s'améliore un

peu. Toutefois, il faut remarquer que les redresseurs à vapeur de mercure coûtent plus cher et ne s'appliquent pas avec un avantage égal à toutes les tensions.

Encore une fois, il ne s'agit pas ici de trancher tous les cas, mais uniquement d'attirer l'attention sur les facteurs qu'il faut absolument considérer dans une comparaison impartiale. Dans un cas donné, les frais d'établissement étant connus, le prix de revient exact du kWh s'établira toujours d'une manière analogue à celle qui vient d'être indiquée.

Les conditions examinées ci-haut se retrouvent sans changement dans les cas où la conversion en continue s'applique qu'à une partie seulement de l'énergie totale de la centrale. C'est le cas par exemple à Zurich; l'énergie convertie forme 40 % de l'énergie totale; le rendement de la conversion n'est que 78 % environ.

Centrales Diesel. Voici maintenant comme renseignement quelque peu exact concernant les frais relatifs à l'exploitation des moteurs Diesel, un calcul de prix de revient analogue aux précédents.

Les centrales Diesel étant érigées au lieu même de consommation de l'énergie ou en tout cas dans le voisinage direct, la ligne — pour autant qu'il s'agit d'une ligne de quelque longueur — est donc supprimée. La génératrice d'électricité, accouplée directement au moteur Diesel, débite le courant à la tension même qui est requise pour les applications, qu'il s'agisse de courant continu ou de cou-

rant alternatif, triphasé ou monophasé. De sorte que dans la règle on est dispensé d'installer soit des transformateurs, soit des convertisseurs. Ces circonstances favorisent considérablement la centrale Diesel par rapport à la centrale hydroélectrique; les dépenses et les pertes relatives à la ligne, à la transformation et à la conversion éventuelle en courant continu sont en effet supprimées. C'est ce que se propose de représenter le

schéma qui couronne la fig. 3. Pour permettre d'embrasser d'un coup d'œil les conditions rencontrées, on a établi les diagrammes inférieurs, qui donnent les dépenses annuelles d'exploitation, en supposant d'une part pour le coût de la centrale — complètement équipée, jusque et y compris les barres de départ — des sommes de fr. 300, 500 et 700 par kw de puissance nominale, sommes atteintes couramment avec les unités de grande puissance. On a envisagé d'autre part, dans chaque cas, des services s'étendant sur 4000, 2500 et 1500 heures par an. Dans un tableau, au-dessous de ces diagrammes, on a indiqué les frais à prévoir pour réparations, personnel, graissage et autres menus postes, tels qu'ils résultent des conditions actuelles d'exploitation ; puis la consommation de combustible en grammes par *kwh* débité au point A, aux diverses charges comprises entre la marche à vide et la puissance nominale ; enfin le rendement présumé du générateur d'électricité. Il est à remarquer, d'ailleurs, que les chiffres relatifs aux charges partielles n'interviennent que lorsque la centrale ne comporte par exemple qu'un seul groupe ; ce groupe doit par suite satisfaire à la demande à toutes charges.

Les dépenses annuelles d'exploitation sont calculées sur les bases suivantes : intérêt 7 % du capital d'établissement de la centrale, amortissement 6 % ; autres postes — réparations, personnel, graissage, etc. — selon les indications du tableau du bas de la fig. 3. Dans les diagrammes correspondants, la dépense de combustible est portée en noir, et cela en introduisant trois prix divers — soit fr. 75, 100 et 125 la tonne — afin de faire apparaître dans le calcul l'effet des fluctuations possibles du marché de l'huile brute. Ces diagrammes montrent clairement qu'avec la centrale Diesel, les dépenses annuelles totales ne sont plus constantes par rapport à la charge de la centrale, comme c'était le cas avec les installations hydroélectriques ; elles varient et augmentent avec elle. L'augmentation est proportionnelle à la charge quand la centrale possède plusieurs unités ; cela n'est plus tout à fait vrai lorsqu'elle n'en renferme qu'une, car alors la consommation de combustible par *kwh* augmente un peu quand la charge diminue, et les dépenses s'accroissent légèrement en proportion. Un coup d'œil sur les chiffres montre qu'avec 1500 heures de service par an et le kw installé à fr. 300, les dépenses d'exploitation varient entre fr. 45 et fr. 100 par an et par kw nominal. Elles arrivent à dépasser un peu fr. 150 quand le kw installé coûte fr. 700. Corrélativement, on doit supporter, avec 2500 heures de service, une dépense annuelle de fr. 50 à 200 ; et avec 4000 heures, fr. 60 à fr. 270, en chiffres ronds. Les dépenses annuelles, rapportées au kw de puissance nominale installée, sont donc remarquablement faibles quand le service est réduit, quand il compte 1500 heures par exemple ; de même, et dans tous les cas, quand la charge moyenne reste faible. On verra plus loin combien cette particularité de la centrale Diesel est avantageuse dans certaines applications. Les diagrammes supérieurs de la fig. 3 donnent le prix de revient du *kwh*

débité en A, en fonction de la charge moyenne de la centrale. Comme dans le cas de la centrale hydroélectrique, ce prix s'abaisse quand la durée du service actif augmente. Il se maintient, dans les hypothèses faites, entre 3,5 et 40,5 centimes le *kwh*, en charge nominale (100 %). Il s'élève assez rapidement quand la charge diminue. Toutefois l'élévation est moins rapide que dans le cas de la centrale hydroélectrique, parce qu'ici, à charge réduite, les dépenses d'exploitation diminuent (diagrammes inférieurs).

Enfin, pour compléter ce qui vient d'être dit il convient de remarquer que, dans une installation Diesel, outre l'énergie mécanique produite, on dispose encore d'une source d'énergie secondaire. Il s'agit de la chaleur résiduelle contenue dans l'eau de réfrigération et dans les gaz d'échappement. La partie utilisable de cette chaleur comporte dans les grands moteurs à deux temps, 1200 calories par *kwh*, en chiffres ronds, à puissance nominale. Elle peut, fréquemment, être employée utilement par exemple sous forme d'eau chaude, à 60 à 80° par les industries qui en réclament : abattoirs, buanderies, fabriques de produits chimiques, etc., ou pour le chauffage de locaux. On améliore sensiblement alors le rendement thermique de la centrale. Toutefois, si l'on veut exploiter économiquement cette chaleur, il faut fixer l'importance de la centrale Diesel en proportion des besoins de chaleur à satisfaire et non pas d'après les besoins d'énergie. En effet, dans les grandes villes, par exemple, la solution la plus avantageuse consisterait à répartir la centrale Diesel entre un certain nombre de stations avoisinant les installations de bains, les abattoirs, etc., et fournissant à ces établissements la chaleur nécessaire. Avec cela, il n'est pas indispensable que les moteurs fonctionnent sans interruption toute l'année. On peut s'arranger à la rigueur pour les faire marcher en hiver seulement, alors que les besoins de chaleur sont plus pressants. Pour traduire en chiffres l'économie réalisée, il suffit peut-être de remarquer que dans une batterie de chaudières ou dans toute autre chaufferie analogue, 1200 cal. en eau chaude représentent une dépense de 1,38 centime ; la tonne de charbon étant comptée à fr. 65. A supposer même que l'on ne récupère utilement que les 75 % environ de la chaleur résiduelle, cela permettrait d'abaisser de 1 centime environ le prix du *kwh* en pleine charge ; économie intéressante dans les temps difficiles que l'industrie traverse aujourd'hui.

Au surplus, en récupérant la chaleur résiduelle, on peut éventuellement économiser les frais d'installation d'une chaufferie, ou d'une chaudière de chauffage central en même temps que des frais de personnel. Cette éventualité de récupération de chaleur mérite donc d'être examinée avec la plus grande attention, toutes les fois qu'elle se présente.

(A suivre.)