

ÉTUDE ECONOMIQUE

SUR

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE  
DE LA FORCE

dans les Usines et les Ateliers

(Conférence faite à la Société Industrielle du Nord de la France)

PAR

R. SWYNGEDAUW

PROFESSEUR-ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES

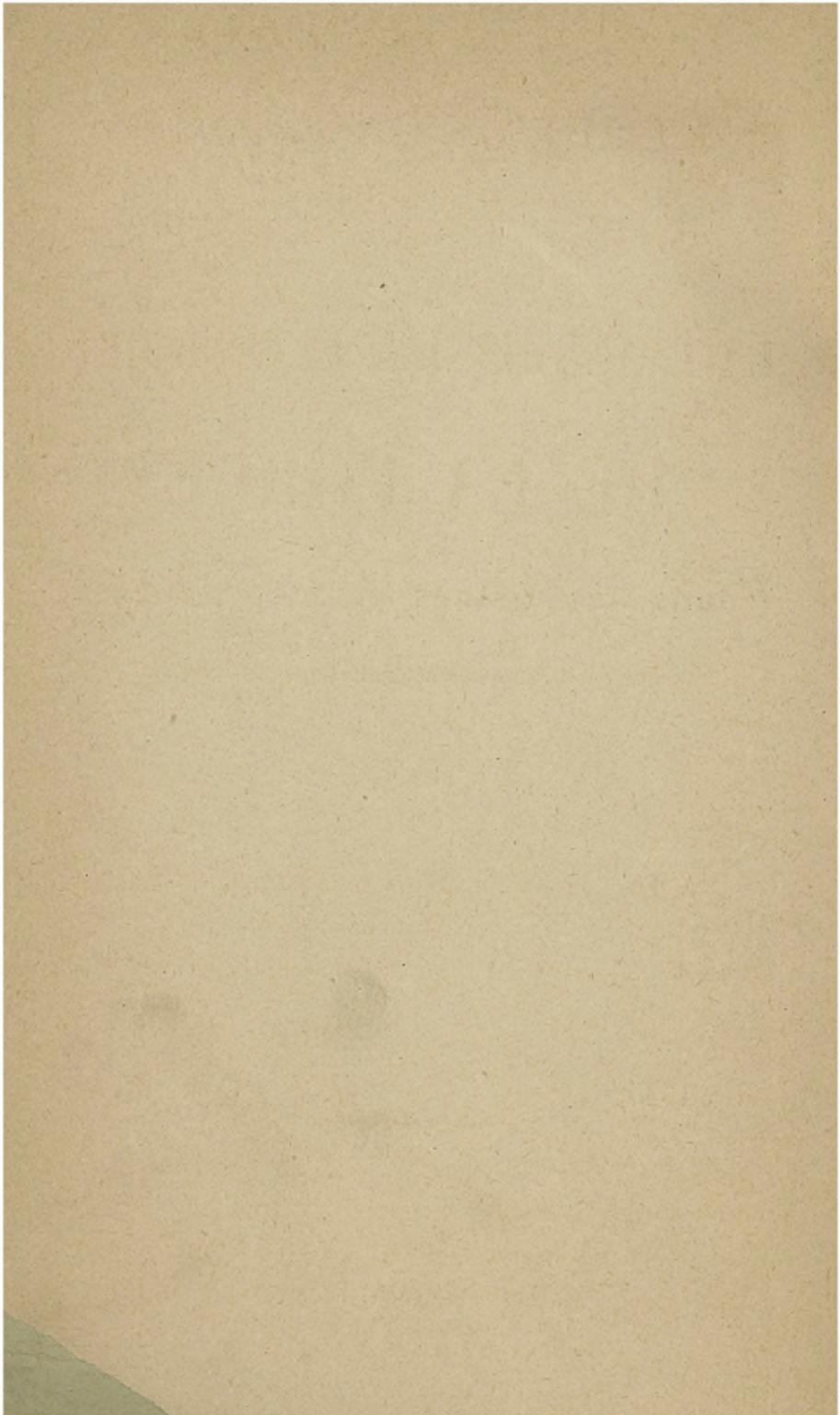
*Chargé de l'Enseignement Électrotechnique à l'Université de Lille*



LIBRAIRIE CH. DUNOD

49, Quai des Grands Augustins, 49

PARIS



N° 328 471 / - 165021  
Banc 44  
ÉTUDE ECONOMIQUE

SUR

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE  
DE LA FORCE

dans les Usines et les Ateliers

(Conférence faite à la Société Industrielle du Nord de la France)

PAR

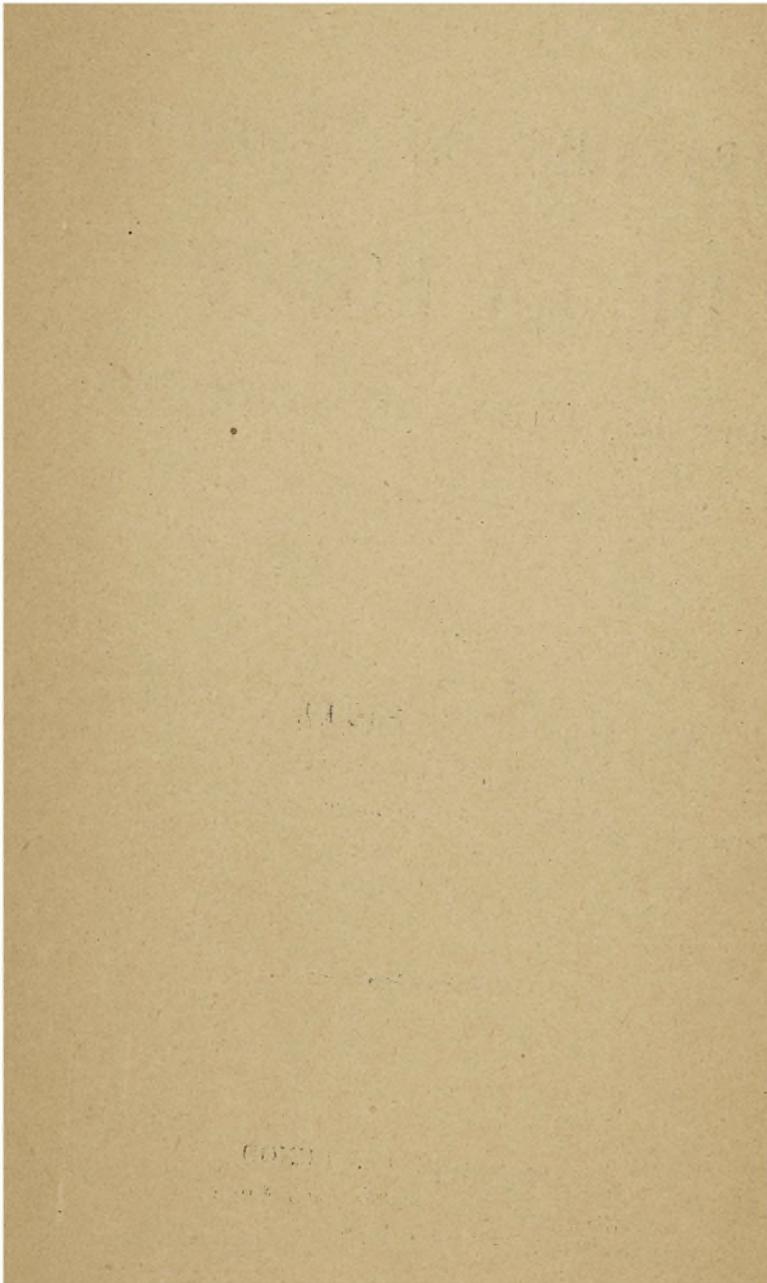
R. SWYNGEDAUW

PROFESSEUR-ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES

*Chargé de l'Enseignement Électrotechnique à l'Université de Lille*

LIBRAIRIE Ch. DUNOD

49, Quai des Grands Augustins, 49  
PARIS



## AVANTAGES GÉNÉRAUX ET ÉCONOMIQUES

DE LA

### Distribution électrique de l'Énergie dans les Ateliers

ET

*Prix de Revient de l'Énergie dans une grande Usine Centrale*

---

#### 37. **Distribution mécanique de la force.** —

Tout le monde connaît le principe de la distribution mécanique de la force dans les usines.

Un moteur à vapeur ou à gaz fait tourner un arbre d'acier par l'intermédiaire de courroies ou de câbles passant sur le volant du moteur et sur des poulies fixées sur l'arbre de transmission.

La force est transmise aux métiers par l'intermédiaire d'un autre système de poulies et de courroies.

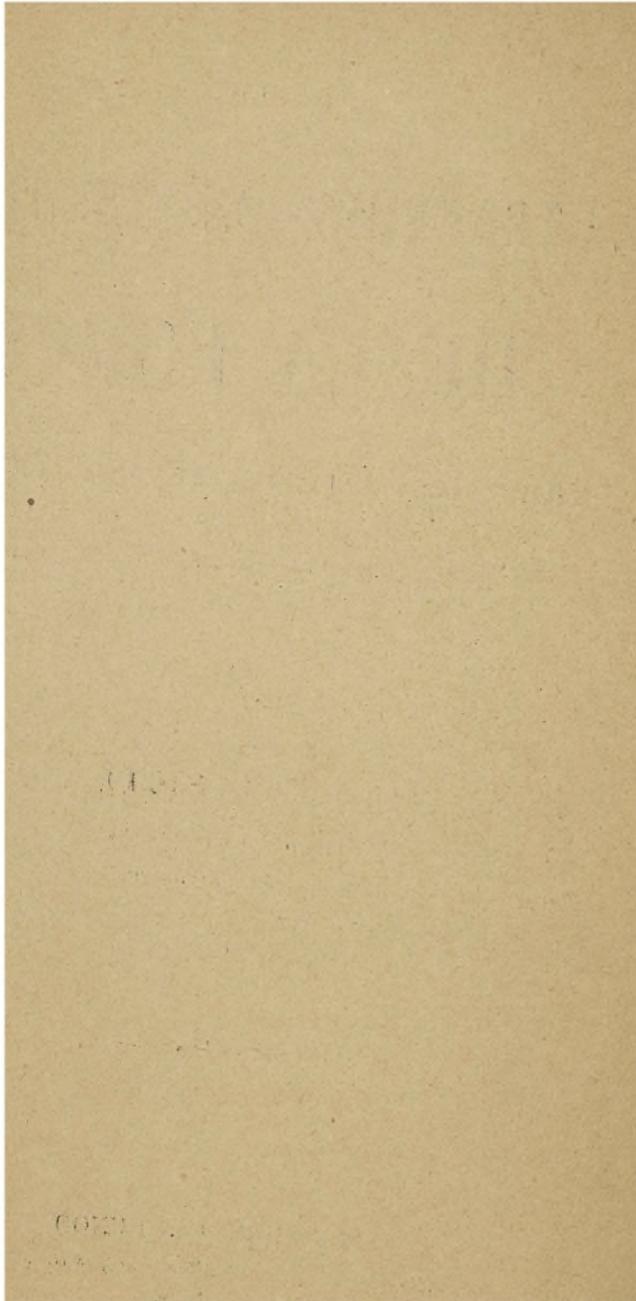
Quand le métier est arrêté, la transmission principale fait tourner une poulie folle. Pour mettre le métier en marche, on fait passer la courroie sur la poulie motrice fixée sur l'arbre qui commande le métier.

#### 38. **Distribution électrique de la force.** —

On peut actionner les métiers et les machines-outils par le moteur à champ tournant (1) que nous avons appris à

---

(1) Le moteur à champ tournant peut être remplacé par le moteur à courant continu, l'alternateur par la dynamo à courant continu.



## AVANTAGES GÉNÉRAUX ET ÉCONOMIQUES

DE LA

### Distribution électrique de l'Énergie dans les Ateliers

ET

*Prix de Revient de l'Énergie dans une grande Usine Centrale*

---

#### 37. **Distribution mécanique de la force.** —

Tout le monde connaît le principe de la distribution mécanique de la force dans les usines.

Un moteur à vapeur ou à gaz fait tourner un arbre d'acier par l'intermédiaire de courroies ou de câbles passant sur le volant du moteur et sur des poulies fixées sur l'arbre de transmission.

La force est transmise aux métiers par l'intermédiaire d'un autre système de poulies et de courroies.

Quand le métier est arrêté, la transmission principale fait tourner une poulie folle. Pour mettre le métier en marche, on fait passer la courroie sur la poulie motrice fixée sur l'arbre qui commande le métier.

#### 38. **Distribution électrique de la force.** —

On peut actionner les métiers et les machines-outils par le moteur à champ tournant (1) que nous avons appris à

---

(1) Le moteur à champ tournant peut être remplacé par le moteur à courant continu, l'alternateur par la dynamo à courant continu.

connaître dans la dernière leçon. Dans ce cas, un alternateur triphasé § 34 est placé en un endroit quelconque de l'usine ; il est commandé par une machine à vapeur ou à gaz ou une turbine. Chaque machine-outil ou chaque groupe de métiers est actionné par un moteur à champ tournant § 36 fixé sur le sol ou au plafond et qui fait tourner la machine directement ou par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse. On réunit les circuits du stator du moteur aux circuits induits correspondants de l'alternateur par des fils conducteurs en cuivre. En fermant ou en ouvrant le circuit par un interrupteur, le moteur tournera ou s'arrêtera. La manœuvre de commande du métier est donc au moins aussi simple dans la commande électrique.

Nous examinerons aujourd'hui quelques avantages de la distribution électrique sur la distribution mécanique.

### 39. **Souplesse de l'installation électrique.** —

Un premier avantage de la distribution électrique est la souplesse de l'installation.

D'abord, l'alternateur et les moteurs électriques peuvent se placer en des endroits quelconques les mieux appropriés pour les machines : cette souplesse de la commande électrique se fera particulièrement apprécier en cas d'agrandissement de l'usine ; dans la transmission mécanique, au contraire, la transmission est maîtresse de la disposition des machines-outils, tous les métiers doivent se grouper autour d'elle.

### 40. **Suppression des courroies.** — Un deuxième avantage réside dans la suppression des courroies, de leurs inconvénients et de leurs dangers.

Les courroies sont la cause de nombreux accidents ; elles nuisent à la clarté de l'usine, à sa bonne surveillance. Par leur mouvement incessant, les courroies sont de véritables brasseurs de poussières nocives chargées de microbes pathogènes engendrant les maladies. Leur suppression apporte du même coup plus de sécurité, d'hygiène et de clarté dans les ateliers.

### 41. **Qualité et quantité du travail.** — La qualité du travail est meilleure, car le moteur électrique tourne à

une vitesse plus régulière ; ceci est vrai, notamment en filature et tissage, et même à cause de la facilité des arrêts ou des démarrages, la quantité du produit est souvent accrue.

**42. Contrôle de l'énergie.** — Le contrôle de l'énergie prise par le métier est d'une facilité extrême dans la commande électrique. Il se fait par la simple lecture d'un ampèremètre.

Dans la commande mécanique, ce contrôle est beaucoup plus difficile et nécessite des mesures spéciales qui le rendent pratiquement impossible.

Ce contrôle facile n'est pas à dédaigner, car un excès de courant indiqué par l'ampèremètre mettra l'industriel en garde contre un fonctionnement anormal et l'avertira d'un accident possible que la commande mécanique n'aurait révélé que trop tard.

**43. Rendement.** — Le rendement est souvent meilleur. Il peut paraître surprenant aux mécaniciens de prétendre que la transmission électrique est supérieure en rendement à la transmission mécanique, car il faut commencer par convertir l'énergie mécanique en énergie électrique, transporter celle-ci jusqu'au métier, puis la convertir à nouveau par l'intermédiaire d'un moteur en énergie mécanique.

Mais, si on remarque qu'un alternateur a un rendement de 93 0/0 à 95 0/0, que la transmission peut se faire avec un rendement de 98 0/0, que les moteurs triphasés ont un rendement de 70 0/0 à 90 0/0 indiqué dans le tableau I.

TABLEAU I  
*Rendement de moteurs triphasés.*

PUISSANCE	Surcharge de 50 0/0	Charge normale	75 0/0 décharge normale	50 0/0 décharge normale
1/4 de cheval. . . . .	70 0/0	74 0/0	73 0/0	70 0/0
1 id. . . . .	73 0/0	76 0/0	76 0/0	73 0/0
2 chevaux . . . . .	76 0/0	78 0/0	77 0/0	74 0/0
5 id. . . . .	83 0/0	86 0/0	83 0/0	80 0/0
10 id. . . . .	85 0/0	87 0/0	87 0/0	85 0/0
20 id. . . . .	88 0/0	90 0/0	90 0/0	89 0/0

vous voyez qu'en réalité le rendement global de la transmission électrique de la force varie de 60 0/0 à 80 0/0 suivant que l'on emploie des moteurs de puissance de 1/4 de cheval ou d'une vingtaine de chevaux. Depuis la machine à vapeur, jusqu'au métier, les pertes d'énergie varient de 35 à 20 0/0, suivant que l'on se sert de petits ou de gros moteurs.

En ce qui concerne les pertes dans les transmissions mécaniques, le XVII<sup>e</sup> Congrès de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur nous donne des renseignements complets. Nous avons consigné ces pertes dans le tableau II.

TABLEAU II

INDUSTRIES	Valeurs extrêmes de la proportion des pertes	Valeur moyenne
Filatures . . . . .	18 à 39 0/0	30 0/0
Tissages . . . . .	22 à 50 0/0	36 0/0
Ateliers de constructions.	30 à 70 0/0	50 0/0
Minoteries . . . . .	10 à 50 0/0	27 0/0
Scieries. . . . .	22 à 50 0/0	33 0/0

D'après les expériences faites dans les chantiers de Richardson à Hartlepool (Angleterre), les pertes ont été les suivantes dans ses huit ateliers (voir tableau III).

TABLEAU III

Ateliers	Largeur des Transmissions principales en mètres	Puissance transmise en chevaux	Proportion des pertes
1	113	48	36 0/0
2	238	94	25 0/0
3	157	44	46 0/0
4	174	29	52 0/0
5	211	56	36 0/0
6	116	76	30 0/0
7	36	10	70 0/0
8	74	16	50 0/0

La perte moyenne est de 34 0/0 pour 373 chevaux de puissance.

*En général, le rendement de la transmission électrique sera donc au moins égal au rendement de la transmission mécanique, et cela sera surtout accentué si les usines ont subi des agrandissements successifs. Si on a été entraîné à faire renvois de courroies sur renvois de courroies, le rendement peut baisser au-dessous du chiffre dérisoire de 40 et 30 0/0.*

Cependant il faut remarquer que les pertes dans les filatures et tissages à transmissions mécaniques bien installées ne sont que de 18 à 22 0/0, de sorte que la transmission mécanique semble l'emporter sur la transmission électrique. Mais remarquez que ces chiffres n'ont qu'une apparence de supériorité. En effet, les nombres de ce tableau se rapportent à la puissance normale transmise ; or, en général, la machine ne travaille pas en puissance normale et d'ailleurs, dans un atelier, toutes les machines ne marchent pas à la fois, il y en a qui sont arrêtées. Tandis que, dans la transmission électrique, le moteur électrique s'arrête et ne consomme pas d'énergie, dans la transmission mécanique les poulies folles continuent à tourner et à consommer inutilement de l'énergie. Cette considération est à méditer si on songe que, dans des filatures ou tissages notamment, il y a en moyenne et en marche normale 25 à 30 0/0 des métiers arrêtés. En résumé, il résulte de ces considérations que les rendements indiqués sur ce tableau ne manifestent qu'une supériorité apparente sur la transmission électrique : d'ailleurs, rien n'est plus éloquant que des chiffres, et je vais vous en citer :

D'après Sylvanus Thomson (*Courants polyphasés*, p. 412), l'installation de M. Richardson comprenait avant la transformation 31 machines à vapeur de 94 chevaux ; on les a remplacées par deux générateurs triphasés de 300 kilowatts chacun, commandés par deux machines à vapeur compound alimentant une quinzaine de moteurs de 10 à 30 chevaux et cinq de 65 chevaux. L'économie de charbon réalisée est de 100 tonnes par semaine.

D'après M. Selby Bigge (*Electrical Review*) 17 Septembre 1902, la Compagnie des freins Westinghouse a remplacé dans ses ateliers 30 machines à vapeur de 1.375 chevaux de puissance totale par une turbine Parsons attelée à des alternateurs commandant 57 moteurs électriques développant 1.065 chevaux; on a constaté une économie de 40 0/0 en vapeur et 32 0 0 en charbon.

Aux ateliers Vickers et Maxim, la commande mécanique demandait 476 tonnes de charbon pendant trois mois d'hiver. Après la transformation, la consommation était de 230 tonnes quoique l'on ait augmenté le nombre et la puissance des machines et doublé l'éclairage.

W. Tapley a communiqué à l'Institut Franklin des Etats-Unis (1902) les résultats obtenus par la commande électrique des machines dans l'imprimerie du Gouvernement.

Cette substitution a fait ressortir une économie considérable de combustible.

En 1894, avant la transformation, on avait brûlé pour 139.050 francs de charbon et de gaz. En 1899, après la transformation, on n'en a consommé que pour 28,130 fr.

On réalisait donc plus de 110.000 francs d'économie par an, et cependant, l'éclairage comporte, en 1899, 5.000 lampes de 16 bougies au lieu de 2.000 en 1894, et la production en 1899 était de 25 0/0 supérieure à celle de 1894.

Ces économies réalisées peuvent paraître surprenantes, aussi je veux y insister; nous avons vu en effet que le moteur ne marche pas toujours, qu'il y a des arrêts; par conséquent, la machine à vapeur travaille tantôt en pleine charge, tantôt à demi, ou même à quart de charge. Dans ces conditions, non seulement les poulies folles des métiers arrêtés et les transmissions tournant à vide absorbent inutilement de l'énergie, mais la machine à vapeur travaillant avec des écarts notables de sa charge normale a un mauvais rendement; au lieu de consommer le nombre de kilogrammes de charbon indiqué par le

constructeur dans son meilleur fonctionnement à charge normale, la machine consomme en demi-charge et quart de charge, plus de charbon, parfois la moitié en plus de la consommation indiquée et davantage ; il faut donc se garder de prendre comme consommation moyenne la consommation indiquée par le constructeur pour la charge normale. Ce régime très variable des machines a pour effet de produire un écart considérable entre la puissance nominale du moteur installé et la puissance moyenne utile qu'il développe. Je citerai à ce sujet des chiffres typiques fournis par M. S. Martin, ancien directeur de station centrale.

1° Dans une fabrique de lingerie, une machine de dix chevaux commandait par transmission une dynamo d'éclairage, une scie à rogner les draps et 39 machines à coudre. Le secteur électrique remplace la machine à vapeur et actionne la même transmission par un moteur électrique et il éclaire en outre l'atelier ; on constate que la puissance utile totale absorbée n'est que de 4 chevaux effectifs au lieu de 10 nominaux.

2° Dans une imprimerie et lithographie, deux moteurs à gaz de 25 chevaux de puissance totale marchaient dix heures par jour actionnant par transmission les diverses machines de quatre ateliers de typographie, lithographie, phototypie et papeterie, où se trouvaient vingt machines travaillant de deux à six heures par jour en détalquant les arrêts. On met sur chacune des machines un moteur électrique. La puissance totale de ces moteurs était de 16 chevaux et la consommation d'énergie n'était que de 30 kilowatts-heure par jour ; la puissance moyenne utilisée était de 4, 1 chevaux au lieu de 25 chevaux nominaux. La dépense journalière de gaz était de 20 francs ; en achetant l'énergie à 0.30 c. le kilowatt-heure, la dépense n'était que de 9 francs par jour, près de la moitié (1).

---

(1) Etude sur les distributions d'énergie électrique : *Bulletin technique* de la Société des Anciens Elèves des Ecoles d'Arts et Métiers. Mars et avril 1903.

44. **Frais d'entretien.** — Les frais d'entretien ne sont pas supérieurs dans la commande électrique à ceux de la commande mécanique ; au contraire. Les moteurs électriques tournant plus régulièrement que les transmissions mécaniques, fatiguent moins les machines. On a d'ailleurs à ce sujet un exemple absolument frappant qui nous est fourni par M. Marshall Osborne (1). En 1897, MM. Smith Waley et C<sup>ie</sup> construisirent à Colombia deux flatures de coton de 12.000 broches chacune, l'une à commande mécanique par moteurs à vapeur, l'autre par moteurs électriques, le coût des réparations était de 50 0/0 inférieur pour la commande électrique.

45. **Eclairage électrique.** — En général, on cherche à faire dans les usines l'éclairage électrique. Si la commande électrique n'existe pas, il faut une installation spéciale qui, dans ces conditions, coûte assez cher ; si la transmission électrique existe, il suffit d'augmenter un peu la consommation de charbon, d'augmenter un peu les dépenses d'huile et d'entretien et l'éclairage électrique est alors fourni presque gratuitement.

46. **Comparaison des dépenses de première installation.** — Mais il y a un point sur lequel vous trouverez intéressant que je m'explique. C'est celui de la dépense de la première installation. On se figure en effet que, puisqu'il faut acheter des générateurs, des moteurs électriques bien compliqués, le coût de l'installation première sera bien supérieur au coût de première installation mécanique.

Mais lorsqu'on construit une usine nouvelle ou lorsqu'on agrandit une usine existante, la commande électrique n'employant que des transmissions légères, il ne sera pas nécessaire de renforcer les murs à certains endroits pour recevoir les lourdes transmissions mécaniques et la simplification du bâtiment se traduira par une réduction de la dépense.

---

(1) *Journal of the institution of electrical Engineers.* t. 31 p. 1273-1282.

Avec la commande électrique, il n'y a ni lourdes transmissions, ni longues courroies; on fera encore de notables économies de ce fait. Je vous montrerai par des exemples, que les économies réalisées de ce côté sont en général suffisantes pour couvrir la dépense supplémentaire de l'installation électrique.

M. Marshall Osborne, déjà cité § 44, donne un exemple caractéristique qui nous est fourni par la Compagnie Smith Waley, à Colombia.

Ces industriels décidèrent la création d'une nouvelle usine de 100.000 broches et demandèrent deux devis, l'un à transmission mécanique, l'autre à transmission électrique. La comparaison de ces deux devis montra que la commande électrique était moins chère que la commande mécanique. Elle comportait en effet une réduction de 10 0/0 sur le bâtiment, 61 0/0 sur les transmissions par arbres, 66 0/0 sur les courroies; ces économies compensaient largement le supplément de dépense de l'installation électrique.

Voici un deuxième exemple emprunté à l'« Eclairage électrique » (7 février 1903). La Société cotonnière de Mirecourt décida la création d'une usine de 500 chevaux environ. On présenta deux projets, l'un à commande mécanique, l'autre à commande électrique.

Les devis sont résumés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

	1. Commande mécanique	2. Commande électrique
Machine à vapeur de 500 chevaux effectifs 75 t. avec volant à câbles dans le premier cas, sans volant dans le second cas.	65.000 fr.	60.000 fr.
Transmissions, arbres, poulies. . . . .	50.000	20.000
Mur principal, piles en maçonnerie. . . . .	15.000	0
Câbles de la machine à vapeur et du couloir à câbles . . . . .	6.000	0
Couloir des câbles (250 mètres) . . . . .	10.000	0
Dynamo pour lumière et sa transmission d'attaque . . . . .	7.000	0
Alternateur, moteurs triphasés, canalisation, tableau et montage . . . . .	0	80.000
Accumulateurs . . . . .	2.440	2.440
	<u>155.440</u>	<u>152.440</u>

L'avantage était donc à la commande électrique. Si l'on ajoute à cela les autres avantages que nous avons énumérés, il est inutile de dire que la commande électrique a été préférée.

Pour les usines nouvelles, il y a donc intérêt et de nombreux avantages, à employer la commande électrique. Il y a également très grand intérêt à l'employer dans les agrandissements d'usines à raison de la souplesse de la commande électrique.

Mais, pour une usine où la transmission mécanique existe, y a-t-il avantage à la transformer en transmission électrique? Dans le cas où les machines installées travaillent par intermittence, dans celui où les rendements sont mauvais par suite de renvois multiples, en particulier dans les usines agrandies successivement, dans le cas où la commande électrique améliorerait la qualité ou la quantité du travail de façon notable, oui, il y a en général avantage à la transformation.

C'est ainsi que dans la transformation faite par l'imprimerie du Gouvernement des Etats-Unis (1) la dépense entraînée par ce changement qui avait coûté 750.000 francs, a pu être récupérée en cinq ans par suite de l'économie sur le charbon et de l'augmentation du travail.

En résumé, il y a un réel intérêt économique et de nombreux avantages à faire la commande électrique plutôt que la commande mécanique.

Mais ces résultats que nous avons rappelés et qui sont tous en faveur de la transmission électrique se rapportent tous indistinctement à des usines de plusieurs centaines de chevaux ; il serait absolument erroné de croire que l'installation d'une petite usine centrale électrique pour transmission de force motrice dans une usine de faible puissance soit toujours plus économique que la transmission mécanique. Les industriels qui n'ont besoin que d'une faible puissance ont, en général, intérêt à emprunter leur énergie

---

(1) § 43.

à une usine centrale d'électricité comme le montrent les exemples cités tout à l'heure.

Il y a une loi capitale qui domine les considérations de prix de revient de l'énergie dans une usine, c'est que ce prix de revient de l'énergie est d'autant plus petit que la puissance de l'usine est plus considérable. Et cette loi garde toute sa force quand la puissance dépasse de beaucoup quelques centaines de chevaux, de sorte que la dernière partie de ma leçon sera consacrée à démontrer cette thèse que *les grands aussi bien que les petits industriels ont intérêt à emprunter leur énergie à une grande usine centrale de très grande puissance*, de quelques dizaines de mille chevaux.

**47. — Examen des Dépenses d'une usine électrique.** — Essayons, en effet, de nous rendre compte de ce qu'est une usine centrale d'électricité et de ses dépenses.

Pour produire le courant, il faut d'abord un capital de *premier établissement*. Il faut :

1° Des moteurs mécaniques à vapeur, ou à gaz, des chaudières ou des gazogènes.

2° Des alternateurs et leurs dynamos excitatrices ;

3° Un tableau de distribution qui porte les appareils de contrôle, ampèremètres, voltmètres ;

4° Il faut un bâtiment.

Outre cela, si l'usine fonctionne, elle fait des dépenses d'*exploitation* : 1° en combustibles ; 2° en huile et graissage ; 3° en salaire pour le personnel qui entretient et surveille les machines, enfin 4° en réparations des bâtiments et machines.

**48. — Variation des dépenses de premier établissement.** — Si toutes ces dépenses étaient proportionnelles à la puissance de l'usine, il est bien évident qu'il n'y aurait aucun intérêt à faire une grande usine plutôt qu'une petite ; mais il n'en est pas ainsi : la dépense par cheval installé dans une usine va en diminuant au

fur et à mesure que la puissance des machines va en croissant.

Dans ces conditions, nous aurons intérêt à augmenter considérablement la puissance des usines de façon à pouvoir augmenter notablement la puissance des machines.

Examinons plus en détail comment varie la dépense de premier établissement de cette usine centrale d'électricité.

Chacun sait qu'une machine à vapeur double d'une autre ne coûte pas deux fois plus que cette autre : la main-d'œuvre n'est pas deux fois plus grande, les matériaux utilisés ne sont pas en quantité deux fois plus considérables.

D'après le tableau XVIII, si l'installation complète d'une machine à vapeur de 50 chevaux coûte 36.000 francs, celle d'une machine de 500 chevaux ne coûte pas 10 fois plus ou 360.000 fr, mais 200.000 fr.

D'autre part, M. Blondel (1) estime de la façon suivante le prix du premier établissement d'un moteur à vapeur, bâtiments et accessoires.

PUISSANCE	PRIX DE PREMIER ÉTABLISSEMENT PAR CHEVAL
1	2000
5	1500
10	1000
50	800
100	600
500	400
1000	300
10.000	250

Il en est de même des générateurs électriques et des appareils du tableau de distribution (ampèremètres, volt-

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, p. 134, 1893, 1er trimestre.

mètres, interrupteurs, etc.) D'après M. Saint-Martin qui a fait une enquête extrêmement complète auprès de plus de cent usines centrales de production d'électricité, les dépenses de première installation par kilo-watt installé à l'usine, sont les suivantes (1) (tableau V).

TABLEAU V

*Dépenses de première installation  
par kilo-watt à l'usine.*

Usines de 10.000 k.-w. et au-dessus.	600 à 800 fr. (2)
Usines de 10.000 k.-w. à 500 k.-w.	800 à 1.000 »
Usines de 5.000 k.-w. à 500 k.-w.	1.000 à 1.500 »
Usines de 500 k.-w. à 50 k.-w.	1.500 à 2 500 »

Si l'on passe d'une usine de 500 k.-w. à une usine de 10.000 k.-w. et au-dessus, on voit que, par kilo-watt installé, la dépense est deux à trois fois plus grande pour l'usine de 500 kilo-watts.

Les usines d'une puissance de 10.000 kilowatts et au dessus installées aujourd'hui reviennent à 500 fr. environ le kilowatt installé. Ces dépenses grèveront l'usine de frais d'amortissement du capital que nous étudierons plus loin.

**49. Variation des dépenses d'exploitation.** —

Voyons comment varient les dépenses d'exploitation ; elles varient sans doute avec le taux des salaires, le prix du charbon, mais ce qui nous intéresse surtout c'est la relativité de la dépense en un même lieu pour des usines de puissance différente.

**COMBUSTIBLES.** — Examinons d'abord la dépense en charbon, c'est-à-dire la question du rendement du groupe des chaudières et machines. Les génératrices électriques de 100 kw. ont déjà un rendement de 90 0/0. Les génératrices de plusieurs milliers de kilowatts ont un rendement de 93 0/0 à 95 0/0. La différence de rendement entre ces

(1) Loc. cit.

(2) Le chiffre inférieur se rapporte à la puissance la plus élevée.

deux machines n'est pas très grande et ce n'est pas de ce côté que nous aurons une réelle économie.

La consommation en vapeur des machines à vapeur et des turbines de diverses puissances est indiquée dans les tableaux VI et VII.

10 kilog. de vapeur correspondent à 1 kg. 200 de charbon.

TABLEAU VI  
*Consommation de vapeur saturée des machines à vapeur*

NATURE DU MOTEUR A VAPEUR	PUISSANCE		Consommation de vapeur saturée en kg. par kilowatt-heure produit
	en chevaux	en kilowatts	
Machine à condensation	50	36,8	18,3
Machine Compound	500	368	10,4
Machine Compound sans surchauffe Marseille	1500	1104	10 à 12 en moyenne allumage compris
Machine à triple expansion Glasgow	3437	2500	8 à 8,5 à pleine charge 9,5 à demi-charge

D'autre part M. Witz (2), estime ainsi la consommation de vapeur saturée des diverses machines à vapeur à pleine charge.

PUISSANCE en CHEVAUX	TYPE	PRESSION de la vapeur en Kg	CONSOMMATION par cheval-heure indiqué
20 à 50	Monocylindrique	6	8
50 à 100	id.	id.	8 à 7
100 à 100	id.	id.	7
200 à 500	Compound	8	7 à 6
500 à 1000	Compound ou Triplex	9	6 à 5,5

(1) D'après M. Sauvage, *Encyclopédie Léauté, les divers types de machines à vapeurs* p 106 et 109 marche industrielle allumage non compris.

(2) Eclairage électrique, janvier 1902.

TABLEAU VII  
*Consommation des Turbines à vapeur genre PARSONS  
 en vapeur saturée*

LOCALITÉS	PUISSANCE EN KILOWATTS		Kil. de vapeur par kw.-heure produit
(1) Exposition de Paris	50 . . .	}	Pleine charge . . . 19
			Demi-charge . . . 23,32
(2) Bois du Luc	300 . . .	}	Pleine charge . . . 11
			Demi-charge . . . 14,3
(1) Elberfeld	. 1.000 kw.	}	Pleine charge . . . 9,2
			Demi-charge . . . 11,4
			Quart de charge . . . 15,2
Hartford	. . 1.100 kw.	}	Pleine charge . . . 8,5
			Demi-charge . . . 11,5
Francfort	. 3.750 kw.	}	Pleine charge . . . 7
Essen . . .	. 5.000 kw.	}	Garantie pour une consommation en vapeur surchauffée à 250°
			<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>Pleine charge . . . 5,6</td> </tr> <tr> <td>75 0/10 charge normale . . . 7,6</td> </tr> </table>
}	Pleine charge . . . 5,6		
	75 0/10 charge normale . . . 7,6		

Les consommations en vapeur surchauffée à 250° sont inférieures d'un dixième aux consommations en vapeur saturée et les rendements ne varient pas sensiblement avec la charge jusqu'à la demi-charge (3).

La consommation en vapeur et en charbon des machines à vapeur ou des turbines diminue de plus de la moitié lorsqu'on passe d'une machine de 50 chevaux à une machine de 3.000 chevaux, et on fait aujourd'hui des

(1) *Power*, décembre 1903, p. 677.

(2) *Le Génie civil*, 28 novembre 1903, p. 64.

(3) Witz, *Bulletin de la Société Industrielle du Nord de la France*; 2<sup>e</sup> trimestre 1903, p. 335.

machines plus économiques ; celle des turbines varie dans le rapport de 3 à 1, quand on passe de 50 kilowatts à 5.000 kilowatts.

Sans entrer dans les détails, nous remarquerons qu'à égale puissance, les turbines ont un rendement plus faible que les machines à vapeur, mais les turbines ont un encombrement beaucoup moindre et le prix de première installation est environ les deux tiers de l'installation d'une machine à vapeur de même puissance.

GRAISSAGE — La consommation d'huile par kilowatt-heure va aussi notablement en décroissant à mesure que la puissance des machines va en croissant (voir tableau VIII). Cette consommation est toutefois notablement inférieure pour les turbines.

L'entretien et les réparations ne sont pas davantage proportionnels à la puissance.

Nous donnons ces dépenses dans le tableau XV pour les machines de 50 à 500 chevaux.

Elles sont consignées dans le tableau VIII pour les machines des stations de tramways de Marseille et de Glasgow.

TABLEAU VIII

*Dépenses par an pour nettoyage, graissage,  
entretien et réparation*

	Kilowatt-heures produits par an	Nettoyage et Graissage	Entretien et Réparation
Marseille . . .	13.000.000	12 000 à 15.000 fr.	25.000 francs.
Glasgow . . .	27.600.000	20 000 à 25 000 »	70.000 » (y compris main d'œuvre)

La dépense en frais généraux et entretien par kilowatt-heure est de 2<sup>fr</sup>97 pour une machine de 50 chevaux, de 1 36 pour une machine de 500 chevaux, et de 0<sup>fr</sup>36 pour une machine de 3.000 chevaux.

SALAIRES. — Il est aussi facile de conduire une turbine de 5.000 kilowatts qu'une machine à vapeur de 50 chevaux.

De ce côté, il y aura une économie relativement considérable de réalisée sur le prix du kilowatt-heure. En résumé, *toutes les dépenses par kilowatt-heure produit sont d'autant plus petites que l'on emploie des unités plus grandes*. On a une idée de cette variation par le tableau IX qui indique les dépenses totales d'exploitation par kilowatt-heure produit dans une usine de tramways, d'après le rapport de M. Thonet, présenté au Congrès de l'Union internationale des tramways en 1902. Les prix sont calculés pour du charbon de 15 fr. à 20 fr. la tonne.

TABLEAU IX

*Prix de revient du kilowatt-heure à l'usine dans les usines de tramways.*

		Prix de revient du kilowatt-heure :	
Unités de 1.000 chevaux . . .		4 à 6 centimes.	
id. 600 à 300 chevaux .		6 à 8 id.	
id. 200 à 150 chevaux .		8 à 10 id.	

Ainsi donc, suivant que l'on emploie des unités de 1.000 ou de 200 chevaux, le prix de revient varie du simple au double.

50. — **Durée moyenne d'utilisation.** — Le prix de revient de l'énergie dépend encore de la durée moyenne d'utilisation. Qu'entend-on par là ?

Si on évalue le nombre total de kilowatt-heures produit en une année et qu'on divise ce nombre par la puissance totale installée à l'usine évaluée en kilo-watts, on obtient la durée moyenne d'utilisation. Par exemple, une usine produit 1.500.000 kilowatt-heures par an ; cette usine a une puissance installée de 1.500 kw. : on divise 1.500.000 par 1 500 et on obtient la durée moyenne d'utilisation : 1.000 heures.

La durée moyenne d'utilisation est donc la durée en heures pendant laquelle il faudrait faire fonctionner toutes les génératrices de l'usine à leur *puissance normale* pour obtenir le nombre de kilowatt-heures produits.

Au lieu d'employer la durée d'utilisation, on se sert parfois du *coefficient d'utilisation*, c'est le rapport de la durée moyenne d'utilisation au nombre total des 8760 heures d'une année, une durée d'utilisation de 876 heures correspond à un coefficient d'utilisation de 0,1.

**51. Influence du coefficient d'utilisation sur le prix de l'énergie.** — Pour se rendre compte de l'influence du coefficient d'utilisation sur le prix de revient, remarquons que l'usine centrale a coûté comme premier établissement un capital qui aurait rapporté un certain intérêt si on l'avait placé ailleurs. D'autre part, ce capital, converti en machines et bâtiments qui s'usent et nécessitent de l'entretien finira au bout de quelques années par s'annihiler. Du fait que l'on a dépensé ce capital tout se passe donc comme si on en dépensait tous les ans une certaine fraction ; on compte souvent que les *intérêts et l'amortissement de la dépense de première installation reviennent à dépenser chaque année le dixième du capital de premier établissement.*

Si on ne produit qu'un kilowatt-heure à l'usine, ce kilowatt-heure coûtera les frais de production à l'usine, plus la dépense d'amortissement du capital : en un mot, toutes les dépenses que l'on a dû faire pour obtenir ce kilowatt-heure. Il reviendrait donc fort cher, mais si on produit deux kilowatt-heures, les frais généraux se répartiront entre les deux et ainsi de suite, mais cette influence ne se fait pas seulement pas sentir sur les frais généraux et amortissement de l'usine, mais encore sur la consommation de charbon et par suite sur les dépenses d'exploitation, car si l'usine ne fonctionne que quelques heures de la journée, la consommation de charbon au moment des allumages et l'entretien du foyer pendant les arrêts feront sentir leur effet sur le prix du kilowatt-heure produit d'autant plus que le nombre de kilowatt-heures est moins élevé.

Cette consommation du charbon est loin d'être négligeable, M. Otto Marr (1) compte qu'il faut majorer la

---

(1) *Kosten of Betriebskräfte* (Berlin et Munich 1901).

consommation normale de 16,5 0/0 pour en tenir compte dans les calculs de prix de revient. En résumé, le prix de revient du kilowatt-heure est d'autant plus petit que l'on produit plus de kilowatt-heures et par conséquent que la durée d'utilisation de l'usine est plus grande, ou, ce qui revient au même, que le coefficient d'utilisation est plus élevé.

Le tableau X, dressé par M. Philippe Dawson, nous rend compte de cette influence. Il a été établi à la requête de la corporation de Northampton et reproduit par l'« Electricien » du 20 Décembre 1902.

TABLEAU X

*Variation des dépenses par kilowatt-heure avec le coefficient d'utilisation, pour une usine d'une puissance de 2.000 kilowatts.*

Coefficient d'utilisation	Durée d'utilisation en heures	Dépenses en charbon à 12 50 la tonne	Dépenses totales à l'usine (1)
10 %.	876	6 centimes	10 centimes
15 »	—	5	7,8
20 »	1752	4	5,6
25 »	—	3,5	4,5
30 »	2628	3,2	4
35 »	—	3	3,5
40 »	3504	2,6	3,3
45 »	—	2,5	3
50 »	4380	2,4	2,8
60 »	—	2,2	2,5
70 »	6132	1,9	2,4
90 »	7884	1,6	2,3

Lorsque le coefficient d'utilisation passe de 10 0/0 à 35 0/0, la dépense en charbon diminue de moitié et les dépenses totales d'exploitation à l'usine sont environ 3 fois plus petites. Les usines d'éclairage qui n'ont qu'un

(1) Les dépenses totales comprennent les réparations et l'entretien du bâtiment mais non l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement.

coefficient d'utilisation de 10 à 11 0/0 ont des dépenses d'exploitation plus élevées que les usines de production de force motrice pour traction qui ont jusqu'à 35 0/0 de coefficient d'utilisation.

D'après M. Blondel (1), les dépenses de production de l'énergie dans les usines de traction américaines varie de 2 c. 7 à 5 centimes par kilowatt-heure, tandis qu'il atteint le double dans les usines d'éclairage avec du charbon de 5 fr. à 15 fr. la tonne.

**52. Durée d'utilisation probable d'une usine centrale pour force motrice.** — Sur quelle durée d'utilisation peut-on compter dans une usine pour force motrice?

Si les usines à desservir travaillent en même temps 10 heures par jour et 300 jours par an, la durée réelle d'utilisation est de 3 000 heures, mais il faudrait bien se garder de confondre cette durée avec la durée moyenne d'utilisation.

En effet, les génératrices de l'usine doivent avoir une puissance suffisante pour faire face à la plus forte demande d'énergie, ne durât-elle que quelques moments par jour ou quelques heures par an.

Cette puissance maximum qu'il faut *installer* à l'usine est souvent notablement plus grande que la puissance moyenne; elle atteint notamment jusqu'à 2 fois la puissance moyenne dans les usines de traction (2) à tramways urbains à départs fréquents, jusqu'à 4 à 6 fois pour les tramways interurbains à départs beaucoup moins fréquents et jusqu'à 10 pour les chemins de fer à marche rapides et arrêts très espacés (3).

Cet écart entre la puissance moyenne et la puissance installée provient de ce qu'au moment des démarrages, les voitures de tramways absorbent beaucoup plus de puis-

(1) De l'utilité publique des transmissions d'énergie par M. Blondel, Dunod, Paris 1899.

(1) Blondel et Dubois, *la Traction Electrique*, t. II, p. 693.

(2) Barbillion et Griffisch, *la Traction Electrique*, t. I, p. 202.

sance qu'en vitesse. Cet écart diminue en tendant vers zéro quand le nombre de voitures et de démarrages augmente de plus en plus ; la multiplicité des démarrages et la longue durée de fonctionnement, 16 à 18 heures par jour améliorent le coefficient d'utilisation.

De même dans les usines qui font uniquement l'éclairage, la puissance maximum installée à l'usine dépasse notablement la puissance moyenne, car les génératrices doivent avoir une puissance suffisante pour pourvoir à la plus forte demande d'énergie des premières heures des soirées d'hiver ; ces génératrices restent inutilisées pendant le jour et ne le sont que très faiblement en été.

Les considérations faites sur les usines de traction et d'éclairage nous permettent de conclure que dans l'usine pour force motrice seule, le rapport entre la puissance maximum et la puissance moyenne sera assez voisin de l'unité, car 1° les usines qui utilisent l'énergie commencent et finissent leur travail en même temps ; 2° à cause du très grand nombre de métiers ou de machines actionnées, le nombre de métiers en marche oscille faiblement autour d'une valeur moyenne ; la durée d'utilisation semble ainsi de 3.000 heures, mais la nécessité d'installer une puissance de réserve que nous supposons égale au cinquième de la puissance moyenne et l'obligation d'éclairer les usines en hiver réduit la durée d'utilisation probablement à 2.200 et peut-être à 2.000 heures. Si l'usine fait en même temps la traction et l'éclairage public, elle améliorera sa durée d'utilisation. Une usine fournissant à la fois de l'énergie pour force motrice, éclairage et traction atteint, d'après les praticiens compétents, une durée d'utilisation de 3.000 heures.

**53. Avantages économiques des grandes stations centrales.** — En résumé, une usine centrale pour force motrice peut compter au minimum sur une durée d'utilisation de 2.000 heures si elle se borne uniquement à distribuer la force et l'éclairage à ses usines ; elle peut compter sur une durée d'utilisation de 3.000 heures si elle fait en outre l'éclairage public et la traction.

1° Si cette station centrale a une puissance totale considérable de 20, 30 et 40.000 chevaux, elle pourra se munir de machines de grande puissance relativement beaucoup plus économiques que les machines des usines ordinaires.

2° Le fractionnement de la puissance en un certain nombre de fortes unités fera en outre sentir ses heureux effets sur le régime des machines.

En effet, dans une usine ordinaire de quelques centaines de chevaux et surtout dans certaines industries, le fonctionnement de la machine varie dans de très grandes limites, la machine prend tous les régimes depuis le quart de charge ou la marche à vide jusqu'à 25 0/0 de surcharge et son rendement moyen en est réduit notablement.

Au contraire, dans une très grande station centrale fournissant l'énergie à un très grand nombre d'usines diverses, la charge moyenne varie beaucoup moins; par suite, l'usine centrale comptant plusieurs machines, on peut répartir sa charge entre plusieurs génératrices de façon qu'elles fonctionnent toutes au voisinage de leur régime normal et améliorer ainsi le rendement.

3° Enfin, les stations centrales électriques possèdent le moyen d'emmagasiner dans des accumulateurs l'énergie qu'elles ont en excès à un moment donné et ces accumulateurs cèdent ensuite cette énergie aux récepteurs, dans un moment de demande exagérée; ils soulagent ainsi la station génératrice et améliorent notablement le coefficient d'utilisation de l'usine.

**54. Prix de revient de l'énergie électrique dans les grandes usines centrales.** — Ces diverses raisons conduisent à des prix de revient de l'énergie très minimes, dans les usines pour traction et force motrice et rendent compte des prix de revient considérables dans certaines usines d'éclairage de faible puissance. Nous avons déjà donné quelques prix. En voici d'autres :

Tandis que, d'après l'*Industrie électrique* (10 mai 1900), les dépenses de production à l'usine atteignent les chiffres

suivants (tableau XI) dans les usines centrales parisiennes qui fournissent presque uniquement de l'énergie pour éclairage.

TABLEAU XI

	Puissance de l'usine	Dépense de production par Kw.-heure
Usine des Halles . . . . .	(825 kilow.)	37 centimes
Usine de l'Hôtel-de-Ville . . . .	(255 kw.)	38,5
Usine des Buttes-Chaumont. . . .	( 83 kw.)	55,5
Usine Parc-Monceau. . . . .	( 30 kw.)	46,5

D'après M. Gérard (1), la station centrale du chemin de fer électrique d'Indiana (Etats-Unis), a une puissance de 3.900 chevaux en 3 unités et elle donne les dépenses de production à l'usine ci-après par kwh.

TABLEAU XII

	Charbon à 7 fr. 50 la tonne	Charbon à 15 fr. la tonne
	c.	
Combustibles . . . . .	1,275	2,55
Huiles et chiffons . . . . .	0,185	0,186
Salaires . . . . .	0,56	0,56
Réparations. . . . .	0,10	0,18
	2,18	3,475

Mais admettons que ce soit là un cas particulier correspondant à un coefficient d'utilisation particulièrement bon et ne tirons pas de conclusions générales.

Il existe déjà en Haute-Silésie dans les régions industrielles et houillères à Chorzow et à Zaborze, des usines centrales distribuant l'éclairage aux particuliers, la force motrice aux tramways et certaines usines, notamment à 7 grandes fabriques de la région de 500 chevaux chacune et à d'autres industriels moins importants.

(1) Conférence faite à la Société des Ingénieurs civils de France le 7 février 1902.

La puissance totale de l'usine est de 7.400 chevaux effectifs répartie sur 11 unités à vapeur et 11 alternateurs. En octobre 1902, les dépenses par kw.-h. à l'usine étaient de 3 c. 75 avec du charbon à 7 fr. la tonne.

Si vous remarquez que les conditions de fonctionnement de l'usine sont loin d'être parfaites, que les machines à vapeur n'ont qu'une puissance de 600 chevaux environ, il est facile de prévoir qu'avec des usines de quelques dizaines de mille chevaux et des unités plus grandes, malgré un prix de charbon double et des salaires plus élevés on produirait dans notre région le kilowatt-heure avec une dépense de production à l'année de 3 centimes environ.

Il y a intérêt à se rendre compte de ce que pourrait être le prix de revient du kilowatt-heure dans nos pays houilliers avec du charbon coûtant 15 fr. la tonne.

Nous allons donner deux exemples.

#### DEVIS A

Usine de puissance 25.000 kilowatts, c'est-à-dire de 34.000 chevaux en construction ; elle fournira l'énergie aux tramways, la force motrice aux usines et l'éclairage aux particuliers ; la durée moyenne d'utilisation sera de 3.000 heures, elle produira donc 75.000.000 de kilowatt-heures ; le coût de premier établissement est détaillé dans le Tableau XIII.

TABLEAU XIII

*Dépenses de premier établissement pour une usine  
de 25.000 kilowatts*

Bâtiments . . . . .	3.000 000 francs
Partie Mécanique (turbines et générateurs) . . . . .	7.500.000 »
Partie Électrique . . . . .	7.500.000 »
Divers . . . . .	<u>3.000.000</u>
Total . . . . .	15.000.000 francs

Pour les dépenses d'exploitation à l'usine, les dépenses en huiles, nettoyage, entretien et réparation sont calculées d'après ce qu'elles seraient pour les usines un peu plus

petites, consignées dans le Tableau VIII c'est-à-dire 60.000 francs pour nettoyage et graissage et 112.000 francs pour entretien et réparations.

Pour la dépense du charbon, on compte qu'il se consomme 1 kilog. 2 de charbon par kilowatt-heure. Cette évaluation est plutôt pessimiste ; les turbines sont comptées comme si elles prenaient 10 kilog. de vapeur par kilowatt-heure : elles n'en prennent que 7 au maximum ; le surplus sert à tenir compte des allumages et arrêts.

Les dépenses pour le personnel sont consignées dans le Tableau XIV.

TABLEAU XIV

*Dépenses journalières pour le personnel de l'usine  
de 25.000 kilowatts*

	1 Ingénieur chef de service. . . . .	20 fr.
	2 Chefs de quart (1 de jour, 1 de nuit) . .	28 »
GROUPES ÉLECTROGÈNES	10 Conducteurs de groupe (à 9 fr. l'un). .	90 »
	10 Graisseurs ou manœuvres (à 5 fr. l'un). .	50 »
	2 Hommes ou condenseurs (à 6 fr. l'un). .	12 »
TABLEAU de DISTRIBUTION	2 Chefs électriciens. . . . .	20 »
	4 Électriciens (à 8 fr. l'un). . . . .	32 »
	2 Manœuvres (à 5 fr. l'un). . . . .	10 »
CHAUFFERIE	2 Chefs de feux (1 de jour 1 de nuit, à 10 f.)	20 »
	32 Chauffeurs (à 8 fr. l'un en moyenne). .	256 »
	8 Escarbilleurs et manœuvres (à 5 fr.) . .	40 »
	Nettoyage et entretien de 8 chaudières en repos (16 hommes) . . . . .	96 »
SERVICE EXTÉRIEUR	Service de l'épurateur, du parc à charbon et des escarbilles (16 hommes). . . . .	90 »
	Réparations: 1 Chef d'atelier . . . . .	
	» 10 Ouvriers . . . . .	
	» 2 Manœuvres . . . . .	
	» 1 Dessinateur . . . . .	100 »
	Concierge, garde de nuit, magasinier, comptable, garçon de courses. . . . .	36 »
		<hr/> 900 fr.

Soit en nombres ronds 328.000 fr. par an.

Les dépenses totales d'exploitation sont résumées dans le tableau XV.

TABLEAU XV

*Dépenses totales d'exploitation d'une usine de 25,000 kw.*

	DÉPENSES D'EXPLOITATION	
	Total	par kw.-heure
Charbon $75.000.000 \times 1 \text{ kg } 2 \times 0,015$ (à 15 fr. la tonne).	1.302.000 fr.	1,8 centimes
Matières pour nettoyage et graissage	60.000	0,08
Matières pour entretien, réparations et divers . . . . .	112.000	0,15
Personnel de l'usine . . . . .	328.000	0,44
Frais généraux d'Administration et Direction. . . . .	250.000	0,33
Totaux . . . . .	1.835.000 fr.	2,8 centimes

La dépense de production à l'usine par kilowatt-heure est donc de 2 c. 8.

Si on y ajoute l'amortissement du capital de premier établissement par dixièmes et tous les frais de Direction et d'Administration, on obtient le prix de revient par kilowatt-heure conformément au tableau XVI.

TABLEAU XVI

*Prix de revient du kilowatt-heure à l'usine*

Dépenses d'exploitation par kilowatt-heure . . . . .	2,5 centimes
Amortissement du capital . . . . .	2
Divers. . . . .	0,2
Total. . . . .	5 centimes

Le prix de revient du kilowatt-heure est donc de 5 centimes, ce qui amène le prix du cheval-vapeur à 3,68 centimes.

## DEVIS B

Usine pour traction et distribution d'énergie électrique  
pour force et lumière.

TABLEAU XVI

**Devis approximatif des dépenses de premier  
établissement.**

	r. c.
<b>Chaudières.</b> — 27 chaudières semi-tubulaires de 250 <sup>m²</sup> de surface de chauffe, timbrées à 11 kil. avec surchauffeurs et accessoires. . . . .	675.000 »
6 réchauffeurs Green avec mouvements de raclettes et registres d'isolement. . . . .	130.000 »
3 pompes électriques d'alimentation à vitesse variable pouvant débiter 40 <sup>m³</sup> à l'heure chacune . . . . .	30.000 »
3 pompes à vapeur 40 <sup>m³</sup> à l'heure chacune . . . . .	14.000 »
Tuyauterie et robinetterie pour chaudières et machines. . . . .	285.000 »
1 appareil à chaîne sans fin à commande électrique pour la manutention des 9.000 kil. de charbon nécessaires par heure. . . . .	75.000 »
1 grue électrique pour déchargement de bateaux, faisant environ 40 manœuvres à l'heure et soulevant une benne de 1.500 kilog., avec appareil de chargement de la chaîne. . . . .	11.000 »
1 épurateur épurant 50 <sup>m³</sup> à l'heure, avec pompes et tuyauterie . . . . .	25.000 »
<b>Machines.</b> — 5 groupes électrogènes de 3.000 à 3.500 chevaux, dont 2 pour l'alimentation du réseau de tramways, 1 pour le transport de force, 1 pour la distribution d'éclairage et 1 de réserve. — Chaque groupe comprendra : machine à vapeur type vertical compound, volant de 7 <sup>m</sup> 50 de diamètre. et alternateur à induit fixe et volant inducteur calé directement sur l'arbre moteur de la machine à vapeur, avec tous accessoires. . . . .	2 100.000 »
1 groupe électrogène de 700 chevaux, destiné à marcher la nuit au moment de très faible charge. . . . .	90.000 »
A reporter . . . . .	3.435.000 »

Report . . . . .	3.435.000 »
1 pont roulant de 30 tonnes à commande électrique avec chemin de roulement pour la salle des machines . . . . .	20.000 »
1 tableau de distribution, à deux étages et passerelle de manœuvre, avec appareils à haute et basse tension montés sur panneaux en marbre . . . . .	60.000 »
Câblage à haute et basse tension dans l'intérieur de l'usine . . . . .	45.000 »
Installation de l'éclairage de l'usine et de ses abords . . . . .	10.000 »
<b>Bâtiments.</b> — Fondations, cheminées, passerelles, soutes à charbon, réservoirs, . . . .	700.000 »
Bâtiments, charpentes métalliques . . . . .	500.000 »
Atelier de réparations avec machines-outils, magasins à huiles, etc. . . . .	120.000 »
<b>Transformateurs.</b> — Convertisseurs d'excitation avec batterie; transformateurs réducteurs pour éclairage (3.000/120 volts);	110.000 »
Prix de revient de l'usine (non compris le terrain) . . . .	5.000.000 »

## TABLEAU XVII

<b>Dépenses d'exploitation de l'usine.</b>	
D'après les calculs, l'usine produirait 100.000 kilowatt heure par jour.	
Pour cette production, les dépenses seraient les suivantes :	
<b>Charbon.</b> — Pour 100.000 kilowatt heures, la dépense sera de 1 k. 2 par kilowatt-heure, soit 120 tonnes par jour, à 14 fr. = 1.680 fr. par jour et par an . . . . .	fr. c. 612.000 »
A reporter. . . . .	612.000 »

Report . . . . .	612.000 »
<b>Entretien, réparations.</b> — 1 1/2 0/0 environ de la valeur du matériel mécanique et élec- trique . . . . .	45.000 »
<b>Huiles et chiffons.</b> - Huiles pour cylindres 80 »	
Huile pour mouvements. . . . .	40 »
Chiffons . . . . .	15 »
135 fr., soit par an . . . . .	49.200 »
<b>Personnel.</b> — Chaufferie . . . . .	159 50 par jour
Charbon (manœuvres) . . . . .	18 »
Machines. . . . .	150 »
Magasins. . . . .	15 »
Ateliers . . . . .	37 50
Direction. . . . .	50 »
Total par jour . . . . .	430 » soit par
k.-w.-h. 0 fr. 0043, et par an . . . . .	157.000 »
Total des dépenses annuelles à l'usine. . . . .	<u>863 200 »</u>

Le prix de revient du kilowatt-heure, sans compter l'intérêt et l'amortissement du capital, serait de 0 fr. 0237.

Si les chaudières étaient chauffées par les gaz perdus des fours à coke, les dépenses annuelles seraient, d'après le tableau XVII, de 251.200 fr., et la dépense d'exploitation par kilowatt-heure 0 fr. 007 ; d'après le tableau XV, il serait de 1 centime ; en tenant compte des amortissements du capital conformément au devis du tableau XVI, le prix du kilowatt-heure obtenu ainsi serait de 3<sup>e</sup>, 2 ou 3<sup>e</sup> 5 par kilowatt-heure suivant que l'on adopte les dépenses d'exploitation 0<sup>e</sup> 7 ou 1<sup>e</sup> et le prix de revient du cheval-heure se réduit à 2<sup>e</sup> ou 2<sup>e</sup> 57.

55. — **Prix de revient de l'énergie mécanique dans les usines.** — Comparons ce prix de revient du cheval-heure obtenu dans les devis A et B et dans des conditions plutôt pessimistes, avec le prix de revient du

cheval-heure dans une usine à vapeur de 50, 100 ou 500 chevaux, en supposant la machine fonctionnant en pleine charge et en prenant par conséquent les conditions optimistes consignées dans le tableau XVIII, emprunté à M. St-Martin (*loc. cit.*)

TABLEAU XVIII

*Prix de revient de la force motrice avec moteur à vapeur calculé pour la marche industrielle.*

	MACHINE A CONDENSATION		
	Horizontale monocylindrique de 50 chevaux	Horizontale monocylindrique de 100 chevaux	Horizontale Compound de 500 chevaux
Bases du prix de revient :			
Dépenses totales d'installation.	36.000 fr.	60.000 fr.	200.000 f.
Consommation de charbon par cheval-heure indiqué (1). . . . . (allumage compris)	2 kg. 2	1 kg. 9	1 kg. 25
Dépenses annuelles (3000 heures de marche)			
Combustibles (charbon à 15 fr. la tonne) . . . . .	4.950 fr.	8.550 fr.	28.025 fr.
Frais généraux, entretien . . . . .	3.200	5.000	15.000
Salaires . . . . .	3.000	3.600	6.000
Intérêts et amortissement . . . . .	2.880	4.800	16.000
Totaux par an . . . . .	14.030 fr.	21.950 fr.	65.025 fr.
Nombre annuel de chevaux-heure indiqués . . . . .			
	150.000	300.000	1.500 000
Prix de revient du cheval heure effectif (rendement organique 88 %) . . . . .			
	40 c. 6	8 c. 3	5 c. 7

D'autre part, M. Sauvage (2) estime que les dépenses par cheval-heure effectif avec du charbon à 20 francs la tonne, sont de 5 centimes pour une machine de 500 chevaux,

(1) Cette consommation est une consommation moyenne et tient compte non seulement de l'allumage, mais des heures d'arrêt pour le repos de midi.

(2) Traité des machines à vapeur.

7 centimes pour une machine de 100 chevaux et 9 centimes pour une machine de 50 chevaux.

D'un autre côté, M. Witz estime que le cheval-heure produit par une machine à vapeur de 100 chevaux revient à 6 c. 71 et à 5 c. 56 s'il est produit par un moteur à gaz pauvre.

Pour une puissance de 500 chevaux, la machine à vapeur avec surchauffe l'emporte en rendement sur le moteur à gaz pauvre (1).

Par conséquent, avec des moteurs à vapeur ou à gaz pauvre de notre région, fonctionnant toujours à pleine charge dans les meilleures conditions possibles, on peut produire le cheval-heure à 5 c., 7 c. et 9 centimes, ces prix sont considérablement plus élevés que le prix de revient du cheval-heure dans l'usine électrique.

CONCLUSION. - Des conclusions générales s'imposent dès maintenant. Les industries minières ont dans les gaz perdus des fours à coke et des hauts-fourneaux une source d'énergie comparable à la houille blanche des pays montagneux. L'idée de se servir de cette énergie a amené logiquement ces compagnies à installer dans leur concession, au voisinage des fours à coke, des usines centrales électriques distribuant l'éclairage et la force aux moteurs disséminés dans l'exploitation.

A Anzin notamment, on convertit en coke tout le poussier de charbon disponible en des fours à récupération, et les gaz disponibles brûlés sous les chaudières, alimentent la station centrale qui peut fournir de 1.400 chevaux, environ le 1/8<sup>e</sup> de la puissance totale moyenne utilisée dans la concession (2).

Il serait à souhaiter pour la prospérité de notre région que l'industrie des fours à coke devienne assez prospère pour que la houille blanche de nos pays miniers soit suffi-

---

(1) Witz, moteurs à gaz, t. II, p. 1052.

(2) Ce renseignement m'a été fourni par M. François, l'éminent directeur de la Compagnie d'Anzin. Je l'en remercie bien vivement.

samment abondante, non seulement pour fournir la totalité de l'énergie mécanique nécessaire à la mine, mais encore pour alimenter les multiples usines de notre région industrielle.

Mais une production économique de l'énergie n'est pas subordonnée à la prospérité de l'industrie des fours à coke et des hauts-fourneaux, car dans les usines alimentées au charbon d'après les devis et les renseignements nombreux que je vous ai cités, le prix de revient du cheval-heure emprunté aux bornes des génératrices d'une grande usine de plusieurs dizaines de mille chevaux est environ deux à trois fois plus faible que dans une usine de 500 à 50 chevaux, à vapeur ou à gaz pauvre.

Mais il y a une objection, c'est que les usines d'une puissance de 10.000 ou 25.000 kws ne se trouvent pas concentrées en un même point d'une ville. Pour réunir cette puissance imposante de 25.000 kws, il faudra grouper un très grand nombre d'industries de 50, 100, 500 chevaux. Mais si toutes ces usines convenaient de prendre leur énergie à cette formidable station centrale, et si on pouvait transporter l'énergie de cette station centrale à chacune de ces usines avec un prix de revient de l'ordre d'un centime par kw.-heure, rendu à l'usine, tous les industriels trouveraient une économie notable et de multiples avantages dans la commande électrique.

La création d'usines centrales de grande puissance, rationnellement installées serait un bienfait public. L'énergie électrique ne serait plus un objet de luxe comme il l'est encore malheureusement, mais un agent *industriel* à la portée de tous.

Il nous reste à voir dans les prochaines leçons comment s'effectuera ce transport économique de l'énergie.

---

## Conséquences Economiques et Sociales des Transports d'Énergie par l'Électricité

---

Lorsqu'on étudie le transport de l'énergie on constate que le prix du kilowattheure transporté à l'usine est de l'ordre de 5<sup>cs</sup> (1) ce qui amène le cheval-heure à 4 centimes.

Admettons pour le moment que toutes les machines à vapeur et à gaz soient remplacées sur place par des moteurs électriques et que l'énergie soit fournie par de grandes usines centrales électriques, véritables coopératives de production.

**99 Conséquences économiques.** — Ce changement aurait des conséquences multiples.

1° L'industriel y trouvera d'abord les *nombreux avantages* que nous avons signalés dans notre première communication : augmentation de l'hygiène et de la sécurité du travail à l'usine, augmentation de la qualité et de la quantité de travail, meilleur rendement général, frais moindres d'entretien, etc.

2° *Bénéfice notable dans la production de la force motrice.*

Le prix de revient du cheval-heure produit par une grande usine à vapeur ou à gaz pauvre avec un moteur de 500 chevaux, aux conditions actuelles du prix du charbon, dépenses générales et amortissement compris, est de 5 centimes ; pour une machine de 100 chevaux, il est de 7 c. et pour une machine de 50 chevaux de 9 à 10 c.

Le prix de revient du cheval-heure électrique transporté est de 4 centimes.

Or, le Nord et le Pas-de-Calais comptent ensemble plus de 500.000 chevaux installés ; admettons qu'ils produisent journallement 4.000.000 cheval-heures.

---

(1) La transmission électrique de l'énergie dans les pays industriels de houille noire chez Dunod, Paris, page 130.

Admettons que cette puissance soit produite par des moteurs d'une puissance moyenne de 100 chevaux, à 7 centimes le cheval-heure. On gagne donc 3 cent. par cheval-heure, ce qui fait une économie de 120.000 francs par jour, soit 36 millions par an.

Mais cette économie est certainement très inférieure à la réalité. En effet, d'après les exemples que j'ai cités dans ma première communication, la puissance effective utilisée sur l'arbre des machines-outils ou des métiers est notablement inférieure à la puissance normale. Les 4 millions de chevaux-heures produits par des machines disséminées dans la région se réduiront sûrement à moins de 3.200.000, car les pertes sont, en général, *très supérieures* à 20 o/o. (Voir la question *rendement* traitée dans ma première communication). On ferait donc du même coup, à raison de 7 cent. le cheval-heure, un bénéfice de 56.000 fr. par jour, soit  $56.000 \times 300 = 16.800.000$  francs par an.

Sur les 3.200.000 chevaux-heures effectifs, on économiserait journellement  $0,03 \times 3.200.000 = 96.000$  fr. et, en 300 jours, 28.800.000.

Le bénéfice total annuel serait donc pour la région du Nord de 45.600.000 francs, mais il est certain qu'il serait notablement supérieur, car nous avons supposé les conditions les plus défavorables.

QUELQUES EXEMPLES : Au lieu de rester dans les généralités, précisons quelques exemples particuliers.

a. Quelle serait l'économie réalisée par un industriel, qui a une usine de 500 chevaux *bien installée* mécaniquement, travaillant 10 heures par jour à pleine charge, et qui transformerait sa commande mécanique en commande électrique. Cet industriel produirait 5.000 chevaux-heures par jour. Par cheval-heure, le bénéfice brut serait au minimum de 1 centime ; cet industriel gagnerait donc 50 fr. par jour, c'est-à-dire 15.000 fr. par an.

La transformation de la commande mécanique en commande électrique n'excéderait certainement pas 50.000 fr., pour une filature ou un tissage de 500 chevaux, si l'on se rapporte au devis de la Société cotonnière de Mirecourt, que j'ai donné dans ma première communication. En amortissant cette dépense par dixième, comme nous l'avons

fait jusqu'ici, la dépense annuelle serait donc de 5.000 fr. Il résulte de là que, malgré le changement de la commande mécanique en commande électrique, l'industriel ferait encore annuellement un bénéfice minimum de 10.000 fr.

*b.* Un industriel qui n'a qu'une usine de 100 chevaux très bien installée au point de vue mécanique, et dont le travail est conditionné de façon que la machine marche sensiblement en pleine charge 10 heures par jour, gagnerait 3 c. par cheval-heure produit, c'est-à-dire 30 fr. par jour, 9.000 francs par an ; il resterait à déduire les moteurs électriques.

*c.* Une installation fonctionnant avec une machine de 50 chevaux à 10 heures par jour gagnerait 5 c. par cheval-heure, c'est-à-dire 25 fr. par jour ou 7.500 fr. par an.

Si on compte que le plus souvent les installations laissent à désirer surtout pour les usines qui se sont agrandies successivement, le bénéfice serait beaucoup plus considérable. (Voir la question *rendement* de ma première communication.)

L'industriel qui possède des machines de 50, 100 et 1000 chevaux bénéficierait des avantages pécuniers relatifs à chaque machine.

*d.* Un autre cas intéressant est celui où les machines travaillent souvent à des régimes très variables. Dans ce cas, l'économie serait beaucoup plus importante; et les Compagnies de mines qui sont obligées de disséminer et de fractionner leur puissance, seraient certainement celles qui gagneraient le plus à ce changement. Le bénéfice est difficile à calculer sans chiffres précis, mais la consommation énorme des machines d'extraction et le fractionnement nécessaire de la puissance me font penser qu'un bénéfice de 6 centimes par cheval-heure ne serait pas exagéré.

Une grande Compagnie minière qui produirait 100.000 chevaux-heures par jour, gagnerait donc 6.000 fr. par jour, soit 1.000.000 fr. par an et nous supposons qu'on consomme du charbon. Cette économie serait considérablement majorée par l'emploi des gaz pauvres des fours à coke et des hauts-fourneaux. Il faudrait évidemment déduire de ce chiffre les dépenses d'amortissement et d'entretien des moteurs électriques.

Ces bénéfices calculés de cette manière paraîtront plus convaincants lorsqu'on se rappellera les résultats que nous avons indiqués dans notre première communication sous le titre *rendement*.

Nous avons vu, en effet :

Que le petit industriel qui achète le kilowatt-heure au prix considérablement plus élevé de 0 fr. 30 réalise en général un bénéfice notable sur la production d'énergie mécanique par moteurs à gaz ou machines à vapeur ;

Que les grandes usines, filatures, tissages, ateliers de construction ont intérêt à remplacer la commande mécanique par la commande électrique et l'installation d'une petite usine centrale électrique ; or, la production de l'énergie étant environ deux fois plus économique dans les grandes usines centrales, il en résulte un bénéfice certain et considérable pour le grand industriel dont l'installation mécanique est la mieux comprise.

*3° Meilleure utilisation des locaux et terrains industriels.*

L'industriel au lieu d'acheter son charbon, achèterait son énergie à la grande usine centrale, et serait ainsi débarrassé d'un souci d'ordre secondaire à sa profession : la production de l'énergie. Au lieu d'employer un espace précieux à loger le charbon, sa machine à vapeur et tous les accessoires de la production de l'énergie, il réserverait un espace de quelques décimètres cubes, pour placer un compteur d'énergie et utiliserait la salle des machines, des chaudières, le magasin à charbon, etc., à agrandir son usine et à accroître sa production industrielle.

**100 Conséquences générales.** — *1° Amélioration de l'hygiène publique.*

Outre ces avantages qui touchent immédiatement l'industriel, il y en a d'autres d'une portée plus générale, dont il bénéficierait lui-même et dont il ferait bénéficier ses concitoyens.

L'air des agglomérations déjà vicié par des milliers de poitrines, l'est davantage encore par les fumées et les gaz brûlés des usines.

En supprimant les installations des machines à vapeur dans les villes industrielles, on supprimerait du même

coup en partie les exhalations malsaines des cheminées et on rendrait l'air plus pur ; la ville gagnerait en propreté et en gaieté.

2° *Éclairage électrique généralisé.*

Malgré le fractionnement toujours plus ou moins dispendieux, l'énergie pour éclairage pourrait se vendre à des prix incomparablement inférieurs au tarif des stations d'éclairage actuelles, de sorte que la création des grandes centrales pour force motrice, rendrait par contrecoup l'éclairage électrique à la portée de tous.

3° *Applications en agriculture.*

L'introduction du moteur électrique dans le labourage et les travaux agricoles est déjà chose faite et a produit les résultats les plus encourageants même en empruntant l'énergie à une petite station centrale. Ces conditions seraient bien plus avantageuses avec les grandes centrales.

*Objections.* — A côté des avantages, examinons les objections. L'une des plus immédiates est la suivante :

1° L'arrêt de l'usine centrale pour une cause quelconque déterminerait simultanément l'arrêt de toutes les usines qui en dépendent.

Ce raisonnement est incontestable, mais il paraît bien improbable. Il faudrait admettre une grève des ouvriers de l'usine génératrice, mais le personnel de l'usine étant restreint et payé au-dessus du taux moyen, ne serait pas excité à la grève, et d'ailleurs l'emploi de mécanismes pour la manutention du charbon et le foyer réduirait au minimum le personnel.

2° Il peut paraître dangereux de placer l'usine dans un pays minier où les grèves peuvent être fréquentes et dangereuses, mais il n'est nullement nécessaire de placer l'usine à la mine, car le calcul du transport de l'énergie électrique nous a montré qu'il y a avantage à placer l'usine au voisinage du centre d'utilisation et à transporter le charbon.

Ces objections tombent et les avantages importants que nous avons signalés restent intangibles. *Le remplacement des moteurs mécaniques par des moteurs électriques est extrêmement avantageux pour les faibles puissances et*

*l'est encore d'une façon indubitable pour les usines mécaniques les mieux agencées.*

Mais l'hypothèse que nous faisons d'une transformation sur place de toutes les transmissions mécaniques en transmissions électriques ne peut se réaliser d'une façon subite, mais d'une façon progressive.

Il faut un peu de temps pour que les idées les plus mûries et les vérités les plus évidentes se fassent jour.

Nous assistons en ce moment à une évolution très caractéristique de la production et de la distribution de la force motrice; il dépend des électriciens d'en accélérer la marche par le soin scrupuleux et la compétence avec lesquels ils étudieront leurs installations.

**101. Conséquences sociales.** — D'ailleurs la transformation sur place des transmissions mécaniques des usines en transmissions électriques n'est pas désirable. Le projet de transmission de l'énergie par le courant électrique et les grandes centrales peut prétendre à un but plus élevé; je veux parler de sa portée sociale et morale, de l'idée de reconstituer pour l'ouvrier de l'usine l'atelier familial d'autrefois.

Le XIX<sup>e</sup> siècle a été caractérisé par le développement du machinisme: le métier du tisseur, le rouet des fileuses de jadis ont été renversés; le métier à bras a fait place au métier mécanique qui produit davantage, et à meilleur compte.

L'impossibilité de fractionner économiquement la puissance mécanique par la machine à vapeur a fait concentrer la production autour d'une grande machine à vapeur centrale actionnant un grand nombre de métiers mécaniques.

Devant la concurrence redoutable de l'usine, l'artisan, pour subsister, a quitté son atelier familial pour devenir ouvrier à l'usine et malheureusement la mère de famille a dû quitter son foyer et abandonner à la rue ou à des mercenaires la garde et l'éducation de ses enfants.

La machine à vapeur a détruit la vie familiale par cette nécessité inéluctable, qui était la condition de la vie industrielle créée par la machine à vapeur, de concentrer

tous les éléments de production en un même endroit, lieu même de production de l'énergie.

A l'aurore du XX<sup>e</sup> siècle, une idée nouvelle, éclore à la fin du XIX<sup>e</sup>, surgit et paraît appelée à avoir non seulement les conséquences économiques les plus heureuses sur la production industrielle, mais aussi des conséquences morales et sociales des plus inattendues. La vapeur avait créé l'antagonisme entre la vie familiale du travailleur de l'usine et la vie industrielle. L'électricité supprime cet antagonisme.

L'installation d'usines électriques centrales de puissance considérable, l'économie du transport de l'énergie par le courant et le fractionnement jusqu'à un quart et à un dixième de cheval de la puissance motrice des moteurs électriques ont fait naître la généreuse pensée de rendre à l'ouvrier et surtout à l'ouvrière de l'usine la vie reconfortante de la famille.

Cette pensée philanthropique se réalise déjà en Suisse pour l'horlogerie, à St-Etienne, à Lyon; pour l'industrie de la soie. Le canut lyonnais et le tisseur de ruban stéphanois peuvent, aujourd'hui comme autrefois, tisser chez eux, se faire aider de leur femme et de leurs enfants.

Le *Bulletin de l'Office du Travail* du mois d'octobre 1903 donne les renseignements suivants :

Dans la région de la Loire, le développement des métiers actionnés électriquement s'est accru dans de notables proportions.

Ces installations, commencées en 1894 avec 8 ateliers et 19 métiers, comptent en 1902, 3.989 ateliers et 8.736 métiers.

L'effectif total étant de 28.000 métiers, il y a donc, dès à présent, un tiers de métiers actionnés électriquement.

Et dans cette région, les autres industries ont suivi l'exemple de la rubannerie; en 1894, les moteurs électriques étaient de 5 seulement d'une puissance totale de 18 chevaux; en 1902, il y a 428 moteurs d'une puissance totale de 789 chevaux un quart.

D'après le rapport de MM. Dubois et Julin (1), la Société

---

(1) Rapport présenté à M. le Ministre du Travail de Belgique, en 1902.

lyonnaise de force motrice du Rhône fournissait l'énergie électrique à 1.458 abonnés au 30 avril 1901.

Ce développement est intéressant au plus haut degré, d'autant plus que l'énergie électrique est loin d'être produite dans les meilleures conditions économiques et l'installation de grandes centrales à vapeur améliorerait notablement les prix de revient et de vente de l'énergie.

Ce bienfait peut-il être espéré dans nos régions? serait-il possible de restaurer l'atelier du filtier et du tisserand de jadis? Des praticiens compétents me l'ont affirmé. Le tisserand d'aujourd'hui, logé à la campagne, muni de métiers à tisser mus par un moteur électrique alimenté par les grandes centrales, travaillerait chez lui dans des conditions au moins aussi bonnes qu'à l'usine.

Il serait téméraire peut-être de l'espérer pour toutes les industries et même pour toutes les industries qui emploient des ouvrières.

En effet, le moteur mécanique n'est pas le seul facteur de la production économique à bon marché, qui est la condition de la vie industrielle moderne.

Le principe de la division du travail joue un rôle au moins aussi important.

Les divers organes d'un réveil-matin américain passent par des centaines de machines différentes avant d'être achevés. Pour concilier cette conception industrielle, la seule logique, avec la conception de l'industrie à domicile et tous ses avantages moraux, il n'y a, à mon avis, qu'un seul moyen, mais qui me paraît réalisable pratiquement dans certains cas à condition de placer les usines dans les banlieues des villes ou à la campagne.

Puisqu'un certain nombre d'industriels construisent des cités ouvrières pour leurs ouvriers, pourquoi ces maisons ne seraient-elles pas groupées autour d'une salle rectangulaire formant la salle du magasin et des services généraux de l'usine?

Pourquoi n'auraient-elles pas à l'arrière un appartement qui contiendrait les métiers et, sur la façade, le jardinet qui délasserait le travailleur de son labeur? (1)

---

(1) Une usine de ce genre vient de se créer à Haubourdin près de Lille.

L'usine de demain deviendrait ainsi l'atelier de jadis et l'industriel n'y gagnerait qu'en sécurité et en tranquillité, l'ouvrier en liberté, en bien-être matériel et moral.

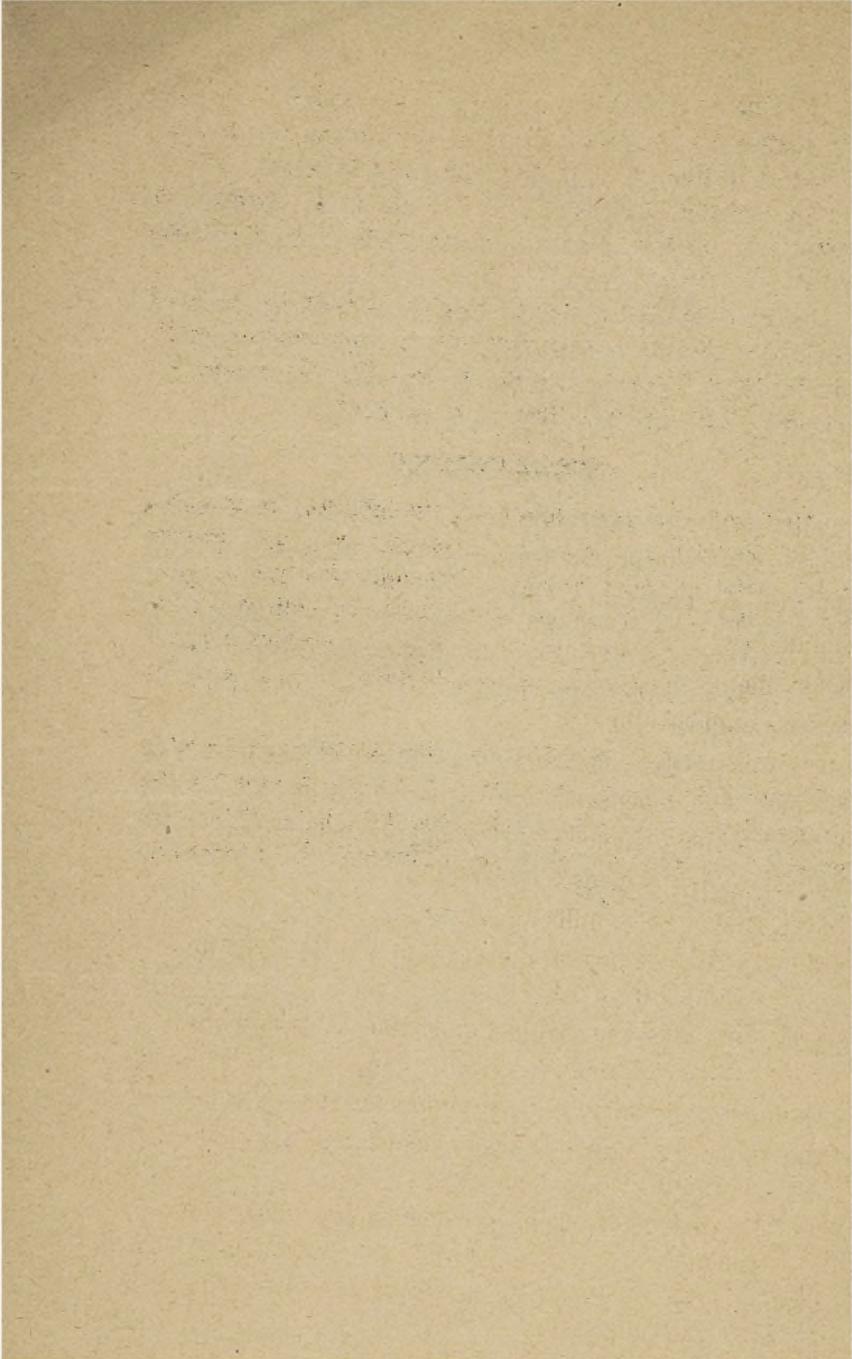
La question des heures de travail serait résolue du même coup et bien d'autres encore qu'il ne m'appartient pas de traiter ici.

La réglementation des heures de travail notamment deviendrait inutile et superflue, car de quel droit voudrait-on empêcher l'ouvrier tisseur de travailler le temps qui lui p'ait plutôt que le bottier ou le tailleur?

### CONCLUSIONS

En résumé et pour conclure, l'installation de grandes usines électriques centrales à vapeur ou à gaz pauvre fournissant au pays ambiant l'énergie électrique pour force motrice et éclairage est possible et réalisable dans les conditions les plus économiques, comparables à celles des meilleures stations hydro-électriques des pays de houille blanche.

Si elles étaient généralisées, elles seraient une source incomparable de richesse pour le pays par la suppression du gaspillage inconscient et insensé du combustible, elles seraient un adjuvant puissant et fécond de rénovation économique et sociale.



# TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
Distribution mécanique de la force . . . . .	1
Distribution électrique de la force . . . . .	1
Souplesse de l'installation électrique . . . . .	2
Suppression des courroies . . . . .	2
Qualité et quantité du travail. . . . .	2
Contrôle de l'énergie . . . . .	3
Rendement. . . . .	3
Frais d'entretien. . . . .	8
Eclairage électrique. . . . .	8
Comparaison des dépenses de première installation. . . . .	8
Examen des dépenses d'une usine électrique. . . . .	11
Variation des dépenses de première installation . . . . .	11
Variation des dépenses d'exploitation. . . . .	13
Durée moyenne d'utilisation . . . . .	17
Influence du coefficient d'utilisation sur le prix de l'énergie. . . . .	18
Durée d'utilisation probable d'une usine centrale pour force motrice. . . . .	20
Avantages économiques des grandes stations centrales . . . . .	21
Prix de revient de l'énergie électrique dans les grandes usines centrales . . . . .	22
Prix de revient de l'énergie mécanique dans les usines . . . . .	29
Conséquences économiques des transports d'énergie. . . . .	33
Conséquences générales . . . . .	36
Conséquences sociales . . . . .	38
Conclusions . . . . .	41

- Électrotechnique appliquée.** Cours professé à l'Institut Electrotechnique de Nancy, par A. MAUDUIT, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur électricien, avec une Préface de A. BLONDEL, Grand in-8° de 814 pages avec nombreuses figures. Broché 25 fr ; cartonné..... 26 fr. 70
- Électricité. Applications industrielles :** Canalisation et distribution de l'électricité. Eclairage électrique. Transport électrique de l'énergie. Traction électrique. Electrochimie. Télégraphie. Téléphonie. Projet de distribution d'énergie électrique, par Fd DACREMONT. In-8° avec nombreuses figures..... 12 fr.
- Agenda Dunod 1904. Électricité** (25<sup>e</sup> édition), par J.-A. MONPELLIER. Luxueux carnet de poche..... 2 fr. 50
- L'électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier.** Manuel pratique à l'usage des monteurs, électriciens, mécaniciens, élèves des écoles professionnelles, etc., par E. ROSENBERG. Traduit de l'Allemand par A. MAUDUIT. In-8° de 435 pages avec 284 figures. Broché, 8 fr. 50 ; cartonné..... 10 fr.
- L'électricité à la portée de tout le monde,** par Georges CLAUDE. 3<sup>e</sup> édition. Un fort volume grand in-8°..... 6 fr.
- Principes d'électrotechnie,** par E. PIÉBARD, professeur d'électricité industrielle à l'Université libre de Bruxelles. Grand in-8° avec 297 figures..... 10 fr.
- Électromoteurs. — I. Courant continu,** par G. ROESSLER ; traduit de l'allemand par E. SAMITCA. Grand in-8° avec figures. Broché, 6 fr. 50 ; cartonné..... 8 fr.
- Électromoteurs. — II. Courants alternatifs et triphasé,** par G. ROESSLER ; traduit par E. SAMITCA. Grand in-8° avec figures. Broché, 10 fr ; cartonné..... 11 fr. 50  
Les deux volumes : *Courant continu* et *Courants alternatifs*, se vendent ensemble ; brochés, 15 fr. ; cartonnés..... 18 fr.
- Les dynamos.** Principes, description, installation, conduite, entretien, dérangements, par J.-A. MONPELLIER. Grand in-8° avec 305 figures. Cartonné..... 16 fr.
- Théorie et calcul des phénomènes du courant alternatif,** par Ch. Pr. STEINMETZ. Traduit sur la 3<sup>m</sup>e édition américaine, revue et augmentée par M. MOUZET. Grand in-8° de XX-526 pages, avec 210 figures. Broché, 20 fr. ; cartonné... 21 fr. 50
- Phénomènes fondamentaux et principales applications du courant alternatif,** par R. SWYNGEDAÛW, chargé de l'enseignement électrotechnique à l'Université de Lille. In-8° de 174 pages, avec 62 figures et 3 planches..... 5 fr.
- Manipulations et études électrotechniques,** par L. BARBILLION, professeur à l'Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble. Grand in-8° de 304 pages, avec 162 figures. Broché, 12 fr. 50 ; cartonné..... 14 fr.
- Les accumulateurs électriques.** Théorie et technique, description, applications, par L. JUMAÛ, ingénieur-électricien. Grand in-8° de 944 pages avec 549 figures. Broché, 27 fr. 50, cartonné..... 29 fr.
- Eclairage.** Huiles, alcool, gaz, électricité, photométrie, par L. GALINE et B. SAINIP-PAUL. Deuxième édition. In-8° de 697 pages, avec 308 figures... 15 fr.
- Les automobiles électriques,** par G. SENCIER et A. DELASALLE. Grand in-8° avec figures..... 15 fr.
- Traité pratique de télécommunication électrique** (Télégraphie-Téléphonie), par Ed. ESTAUNIÉ, ingénieur en chef des Télégraphes. Grand in-8° de 670 pages, avec 528 figures. Broché, 20 fr. ; cartonné..... 21 fr. 50
- La transmission électrique de l'énergie dans les pays industriels de houille noire,** par R. SWYNGEDAÛW, professeur-adjoint à la Faculté des sciences, chargé de l'enseignement électrotechnique à l'Université de Lille. Un volume in-8° de 150 pages, avec 45 figures..... 5 fr.