

L'énergie nécessaire pour l'exploitation électrique des Chemins de fer suisses

Autor(en): **Wyssling**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **32 (1906)**

Heft 21

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-25593>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

valeurs $f_i(a_i) = f_i$ correspondant à ces quatre points; la relation

$$\frac{a_1 l_2 f_2 - a_2 l_1 f_1 + a_1 k_2 - a_2 k_1}{a_1 - a_2} = \frac{a_3 l_4 f_4 - a_4 l_3 f_3 + a_3 k_4 - a_4 k_3}{a_3 - a_4}$$

que nous écrivons :

$$(22) \quad \frac{a_2 l_1}{a_1 - a_2} f_1(a_1) - \frac{a_1 l_2}{a_1 - a_2} f_2(a_2) - \frac{a_4 l_3}{a_3 - a_4} f_3(a_3) + \\ + \frac{a_3 l_4}{a_3 - a_4} f_4(a_4) = \frac{a_1 k_2 - a_2 k_1}{a_1 - a_2} - \frac{a_3 k_4 - a_4 k_3}{a_3 - a_4}.$$

En parallèle avec cette relation (22) nous mettons la suivante :

$$(23) \quad A_1 f_1(a_1) + A_2 f_2(a_2) + A_3 f_3(a_3) + A_4 f_4(a_4) = B$$

dans laquelle les A_i et B représentent des constantes, toutes différentes de zéro, à l'exception peut-être de B .

Pour que (22) et (23) expriment une seule et même relation entre les a_i , il faut et il suffit que leurs coefficients soient proportionnels, c'est-à-dire que l'on ait :

$$(24) \quad \frac{a_2 l_1}{A_1 (a_1 - a_2)} = \frac{-a_1 l_2}{A_2 (a_1 - a_2)} = \frac{-a_4 l_3}{A_3 (a_3 - a_4)} = \\ = \frac{a_3 l_4}{A_4 (a_3 - a_4)} = \frac{1}{B} \left(\frac{a_1 k_2 - a_2 k_1}{a_1 - a_2} - \frac{a_3 k_4 - a_4 k_3}{a_3 - a_4} \right).$$

Si donc, étant donnée l'équation (23), on peut déterminer des quantités a_i , l_i , k_i de façon que les équations (24) soient satisfaites, on aura toujours, dans la figure A, un abaque de l'équation (23). Les a_i , sans se réduire à zéro, devront vérifier les inégalités (21).

Une discussion en tout point analogue à celle du début montre qu'il est toujours possible de résoudre les équations (24) pour qu'il en soit ainsi. Elle établit, en particulier, la nécessité pour les modules des échelles (a_i) de vérifier la relation

$$\frac{A_1}{l_1} + \frac{A_2}{l_2} + \frac{A_3}{l_3} + \frac{A_4}{l_4} = 0.$$

La connaissance d'un système de valeurs a_i , solution particulière de (23), permet de fixer les échelles le long de leurs supports. Il suffit que dans l'abaque les droites correspondantes $a_1 a_2$ et $a_3 a_4$ se coupent sur A .

Bornons-nous enfin à remarquer que l'on obtient encore une relation de la forme (23), en prenant les logarithmes des deux membres de toute équation telle que

$$(25) \quad \varphi_1(a_1) \varphi_2(a_2) \varphi_3(a_3) \varphi_4(a_4) = C$$

où C représente une constante positive, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, des fonctions uniformes toujours positives. On peut donc faire correspondre à toute équation semblable à (25) un abaque de la nature de ceux dont nous sommes occupés d'un bout à l'autre de ce travail.

Zurich, Août 1906.

L'énergie nécessaire pour l'exploitation électrique des Chemins de fer suisses.

Communication de la Commission suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer¹.

Par M. le Secrétaire général Prof.-Dr WYSSLING.

(Suite et fin²).

Récupération de l'énergie dans les descentes.

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 du Brünig, sur les Chemins de fer rhétiens, sur le 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.

Le tableau suivant (page 247) renferme quelques données sur le sujet.

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 % (sur le Brünig à 25 %); par contre, il s'élève plusieurs fois à 90 %.

Si on ajoute à cela le chauffage et l'éclairage, qui ascendent en moyenne à 13 % de la dépense de traction, on constate que la dépense d'hiver est en moyenne les 77 % 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

¹ Traduit du texte allemand par les soins de la Rédaction du Bulletin technique.

² Voir n° du 25 octobre 1906, page 229.

**Données sur l'énergie nécessaire en un jour d'hiver pour la traction, le chauffage
et l'éclairage des trains.**

Réseaux :	Tonnes- kilomètres	Energie nécessaire aux roues motrices en chevaux-heures.				Energie nécessaire pour le chauffage et l'éclairage	Energie totale
		Rampes et résistance au roulement	Récupération	Démarrage	Totaux		
Chemins de fer fédéraux . . .	16 028 900	430 625	(67 930)	160 055	590 680	81 755	672 435
Manœuvres dans les gares . . .	—	24 000	—	16 000	40 000	—	40 000
Gothard	3 050 000	107 400	(38 000)	11 900	119 000	11 200	130 200
Lignes secondaires à voie nor- male	926 700	33 290	(12 155)	10 245	43 535	10 585	54 120
Total des voies normales . .	20 005 600	595 015	(118 085)	198 200	793 215	103 540	896 755
Voies étroites	393 130	21 910	(7 725)	2 060	23 970	6 340	30 310
Total général	20 398 730	616 925	(125 810)	200 260	817 185	109 880	927 065

**Données sur l'énergie moyenne nécessaire par jour pour la traction, le chauffage
et l'éclairage des trains.**

Réseaux :	Tonnes- kilomètres	Energie nécessaire aux roues motrices en chevaux-heures.				Chauffage et éclairage	Total général
		Rampes et résistance au roulement	Récupération	Démarrage	Totaux		
Chemins de fer fédéraux . . .	18 030 000	476 500	(82 400)	189 500	666 000	27 300	693 300
Manœuvres dans les gares . . .	—	27 000	—	18 000	45 000	—	45 000
Gothard	3 460 000	121 000	(43 200)	13 500	134 500	3 700	138 200
Lignes secondaires à voie nor- male	1 061 400	38 145	(14 785)	11 780	49 935	3 540	53 475
Total des voies normales . .	22 551 400	662 655	(140 385)	232 780	895 435	34 540	929 975
Voies étroites	526 710	30 755	(11 030)	2 860	33 615	2 175	35 790
Total général	23 078 110	693 410	(151 415)	235 640	929 050	36 715	965 765

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 la suppression du service des marchandises le dimanche (le trafic des marchandises étant estimé à 50 % 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 120 jours complets de chauffage et d'éclairage. Le tableau ci-dessus donne un résumé des calculs.

Comme on le voit par comparaison avec les tableaux précédents, le *travail moyen de traction* exprimé en tonnes-kilomètres représente pour les voies normales le 78 %, pour les voies étroites le 68 % du travail d'un jour d'été.

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

Les 966 000 chevaux-heures du tableau ci-dessus représentent, 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.

Nous donnons ci-dessous un tableau qui indique le *rapport des énergies accessoires et de celle qui serait éventuellement récupérable à l'énergie employée uniquement pour la traction*.

	Energie consommée par le chauffage et l'éclairage ¹	Energie éventuellement récupérable ¹ .		
		Force vive	Freinage sur les pentes	Totaux
<i>Jour ouvrable le plus chargé de l'été :</i>				
Voies normales.	—	25,7	16,0	41,7
Voies étroites .	—	8,2	33,6	41,8
Moyenne générale . . .	—	24,8	16,7	41,5
<i>Jour ouvrable d'hiver :</i>				
Voies normales.	13	25,0	14,9	39,9
Voies étroites .	26,5	8,6	32,3	40,9
Moyenne générale . . .	13,3	24,4	15,3	39,7
<i>Jour moyen :</i>				
Voies normales.	3,9	25,9	15,7	41,6
Voies étroites .	6,4	8,5	32,7	41,2
Moyenne générale . . .	4,0	25,3	16,3	41,6

¹ En ‰ du travail de traction (rampes, roulement et démarrage).

La puissance nécessaire, et en particulier son maximum.

(Puissance instantanée maximale).

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, correspondant à peu près à ce qui peut être atteint actuellement par la traction à vapeur dans des circonstances favorables ; ce barème, représenté graphiquement par des courbes, indique à peu près les valeurs données par le tableau suivant.

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 maximale* de ce tronçon. Cette hypothèse simplificatrice peut évidemment être adoptée pour le calcul de la *puissance maximale* 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 *poids 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 dix 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 bloquage. Pour toutes les descentes jusqu'à 6 ‰, 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 0,10 à 0,15 m. par sec.², 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 maximale* du tronçon considéré.

Vitesses admises en kilomètres à l'heure sur des rampes de

	0 ‰	5 ‰	10 ‰	25 ‰	35 ‰
<i>Voies normales en général :</i>					
Express.	80	67	56	40	—
Omnibus	70	56	45	30	—
Marchandises	50	40	31	20	—
<i>Gothard :</i>					
Express.	75	60	51	40	—
Omnibus	55	46	40	30	—
Marchandises	40	34	29	20	—
<i>Voies étroites :</i>					
Toutes catégories de trains.	40	36	31	20	18

En résumé, toutes les hypothèses faites doivent donner des puissances maximales 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 électrique 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 maximale 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 maximum 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'Eltzwylen, composé de cinq sections faisant en tout 161,34 km. 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 maximale 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 % de la puissance maximale. — 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 à 10 500 chevaux, ce qui représente une amélioration qui se chiffre par le rapport de 10 à 6,9.

En ajoutant au réseau d'Eltzwylen les réseaux de Wil (187,9 km.) et de Rorschach (89,3 km.), on obtient un réseau de 439 km. de lignes, qui correspond à peu près au 4^{me} arrondissement des Chemins de fer fédéraux, diminué de la ligne Altstätten-Coire, mais augmenté par contre des lignes secondaires de la région. Le rapport de la puissance maximale 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 % de la puissance maximale (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 de même développement (soit d'environ 30 000 chevaux de puissance maximale aux roues 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 maximale 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 puissances maximales 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 % 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 %, comme dans la première partie de ce rapport; en outre, nous adopterons encore les rapports de cinq entre les puissances maximale et moyenne.

Les 100 000 chevaux de puissance moyenne donneront alors 500 000 chevaux comme puissance totale des turbines des stations centrales; ces 500 000 chevaux seraient employés en plein $4\frac{3}{4}$ heures par jour, en moyenne (24 h. : $5 = 4\frac{3}{4}$). 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 cinq.

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

Les énormes fluctuations de la puissance influent dans un sens très défavorable l'installation des usines et des machines; elles limitent le choix des forces hydrauliques et augmentent sensiblement le capital engagé. Malgré donc qu'il semble que l'énergie nécessaire pour la traction électrique soit encore largement disponible chez nous, il convient de surveiller attentivement les chutes qui sont propres à cet usage et de se les assurer à temps.

Divers.

Applications des turbines à vapeur aux stations centrales d'électricité.

Rapport présenté par M. de Marchena, ingénieur en chef de la Compagnie Thomson-Houston, à Paris, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, à Lyon, en août 1906.

(Suite et fin ¹).

3^o Faibles dépenses d'exploitation.

Avec un bon vide, la consommation de vapeur des turbines peut maintenant se comparer à celle des meilleures machines à pistons à double et triple expansion de puissance comparable. On arrive couramment, avec un vide de 92 à 93 % et une surchauffe de 75° à 100° C., à une consommation à pleine charge inférieure à :

7,75 kg. de vapeur par kw.-h. pour les groupes tournant à 1500 tours.

7,25 kg. de vapeur par kw.-h. pour ceux tournant à 1600 tours.

6,75 kg. de vapeur par kw.-h. pour ceux tournant à 750 tours.

Dans les bons types de turbines, ces consommations varient peu avec la charge, et restent les mêmes à 5 % près depuis la demi-charge jusqu'à 50 % de surcharge.

La zone de fonctionnement économique est ainsi très étendue, et cette circonstance, jointe à la très grande élasticité de puissance des turbines, fait que l'on peut, sans inconvénients, constituer les usines génératrices avec un nombre d'unités sensiblement moins grand, même quand elles ont à développer des puissances très variables, comme c'est le cas des stations alimentant les réseaux de force et de lumière.

Il ne faut en outre pas perdre de vue que, par suite de l'absence de toute usure, les consommations de vapeur des turbines ne se modifient pas avec le temps et ne dépendent pour ainsi dire pas de la surveillance ou de l'habileté du personnel de conduite. Comme l'expérience l'a d'ailleurs surabondamment démontré, les chiffres trouvés aux essais se trouvent en service courant, ce qui est loin d'être le cas avec la plupart des types de machines à vapeur.

D'autre part la consommation de graissage est excessivement faible et ne dépasse guère 2 à 3 % des dépenses de combustible, alors qu'avec les machines à pistons, surtout à vapeur surchauffée, elle atteint et dépasse fréquemment 10 à 12 %.

La conduite des turbines à vapeur est des plus faciles, et ne nécessite pour ainsi dire pas d'autre surveillance que celle des appareils auxiliaires, et en particulier des appareils de condensation. Le personnel affecté à cette conduite peut donc être très restreint. L'économie qui en résulte est encore accrue par le fait que la puissance des unités pouvant être beaucoup augmentée, leur nombre peut être diminué en proportion.

Enfin les dépenses d'entretien sont des plus minimes, l'usure étant pour ainsi dire négligeable, grâce à la suppression de tous efforts et de tous frottements. L'expérience a montré que, malgré les vitesses élevées de la vapeur, il ne se produisait aucune usure appréciable, ni des organes distributeurs, ni des roues motrices; l'entretien se réduit donc pratiquement à celui des coussinets et des diverses garnitures.

Il y a lieu d'ajouter que la suppression de tous frottements rendant inutile tout graissage intérieur, la vapeur condensée est tout à fait pure et peut être employée sans inconvénients, après sa condensation dans des condensateurs à surface, à l'alimentation des chaudières. Celles-ci restent dès lors toujours propres intérieurement et il en résulte pour elles non seulement une augmentation de rendement, mais aussi une sensible diminution d'entretien et d'indisponibilité pour nettoyages.

En tenant compte de ces divers éléments, on peut estimer en moyenne à 20 ou 25 % l'économie que l'emploi judicieux des turbines à vapeur peut permettre de réaliser sur les frais de production de l'énergie électrique; cette économie tend à s'accroître au fur et à mesure qu'augmente l'importance des unités et à diminuer au contraire avec celle-ci. Elle disparaît en grande partie pour les puissances inférieures à 500 chevaux.

4^o Faibles dépenses de premier établissement.

Le coût des groupes turbo-générateurs est sensiblement inférieur à celui des autres machines thermiques. A l'heure actuelle il oscille, pour les diverses puissances, entre 130 et 180 francs le kilowatt, ce qui présente un écart d'au moins 20 à 25 % par rapport aux machines à vapeur à pistons perfectionnées à

¹ Voir N° du 25 octobre 1906, page 239.