

*Section de l'Ingénieur*

---

R.-V. PICOU

---

DISTRIBUTION  
**DE L'ÉLECTRICITÉ**

---

USINES CENTRALES

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

G. MASSON

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

## Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Godard.	Matignon.
Alheilig.	Gossot (Comm <sup>t</sup> ).	Meyer (Ernest).
Armengaud jeune.	Gouilly.	Michel-Lévy.
Arnaud.	Grimaux.	Minel (P.).
Bassot (Colonel).	Grouvelle (Jules).	Minet (Ad.).
Baume-Pluvinel(dela).	Guenez.	Moëssard (Comm <sup>t</sup> ).
Bérard (A.).	Guillaume (Ch.-Ed.).	Moissan.
Bergeron (J.).	Guilloux.	Monnier.
Berthelot.	Guye (Ph.-A.).	Moreau (Aug.).
Bertin.	Guyou (Comm <sup>t</sup> ).	Naudin (Laurent <sup>t</sup> ).
Biglia.	Hatt.	Ouvrard.
Billy (Ed. de).	Hébert.	Perrin.
Bloch (Fr.).	Hennebert (Cl.).	Perrotin.
Blondel.	Hérisson.	Picou (R.-V.).
Boire (Ém.).	Hospitalier (E.).	Poulet (J.).
Boucheron (H.).	Hubert (H.).	Prudhomme.
Candlot.	Hutin.	Rateau.
Caspari.	Jacométy.	Resal (J.).
Charpy (G.).	Jacquet (Louis).	Ricaud.
Clugnet.	Jean (Ferdinand).	Rocques-Desvallées.
Croneau.	Launay (de).	Rouché.
Damour.	Laurent (H.).	Sarrau.
Deforges (Comm <sup>t</sup> ).	Lavergne (Gérard).	Sauvage.
Delafond.	Léauté (H.).	Schloësing fils (Th.).
Dudebout.	Le Chatelier (H.).	Schützenberger.
Duquesnay.	Lecomte.	Seyrig (T.).
Durin.	Leloutre.	Sinigaglia.
Dwelshauvers-Dery.	Lenicque.	Sorel.
Etard.	Le Verrier.	Trillat.
Fabre (C.).	Lindet (L.).	Urbain.
Fourment.	Lippmann (G.).	Vallier (Comm <sup>t</sup> ).
Fribourg (Comm <sup>t</sup> ).	Lumière (A.).	Vermand.
Fréquent.	Lumière (L.).	Viaris (de).
Garnier.	Madamet (A.).	Vivet (L.).
Gassaüd.	Magnier de la Source.	Wallon (E.).
Gautier (Armand).	Marchena (de).	Widmann.
Gautier (Henri).	Margerie.	Witz (Aimé).





ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉS

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

P. 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien  
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,  
46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.*

N<sup>o</sup> 16 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

LA DISTRIBUTION  
DE L'ÉLECTRICITÉ

---

USINES CENTRALES

PAR

R.-V. PICOU

Ingénieur des Arts et Manufactures

---

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)



## NOTATIONS

EMPLOYÉES DANS CET OUVRAGE

—

- E, e**, force électromotrice, en volts ;  
 **$\mathcal{E}$ ,  $\varepsilon$** , différences de potentiel, en volts ;  
**I, i**, courant, en ampères ;  
**R, r**, résistance, en ohms ;  
**w**, puissance, en watts ;  
**L, l**, longueurs, en mètres ou centimètres, suivant les indications du texte ;  
**d**, diamètre, en centimètres ou millimètres ;  
**s**, section d'un fil ou câble ;  
 **$\delta$** , densité de courant, en ampères par millimètre carré ;  
**T**, temps, en secondes ou en heures, suivant les indications du texte ;  
 **$\alpha$** , coefficient de température des fils.

— —



# PREMIÈRE PARTIE



# PREMIÈRE PARTIE

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### DISTRIBUTION EN SIMPLE DÉVIATION

**1. Réseau et Artères.** — Les premières distributions urbaines, dans lesquelles de nombreux abonnés sont desservis par une Usine Centrale, datent de 1882, époque à laquelle fut mise en service l'usine de Pearl Street, à New-York, par les procédés d'Edison.

Les exigences de ces distributions sont connues. Il faut qu'il y ait indépendance absolue

des différents appareils et groupe d'appareils ; il faut, en outre, que le potentiel soit maintenu parfaitement régulier, quelles que soient les exigences, très variables, de la consommation. Enfin le contrôle de la consommation et le réglage du potentiel sur un point quelconque du réseau doivent pouvoir se faire de l'usine de production même.

Les distributions de gaz, sur lesquelles l'expérience était acquise depuis longtemps, ne pouvaient pas servir de guide dans l'établissement des conduites électriques ; en effet, elles sont à peu près complètement affranchies de la condition de maintenir une pression constante, condition qui fait la principale difficulté dans notre cas. Le robinet de l'appareil à gaz est un organe régulateur de débit, par régulation de la pression, qui ne possède aucun équivalent électrique. Il n'est possible que grâce à l'élasticité des gaz ; et comme l'électricité se comporte comme une matière incompressible, il n'y a pas à espérer trouver un organe semblable. L'emploi d'une résistance intercalée en série avec un appareil récepteur est le principal mode de réglage du débit électrique, mais il faut remarquer qu'il comporte une dépense d'énergie qu'il est désirable d'éviter.

Aussi les distributions électriques sont établies sur des principes tout différents. Le système de *Réseau et Artères* est universellement employé dans les distributions en dérivation. Voici en quoi il consiste :

Des conducteurs passent dans toutes les rues dont la canalisation a été décidée. A tous les croisements, les conducteurs de même nom sont réunis électriquement entre eux, de telle sorte que l'ensemble d'un tel système de conduite offre l'image d'un filet, à mailles plus ou moins régulières ; chaque nœud représentant une jonction à un croisement de rues. Il existe, bien entendu, un double système de conducteurs, c'est-à-dire un filet positif et un négatif.

On fait sur ces conducteurs tous les branchements d'abonnés et toutes les prises de courant, sans aucune exception.

Il faut maintenant alimenter ce *Réseau*. A cet effet, on fait partir de la source de courant, (Usine Centrale), une série de conducteurs spéciaux, sur lesquels on ne prend aucune dérivation, et qui viennent s'attacher au réseau, de préférence aux croisements de rue, et en des points déterminés à l'avance. Ces conduites spéciales sont les *Artères*, souvent appelées aussi du terme anglais *Feeders* (conduites d'alimentation).

Il est facile de comprendre que si ces artères ont été convenablement calculées pour que la perte de charge dans chacune d'elles soit la même, tous leurs points d'attache seront des centres secondaires d'alimentation, au même potentiel. L'ensemble serait donc équivalent à un système de petites usines déversant directement leur courant dans le réseau, aux points d'attache des artères.

La section des conducteurs du réseau est uniforme en tous ses points : mais, très exceptionnellement, on peut, dans quelques rues secondaires, en réduire un peu la section. Nous en verrons plus loin le calcul.

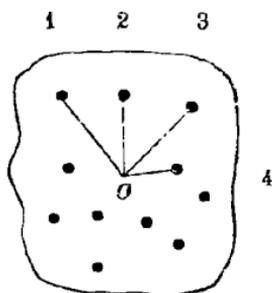
Quant aux artères, leurs sections individuelles sont calculées en raison de leur longueur et du courant qui les traverse.

Le premier point est d'établir les emplacements à choisir pour les points d'attache des Artères et pour l'Usine Centrale. Voici les moyens d'y parvenir :

**2. Emplacement d'une source.** — Soit d'abord un ensemble de points 1, 2, 3,.... auxquels il faut envoyer des courants  $i_1, i_2, i_3, \dots$  et soit en  $O$  (*fig. 1*) un emplacement choisi arbitrairement pour la source.

Il faut supposer d'abord que les points 1, 2, 3,..... peuvent être reliés en ligne droite, à la source.

Fig. 1



On se propose de déterminer l'emplacement qui donnera lieu à la moindre dépense de cuivre.

Le poids d'un conducteur sera égal au produit d'une constante dépendant de la perte consentie, multipliée par le courant  $i$ , et par le carré de la longueur, soit  $l^2$ . En effet, si la longueur double, il faut doubler la section, pour conserver la même perte de charge ; le poids est donc augmenté comme le carré de la longueur.

On a par suite

$$p = A l^2 i.$$

L'ensemble de toutes les équations analogues donne le poids total

$$P = A \Sigma l^2 i.$$

La Mécanique nous fournit des formules identiques, qui vont nous donner la solution immé-

diates : Supposons en effet qu'aux points 1, 2, 3, ... à alimenter soient situées des masses numériquement égales à  $i_1, i_2, i_3, \dots$  le terme  $\Sigma i^2 r_i$  représente alors le *moment d'inertie polaire* de l'ensemble du système par rapport au point polaire O.

La Mécanique nous apprend en outre que si C est le *centre de gravité* du système de toutes ces masses, et que sa distance à O soit égale à R, 1° le moment par rapport au centre de gravité C est minimum ; 2° le moment par rapport à un autre point tel que O ne dépend que de la distance R des points O et C. Par suite, il est le même pour tous les points de la circonférence décrite de C comme centre avec  $CO = R$  pour rayon, et ces points sont équivalents. Par conséquent :

*Le meilleur emplacement à choisir pour une source de courant est le centre de gravité des foyers.*

*Tous les emplacements équidistants de ce centre sont équivalents.*

A mesure qu'on s'éloigne du centre de gravité, le poids de cuivre nécessaire augmente, il est facile de calculer dans quelles proportions.

Appelons  $P_0$  le poids pour le centre de gravité et  $P'$  pour un autre emplacement.

Définissons les *longueurs moyennes* L, cor-

respondant à ces positions par

$$\Sigma l^2 \mathbf{i} = L^2 \mathbf{I} \quad \text{et} \quad \Sigma l'^2 \mathbf{i} = L'^2 \mathbf{I}.$$

Nous avons alors

$$P_0 = AL^2 \mathbf{I}.$$

d'où

$$P' - P = AI(L'^2 - L^2).$$

Ces longueurs moyennes sont les analogues des rayons de gyration, et on a entre elles et la distance  $d$  des points O et C la relation

$$L^2 + d^2 = L'^2.$$

Donc

$$P' - P = AI d^2.$$

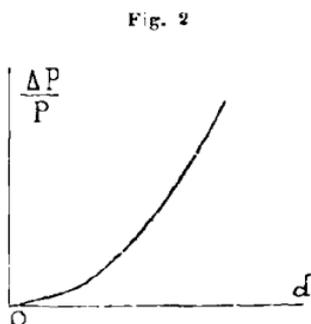
L'accroissement relatif du poids est donc

$$(1) \quad \frac{P' - P}{P} = \frac{d^2}{L^2}.$$

Si l'on trace (fig. 2) deux axes rectangu-

lares en 0, et qu'on porte en ordonnées les accroissements relatifs  $\frac{P' - P}{P}$  du poids, et en abscisses les distances  $d$ , on obtient la représentation graphique à l'aide de la parabole de l'équation ci-dessus.

On voit donc du premier coup d'œil sur la



carte ce qu'il en coûte pour s'éloigner du centre de gravité. Le poids est doublé pour  $d = L$ , triplé pour  $d = L\sqrt{2}$ . L'accroissement est très rapide et le calcul que nous venons de faire donne les éléments d'appré-

ciation nécessaires, pour qu'on puisse juger de combien on peut s'éloigner de la position théoriquement la meilleure.

**3. Emplacement des artères et de l'usine centrale.** — Pour soumettre la question à cette investigation analytique, on a dû supposer que c'étaient des lignes droites qui réunissaient les récepteurs à la source. Il est évident qu'en pratique il n'en sera pas ainsi, et qu'on devra s'en

rapporter aux mesures effectuées suivant le trajet réel des conducteurs. Diverses autres circonstances d'ordre pratique contribuent à limiter beaucoup le nombre des solutions possibles.

Les considérations qui ont été développées peuvent s'appliquer, en effet, au choix des emplacements des artères et aussi à celui de l'emplacement de l'usine.

En ce qui concerne les points d'attache d'artères, il faut remarquer que par la constitution même du réseau, en conducteurs de section uniforme, et dont le trajet est imposé, elles perdent une grande partie de leur valeur. Toutefois, il est encore certain, sans qu'un calcul soit nécessaire pour le démontrer, que l'attache devra être dans une position moyenne par rapport aux lampes qu'elle alimente. Bien des raisons conduisent à préférer les croisements de rues pour y faire la jonction. Le choix de chaque point d'attache se trouve donc limité, par le fait, entre les trois ou quatre points de croisement qui se trouvent à peu près au centre du quartier que dessert l'artère.

Quant à la détermination de l'emplacement de l'usine centrale, elle est aussi bien loin de comporter la liberté d'allure que nous avons supposée dans le calcul. Le plus souvent, il n'y

aura qu'un très petit nombre d'emplacements disponibles aux fins de création d'usine, et ce seront les valeurs relatives qu'ils présentent en raison de leur situation par rapport aux points d'attache des artères, qui devront être comparées. Mais c'est alors que les calculs indiqués plus haut trouveront une application, en permettant de chiffrer exactement les évaluations et conduiront à la solution la plus favorable.

Dans les distributions par dérivation simple, comme celles que nous supposons ici, l'usine centrale se trouve forcément placée en plein centre urbain ; il y a alors peu de choix. Mais ces considérations sont tout aussi justement applicables aux autres modes de distribution, dans lesquels on est souvent beaucoup plus maître des emplacements, l'usine pouvant être située dans les faubourgs ou en dehors des villes. Nous nous bornerons, en traitant ces cas plus complexes, à renvoyer le lecteur à ce qui vient d'être dit à ce sujet.

**4. Pertes de charge à prévoir pour le calcul des conducteurs.** — Pour pouvoir calculer les conducteurs, il faut avant tout se fixer une perte de charge à consentir. Or, nous avons dit précédemment que la principale raison de

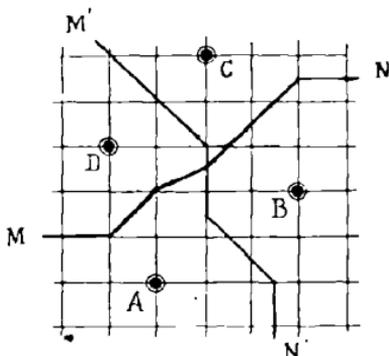
l'emploi du système de Réseau et Artères était dans la nécessité de maintenir la différence de potentiels constante en tous points. Donc c'est surtout le point de vue de l'équilibre qui doit guider dans le calcul de la partie Réseau. La lampe la plus brillante sera évidemment celle qui sera branchée le plus près d'un point d'attache d'artère. La moins brillante, au contraire, sera celle qui sera également éloignée de deux points d'attache voisins. Or, on sait que l'on ne peut guère tolérer un écart de plus de 2 pour cent dans le voltage entre les lampes les plus différentes.

La base du calcul du Réseau sera donc qu'entre les deux lampes les plus différentes, la perte de charge, dans les circonstances les plus défavorables, ne dépasse pas 0,02 de la différence de potentiel utile.

**5. Calcul du Réseau.** — La section des câbles peut alors être déterminée au moins approximativement. De chaque point d'attache, considéré comme source, s'écoule un courant qui sera évalué à un maximum **I**. Nous verrons plus loin comment se détermine cette valeur. L'attache se faisant à un croisement, un quart seulement s'écoule dans une direction donnée. On choisit

(fig. 3) celle qui aboutit à la lampe la plus éloignée, c'est-à-dire à celle que l'on peut considérer comme la plus éloignée de toutes les lampes placées sur la frontière MN séparant la zone des-

Fig. 3



servie par une artère A, de la zone desservie par la voisine D. On peut alors très facilement calculer les pertes de charge successives éprouvées d'après la connaissance du nombre et du groupement des lampes sur ce trajet.

On devra faire ce calcul pour le cas du *débit maximum* de l'artère. Les formules à employer sont celles qui ont été indiquées par nous dans

un autre volume <sup>(1)</sup>. Elles admettent toutes les simplifications nécessaires, car une approximation est ici suffisante.

La section qu'on obtiendrait de la sorte serait variable d'une artère à l'autre. Il est inutile de faire le calcul pour toutes, mais il est bon de le faire pour les deux régions qui présentent les conditions extrêmes, savoir : celle où, par suite de la plus grande densité dans l'éclairage, les points d'attache d'artères sont les plus rapprochés ; et celle, au contraire, où l'on a cru pouvoir les écarter davantage par suite de la plus grande dispersion des lampes. On aura ainsi des valeurs entre lesquelles on choisira celle que l'on jugera remplir le mieux les conditions d'équilibre.

La répartition du courant dans un réseau compliqué est souvent assez complexe pour que le calcul soit très pénible. Elle a été l'objet d'un travail important de MM. Herzog et Stark, dont les conclusions sont impossibles à résumer, mais qui pourra faciliter le travail lorsqu'il faudra le faire avec la plus grande approximation possible.

Il faut remarquer que si les points d'attache

---

(1) R. V. PICOU. — *Distribution de l'Electricité par installations isolées*, CHAP. IV, § 24, p. 54.

étaient fort éloignés les uns des autres, on arriverait à des sections très fortes, et qui pourraient être incompatibles avec les conditions d'économie. On devrait en conclure que le nombre des artères a été choisi trop faible, et il faudrait remanier le projet. Nous verrons plus loin quelles sont les autres raisons qui militent en faveur d'un nombre élevé de ces artères.

**6. Calcul des Artères.** — Pour celles-ci, qui sont des conduites simples, sans aucune dérivation prise en route, le calcul est on ne peut plus facile dès que la perte de charge a été choisie. C'est le cas le plus simple de tous, d'un conducteur calculé d'après la formule d'Ohm, pour produire une perte de charge donnée sous un courant également donné. Mais il faut déterminer cette perte de charge.

Les considérations à invoquer ici ne sont plus celles de l'équilibre, qui est assuré d'autre part. On pourra donc se préoccuper surtout de la question d'économie dans l'exploitation, qui est corrélative du rendement de la canalisation. En principe, on pourra dire que les artères devront être calculées de manière à donner le meilleur rendement *moyen* possible, sans exagération dans leur prix.

Pour aborder la question algébriquement, il est tout d'abord nécessaire de remarquer que le poids et la perte de charge varient inversement. Il faut déterminer le groupe de valeurs le plus avantageux.

A cet effet, il convient de déterminer encore la densité de courant à l'aide des formules de Thomson, telles qu'elles ont été développées ailleurs (1). La formule (4) est ici particulièrement applicable ; et la détermination de la densité avantageuse ne présenterait aucune difficulté si dans cette formule, ne figurait pas la durée annuelle  $T$  du fonctionnement.

Cette quantité demande une étude préalable, et ne peut être estimée qu'en tenant compte de l'expérience acquise dans des conditions de distribution analogues, et de celles que peut présenter de particulier le quartier où l'on se trouve, telles que : la nature des abonnés probables, la faculté de faire ou de ne pas faire l'éclairage public, etc., etc.

Dans le cas des distributions en série, il n'y avait aucune erreur possible sur cette durée  $T$ . Le courant étant constant, c'était la durée même

---

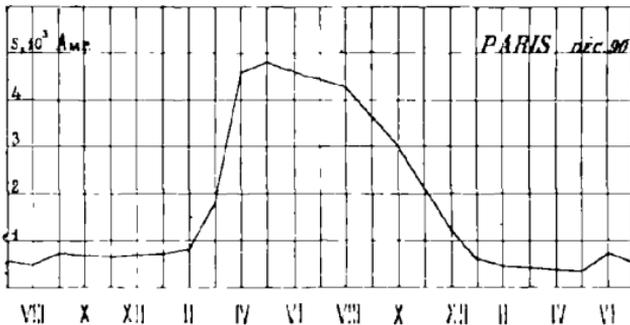
(1) R. V. PICOU. — *Distribution de l'Electricité par installations isolées*, CHAP. III, § 20, p. 43.

du fonctionnement. Mais ici, la variation incessante du débit donne à ce terme une signification différente. C'est la durée *moyenne* annuelle du fonctionnement et sa définition résulte de l'équation

$$I_{\max}^2 T = \Sigma i^2 \Delta t,$$

la sommation étant étendue à l'année entière, et  $I_{\max}$  étant le maximum de courant qui peut être demandé à l'usine.

Fig. 4



La loi de variation de  $i$  avec  $t$  est donnée, par exemple, par un ampèremètre enregistreur; c'est ce qu'on appelle dans les usines les courbes de consommation et c'est de celles-ci que l'on se sert pour établir la valeur probable de  $T$ .

La *fig. 4* montre une de ces courbes journalières.

lières sur laquelle nous aurons occasion de revenir.

En pratique, on appelle durée moyenne annuelle une quantité un peu différente de la précédente, et définie par

$$IT' = \Sigma i \Delta t.$$

C'est cette dernière que représente la courbe de consommation et c'est  $T'$  et non  $T$  que l'on appelle pratiquement durée moyenne. Mais dans les calculs, où il entre des mesures d'énergie électrique, c'est la première qui est à considérer. En réalité, comme il ne s'agit là que d'un calcul approximatif, et comme la durée moyenne n'influe que sur l'un des termes de l'équation, il importe assez peu que l'on y introduise l'une ou l'autre quantité. L'incertitude qui règne sur leur valeur absolue est toujours plus grande que la différence qui peut exister entre elles.

Pour déterminer  $T$ , il faudra se procurer, si c'est possible, un certain nombre de courbes de consommation d'une usine à peu près analogue à celle que l'on projette ; et en tenant compte des dates de l'année auxquelles elles auront été relevées, on pourra arriver à une estimation de  $T$ . On obtient une autre estimation en comptant le

nombre et l'importance des consommateurs probables, classés par catégories de même durée moyenne, durée estimée d'après les circonstances locales.

On a ainsi le moyen de fixer une valeur pour T. On considère 500 heures comme un minimum au-dessous duquel l'exploitation n'est pas rémunératrice. Les valeurs les plus élevées sont 1500 heures ( $4^{\text{h}} \frac{1}{2}$  par jour) pour une clientèle ordinaire (cafés, cercles, etc.) et 3500 pour l'éclairage public des grandes villes, fonctionnant pendant la nuit entière.

Ayant déterminé T, on peut calculer la densité de courant la plus avantageuse. On aura ainsi obtenu une indication précieuse mais qui ne pourra pas être rigoureusement observée.

En effet, la perte de charge doit être la même pour toutes les artères ; d'où

$$(2) \quad \epsilon = \rho l \frac{i}{s}$$

et pour que la densité soit la même aussi, il faudrait que toutes puissent avoir la même longueur.

Il en résulte donc que cette densité avantageuse est celle avec laquelle il convient de calculer l'Artère moyenne.

C'est la densité seule qui est imposée par la

condition d'économie soit dans l'exploitation, soit dans l'installation de l'usine. La question du *nombre des artères* reste entière et mérite à son tour examen.

Il y a d'importantes raisons pour en employer un nombre relativement élevé. Voici les principales :

Remarquons d'abord que le nombre plus ou moins grand d'artères ne change pas le poids total de cuivre qu'elles comportent, car la longueur et la densité moyennes restent les mêmes. Le surcroît de dépenses résultant d'un plus grand nombre n'est donc que dans la pose. Celle-ci se fait, en général, dans les tranchées mêmes ouvertes pour les conducteurs du réseau. Par suite, de ce côté aussi, il y a peu de surcroît de dépenses.

Maintenant il est évident que plus élevé sera le nombre des points d'attache des artères au réseau, points formant, comme nous l'avons dit, autant de sources secondaires, et moins grande sera la section de cuivre nécessaire pour le réseau.

En effet, les distances à franchir seront moindres et le courant qui traverse un conducteur donné sera aussi, en moyenne, un peu diminué. Il ne faudrait pas croire que le poids de cuivre

du réseau variera en raison inverse du carré du nombre des artères. Ce rapport est trop élevé : mais il variera au moins comme la première puissance de ce nombre.

Il y a donc intérêt à multiplier le nombre des artères d'une manière prononcée. Dans des usines à distribution directe, comme celles qui nous occupent ici, desservant une superficie d'un demi kilomètre carré au plus, leur nombre peut être avantageusement compris entre quinze et trente. Enfin leur grande quantité apporte encore un des moyens de réglage les plus simples que l'on puisse imaginer, comme on le verra par la suite.

Leur nombre exact est une question d'appréciation et résulte de l'étude du plan du réseau et de la connaissance de la nature des consommateurs probables. Il est impossible de donner aucune loi à cet égard. Mais une fois ce nombre choisi, le calcul individuel de la section de chacune d'elles n'offre plus aucune difficulté. La formule (2) détermine la perte de charge  $\varepsilon$  de l'artère moyenne, de longueur  $l$  sous la densité  $\frac{i}{s}$  calculée comme la plus économique. Cette perte de charge doit être *la même* pour toutes les autres artères. Dans la même formule, on prendra donc  $s$  comme inconnue, et on la détermi-

nera successivement pour toutes. Le courant probable  $i$  résulte de l'étude de la nature des consommateurs prévus aux environs du point d'attache.

Le calcul du réseau doit alors suivre : il sera très facile à effectuer d'après ce que nous en avons dit un peu plus haut, une fois le nombre et l'emplacement des artères bien déterminés.

**7. Rendement de la canalisation.** — Le rendement minimum de la canalisation est celui qui correspond au cas où le courant est maximum, et égal à celui pour lequel on a effectué les calculs. Il se déduit immédiatement de la valeur des pertes de charge. Elles pourront être, par exemple, 0,07 dans les artères et 0,02 dans le réseau, total 0,09; et comme les installations intérieures consomment au minimum 0,01, on pourra admettre que 0,90 de l'énergie électrique sortie de l'usine parvient aux appareils récepteurs. Tel serait donc le chiffre du rendement minimum de la distribution.

Le rendement moyen annuel pourra être beaucoup plus élevé, car il s'en faut de beaucoup que les canalisations soient constamment à pleine charge. Aussi, si des conditions locales particulières conduisaient, pour la perte dans les ar-

tères, à des chiffres très différents, 0,15 ou 0,18, par exemple, il ne faudrait aucunement en conclure que le rendement moyen sera mauvais. Il pourrait être encore très supérieur à 0,90 et ne serait mauvais que pendant quelques heures des quelques mauvais jours de la saison d'hiver.

On ne rencontrera jamais de pertes de charge aussi élevées dans des usines de création récente ; mais lorsque, avec le temps, la clientèle se développe, on ne veut ou on ne peut toujours augmenter parallèlement le nombre ou la section des artères. Dans les grandes villes, on évite autant qu'on le peut l'ouverture de la voie publique ; on ne le fait que lorsqu'il y a nécessité absolue, et alors on a dû arriver progressivement à des pertes de charge de plus en plus élevées.

**8. Modes de réglage.** — La condition de bon fonctionnement du service est que la différence de potentiel soit constante aux récepteurs. Le réseau donne lieu à une perte de charge maxima de 0,02 s'il est bien établi ; perte faible, et dont il est facile de tenir compte. Les artères doivent produire à une même perte de charge, afin que l'usine puisse marcher à une force électromotrice variable avec les heures de la journée, mais unique à un moment donné

S'il en est ainsi, en effet, le service pourra être assuré par un nombre de machines variable suivant les besoins, mais qui toutes pourront être réunies en quantité sur des conducteurs communs. C'est la manière de faire la plus répandue et la plus appréciée, bien qu'on en ait quelquefois recommandé une autre.

La répartition du courant entre les diverses artères dépend de celle des organes récepteurs qui fonctionnent à un moment donné; rien ne prouve qu'elle se fera conformément aux prévisions établies en vue du maximum de débit; il faut donc pouvoir, de l'usine, commander cette répartition.

A cet effet, on peut employer divers moyens, qui tous ont pour but de maintenir constant le potentiel aux points d'attache des artères, ou bien de partager le courant entre elles proportionnellement à leur conductibilité, ce qui revient au même.

*Fils pilotes.* — La connaissance du voltage aux points d'attache s'obtient au moyen des *fils pilotes* ou *fils de volt*. Ce sont des fils placés dans les conduites, en même temps que la canalisation, et reliés soit en des points du réseau, soit plus souvent aux points d'attache

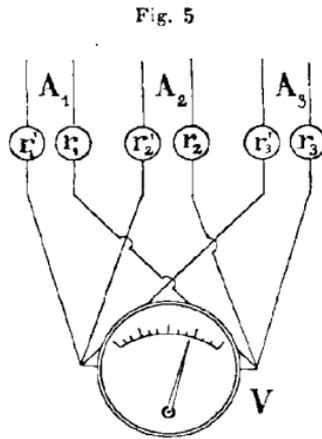
même des artères. Ils reviennent à l'usine et sont branchés sur des voltmètres. S'il y a ainsi autant de voltmètres que d'artères, rien ne sera plus simple que de se baser sur leurs indications pour la manœuvre des appareils de réglage.

Mais il ne semble pas que ce soit le meilleur procédé. On obtient beaucoup plus de sensibilité, et une idée beaucoup plus nette de ce qui se passe, et des manœuvres à faire, en munissant chaque artère d'un ampèremètre auquel on peut donner une graduation supplémentaire, en volts de perte de charge dans cette artère. On cherchera alors à équilibrer ces pertes de charge par la manœuvre des appareils. Les fils de volt ont alors pour fonction de donner le *voltage moyen* du réseau. Il n'est plus nécessaire que les points d'attache en soient communs avec ceux des artères ; il est même préférable de les choisir sur le réseau, à peu près à mi-distance des attaches d'artères.

Ces fils  $A_1, A_2, A_3$  (*fig. 5*), peuvent alors être réunis à un même voltmètre en ayant soin d'intercaler des résistances telles que  $r_1, r_2, \dots$  qui soient négligeables devant celles du voltmètre, mais suffisantes pour éviter tout accident aux fils pilotes même en cas d'écart notable accidentel dans l'équilibre du réseau ; une valeur de

quelques ohms est largement suffisante. Le volt-  
mètre indique alors  
le *voltage moyen* de  
tous les points aux-  
quels il est relié, et  
par suite le *voltage*  
moyen du réseau.

Quel que soit le  
genre d'appareil qui  
serve de guide, le but  
qu'on se propose d'at-  
teindre peut l'être  
par plusieurs moyens,  
dont les suivants sont  
les principaux :



*Rhéostats d'artères.* — Le plus employé con-  
siste à intercaler un rhéostat dans le circuit de  
chaque artère. Comme il s'agit de courants as-  
sez intenses, on se trouvera bien en général de  
former des rhéostats d'un assez grand nombre de  
fils d'un diamètre assez faible, susceptibles d'être  
reliés en quantité en nombre variable. On  
évite ainsi beaucoup de difficultés pratiques re-  
latives aux contacts et à l'emploi de barres mas-  
sives. On a parfois employé, au lieu de fils, des  
baguettes de charbon artificiel.

Le nombre et la longueur de ces fils sont calculés d'après la plus grande différence que l'on estime pouvoir se produire entre les diverses artères. Aucun moyen certain ne permet de déterminer cette différence ; c'est une question de pure appréciation à fonder sur la connaissance du quartier desservi, de la nature de la clientèle probable et de ses habitudes.

*Excitation sur fil pilote.* — Un moyen qui se rapproche du précédent a été récemment proposé pour maintenir constante la différence de potentiels au bout de chaque artère. Plus exactement, il s'applique à une artère unique desservie par une dynamo, spécialement affectée à cet usage ; mais il n'y aurait aucune difficulté à l'appliquer à une usine entière, comme nous l'expliquerons plus loin. Ce procédé consiste à choisir convenablement le point d'attache du circuit d'alimentation des inducteurs (en dérivation) des dynamos de l'usine. Au lieu de prendre le départ de ce circuit aux bornes de la machine ou bien sur les conducteurs principaux de l'usine, M. Imhoff propose de prendre l'un des points d'attache précisément au bout de l'artère considérée, l'autre étant à l'usine même.

On démontre alors facilement que le potentiel

sera constant au bout de l'artère si la perte de charge dans le fil de retour est la même que celle qui se produit dans l'artère elle-même.

Comme cette perte est variable il faut encore intercaler un rhéostat dans le circuit d'excitation ; et alors le seul avantage de cette méthode est de dispenser des *deux* fils pilotes du voltmètre, et de les remplacer par *un seul* fil destiné à l'alimentation de l'excitation. Ce dernier devant être beaucoup plus gros que les fils pilotes, on ne trouve, en fin de compte, aucun avantage sérieux à ce système. Tous les fils de retour pourraient être réunis entre eux à l'usine, leur point commun servant au départ de tous les circuits d'excitation. On réglerait alors la constance de la moyenne des potentiels au bout des artères, comme avec le voltmètre réuni à l'ensemble des fils pilotes.

*Multiplicité des artères.* — Un autre moyen de réglage très usité dans les usines de la C<sup>ie</sup> américaine Edison, consiste en ceci : On installe un très grand nombre d'artères, qu'on attache autant que possible aux carrefours où se croisent les fils de réseau. Ce nombre étant de trente ou quarante au moins pour chaque usine centrale, on procède au réglage par simple

variation du nombre des artères en service. Aux heures de faible charge, on supprime les deux tiers ou les trois quarts de ces artères, en ayant soin de les choisir de telle sorte que la répartition reste, autant que possible, uniforme. Dans ces conditions, les artères en service peuvent être toujours parcourues par un courant sensiblement constant, puisqu'on augmente leur nombre à mesure que la consommation augmente. Le voltage est ainsi à peu près le même partout, aussi bien à l'usine qu'au bout des artères, et les manœuvres sont aussi simples que possible.

*Compensateur.* — Enfin il existe un dernier moyen, celui-ci automatique, qui permet de maintenir le potentiel constant, à l'usine comme au bout des artères, et qui, par suite, permet de se dispenser des fils pilotes. Il consiste à relever de la quantité voulue le voltage au départ de chaque artère, à l'aide d'une source auxiliaire. Les choses sont alors ainsi disposées : Un moteur électrique, à vitesse constante, commande directement une dynamo spéciale. Celle-ci est bobinée pour pouvoir transmettre le courant total de l'artère, et pour produire les quelques volts auxquels est limitée la perte de charge. Elle est excitée en série, et calculée de telle sorte que, même lors-

qu'elle produit le voltage maximum, elle travaille encore dans la partie basse, sensiblement rectiligne, de sa caractéristique.

Le courant de l'artère traverse cette dynamo auxiliaire.

Calculée comme il vient d'être dit, celle-ci engendre une force électromotrice proportionnelle au courant qui la parcourt, qui vient s'ajouter à celle de la source. La machine étant actionnée à la vitesse convenable, cette force auxiliaire peut balancer exactement la perte de charge dans l'artère. Comme elle s'introduit automatiquement, il n'y a aucune surveillance spéciale à exercer sur cet appareil.

Si la perte maxima est de 15 volts, par exemple, et le courant correspondant de 300 ampères, la dynamo auxiliaire doit évidemment être capable de  $300 \times 15 = 4500$  watts.

Le mouvement peut lui être communiqué par tout autre moteur qu'un moteur électrique, bien que ce dernier soit le plus usité.

Cette solution, assez coûteuse, est peu employée.

*Voltmètre à double enroulement.* — Pour obtenir le voltage au bout de l'artère, on peut encore, en l'absence de fils pilotes, ou bien dans

des cas tout particuliers, employer les voltmètres à double enroulement.

Ces appareils doivent alors être construits spécialement pour chaque application particulière. Ils sont formés d'un cadre galvanométrique en fil fin, relié, comme d'habitude, en dérivation sur les conducteurs principaux. Mais, en outre, l'un de ces derniers doit faire, autour du même cadre, un petit nombre de tours, agissant à l'inverse du fil fin. Ils produiront un affaiblissement proportionnel à l'intensité principale, et si les choses sont convenablement calculées, cet affaiblissement sera égal à la perte de charge qui est, elle aussi, proportionnelle au courant principal.

Pour éviter divers organes, on a quelquefois proposé d'affecter une machine dynamo-électrique spéciale à chaque artère ; et d'effectuer le réglage par modification dans le courant d'excitation de cette dynamo. Cela serait très logique, et d'une réalisation facile s'il n'existait qu'un très petit nombre d'artères. Mais nous avons vu que tel n'est pas le cas ; et lorsqu'on examine avec détail cette manière de faire, on reconnaît qu'elle conduit à une complication plus grande que celle qu'on se proposait d'éviter, sans qu'elle apporte d'avantages bien appréciables.

La combinaison qui paraît la plus avantageuse est donc celle-ci : Sur chaque artère, disposer un ampèremètre pourvu d'une double graduation : l'une en ampères, l'autre en volts de perte de charge. Régler les artères, soit par rhéostats, soit par variation de leur nombre, à l'aide des indications de ces appareils. Prendre le voltage moyen du réseau à l'aide des fils pilotes, et régler la marche des machines de manière à le maintenir constant, sans s'inquiéter de la valeur du voltage à l'usine. Ces deux réglages suffisent pour assurer complètement la régularité.

**9. Usines de distribution pour tramways électriques.** — Les usines destinées à produire l'énergie électrique à destination des lignes de tramways sont un cas particulier assez délicat. En effet, la consommation y est excessivement variable et occasionne des à-coups souvent très brusques.

La ligne n'affecte plus la forme d'un réseau ; elle se compose uniquement de conducteurs continus d'une longueur de plusieurs kilomètres.

Quelques lignes ont été montées sur le principe de la distribution en série ; nous n'avons qu'à renvoyer, à ce sujet, à ce qui est dit ailleurs

au sujet de ce mode de distribution, particulièrement en ce qui concerne le matériel de l'usine (1).

Mais la plupart de ces exploitations sont montées sur le principe de la dérivation. La consommation d'énergie électrique est alors infiniment variable, non seulement à cause du déplacement des véhicules, mais aussi en raison de l'état variable de la voie, des arrêts et démarrages, etc.

Les résultats de l'expérience sont les suivants :

Le potentiel à l'usine est généralement compris entre 400 et 500 volts, parce que ces tensions sont considérées comme celles qui donnent la plus grande économie compatible avec la sécurité absolue du personnel et du matériel. La ligne, presque toujours aérienne, est alimentée par des artères, dans laquelle la perte de charge moyenne peut atteindre 50 volts environ. On cherche bien encore à maintenir l'égalité des potentiels tout le long de la ligne, mais il est évident qu'on est loin d'avoir besoin ici de la rigueur qu'exigent les installations d'éclairage.

---

(1) R. V. PICOU. — *Distribution de l'Electricité par installations isolées*, CHAP. III, § 15 et suiv., p. 33.

Les diagrammes du trafic sont établis en tenant compte de la circulation probable des diverses heures de la journée. On choisit l'heure la plus chargée pour déterminer la puissance maxima de l'usine. On devra, en outre, supposer les voitures placées dans les conditions les plus défavorables, et admettre que celles qui sont en rampe sont appelées à démarrer au moment considéré.

Si l'on connaît alors la puissance *moyenne* consommée par chaque voiture en marche, ainsi que le maximum de puissance consommé pour le démarrage en rampe, on saura, par là même, de quelle puissance maxima doit être capable l'usine centrale.

En ce qui concerne les points d'attache des artères, on remarquera que si la ligne est de niveau, ou bien si elle a une pente régulière, d'un bout à l'autre, il suffira de répartir ces points d'une manière uniforme sur toute sa longueur. La section des artères devra être alors telle que la perte de charge soit la même pour chacune d'entre elles.

Mais si, comme il arrive toujours, la pente est variable, la distance entre les points d'attache successifs devra l'être également.

On peut admettre, pour ce calcul où il suffit

d'une assez grossière approximation, que l'effort de traction, en palier, est de 0,01 du poids. Il en résulte que sur une rampe de 0,01 cet effort est doublé, sur une rampe de 0,02 il est triplé, et ainsi de suite.

Il faudrait donc que les distances des attaches d'artères soient réduites de moitié sur une rampe de 0,01, des deux tiers sur une rampe de 0,02, etc.

Ce qui précède serait exact si la circulation se faisait toujours dans le même sens ; mais ce n'est évidemment jamais le cas, et il faut tenir compte des véhicules descendants.

D'après les chiffres admis ci-dessus, une voiture descendant une pente de 0,01 n'exigerait aucun effort ; sur des pentes de 0,02 et au delà, les voitures devraient faire usage de leurs freins. Mais on peut remarquer tout de suite que si l'on consent à la descente un accroissement sensible de la vitesse, on pourra laisser les moteurs en circuit. Sous l'impulsion de la voiture ils se transformeront en générateurs, et viendront en aide, dans une certaine mesure, à l'usine centrale. Toutefois, on ne doit pas tenir compte de cette aide, au point de vue du calcul de la puissance de l'usine ; et pour celui de l'espacement des artères, on considérera comme marchant sans ef-

fort toute voiture descendant une pente supérieure à 0,01.

L'écartement calculé pour la voie en palier reste donc suffisant pour les rampes jusqu'à 0,01 ; il faut le réduire d'un tiers pour les rampes de 0,02, de moitié pour les rampes de 0,03 et ainsi de suite.

Aucun réglage n'est nécessaire sur les artères, en raison des grandes variations admissibles dans le voltage.

Mais le matériel de l'usine doit être établi suivant les exigences de ce genre d'application. L'expérience des ingénieurs américains leur a montré la nécessité de satisfaire aux conditions suivantes :

Moteurs à allure rapide de préférence, pourvus de volants très puissants ; modérateurs de vitesse très énergiques, produisant sans oscillations des modifications très étendues dans le régime d'admission de la vapeur ; dynamos très robustes mécaniquement et électriquement, les fils de l'induit très solidement fixés au noyau de fer, et commandées par des courroies exceptionnellement larges.

La raison d'être de ces exigences est que l'effort maximum qui peut être demandé à un moment donné au matériel est très supérieur à l'effort moyen en ordre de marche.

Les lignes de transmission des tramways empruntent souvent le retour par la terre, ou plus exactement par la voie. Dans ce cas, deux conditions sont à remplir. Elles sont indispensables sur les lignes à haut voltage : mais jusqu'à 500 volts on peut les négliger sans inconvénient.

Il faut d'abord éviter la résistance électrique aux éclisses des rails, ce qui se fait communément par un bout de câble que l'on soude à ceux-ci en deçà et au delà de l'éclisse.

Mais si cette précaution donne une bonne conductibilité à la voie, elle ne donne pas la sécurité des personnes qui doit être obtenue avant tout. En effet, cette continuité n'est nécessaire que parce que la *terre* que donne la voie est imparfaite. Elle l'est même d'autant plus que la voie est mieux à l'abri de l'humidité, ce que l'on cherche toujours à obtenir en vue de la conservation des traverses.

Aussi est-il indispensable de profiter de toutes les bonnes *terres* qui peuvent se rencontrer le long de la voie, et de créer en ces points des prises de terre à l'aide de câbles soudés à la voie, et aboutissant à de larges plaques noyées, ainsi qu'on le pratique pour les paratonnerres. On obtient, en même temps que la sécurité, une ré-

duction sérieuse de la résistance totale de la ligne.

La pratique générale est de relier le pôle positif des dynamos à la ligne, et le pôle négatif à la voie.





## CHAPITRE II

—

### DISTRIBUTIONS MIXTES

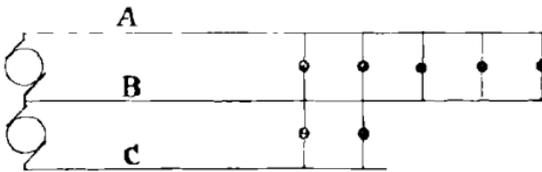
**10.** — Des procédés un peu différents ont été imaginés, pour permettre d'employer un groupement mixte, en série et dérivation, des organes récepteurs, tout en conservant leur indépendance.

Ces procédés dérivent tous de la combinaison bien connue sous le nom de *système à trois fils*, et dont nous rappellerons le principe.

**11. Système à trois fils.** — Supposons qu'entre deux conducteurs extrêmes A et C (*fig. 6*), on maintienne une différence de potentiel double de

celle que réclame chaque récepteur, soit par exemple, 200 volts sur un réseau d'éclairage à 100 volts. On peut alors y mettre les lampes en séries de deux. Pour un nombre donné de lampes, l'intensité à fournir sera réduite à moitié et la perte de charge admissible, en volts, sera doublée. La résistance à donner aux conducteurs, pour un même rendement de la ligne, peut être quadruplée et, par suite, le prix en est réduit à peu près au quart.

Fig. 6



Mais l'indépendance est sacrifiée, les foyers ne pouvant plus fonctionner que par deux à la fois. On peut la rétablir en plaçant un fil intermédiaire B, qui se prolonge jusqu'à la source. Celle-ci est alors double, c'est-à-dire formée de deux machines groupées elles-mêmes en série, comme les organes récepteurs, et reliées au fil intermédiaire comme l'indique la *fig. 6*. Il est

alors évident que ce fil intermédiaire sera parcouru, entre la source et la première lampe, par un courant égal à celui qui alimente la *différence* seulement entre les nombres de lampes allumées de part et d'autre. Le conducteur principal, le plus chargé, est parcouru par un courant égal à la moitié de celui qui alimenterait le reste de toutes les lampes supposées en dérivation simple, augmenté du courant différentiel précédent.

En d'autres termes, supposant qu'on ait d'un côté 100 lampes de 1 ampère chacune et de l'autre 80 seulement, le conducteur B, au voisinage de la source, sera parcouru par 20 ampères. Le conducteur principal, le plus chargé, recevra  $80 + 20 = 100$  ampères.

On obtient ainsi une économie de cuivre, et une augmentation de la portée utile d'une usine centrale. L'économie de cuivre est facile à chiffrer, mais elle dépend des considérations qui ont déterminé le calcul des câbles.

Supposons, en effet, que l'on ait déterminé par les formules de Thomson (minimum de frais d'exploitation), la densité de courant la plus avantageuse. Elle est indépendante du mode de canalisation employé ; et si on emploie la même densité dans les systèmes à 2 et à 3 fils, on obser-

vera quo dans ce dernier cas la perte de charge relative est réduite à moitié.

Pour fixer les idées, supposons un courant de 500 ampères sous 100 volts à dépenser dans les récepteurs. La densité la plus avantageuse, déterminée par la loi de Thomson, est trouvée égale à 2. Il faut donc employer un câble de  $250\text{mm}^2$ , qui, sous une longueur de 200 mètres par exemple, donnera lieu à une perte de charge maxima de 8 volts, soit environ 7,5 % du total de 108 volts disponible.

Adoptant le système à 3 fils pour la même application, le courant sur les conducteurs principaux est réduit à 250 ampères, et, par suite, à densité égale; le cuivre est réduit à  $125\text{mm}^2$ . Supposant le conducteur intermédiaire égal aux principaux, la section totalisée est de 375 au lieu de 500 et l'économie de cuivre est d'un quart. Mais la perte de charge est restée égale à 8 volts, et comme le voltage total s'est élevé à 208, la valeur relative de cette perte n'est plus que de 3,75 % environ, c'est-à-dire moitié moindre que précédemment.

Si, au contraire, l'on avait pris comme base du calcul l'égalité de perte de charge dans les deux cas, l'économie de cuivre s'élèverait aux cinq huitièmes. En effet, chacun des conducteurs

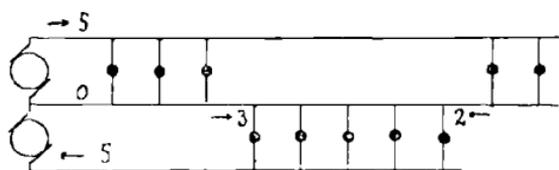
principaux à 3 fils peut être réduit au quart de ce qu'il serait à 2 fils et, d'autre part, le fil intermédiaire étant encore pris égal aux autres, l'ensemble du cuivre des trois conducteurs n'est donc que les trois huitièmes de ce qu'il serait à 2 fils.

Le conducteur intermédiaire ne peut dans aucun cas avoir à transmettre un courant plus intense que celui qui parcourt le plus chargé des conducteurs extrêmes. Il n'y a par conséquent aucune raison pour le prévoir plus gros que ceux-ci. On arrive même à réduire son importance à l'aide de quelques précautions faciles à prendre lors des installations d'abonnés. On peut d'abord brancher sur les conducteurs extrêmes les récepteurs susceptibles de s'accommoder de leur voltage, tels que les moteurs par exemple ou les groupes de lampes qui fonctionnent toujours simultanément.

De plus, toute installation importante pourra être subdivisée en deux moitiés dont le fonctionnement serait sensiblement le même, de manière à effectuer une compensation autant que possible locale. Cette dernière précaution évite que certaines parties du conducteur intermédiaire soient parcourues inutilement par un courant d'une intensité notable, et permet ainsi d'économiser à la fois sur le conducteur et sur

l'énergie qui s'y consomme. Les différentes parties du fil intermédiaire peuvent être, en effet, parcourues par des courants variables, comme intensité et comme sens, quand bien même la compensation totale existe, c'est-à-dire quand le courant sur ce fil est nul dans la partie voisine de la source. La *fig. 7* en montre un exemple.

Fig. 7



Aussi toute installation importante comme nombre de lampes doit-elle être d'abord étudiée à ce point de vue, et le plan de répartition des circuits établi en conséquence.

Avec ces précautions, on peut réduire à la moitié de celle des câbles principaux la section du conducteur intermédiaire et l'économie de cuivre, sur la dérivation simple, atteint les deux tiers.

Tels sont les avantages de premier ordre du système à 3 fils ; ils ne vont pas sans une contre-partie d'inconvénients qu'il convient maintenant de signaler.

Tout d'abord, il faut considérer que la nécessité de maintenir en fonction deux dynamos au lieu d'une est une sujétion. En effet, pour que le rendement moyen du matériel-machines reste à peu près le même que dans le système à 2 fils, il faut que l'unité-machine, composée maintenant de deux dynamos, soit de même puissance dans les deux cas. Il faut donc, dans le système à 3 fils, employer des dynamos moitié moins puissantes et deux fois plus nombreuses. Le matériel de l'usine centrale se trouve ainsi compliqué d'autant. Cet inconvénient est limité aux dynamos, car le moteur peut être toujours le même, conduisant une seule dynamo dans le cas de 2 fils, en conduisant deux dans le cas de 3 fils.

En outre, la différence de potentiel entre les fils et la terre est doublée partout, ce qui double les chances de perte et d'accidents dus à l'insuffisance d'isolement. C'est là le second inconvénient que présente le système à 3 fils.

Il faut reconnaître que lorsqu'on se borne à l'emploi de trois fils, ces inconvénients ne sont pas d'ordre comparable aux avantages ; de sorte que toutes les usines d'éclairage électrique de quelque importance ont été montées sans hésitation d'après le principe en question. La nécessité de faire fonctionner deux dynamos a pu être éludée

par l'adjonction d'un transformateur tournant. Mais cet appareil a surtout sa raison d'être lorsqu'on veut pousser à l'extrême les avantages du système en série multiple, comme on le fait dans le système à 5 fils.

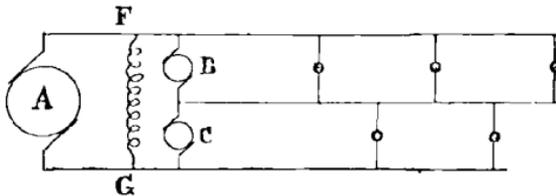
**12. Système à cinq fils.** — Rien n'empêche, en effet, d'appliquer à un nombre de circuits encore plus élevé le principe des distributions mixtes, et de marcher à 4, 5 fils et au delà. Seulement, les inconvénients signalés s'exagèrent en même temps que les avantages ; et, si l'on ne possédait pas un moyen suffisamment simple de supprimer le premier d'entre eux, la multiplicité du nombre des dynamos en fonction, il est probable que jamais le système à 5 fils n'eût reçu d'application importante. L'autre inconvénient, l'isolement de plus en plus parfait qu'il faut absolument donner aux circuits, suffit à limiter à 5 fils les applications réellement pratiques du système de distribution mixte.

Le moyen qui permet de supprimer la multiplicité des machines consiste à employer des dynamos accouplées, reliées aux divers fils comme suit (fig. 8) : A est la source, développant, par exemple, 200 volts environ pour un système à 3 fils ; B et C deux dynamos, de

puissance relativement faible dont les induits sont reliés en série entre eux, et le point de jonction rattaché au fil intermédiaire. L'excitation est une dérivation FG. Ces deux machines sont complètement solidaires, que leurs arbres soient manchonnés, ou que les enroulements soient en réalité superposés sur le même noyau.

Lorsque les charges des deux côtés du système

Fig. 8

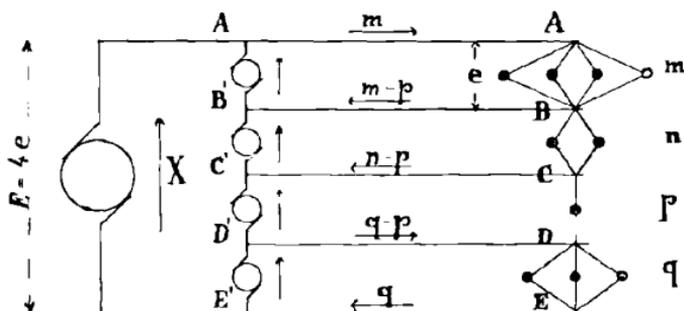


sont égales, il passe un faible courant qui fait tourner les moteurs, et la dépense se réduit à celle qui est nécessaire pour surmonter les frottements. Lorsque la charge vient au contraire à différer, l'induit situé du côté le moins chargé devient moteur et l'autre devient dynamo. L'excès de courant est ainsi balancé, et aucune lampe n'est forcée.

Ce point est assez intéressant pour que nous donnions ici l'indication très simple du calcul des courants dans les diverses branches, calcul

qui doit servir de bases à la détermination des dimensions de ces dynamos-compensatrices. Nous supposons qu'il s'agit d'un système à 5 fils tel qu'il est appliqué à Paris.

Fig. 9



Soient  $m$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $q$  les différentes intensités dans les récepteurs.

L'application de la première loi de Kirchhoff aux points A, B, C, D donne d'abord les valeurs des courants sur les fils intermédiaires, tels qu'elles sont indiquées sur la *fig. 9*.

Appelant  $X$  le courant dans la source,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$  le courant dans chacun des induits du com-

pensateur, du haut en bas de la figure; et appliquant la même loi aux points A', B', C', etc., on a les équations

$$(1) \quad \begin{cases} X + x - m = 0, \\ y + m - n - x = 0, \\ z + n - p - y = 0, \\ q - t - X = 0, \end{cases}$$

d'où l'on tire

$$(2) \quad m - x = n - y = p - z = q - t = X.$$

De plus, si l'on admet que les compensateurs ont un même rendement en génératrices ou en réceptrices, en négligeant toujours le courant correspondant à leurs résistances passives et  $e$  étant la force électromotrice nécessaire aux lampes, on a :

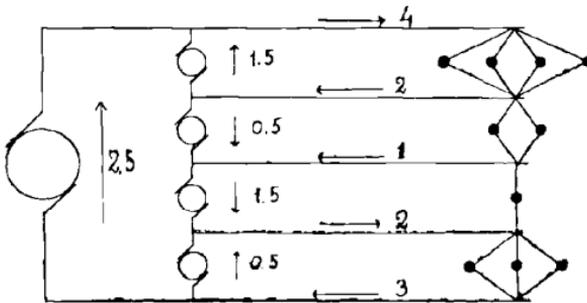
$$4eX = e(m + n + p + q),$$

d'où

$$(3) \quad X = \frac{m + n + p + q}{4}.$$

De là et du groupe d'équations (2) on tire les valeurs successives des courants. Elles sont indiquées en grandeur et sens sur la *fig. 10*, pour un cas particulier.

Fig. 10



Les compensateurs sont excités par des dérivations prises sur les conducteurs extrêmes. Ils tournent ainsi toujours dans le même sens, quelle que soit leur fonction actuelle, et ils demandent assez peu de surveillance. On a encore cet avantage de pouvoir les intercaler dans le réseau, en des points quelconques, ce qui dispense de ramener à l'usine les conducteurs intermédiaires ; et c'est là un avantage qui devient

d'autant plus sensible que l'usine est plus éloignée du centre du réseau, condition qui se trouve souvent imposée par la force des choses dans les grandes villes.

Il faut estimer d'après la connaissance du réseau, les plus grands écarts probables entre les charges des différents circuits, et d'après le courant de compensation maximum ainsi trouvé, établir le type de dynamo qu'il convient d'appliquer à cet usage. Avec les précautions indiquées à propos du système à 3 fils, pour la réduction du fil intermédiaire, on parviendra à réduire beaucoup aussi l'importance des compensateurs.

Le système à 5 fils exige une très bonne isolation des circuits d'abonné, puisqu'il peut y avoir jusqu'à 200, 250 volts entre les fils et la terre pour une distribution sous 100 à 110 volts aux récepteurs. C'est une condition sur laquelle il est d'autant plus nécessaire d'insister qu'en général les entrepreneurs d'appareillage n'en tiennent aucun compte, et ne s'occupent que du voltage utile, c'est-à-dire de la différence de potentiel aux bornes des récepteurs, qu'ils confondent avec celle qui existe entre les fils et la terre.

C'est là la condition qui, jointe à la complication de réseau qui en résulterait, s'oppose à

l'extension à plus de 5 fils du système de distribution mixte.

Des systèmes de compensation différents de celui qui vient d'être indiqué ont été quelquefois proposés, mais ils lui sont inférieurs sous tous les rapports, et n'ont, croyons-nous, jamais été appliqués. Aussi n'en parlerons-nous pas ici.

**13. Rayon d'action des distributions directes à 2, 3 et 5 fils.** — Le rayon d'action d'une usine centrale ne dépend que de la quantité de cuivre par lampe que l'on consent à employer dans les canalisations.

Soit une lampe alimentée, avec une perte de charge consentie, à une distance donnée ; le poids  $p$  du cuivre est aisé à calculer. Si l'on multiplie la distance par  $m$ , il est facile de voir que le poids  $p$  de cuivre le sera par  $m^2$ . En effet, sa longueur est  $m$  fois plus grande ; mais comme, pour conserver la même perte de charge, la section doit aussi être faite  $m$  fois plus forte, il en résulte

$$p' = m^2 p$$

ou, en général,  $a$  étant une constante et  $l$  le rayon d'action de l'usine centrale, le poids total  $P$  du cuivre sera de forme

$$P = al^3.$$

Il est alors facile de faire le calcul d'un cas particulier, et de déterminer la limite du rayon d'action. Nous ne le reproduirons pas ici, nous nous contenterons d'en indiquer les résultats, d'après M. Rechniewski.

Une perte de charge de 5 %, et un poids limite de 5<sup>kg</sup> de cuivre par lampe de 40 watts, sous 110 volts, conduisent à une distance limite de 500 mètres, comme rayon d'action de l'usine fonctionnant par distribution simple.

La formule  $P = al^3$  montre alors que si l'on veut étendre ce rayon d'action, il faut consentir un poids de cuivre par lampe augmentant proportionnellement à  $l^3$ , c'est-à-dire à l'aire totale desservie. En portant le rayon d'action à 705 mètres, on arrive à 10 kilogrammes de cuivre par lampe de 40 watts, ce qui est déjà considérable.

L'emploi des artères permet de réduire les poids, ou si l'on veut d'augmenter le rayon d'action, en consentant une perte plus grande, de 15 %.

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau suivant :

RAYON LIMITE D'ACTION D'UNE USINE CENTRALE A DISTRIBUTION DIRECTE, SELON LE MODE D'ALIMENTATION ET LE POIDS DE CUIVRE CONSENTI.

Mode d'alimentation	5 kg par lampe de 40 watts	10 kg par lampe de 40 watts
	mètres	mètres
Simple dérivation à 2 fils . . . . .	500	707
Avec artères . . . . .	700 à 760	1000 à 1100
Canalisation à 3 fils . . . . .	750	1075
A 3 fils avec artères . . . . .	1150 à 1250	1650 à 1800
Canalisation à 5 fils . . . . .	1400 à 1550	2000 à 2200
A 5 fils avec artères . . . . .	2300 à 2500	3300 à 3600

## CHAPITRE III



### DISTRIBUTION PAR TRANSFORMATEURS

**14.** — L'emploi des transformateurs permet d'étendre à des distances considérables l'action des usines de distribution, en raison de l'économie des conducteurs qu'ils permettent.

Le principe bien connu de ces distributions consiste à produire l'énergie électrique sous une différence de potentiel élevée  $\mathcal{E}$  et avec courant  $\mathbf{I}$  faible, ce qui permet l'emploi d'une ligne dont le poids est relativement faible, et à transformer cette énergie électrique en un autre groupe de valeurs  $\mathcal{E}'$  et  $\mathbf{I}'$ , dont le produit est équivalent

au premier, sauf ce qui concerne la perte due au rendement de l'appareil.

Cette possibilité d'aller chercher loin la source d'énergie transformable en électricité permet souvent l'utilisation des forces naturelles, parmi lesquelles les chutes d'eau occupent de beaucoup la première place. Sans exagérer l'importance de cette utilisation, car souvent l'amortissement des travaux nécessaires à l'aménagement de la chute représente une somme très comparable à la dépense de combustible d'un moteur à vapeur, on doit néanmoins reconnaître que, dans bien des cas, on a pu y trouver le moyen de réaliser des applications qui n'auraient pas été possibles autrement.

**15. Économie du conducteur.** — L'économie du conducteur est aisée à chiffrer. Soit  $\mathbf{W}$  la puissance à transporter qui, sous forme utilisable, est représentée par un courant  $\mathbf{I}$  sous une différence de potentiel  $\mathcal{E}$ , et soit  $\mathbf{w}$  la puissance perdue en ligne, égale à une fraction  $m$  de  $\mathbf{W}$ . Si la distribution était faite directement, la résistance de la ligne devrait être

$$\mathbf{R} = m \frac{\mathcal{E}}{\mathbf{I}}$$

car on a

$$\mathbf{w} = m\mathbf{EI} = \mathbf{RI}^2.$$

Supposons au contraire que l'on transporte cette même énergie sous une différence de potentiel  $\mathbf{K}$  fois plus élevée, par un courant  $\mathbf{K}$  fois plus faible, on aura

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}' \frac{\mathbf{I}^2}{\mathbf{K}^2},$$

d'où l'on conclut immédiatement

$$\mathbf{R}' = \mathbf{K}^2\mathbf{R}$$

et la longueur de la ligne étant la même dans les deux cas, la même relation existe entre les poids de cuivre nécessaires.

Ainsi un transport sous 2000 volts exige un poids de cuivre 400 fois moindre que le même transport sous 100 volts.

Réciproquement, on pourra, avec une tension de 2000 volts, avoir des artères 400 fois plus longues que sous 100 volts, ce qui permet d'aller chercher au loin la source d'énergie transformable.

Lorsque la ligne est aérienne, cette économie de cuivre est celle que l'on peut réaliser réellement. Mais lorsqu'il s'agit de canalisation souterraine, il n'en est plus ainsi. En effet, dans ce dernier cas, le prix de la ligne n'est plus proportionnel au poids du cuivre conducteur. La matière isolante, qui doit être alors de qualité particulièrement soignée, et d'autre part les frais de construction du caniveau, viennent majorer dans une forte proportion les dépenses non directement proportionnelles au poids de cuivre. L'avantage est alors moins grand que celui qu'indique le calcul, et cela dans une proportion variable, avec chaque application particulière.

L'économie réalisée dans le conducteur trouve une contre-partie dans la nécessité d'employer des organes transformateurs, qui majorent à la fois les frais de premier établissement et les frais d'exploitation.

Il est certain que pour chaque application particulière il existe une certaine disposition qui est préférable à toutes les autres : mais cette disposition dépend des conditions locales de l'application tout d'abord, et en outre du mode d'exploitation que l'ingénieur croit devoir adopter. Quelques calculs effectués à l'aide des formules de Thomson, en vue de déterminer la densité avan-

tageuse, éclaircissent la question ; mais les éléments à y introduire dépendent tellement des circonstances locales et de l'expérience individuelle qu'il est impossible de rien formuler à cet égard. Le principe général consiste toujours à réduire à un minimum l'ensemble des frais d'exploitation et d'amortissement du matériel employé.

**16. Modes d'installation et d'exploitation.** — Pratiquement, les distributions directes par transformateurs sont réalisées principalement, jusqu'ici, par l'emploi des transformateurs à courants alternatifs alimentés et distribuant en dérivation.

Les transformateurs sont placés soit isolément, au domicile des abonnés, ou le long des murs extérieurs des habitations, soit au contraire, par groupes dans des sous-stations.

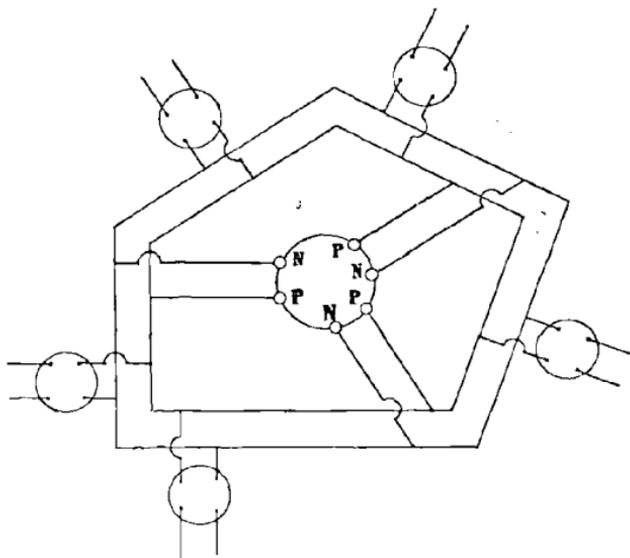
De là, deux systèmes qui présentent leurs avantages respectifs.

**17. Transformateurs isolés.** — Dans le premier cas, les transformateurs sont considérés, par rapport à la source, comme des organes récepteurs. La distribution doit donc être étudiée et réalisée en conséquence et en se reportant à ce

qui a été dit au chap. I<sup>er</sup> pour les distributions directes.

Ce qu'il y aurait de plus parfait serait de constituer un réseau à haute tension, et de l'ali-

Fig. 11



menter par des artères convenablement placées (fig. 11). Mais dans la plupart des applications, les pertes de charges entre les divers transformateurs sont si faibles qu'il n'est pas nécessaire de recourir à ce moyen, et qu'on trouve

suffisant de les alimenter tous à l'aide d'une ligne unique, plus ou moins subdivisée. On est alors dans le cas d'un simple branchement, et on se reportera à ce qui a été dit dans l'Aide-Mémoire relatif aux installations isolées pour assurer au mieux la distribution entre les différents récepteurs.

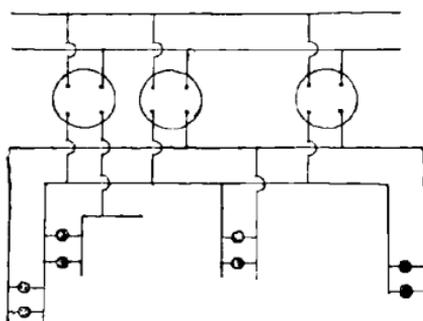
On remarquera tout d'abord que les dispositions à fils multiples (à 3 fils par exemple), seraient encore applicables dans le cas qui nous occupe ; mais elles n'ont plus de raison d'être, car du moment où l'on admet la transformation, il faut tout de suite élever la tension primaire à la valeur qui donne le maximum d'économie, et profiter de la simplicité de la dérivation simple. Mais nous allons voir qu'il peut être intéressant d'employer les 3 fils pour les circuits secondaires.

Pour les secondaires des transformateurs, il y a encore deux systèmes principaux. Dans tous les cas, le transformateur remplit à son tour la fonction de source par rapport aux organes récepteurs. Si un transformateur est attribué à un abonné ou groupe d'abonnés, il doit être placé, si faire se peut, au centre de gravité des foyers. Mais le circuit de haute tension ne doit pas pénétrer autant que possible dans les

immeubles ; de sorte qu'on trouve souvent une difficulté à remplir la condition précédente d'une manière approchée.

L'autre système consiste à former un véritable réseau secondaire (*fig. 12*) reliant entre

Fig. 12



eux tous les transformateurs, et sur lequel on prend tous les branchements d'abonnés. Ce réseau secondaire est alors analogue à celui d'une dis-

tribution à courant continu, et les différents transformateurs y jouent le rôle de sources secondaires, comme le point d'attache des artères dans le courant continu. La disposition à 3 fils peut alors être appliquée au réseau secondaire, si la tension qui en résulte ne dépasse pas celle que les règlements autorisent. Comme les transformateurs sont très nombreux, beaucoup plus en tous cas que les artères dans un réseau de distribution directe, la section des conducteurs secondaires peut être extrêmement réduite. En

réalité, on place les transformateurs aux points mêmes où se font les consommations les plus fortes, et les fils de réseau ne servent qu'à alimenter les petites dérivations placées dans l'intervalle.

Le système qui est théoriquement le plus parfait, au point de vue de cette distribution par transformateurs isolés, se résumerait donc comme suit :

1° Alimentation des transformateurs par un réseau primaire, desservi par des artères ;

2° Alimentation des lampes par un réseau secondaire desservi lui-même par les transformateurs, et pouvant être à 3 fils.

En ce qui concerne la perfection dans la distribution, il n'y a probablement rien de mieux que cette disposition, mais on est souvent amené à la simplifier pour bien des raisons.

C'est ainsi que, en vue de réduire autant que possible le développement des circuits à haute tension, nous avons dit qu'on installait rarement un réseau primaire. De même, pour atténuer les inconvénients résultant des terres, qui sont assez fréquentes dans les réseaux secondaires, on évite souvent aussi de constituer le secondaire en réseau en laissant indépendants les divers groupes desservis par les transformateurs.

C'est le système le moins parfait de tous, mais avec des canalisations bien calculées, il peut encore donner de bons résultats.

**18. Rendement de la distribution par transformateurs isolés.** — L'inconvénient capital de la distribution par transformateurs isolés réside dans l'infériorité de son rendement lorsqu'il est appliqué à une distribution publique, fonctionnant constamment, et, par conséquent, avec des charges excessivement variables.

Quelle que soit, en effet, la perfection des transformateurs, leur rendement n'est pas intégral même à pleine charge. Prenons comme exemple un excellent appareil, dont le rendement à pleine charge soit de 0,95, la perte étant de 0,03 par hystérésis et courants de Foucault, et de 0,02 par échauffement des fils.

La perte par hystérésis est continue, et tout à fait indépendante de la charge. L'autre partie seule diminue avec elle, mais non proportionnellement. Or, sur une durée de 24 heures, on peut admettre que les transformateurs fonctionneront au plus deux heures à pleine charge, et quatre heures à demi-charge ; ce sera déjà une marche moyenne très remarquable. Le reste

du temps, la charge peut être considérée comme nulle.

Le rendement moyen journalier est alors facile à calculer, en admettant le rendement de 0,95 à pleine charge et 0,92 à demi-charge.

On dépense en effet :

0,03	pendant	18	heures	=	0,54
0,50	"	4	"	=	2,00
1,00	"	2	"	=	2,00
Total . . .					4,54

La dépense utile, celle que le transformateur délivre au circuit secondaire, est

0,46	pendant	4	heures	=	1,84
0,95	"	2	"	=	1,90
Total . . .					3,74

et le rendement journalier est donc

$$\frac{3,74}{4,54} = 0,825$$

Ainsi, même en admettant remplies les conditions excellentes que nous avons supposées, équivalentes à une durée moyenne annuelle de près de 1500 heures, l'emploi du transformateur réduit, dans la proportion indiquée ci-dessus, l'utilisation de l'énergie électrique.

En admettant seulement deux heures de demi-charge et deux heures de quart de charge (moyenne annuelle de 550 heures) le coefficient donné plus haut s'abaisse à 0,64.

Ces chiffres jettent un grand jour sur la question des conditions avantageuses d'emploi des transformateurs. Supposons que nous ayons affaire à des centres éloignés les uns des autres, en pays de montagne, et qu'une seule usine établie sur une puissante chute d'eau puisse permettre de les alimenter simultanément. Il est clair qu'alors il y a peu à se préoccuper du rendement moyen et que l'emploi des transformateurs dans les conditions de la plus grande simplicité sera tout indiqué.

Mais que devrait-on penser d'une installation réalisée dans ces mêmes conditions à l'intérieur d'une grande ville où la population est dense, et où la force motrice ne peut être obtenue qu'à l'aide du charbon ?

La faiblesse du rendement moyen du transformateur est due en grande partie à la perte d'énergie par renversement d'aimantation dans le fer du noyau. Parmi les moyens qui ont été proposés et appliqués pour surmonter cette difficulté, il convient de signaler celui de M. Swinburne, moyen qui l'a conduit à la construction

d'un transformateur d'un type spécial, dit *Hérisson*.

On sait que si le fer, matière très magnétique, donne lieu à une grande valeur de l'hystérésis, il n'en est pas de même de l'air. Ce dernier, beaucoup moins magnétique, semble être par contre d'une élasticité absolue. Ainsi un transformateur sans fer serait complètement affranchi de cette cause de dissipation d'énergie. Mais en revanche, le flux étant beaucoup moins dense, les spires du solénoïde devraient être beaucoup plus grandes en diamètre ; et pour ne pas arriver à des dimensions exagérées en poids, il faudrait limiter leur section, et par suite consentir une perte par échauffement (effet Joule) assez élevée.

M. Swinburne a cherché à combiner les avantages de ces deux types, radicalement opposés, de transformateurs avec et sans fer, par la réalisation d'un type intermédiaire dans lequel le circuit magnétique est partiellement en fer, mais se ferme par l'air. Son appareil rappelle exactement, comme forme, la bobine d'induction ordinaire. Seulement le noyau, en fil de fer, est prolongé hors des deux bases de la bobine, et ces fils sont épanouis et répartis de manière que tous les bouts soient à peu près situés sur les demi-sphères dont les joues de la bobine sont

des grands cercles. Le circuit se ferme alors, d'une demi-sphère à l'autre, par l'air ; et grâce à l'épanouissement qu'y prend le flux, la résistance magnétique n'en serait pas excessive, et on économise ainsi le travail d'hystérésis sur une notable partie, presque moitié, du volume du fer. La contre-partie de cet avantage existe dans ce fait que, par suite de l'accroissement de la résistance magnétique, par rapport au type à circuit fermé, il faut une force magnéto-motrice plus élevée ; et comme conséquence, une plus grande dépense de courant.

Il faut remarquer que cette dépense de courant plus grande n'implique pas une plus grande dépense d'énergie. En effet, celle que dépense le fer est moindre ; celle que dépense le cuivre peut être affaiblie en augmentant sa section, ce qui revient à diminuer sa résistance. Mais en même temps, le décalage du courant par rapport à la force électromotrice augmente, puisqu'il varie directement avec le rapport  $\frac{R}{L}$  de la self-induction à la résistance. Aussi pendant les heures de faible charge peut-on avoir le voltage normal, un ampérage élevé, et cependant peu d'énergie dépensée dans les transformateurs.

Cette disposition d'appareils à circuit magné-

tique ouvert a été très discutée au point de vue de la réalité des conditions économiques qu'elle semblait promettre.

On a fait observer avec raison que l'amélioration du rendement moyen des transformateurs n'était ainsi obtenue que par des sacrifices faits sur d'autres rendements ; et qu'il n'est pas établi que la balance soit en faveur du nouveau système. C'est qu'il ne faut pas oublier, en effet, que le rendement des dynamos et des lignes ne dépend guère que de l'ampérage et nullement de la puissance efficace.

Ainsi une dynamo de 1,000 volts et 20 ampères, capable de développer 20 kilowatts utiles dans un circuit sans induction, dépensera environ 2,5 kilowatts en échauffement interne. Elle les dépensera encore si les 1,000 volts et 20 ampères sont produits avec un décalage considérable, comme celui auquel donne lieu l'excitation des transformateurs-hérissons. Et cependant, l'énergie produite pourra n'être alors que de 8 kilowatts, au lieu de 20, de sorte que le rendement sera réduit à 76 % au lieu de 89 %.

La même observation s'applique à la canalisation. Mais ce n'est pas tout ; et lorsqu'une dynamo aura ainsi sa pleine charge en ampères, le moteur qui l'actionne sera loin de développer

sa pleine puissance. Et cependant, pour augmenter le nombre des appareils en service, il faudra de toute nécessité en mettre en marche un nouveau. Le rendement moyen des moteurs est donc aussi l'objet d'un sacrifice important ; et somme toute, cet emploi de transformateurs à circuit magnétique ouvert, ainsi compris, ne semble pas pouvoir constituer un progrès sur les appareils à circuit fermé.

**19. Emploi des condensateurs.** — Pour parer à ces difficultés nouvelles, M. Swinburne a proposé le remède qui consiste à adjoindre aux organes généraux déjà énumérés l'emploi d'un appareil nouveau dans la grande industrie, le condensateur.

On sait, en effet, que d'une manière générale, les condensateurs intercalés dans les circuits à courant alternatif, jouent en général le rôle d'une self-induction négative. Combinée avec cette dernière, elle peut donc en combattre les principaux effets, et notamment réduire considérablement et le décalage entre le courant et la force électromotrice, et le voltage nécessaire à déterminer un courant donné. Comme, d'un autre côté, des tentatives récentes semblent montrer que de simples condensateurs au papier paraffiné sont capables

de résister à des tensions beaucoup plus élevées qu'on ne le pensait généralement, on peut espérer que ces appareils trouveront leur place dans l'industrie, et pourront contribuer à réduire les effets si fâcheux de la self-induction. Toutefois on doit reconnaître qu'ils n'ont été jusqu'ici l'objet d'aucune application importante.

**20. Distribution à intensité constante et à potentiel constant.** — Il est impossible de ne pas signaler ici une ingénieuse méthode de distribution par courants alternatifs, imaginée par M. P. Boucherot et qui met à profit les propriétés des mêmes condensateurs.

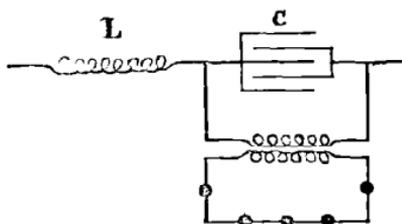
Elle permettrait d'employer, sur les mêmes génératrices à potentiel constant, des circuits dans lesquels on obtiendrait à volonté le potentiel constant ou au contraire le courant constant. En voici le principe.

On intercale dans un circuit une bobine de self-induction et un condensateur. Les constantes de ces appareils sont calculées de telle sorte que, pour la fréquence normale  $\frac{1}{T}$  du courant alternatif, la condition

$$\frac{4\pi^2}{T^2} LC = 1$$

soit satisfaite. Cela posé, si l'on prend un circuit dérivé aux bornes du condensateur (fig. 13) le

Fig. 13



courant efficace  $I_1$  dans cette dérivation sera constant. Quels que soient les appareils intercalés, qu'ils aient ou non de la self-induc-

tion ou de la capacité, la constance n'en subsiste pas moins. En particulier on pourra faire de cette dérivation le primaire d'un transformateur dont le circuit secondaire alimentera des appareils récepteurs disposés en tension.

On pourrait également prendre la dérivation aux bornes de la self-induction; les choses se passeraient de même, sauf en ce qui concerne la phase du courant.

Tout cet ensemble peut lui-même être pris en dérivation sur le circuit général de la canalisation alternative; et comme on peut, sur ce même circuit, intercaler des transformateurs selon le mode habituel, on voit que l'on pourra toujours disposer d'un circuit soit à différence de potentiel constante soit à courant constant.

Cette disposition sera évidemment appelée à trouver quelques applications, avec le développement des courants alternatifs ; et pour cette raison nous devons la signaler ici.

**21. Transformateurs groupés en sous-stations.** — Pour éviter cette dépense d'énergie en pure perte, on peut grouper les transformateurs en nombre important, dans un même local, qui constituera une *sous-station*. Il sera facile d'y installer les interrupteurs nécessaires à la mise hors circuit de la plus grande partie des appareils pendant les heures de jour, où la charge est faible et de ne les remettre en circuit que progressivement, au fur et à mesure des besoins de la distribution. Cette opération peut être faite à la main ; dans ce cas, elle exige la présence d'un surveillant pendant quelques heures au moins chaque jour. Cependant, si l'on sépare la journée de 24 heures en trois périodes à chacune desquelles correspond un nombre donné d'appareils en service, on pourra confier au même homme la manœuvre, à heures fixes, des appareils de deux ou trois stations suffisamment voisines. On sacrifiera, en somme, peu de chose sur le rendement moyen et on économisera un personnel peu occupé.

Divers appareils ont été proposés pour effectuer la manœuvre d'une manière tout à fait automatique. Cela n'est sans doute pas impossible ; mais ces mécanismes auraient besoin d'une expérience prolongée avant qu'on puisse leur confier une fonction aussi importante.

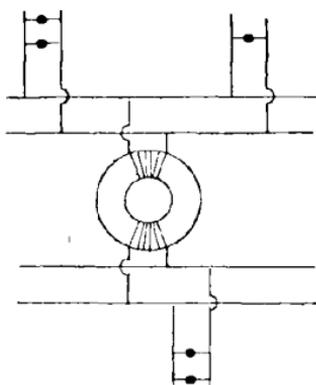
Les sous-stations doivent être encore étudiées, au point de vue de leur emplacement, comme des sources secondaires. Leur réseau secondaire est, en effet, assez étendu et devient par suite beaucoup plus important que dans le cas de distribution par transformateurs isolés. Le système à 3 fils lui est alors tout à fait applicable, en vue de l'économie de conducteur et de l'augmentation du rayon d'action des sous-stations.

Avec cette disposition, on affecte souvent une artère spéciale à chacune d'elles ; c'est une bonne pratique. De plus, on doit recommander encore, à titre de précaution, de relier entre elles les sous-stations voisines, à l'aide de l'un ou l'autre des moyens suivants : soit par des câbles directs, soit par une jonction indirecte des réseaux secondaires, à tous leurs points de contact, à travers des transformateurs au rapport 1 (*fig. 14*). Ce dernier dispositif présente l'avantage de relier les réseaux secondaires au point de vue de l'échange d'énergie électrique, mais sans créer

de contact métallique entre eux, ce qui diminue beaucoup les conséquences d'une mise accidentelle à la terre.

A l'usine centrale, on peut affecter une dynamo à chaque artère; mais au point de vue de l'économie de combustible, il est bien préférable de réunir les dynamos sur les mêmes conducteurs pour en faire fonctionner toujours le moindre nombre possible dans les meilleures conditions.

Fig. 14



Rappelons cependant qu'une des plus grandes Compagnies anglaises préfère employer un petit nombre de machines de puissances échelonnées, qui sont mises en fonction à tour de rôle, selon les exigences du réseau, et sans qu'il y en ait jamais plus d'une en marche. Cet exemple n'a d'ailleurs pas été imité jusqu'ici.

**22. Distribution par courants polyphasés.** — On doit rattacher aux distributions par

transformateurs les nouvelles dispositions auxquelles ont donné lieu les courants polyphasés.

Si l'on s'en rapporte aux récentes expériences de Lauffen-Francfort, on peut admettre que la canalisation aérienne peut parfaitement servir aux transmissions de l'énergie électrique sous des potentiels qui atteignent 20000 volts. Le danger certain que présentent de telles différences de potentiel serait un obstacle absolu à leur usage, si l'emploi des transformateurs ne permettait une double transformation, ayant pour résultat de localiser absolument le danger sur la ligne inaccessible. Les moteurs ou machines peuvent au contraire être construits de manière à être tout à fait inoffensifs.

Le transformateur lui-même peut résister aux tensions très élevées, grâce à la mise en pratique d'une idée fort ancienne qui consiste à le plonger dans un liquide isolant qui pénètre partout et assure une continuité de la matière isolante bien supérieure à celle que permettent d'obtenir les corps isolants solides.

Appliqué à l'origine à quelques bobines d'induction que l'on noyait dans la benzine, l'isolement liquide a été repris par David Brooks dans ses canalisations qu'il remplissait d'huile de résine, et plus tard d'un liquide plus visqueux.

Dans de telles conditions, on doit reconnaître que la distance de transmission possible des courants alternatifs surpasse de beaucoup celle des courants continus, dont les transformateurs ne peuvent pas être placés dans d'aussi bonnes conditions.

En même temps l'invention récente des moteurs à champ magnétique tournant donnant une solution aussi parfaite que possible de la transformation de l'énergie des courants alternatifs en énergie mécanique, on doit penser que les distributions de force motrice empruntées à une source éloignée ne tarderont pas à se produire.

Jusqu'ici le moyen le plus simple d'obtenir les courants polyphasés nécessaires au fonctionnement des moteurs semble être leur production directe par la génératrice, ce qui nécessite trois fils de ligne et des transformateurs d'un type spécial. Mais il est possible, comme l'ont montré expérimentalement MM. Leblanc et Hutin, de canaliser le courant alternatif simple, et de ne produire le décalage voulu, sur une fraction du courant, qu'au poste de réception même. Ces inventeurs ont obtenu ce résultat par l'emploi de condensateurs ; appareils qui possèdent en même temps d'autres avantages, notamment celui

d'abaisser notablement la différence de potentiel de la ligne pour la transmission d'une puissance donnée. — D'autres appareils ont été proposés pour arriver au même but; mais dans les rares applications jusqu'ici réalisées, on a toujours employé la production directe et la canalisation à trois fils du courant polyphasé.

Des efforts tentés en vue de l'obtention de champs tournants par courants polyphasés, à l'aide d'un courant primaire à simple phase, semblent à première vue hors de proportion avec les inconvénients en vérité bien faibles que présente la nécessité d'un troisième fil. Mais on reconnaît à la réflexion que c'est au contraire une question très importante au point de vue de la distribution.

On peut résumer comme suit l'état présent des choses :

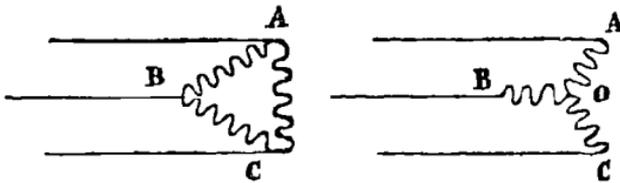
La distribution alternative à deux fils se prête admirablement à la répartition de la lumière; mais elle convient peu à celle de la force motrice. Les types de moteurs construits dans ce but ne semblent pas donner toute satisfaction et ne sont pas suffisamment simples.

La distribution du courant polyphasé, à trois fils, permet, au contraire, l'alimentation facile des moteurs à champ tournant en nombre quel-

conque : mais si l'on veut obtenir de ces mêmes points une distribution de lumière, on se trouve en présence de difficultés pratiques qui conduisent à l'emploi soit d'un quatrième fil compensateur, soit de terres parfaites, remplissant le même objet.

Prenons en effet comme type la distribution par courants triphasés, à  $120^\circ$  d'écart, de M. Dolivo-Dobrowolski. On connaît cette propriété des

Fig. 15



points à  $120^\circ$ , que chaque sinus est à tout instant égal à la somme algébrique des deux autres ; si les valeurs maxima des trois courants sont les mêmes, on aura la même relation entre les courants, ce qui permet deux modes distincts de liaison des appareils récepteurs ; liaison en triangle ou en étoile (*fig. 15*).

Lorsque l'organe récepteur est un moteur, il comporte l'utilisation des trois circuits ; et, par raison de symétrie l'égalité des trois courants est

bien assurée, quel que soit le mode de liaison employé.

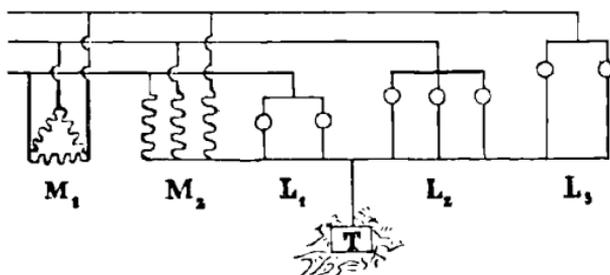
Mais s'il s'agit de lampes incandescentes, les difficultés se présentent immédiatement. On pourrait employer des lampes à trois filaments, disposés suivant les arêtes d'une pyramide, et reliés aux trois fils ; mais il suffit d'énoncer la donnée du problème pour voir les complications de canalisation auxquelles elle conduit. On doit remarquer, en outre, que pour les lampes à arc la solution n'existe pas encore.

Force est donc d'employer les lampes à filament unique, et de les intercaler simplement dans l'une des branches. Supposons qu'elles soient en nombres inégaux dans les trois branches, comme ce serait toujours le cas dans une application, les trois courants deviennent inégaux. Avec le montage en triangle, il n'y a aucun moyen qui permette d'obtenir l'égalité d'éclat des lampes ; avec le système en étoile on y parvient à l'aide d'un quatrième fil compensateur, reliant tous les points de jonction O. Ce fil a été remplacé dans les expériences récentes par des prises de terre dont l'effet était exactement équivalent.

Le diagramme suivant représente le groupement des organes sur une telle distribution

(fig. 16).  $M_2$  est un moteur supposé monté en triangle, et non relié à la terre T ;  $M_1$  est au contraire monté en étoile, et relié à T.

Fig. 16

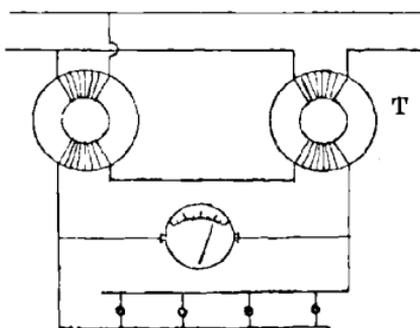


Cet exposé sommaire suffit donc à faire voir que le système de distribution le plus étendu, le plus simple et le plus complet serait celui qui permettrait l'emploi de moteurs à champ tournant sur les circuits à simple phase des distributions ordinaires de lumière. Telle est la raison d'être des efforts faits dans cette voie, et qui auraient pour résultat de supprimer le troisième fil : mais ajoutons que lorsqu'il s'agit d'un transport simple de force motrice, ce troisième fil n'est vraiment pas un sérieux inconvénient pratique.

**23. Modes de réglage.** — Le réglage de la différence de potentiel à l'usine centrale s'effectue en se reportant aux indications d'un voltmètre disposé de manière à indiquer le voltage des lampes du réseau ; avec les courants alternatifs, il n'est plus nécessaire de recourir aux fils spéciaux revenant à l'usine, disposition qui du reste deviendrait assez onéreuse en raison des grandes distances auxquelles s'applique la distribution par transformateurs. On profite des propriétés d'induction exercées par les courants alternatifs pour dis-

poser à l'usine un voltmètre dont les indications correspondent absolument à la valeur de la différence de potentiel sur le réseau, à

Fig. 17



l'aide d'un égalisateur de tension (fig. 17).

À cet effet, sur les conducteurs de départ on branche en dérivation un premier transformateur d'un type identique à ceux du réseau. Si l'on

rattachait directement au secondaire de cet appareil le voltmètre de l'usine, il est clair que ses indications seraient trop élevées d'une quantité correspondante à la perte en ligne. Aussi on affaiblit ses indications en développant à l'aide d'un second transformateur  $T_2$  une force électromotrice inverse à celle du premier  $T_1$ , mais proportionnelle au courant principal ; ce qu'on obtient en intercalant le primaire de ce second transformateur  $T_2$  en série dans le circuit. En calculant ses enroulements, il faut avoir soin de tenir compte des pertes de charge de toute nature, dues au circuit primaire, aux transformateurs eux-mêmes, et au réseau secondaire.

Sur les indications de ce voltmètre, on règle l'excitation des dynamos, en agissant par les rhéostats, soit sur le champ magnétique des excitatrices, soit sur celui des machines principales elles-mêmes. Les principes généraux du réglage sont les mêmes que ceux des usines à courant continu.

S'il y a au départ plusieurs artères, entre lesquelles il est nécessaire d'établir un réglage, on peut encore appliquer les dispositions par rhéostat, comme pour les courants continus, mais on peut aussi employer des *bobines de réaction*, c'est-à-dire des organes dont on fait varier la

self-induction, de façon à opposer au circuit une force contre-électromotrice variable. Cette variation s'obtient, par exemple, en changeant le nombre de spires parcourues par le courant ; ou encore en modifiant l'enfoncement d'un noyau de fer doux, ce qui a pour résultat d'altérer la forme et l'intensité du champ magnétique de la bobine, et par suite, sa force électromotrice de réaction.

Les dispositions relatives des dynamos et transformateurs sont susceptibles de variantes assez nombreuses.

Ainsi, certains constructeurs préférant éviter la haute tension dans les machines effectuent une double transformation, produisant par exemple le courant à 100 volts, et le transformant à 2000 ou au delà.

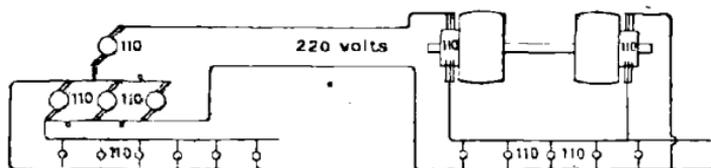
M. Swinburne qui préconise cette disposition, groupe en parallèle les alternateurs à basse tension, et attribue un transformateur à chaque artère. Cet appareil est disposé de telle sorte qu'à l'aide d'une clef à plusieurs directions, on puisse varier le nombre des spires primaires actives, et par suite la force électromotrice en tête de l'artère. Il obtient ainsi le moyen de réglage nécessaire.

Jusqu'ici les ingénieurs adonnés à l'applica-

tion des courants alternatifs ont des idées personnelles qui sont parfois très différentes. L'expérience acquise est, en effet, de trop courte durée pour qu'il puisse s'en dégager la supériorité définitive de tel ou tel mode d'emploi. C'est une lacune qui sera sans doute bientôt comblée.

**24. Transformateurs tournants pour circuits en dérivation.** — M. Rechniewski a signalé un mode d'emploi spécial des transformateurs tournants, qui présente quelques avantages sur la transformation simple, au point de vue de l'économie du matériel et du rendement.

Fig. 18



Si l'on a, par exemple, à alimenter un groupe de lampes par trop éloigné d'une usine centrale à distribution directe, à basse tension, on pourra canaliser à 200 volts pour ce groupe spécial. On disposera au point d'utilisation un transformateur tournant (*fig. 18*) dont chaque induit soit

capable de supporter la moitié du courant nécessaire à l'alimentation de la totalité des lampes allumées.

Le circuit traverse d'abord l'un des induits, puis se rend aux lampes. L'induit absorbe 100 volts et les lampes les 100 autres. Le second induit est alors relié en dérivation aux conducteurs ; il fonctionne comme génératrice, et fournit la moitié du courant aux lampes desservies.

On reconnaît tout de suite que cette disposition permet de ne transformer que la moitié de l'énergie transmise et économise donc à la fois et sur le matériel immobilisé et sur le rendement de la transformation.

La même disposition est applicable aux réseaux multiples, à trois ou cinq fils. Le réglage du potentiel est absolument automatique dans tous les cas. Enfin ce mode de transformation partielle permettrait encore, par exemple, l'emploi de lampes à arcs isolées sur un circuit à 110 volts. D'autres applications sont faciles à imaginer et pourront sans doute rendre des services dans des cas spéciaux.

**25. Transformateurs tournants, alimentés en série, distribuant en série (à courant constant).** — Bien que ce procédé soit in-

finement moins utilisé que le précédent, il est intéressant à signaler, comme susceptible d'applications particulières. Il a été particulièrement préconisé par M. Bernstein.

Il emploie des courants continus et des transformateurs tournants, mais on peut aussi employer des appareils alternatifs.

La génératrice est unique ; elle est commandée par une machine à vapeur dépourvue de toute espèce d'organe régulateur de vitesse, mais dont la détente doit être établie de telle sorte que la vitesse maxima normale corresponde avec le maximum de tension exigé de la dynamo génératrice. Nous verrons plus loin la raison de cette suppression du régulateur.

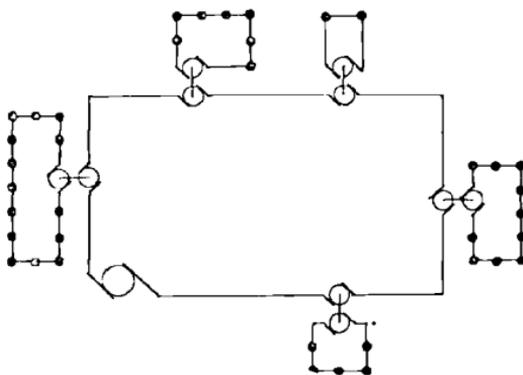
Chaque centre secondaire de distribution est alors pourvu d'un transformateur tournant, formé d'une dynamo, dont les inducteurs sont en série avec le courant principal, et dont l'induit porte deux enroulements rattachés à deux collecteurs. L'un est en série avec le conducteur primaire général ; l'autre est relié avec les appareils récepteurs, qui sont reliés eux-mêmes en série. Le nombre de ces derniers est variable à volonté ; ils sont indépendants l'un de l'autre. La seule nécessité qui existe est de mettre en *court circuit* l'appareil non utilisé afin de ne pas in-

terrompre l'alimentation des autres foyers du même groupe (fig. 19).

Il est facile de voir que, dans ces conditions, les propriétés suivantes sont obtenues, savoir :

Les transformateurs n'exigent *aucun réglage* et presque aucune surveillance. Le fonctionnement des moteurs à vapeur et dynamos de l'usine

Fig. 19



centrale se règle automatiquement comme vitesse, à la demande de la consommation, et, par suite, l'usine centrale est la plus simple qu'on puisse imaginer.

Mais il convient d'ajouter que la contre-partie de ces avantages réside dans le rendement journalier moyen très affaibli, qui est caractéristique

de toutes les installations à transformateurs ainsi que nous l'avons fait ressortir plus haut.

Les transformateurs n'exigent aucun réglage ; leur calage de balais est fixe et leur vitesse se règle automatiquement. La fixité dans le calage des balais résulte de ce que les courants sont constants dans les deux circuits induits, ainsi que dans les inducteurs. La vitesse, seule variable, s'ajuste automatiquement et, par suite de l'absence de toute modification dans les facteurs électriques et magnétiques de la machine, il n'y a jamais lieu à décalage des balais.

Les efforts exercés sur ces transformateurs se réduisent à des couples ; les pressions sur les coussinets sont donc très faibles, et le graissage facile. C'est l'ensemble de ces qualités qui fait penser que ces appareils pourraient, à la rigueur, être placés chez des abonnés, et n'être l'objet que d'une surveillance très restreinte.

Enfin, l'effort résistant opposé par l'ensemble des transformateurs, ne dépend que du courant ; comme celui-ci est constant, le premier l'est aussi. De là, la possibilité indiquée, de supprimer tout régulateur de vitesse à la machine à vapeur de l'usine centrale. Pour des conditions fixes de marche, l'effort ne dépend que de la pression de la vapeur ; il suffira donc de main-

tenir celle-ci constante, et la vitesse de tout l'ensemble : moteurs, génératrice, transformateurs, s'ajustera automatiquement, de façon que la demande soit satisfaite.

Le travail de l'usine (et de chaque transformateur individuellement) est alors simplement proportionnel au nombre de tours effectués et de simples compteurs de tours peuvent servir de compteurs d'énergie électrique.

On peut remarquer encore que ce système écarte à peu près complètement tout danger d'échauffement des fils, puisque le courant ne dépasse jamais la valeur fixée pour le fonctionnement normal.

Malgré les précieuses propriétés que nous venons d'énumérer, ce système n'a été que très rarement employé. On peut lui appliquer toutes les remarques défavorables qui ont été faites dans les pages précédentes à propos du rendement moyen journalier des appareils. Il y a en plus ces conditions aggravantes que le rendement maximum du transformateur tournant est un peu moindre que celui du transformateur fixe et que, malgré sa rusticité, cet appareil, en raison de son état de mouvement, sera toujours moins facile à loger et beaucoup plus sujet à surveillance.

## CHAPITRE IV

—

### DISTRIBUTION PAR ACCUMULATEURS

**26.** — L'emploi des accumulateurs permet une distribution indirecte et différée. Il permet l'emmagasinement temporaire de l'énergie électrique et il en ressort d'assez nombreux avantages.

Il existe plusieurs modes d'emploi des accumulateurs en relation avec un système de distribution et d'alimentation, mais quel que soit celui auquel on s'arrête, on profite des avantages suivants :

1° Il est possible de faire toujours fonctionner à pleine charge les unités du matériel moteur et

électrique, ce qui correspond au maximum de rendement et à la meilleure utilisation des matériaux ;

2° Il est possible d'arrêter toute production aux heures de plus faible charge et, particulièrement, pendant la seconde partie de la nuit ;

3° Un accident au matériel-machines ou à la ligne a des conséquences moins graves que dans les distributions sans accumulateurs. L'extinction partielle ou totale peut généralement être évitée ;

4° La régularité du courant est plus grande, à variation égale de la force électromotrice.

La contre-partie de ces avantages se trouve dans le surcroît de dépenses des accumulateurs qui fait plus que compenser l'économie sur le matériel-machines ; dans la perte de transformation qui est assez élevée ; enfin dans l'usure des plaques, qui est toujours assez rapide et qui nécessite un amortissement élevé pour cette partie importante du matériel.

Quel que soit le mode d'emploi, les accumulateurs sont naturellement réunis dans des sous-stations où les batteries et les appareils de réglage sont l'objet d'une surveillance continue. L'isolement des accumulateurs, qu'il est difficile de bien réaliser, doit être l'objet de précautions toutes spéciales. Il en est de même de la

ventilation des salles qui les renferment, et où se dégagent des quantités parfois importantes de gaz tonnant.

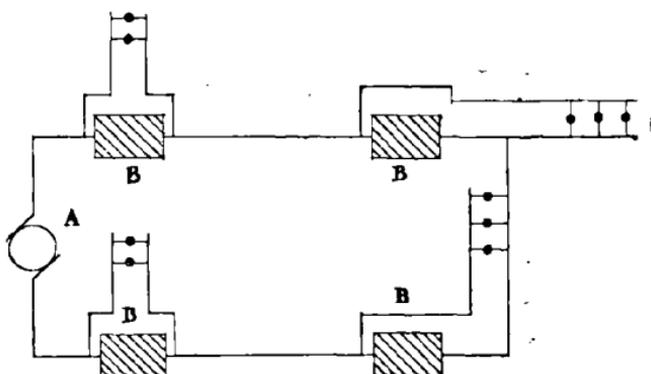
Ces sous-stations sont toujours des centres secondaires de distribution ; leur emplacement doit donc être déterminé d'après les considérations développées dans les chapitres précédents pour les cas analogues. Les trois modes principaux que l'on rencontre dans l'emploi des accumulateurs peuvent se classer d'après l'importance plus ou moins grande que jouent ces appareils dans l'ensemble de la distribution.

**27. Distribution et alimentation simultanées.** — La disposition indiquée par la *fig. 20* est une de celles qui se présentent le plus naturellement à l'esprit. Elle a été proposée de bien des côtés, dès l'origine des applications des accumulateurs. On peut résumer comme il suit l'économie générale de cette disposition :

Les accumulateurs sont en série sur le circuit primaire ; sur chaque batterie B est branché, en dérivation, un ensemble de conduites secondaires, formant réseau de distribution. Il y a plusieurs batteries, et le circuit secondaire de chacune d'elles est, en général, complètement isolé de celui de toutes les autres.

On comprend sans peine que, pendant les heures de faible charge, les accumulateurs absorbent la presque totalité de l'énergie électrique lancée sur la ligne et la tiennent en réserve. Lorsque la consommation augmente, le potentiel aux stations secondaires s'abaisse et, à un moment donné, les accumulateurs commencent

Fig. 20



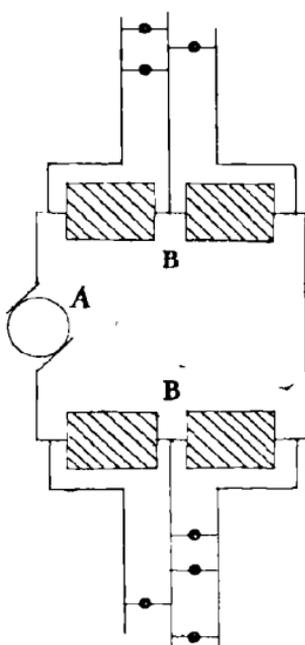
à se décharger. Ils agissent alors, relativement au circuit secondaire, en parallèle avec la dynamo de charge, en fournissant aux lampes le supplément que la machine ne peut fournir directement.

Ce genre d'installation a été préconisé et employé surtout par une maison anglaise qui en a

fait quelques applications à Londres et sur le continent. En se reportant à ce que nous avons dit à propos du système à 5 fils dans un précédent chapitre, on reconnaît qu'il exige un isolement exceptionnel des fils chez les abonnés. De plus, il ne se prête pas, si l'on veut tenir compte des nécessités de la pratique, à des tensions de plus de 500 volts, c'est-à-dire à l'emploi de plus de 4 sous-stations desservant des lampes à 100 volts. Cette considération réduit le champ d'action de ce genre d'installation à des circonstances bien déterminées.

Lorsque cela est possible, on peut appliquer la disposition à 3 fils, et il est avantageux de le faire (*fig. 21*); le nombre des sous-stations se trouve alors réduit à deux, mais leur rayon d'action est sensiblement augmenté.

Fig. 21



A propos des distributions par accumulateurs, nous ferons une remarque dont l'importance échappe souvent aux ingénieurs qui ont à faire un projet de distribution : c'est qu'il est extrêmement difficile de suivre, avec ces appareils, le développement progressif de la consommation.

En effet, avec les distributions immédiates, directes ou par transformateurs, il est toujours relativement facile d'ajouter à l'usine de nouvelles unités de production, et, sur la canalisation, de multiplier le nombre des artères desservant un réseau donné. On peut ainsi proportionner progressivement les moyens d'action aux ventes réalisées et n'engager au début que les ressources indispensables. Avec les accumulateurs, on ne peut satisfaire aux prévisions de l'avenir le plus prochain qu'en prenant dès le début des appareils plus puissants qu'il n'est nécessaire. D'abord, on les utilise assez mal, les machines de charge travaillant peu de temps et les accumulateurs ayant un petit débit. Plus tard, avec le développement de la consommation, l'utilisation devient meilleure, mais on atteint bientôt le maximum de production de l'ensemble existant et il faut alors le doubler de toutes pièces. Aussi l'avantage revendiqué en faveur de l'emploi des accumulateurs, c'est-à-dire la

meilleure utilisation du matériel, n'est-il peut-être pas aussi absolu ni aussi étendu que l'affirment les inventeurs de ces divers systèmes.

L'une des applications qui semble les plus rationnelles des accumulateurs intercalés dans les circuits, est celle qui a été proposée par MM. Siemens, et dans laquelle une batterie divisée en quatre parties est substituée au régulateur mécanique qui a été décrit au chapitre précédent, dans leur système à cinq fils. C'est, au fond, la disposition même de la *fig. 21*, mais avec des modifications dans l'emplacement des accumulateurs et surtout dans l'ordre d'idées qui préside à leur utilisation, de manière à profiter au mieux de leurs avantages, tout en évitant autant que possible les sujétions et difficultés corrélatives.

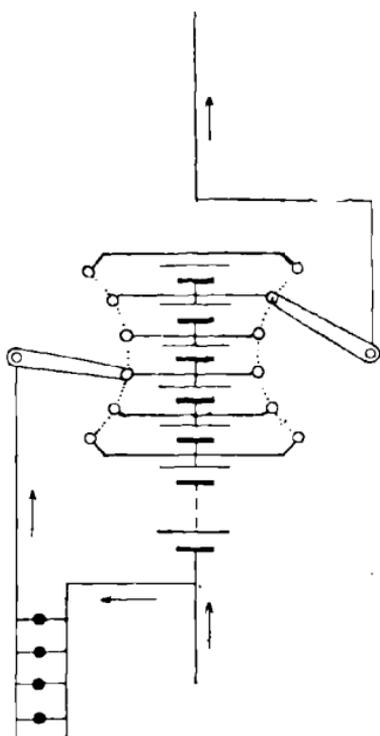
Le réglage du potentiel est toujours une difficulté sérieuse avec les batteries d'accumulateurs.

Dans le cas particulier qui vient d'être examiné il est obtenu à l'aide d'appareils formant relai, et introduisant en circuit des résistances convenables ; ce ne sont que des régulateurs automatiques d'une forme quelconque, comme il est facile d'en imaginer beaucoup.

Dans les dispositions plus générales des *fig. 20 et 21*, on emploie fréquemment un

commutateur double, disposé à l'extrémité de chaque batterie (fig. 22), et dont l'un permet

Fig. 22



de régler le potentiel de distribution, tandis que le second fait varier le nombre d'éléments en charge. Ces commutateurs ont un certain nombre d'inconvénients. Dans l'emploi des accumulateurs sur une échelle aussi importante, on doit chercher avant tout à se rapprocher du desideratum suivant : que tous les éléments soient chargés

et déchargés de la même quantité. C'est qu'en effet, toute charge ou décharge exagérée est une cause de destruction, qui agit beaucoup

plus rapidement que les charges et décharges normales. Il convient donc de les éviter à tout prix. Le commutateur double remplirait cette condition si l'on pouvait tenir un compte exact du fonctionnement de chaque élément et agir en conséquence sur les leviers de contact ; c'est évidemment impossible. Divers appareils automatiques ont été proposés pour remplir cette fonction de régularisation, quelques-uns paraissent donner de bons résultats, beaucoup d'autres n'ont pas résisté à l'épreuve d'une pratique journalière.

On peut limiter le risque de fuites par défaut d'isolement dans les canalisations, en reliant à la terre, à travers une résistance convenable, le point milieu de l'ensemble des batteries d'accumulateurs. La différence de potentiel maxima entre le conducteur et la terre est alors la moitié seulement de la différence de potentiel disponible à l'origine de la ligne, soit, par exemple, 250 volts avec une installation de 4 batteries en série, pour alimenter sous 110 volts chacune, ce qui exige environ 500 volts de différence de potentiel totale.

### **28. Distribution et alimentation séparées.**

— Il existe un autre moyen que le précédent,

permettant l'emploi de tensions plus élevées à la charge, donnant toute sécurité quant aux tensions absolues sur les isolants des fils de réseau, mais exigeant l'emploi d'une quantité énorme d'accumulateurs. Il consiste à disposer, dans chaque sous-station, deux batteries complètement indépendantes et dont chacune est capable de faire seule le service.

La quantité d'accumulateurs nécessaire est alors considérable, non seulement à cause de la double batterie, mais encore parce que chacune d'elles doit pouvoir satisfaire au *débit* maximum. Tout ce qui a été dit à propos des distributions directes au sujet des machines et de leur utilisation, peut se répéter des batteries ainsi employées.

Les batteries sont mises en charge tour à tour, un jour l'une, un jour l'autre. Comme simplicité apparente, ce système est assurément sans rival, mais il n'est pas pour cela sans inconvénients. Le rendement est affecté, en totalité, du coefficient propre aux accumulateurs, employés dans des conditions peu avantageuses sous ce rapport. De plus, les diverses batteries des sous-stations, ayant à être chargées en série, doivent être identiques. Or leurs débits sont très différents ; par suite, il faut tout calculer en vue

du plus fort débit de la station la plus chargée. Les temps de charge sont alors très inégaux, puisqu'il y a à réparer des pertes différentes. Le matériel de charge est donc loin de pouvoir travailler constamment à pleine charge, c'est-à-dire dans les conditions de rendement les plus favorables.

Ce système se prête également assez mal au développement progressif de la consommation, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

Il possède par contre, plus que tout autre, la sécurité à peu près complète vis-à-vis des extinctions accidentelles. Une défaillance totale d'une batterie d'accumulateurs suffisamment surveillée est de l'ordre des choses les plus improbables. Mais nous devons ajouter que les exemples d'arrêt accidentel des usines de distribution directe bien installées, et qui présentent cette chance avec son maximum de conséquences, sont assez rares pour qu'on puisse compter qu'ils disparaîtront tout à fait avec l'expérience acquise et le développement des applications.

**29. Distribution mixte par accumulateurs et transformateurs.** — Dans ce système, on opère d'une manière différente. La batterie de chaque sous-station est divisée en

deux moitiés. Ces deux moitiés sont chargées successivement, par exemple pendant huit heures chacune, les seize heures ainsi occupées étant celles de la moindre charge.

Pendant la charge de chacune des moitiés, l'autre est laissée en dérivation sur les conducteurs d'alimentation, qui restent, comme dans le cas précédent, complètement indépendants du circuit de charge. Cette demi-batterie suffit comme débit et capacité aux exigences du réseau pendant les heures de jour.

Il faut donc, pour que cette disposition soit applicable, que chaque demi-batterie soit capable du voltage total, et de la moitié seulement de la capacité ; les deux moitiés seront associées en quantité, lorsqu'il y aura lieu, mais jamais en tension.

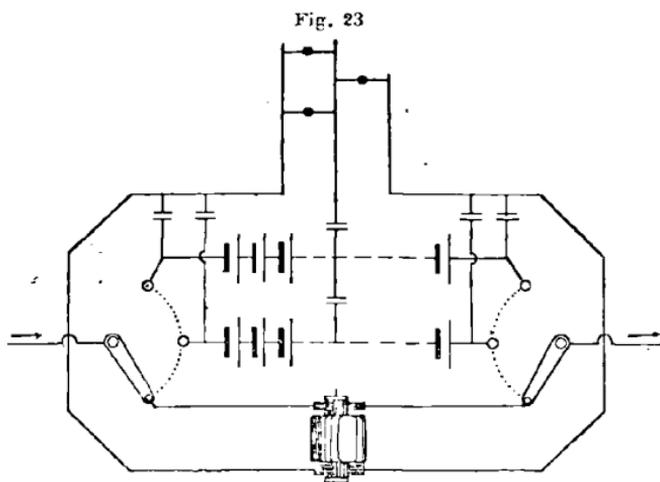
Les demi-batteries en charge sont reliées toutes en série par un câble conducteur unique qui raccorde toutes les sous-stations à l'usine centrale. Lorsque l'une d'elles est chargée et qu'on veut lui substituer l'autre, il faut d'abord introduire une résistance qui lui soit à peu près équivalente, en parallèle avec elle ; puis, on retire cette demi-batterie et on introduit l'autre ; enfin on supprime la résistance, et la substitution se trouve faite. Pendant cette manœuvre, il y a un

trouble dans le régime du circuit de charge et, à ce moment, la plus grande attention est nécessaire pour éviter des accidents dus aux excourants de tension excessive auxquels elle donne naissance. Lorsque les sous-stations sont nombreuses, ces manœuvres se répètent fréquemment, ce qui en augmente le danger.

Il serait préférable de donner des charges de durée égale à toutes les batteries et de faire la substitution pendant un moment d'arrêt. Malheureusement les services inégaux effectués par les diverses sous-stations s'opposent absolument à cette combinaison. Aussi ce système, bon en principe, peut-il devenir assez précaire lorsqu'on l'exagère pour l'appliquer à des réseaux plus étendus que ceux auxquels il s'applique le mieux.

On complète l'action des accumulateurs, au moment des heures de forte charge à l'aide de transformateurs à courant continu (*fig. 23*). En effet, à ce moment, les deux demi-batteries sont complètement chargées et sont réunies en quantité sur le circuit de décharge. On peut donc, à ce moment, actionner à l'aide du courant primaire un transformateur à courant continu, qui viendra ainsi en aide aux accumulateurs. Rappelons qu'un tel transformateur se compose de

la carcasse d'une machine dynamo-électrique, dont l'induit reçoit deux enroulements. Ils aboutissent chacun à un collecteur séparé, et sont donc métalliquement isolés l'un de l'autre. L'enroulement de fil fin est intercalé dans le circuit de charge; l'autre est mis en relation



avec les câbles de distribution. C'est la troisième phase de travail de la sous-station.

Il faut remarquer que les primaires des transformateurs de toutes les stations se trouvent en série, comme l'étaient les demi-batteries, lors de leur charge. Aussi le courant primaire est le même partout, et il en est de même du courant

secondaire induit, qui s'ajoute à celui des accumulateurs. De plus, cette association des transformateurs contribue au maintien du potentiel à l'usine. Leur circuit d'excitation est, en effet, une dérivation empruntée au circuit secondaire. Que le potentiel à l'usine vienne à s'abaisser, cette excitation diminue ; mais ce fait provoque une accélération dans la vitesse des transformateurs, ce qui tend à rétablir l'équilibre rompu. Toutefois le potentiel secondaire ne peut en aucun cas surpasser celui qui est déterminé par le potentiel à l'usine centrale divisé par le nombre de transformateurs et leur coefficient de transformation.

Dans l'application, on s'arrange pour que les transformateurs travaillent constamment à pleine charge, et par suite aussi, l'usine centrale. Les accumulateurs ne fournissent alors que l'appoint nécessaire.

Ces exemples de distribution permettent de montrer combien les systèmes d'exploitation peuvent varier avec un même matériel. En particulier pour le dernier cas indiqué, on pourrait se dispenser de couper la batterie en deux moitiés et laisser le transformateur toujours en circuit ; il en résulterait un autre mode d'exploitation.

Pendant les heures de faible demande, les ac-

accumulateurs seraient en charge et le courant utilisé au dehors aurait pour source le transformateur. Plus tard, les accumulateurs viendraient à leur tour se décharger en circuit, comme dans la troisième phase du cas précédent. On serait ainsi dispensé des manœuvres de substitution de batteries. Un réglage de potentiel serait toujours nécessaire sur le circuit de distribution.

**30. Accumulateurs employés comme secours.** — Pour les distributions précédentes, les accumulateurs sont l'élément le plus important. Dans certaines usines, on a renversé la proposition, en attribuant la prépondérance au matériel-machines, mais en employant des batteries secondaires comme secours et comme source unique pour les heures de très faible débit. Cet emploi se justifie par l'avantage certain que présente la possibilité d'arrêter complètement toute machine pendant quelques heures par jour. Il permet aussi de parer, à peu près automatiquement, à l'arrêt accidentel d'un groupe-unité, pourvu que la batterie ait la puissance de l'un de ces groupes ; enfin, il peut contribuer à donner une certaine tranquillité d'esprit au personnel technique de l'usine.

La batterie est alors constamment tenue en

dérivation sur les conducteurs principaux. Les moyens de réglage habituels par rhéostats sont maintenus sur les artères, et nous croyons, pour les raisons déjà exposées, qu'ils sont préférables à celui qui consiste à brancher ces artères sur un nombre variable d'éléments.

Quelquefois aussi la batterie d'accumulateurs est mise en charge avec un certain groupement des éléments, et en décharge avec un autre groupement. Ce fait se produira principalement lorsque leur rôle sera un peu plus étendu que celui d'un simple secours, et qu'on s'en servira, par exemple, plus spécialement aux heures du plus grand débit.

C'est que, en effet, ces heures sont aussi celles qui correspondent aux plus grandes pertes de charge sur la ligne, pertes qui exigent une élévation de la différence de potentiel de la source. La différence de potentiel moyenne à la décharge est de 1,9 par élément; à la charge, il faut pouvoir monter jusqu'à 2,4. Le rapport étant à peu près de 4 à 5, on peut en conclure que la batterie sera avantageusement divisée en cinq groupes. On les chargera en dérivation, et pour la décharge, l'un des groupes sera divisé en quatre fractions qui seront ajoutées chacune à l'un des quatre groupes restants.

Cette disposition permet d'avoir la marge indispensable pour la perte en ligne aux heures de grand débit. Pour les heures de la fin de la nuit, on pourra, au contraire, revenir au groupement primitif, les pertes de charge étant alors considérablement diminuées.

Pour éviter ces couplages, on a proposé un procédé différent. Ce qu'il faut, en réalité, c'est relever le voltage disponible, soit pour la charge, soit pour la décharge. Ce relèvement peut être obtenu en faisant passer le courant total dans le secondaire d'un transformateur tournant, calculé pour produire le relèvement voulu, et dont le primaire est alimenté par une dérivation prise sur le circuit principal. Ce moyen économise environ un cinquième du nombre d'accumulateurs, puisqu'il dispense du cinquième groupe divisible en fractions. En outre, il procure une certaine économie d'énergie électrique, car le rendement de cet organe est certainement supérieur à celui de la batterie supprimée. Cependant, il n'existe jusqu'ici qu'un petit nombre d'applications de cette méthode qui a été employée avec succès en hydraulique, par M. Turrettini de Genève.

**31. Accumulateurs employés comme régulateurs.** — On dispose parfois une batterie

d'accumulateurs mise en dérivation sur les conducteurs principaux dans le but unique de régulariser le courant. En effet, cette disposition permet une moindre variation de courant à variation égale de la force électromotrice de la source. Appelant  $\mathcal{E}_1$  celle-ci,  $\mathcal{E}_2$  celle de la batterie,  $r_1$  et  $r_2$  les résistances de  $\mathcal{E}$  la source et de la batterie,  $r_3$  celle de l'ensemble de la ligne et des appareils récepteurs :

En l'absence de la batterie, on a

$$I = \frac{\mathcal{E}_1}{r_1 + r_1}.$$

Avec la batterie, on trouve facilement, par application des lois de Kirchhoff,

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_3 (r_1 + r_3)}.$$

On déduit de là les variations  $dI$  du courant en fonction de celles  $d\mathcal{E}_1$  de la force électromotrice de la source.

$$dI = \frac{d\mathcal{E}_1}{r_1 + r_3},$$

$$dI' = \frac{r_2 d\mathcal{E}_1}{r_3 (r_1 + r_3)},$$

d'où

$$dI' = \frac{R_2}{R_3} dI.$$

Le coefficient de régularisation est donc le rapport  $\frac{R_2}{R_3}$  de la résistance de l'ensemble de la ligne à celle de la batterie.

---

## DEUXIÈME PARTIE



## DEUXIÈME PARTIE

---

### CHAPITRE PREMIER

---

#### DISTRIBUTIONS URBAINES

**32. Section des câbles de réseau.** — Supposons qu'entre le point d'attache d'une artère et la lampe la plus éloignée on ait une distance de 117 mètres, subdivisée en sections ayant successivement 20<sup>m</sup>, 35<sup>m</sup>, 15<sup>m</sup>, 25<sup>m</sup>, 12<sup>m</sup>, et parcourues respectivement par 70, 60, 45, 35, 15 ampères. On se propose de calculer la section de telle sorte que la perte de charge n'excède pas 2 volts.

Ces données fournissent l'équation

$$2^v = \frac{2^2}{s} [L_0 I_0 + L_1 I_1 + \dots]$$

On effectue les produits

$$L_0 I_0 = 1400, \quad L_1 I_1 = 2100, \dots$$

et on trouve leur somme égale à 5230. D'où

$$s = \frac{2 \times \rho}{2} \sum LI = 94^{\text{mm}^2}.$$

C'est donc 100 millimètres carrés en chiffres ronds qu'il convient d'adopter.

**33. Section des artères.** — La loi de Thomson appliquée à l'artère moyenne donne, par exemple, comme densité moyenne la plus avantageuse, 1,25 ampère par millimètre carré.

Soient 250<sup>m</sup> sa longueur et 300 ampères le courant ; cette artère moyenne exigera la section

$$s = \frac{300}{1,25} = 240^{\text{mm}^2}.$$

La perte de charge sera

$$RI = \rho l \frac{i}{s} = 0,018 \times 500 \times 1,25 = 11,25.$$

soit 11,25 volts à pleine charge. Cette perte de charge doit être, ainsi qu'on l'a vu, la même

pour toutes les artères. Donc une autre artère, ayant par exemple 325 mètres et desservant 100 ampères, se calculera par la formule

$$11,25 = 0,018 \times \frac{650}{s} \times 100,$$

$$s = 104^{\text{mm}^2}.$$

Toute autre se calculerait de même ; mais une artère très courte pourrait conduire à une densité qui dépasserait la limite d'échauffement. Il y a donc une artère limite. Ainsi pour  $L = 100$  mètres et  $I = 300$  ampères, on trouverait  $s = 96$  millimètres carrés,  $\frac{I}{s} = 3,12$  millimètres carrés. Le tableau du § 60 de l'Aide-mémoire relatif aux installations isolées indique que cette densité est trop élevée ; il y a donc lieu de porter une partie de la résistance à l'usine, sur le rhéostat placé en tête de chaque artère.

**34. Rhéostats d'artères.** — Le calcul de ces rhéostats dépend de l'inégalité qui peut s'établir entre les courants demandés aux diverses artères. L'estimation de ce chiffre ne peut résulter que de la connaissance des quartiers à éclairer et de la nature des consommateurs.

Supposons que l'une des artères ayant sa pleine charge, celle qui est la moins importante, ne laisse passer que 0,80 du courant maximum  $\mathbf{I}$  pour laquelle elle est prévue. Pour maintenir le voltage constant aux deux points d'attache, il faut intercaler sur la seconde artère, de résistance  $\mathbf{R}$ , une résistance  $x$  telle que

$$(x + \mathbf{R}) 0,8\mathbf{I} = \varepsilon,$$

$\varepsilon$  étant la perte de charge commune.

Ce qui vient d'être dit pour les charges maxima reste vrai pour des charges quelconques, mais conservant le même écart relatif de 20 %. Car si la première artère travaille à demi-charge, par exemple, on réduira le potentiel à l'usine de façon que la perte des charges commune soit seulement  $\frac{\varepsilon}{2}$ . Alors l'autre artère ayant encore, par hypothèse, 20 % d'écart avec la plus chargée, sera parcourue par 0,4 $\mathbf{I}$  et, par conséquent,  $x$  conserve la même valeur.

Les rhéostats sont avantageusement formés de tôle de maillechort, ou de toile métallique. On peut aussi les former de fils réunis en quantité et dont on fait varier le nombre, disposition souvent plus commode que la précédente.

Lorsque le nombre des artères est suffisam-

ment élevé, le jeu de ces rhéostats devient de moins en moins important, parce qu'on le combine avec la suppression des moins chargées d'entre elles.

**35. Rendement moyen annuel d'un réseau.** — Un réseau dans lequel les pertes de charge maxima sont, par exemple : 0,12 dans les artères, 0,02 dans le réseau et 0,01 dans les branchements ; soit, au total 0,15, présente encore un excellent rendement moyen annuel.

Si le fonctionnement est, en effet, équivalent à 1100 heures par an de pleine charge, soit environ 4,6 heures par jour, le pourcentage de dépense dans les conducteurs sera

$$\frac{4,6}{24} 0,15 = 0,0266,$$

ce qui correspond à un rendement moyen annuel de 0,974. Ainsi, une perte de charge élevée dans les artères, au moment du maximum de charge, ne signifie nullement qu'il y ait un gaspillage d'énergie. D'autre part, une meilleure durée moyenne annuelle conduirait à un rendement un peu moindre, mais la petite perte supplémentaire serait plus que compensée par la

meilleure utilisation du capital engagé résultant du supplément de recettes.

**36. Distribution à 3 ou 5 fils. Calcul des compensateurs.** — Ce qui est exposé au § 12 au sujet du dispositif à 5 fils suffit pour permettre de calculer le plus grand écart du courant qui peut se produire entre les diverses branches. Il nous reste à indiquer la puissance qu'il convient de prendre pour le compensateur.

Différentes raisons militent en faveur du choix d'un appareil relativement puissant, notamment les suivantes :

Pour éviter la surveillance et le déplacement des balais avec la charge, il faut un champ magnétique puissant et fixe ; en d'autres termes, peu d'ampères-tour sur l'induit comparativement à ceux de l'inducteur. De plus, pour la perfection du réglage, il faut encore que la force électromotrice engendrée soit la même quelle que soit la charge, condition qui, au fond, est identique à la précédente.

Aussi l'expérience conduit-elle à choisir un type d'induit qui, employé normalement dans une dynamo, pourrait supporter un courant double du courant maximum que l'on suppose

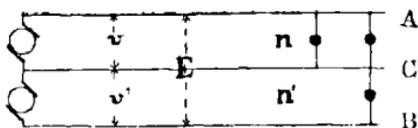
devoir le traverser alors qu'il fonctionnera comme régulateur.

De plus, le calcul suivant montre que le réglage est d'autant plus parfait que la résistance intérieure de l'induit est plus faible. Soient, en effet,  $\mathbf{E}$  la différence de potentiel qu'une artère maintient constante entre A et B (fig. 24) et  $\mathbf{v}$  et  $\mathbf{v}'$  celles entre

AC et CB, soient

Fig. 24

$n$  et  $n'$  les nombres de lampes de résistance  $\mathbf{r}$ , allumées sur



chaque point;  $\mathbf{R}$  la résistance intérieure de chaque induit;  $\mathbf{e}$  la force électromotrice dans chacun d'eux. Appliquant les lois de Kirchoff aux points A et B et remarquant que le courant est le même à gauche de ces points, on a :

$$\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{r}} + \frac{\mathbf{v} - \mathbf{e}}{\mathbf{R}} = \frac{\mathbf{v}'}{\mathbf{r}} + \frac{\mathbf{v}' - \mathbf{e}}{\mathbf{R}}.$$

En tenant compte de  $\mathbf{E} = \mathbf{v} + \mathbf{v}'$  et réduisant, on trouve facilement :

$$\mathbf{v} = \mathbf{E} \frac{1}{1 + \frac{\mathbf{R}n + \mathbf{r}}{\mathbf{R}n' + \mathbf{r}}}.$$

La perfection du réglage exige  $\mathbf{v} = \frac{\mathbf{E}}{2}$  et par suite

$$\frac{\mathbf{R}n + \mathbf{r}}{\mathbf{R}n' + \mathbf{r}} = 1$$

quels que soient  $n$  et  $n'$ , pourvu toutefois que leur différence ne dépasse pas le maximum prévu.

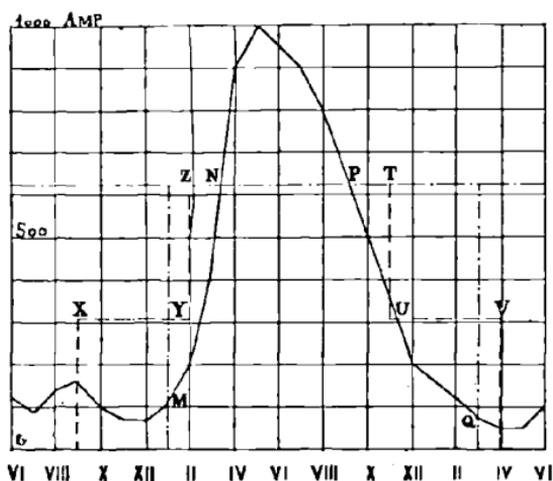
Or si l'on a, par exemple, comme c'est le cas au secteur de la place Clichy à Paris :

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= 0^{\omega},016, \\ \mathbf{r} &= 200^{\omega}, \\ n - n'_{max} &= 100, \end{aligned}$$

le calcul montre immédiatement que, pour la limite inférieure donnée par  $n' = 100$  et  $n = 0$ , la fraction indiquée ci-dessus a la valeur 0,9920 ; et que, pour la limite supérieure fournie par  $n' = 1100$  et  $n = 1000$ , cette valeur devient 0,9922. D'où l'on conclut que si  $\mathbf{E} = 200^{\omega}$ , les plus grands écarts entre les valeurs de  $\mathbf{v}$  ne peuvent pas dépasser 0<sup>v</sup>,8, quelle que soit la répartition, du moment que la différence  $n - n'$  ou  $n' - n$  n'excède pas 100 lampes.

**37. Distribution par accumulateurs. Diagramme de fonctionnement de l'usine. —**  
Soit *fig. 25* le diagramme du maximum de

Fig. 25



consommation pendant une journée d'hiver. On se propose de faire ce service en s'imposant les conditions suivantes ;

1° Aucune machine ne marchera aux heures de faible charge ;

2° Les dynamos fonctionneront au plus 14 heures et constamment à pleine charge.

Il faut déterminer la puissance des appareils nécessaires.

La mesure du diagramme montre que la quantité débitée pendant les 24 heures est de 8210 ampères-heure, le débit maximum étant de 1000 ampères. De 3 heures du matin à 1 heure de l'après-midi, les charges étant très faibles, on empruntera tout le courant aux accumulateurs, et on réservera les 14 heures restantes pour la marche des machines.

Celles-ci doivent produire, pendant ce temps, les 8210 ampères-heure de consommation journalière ; leur débit minimum en ampères doit donc être d'au moins  $\frac{8210}{14} = 586,5$  ampères. Comme il faut plutôt donner un léger excès de charge aux accumulateurs, on pourra compter sur 625 ampères de débit.

Traçant une ligne à 625 ampères sur le diagramme et menant les ordonnées aux points correspondants à 1 heure de l'après-midi et 3 heures du matin, on reconnaît tout de suite que la partie 1, M, N, P, Q, 3, est fournie directement par les machines ; que de 1 heure à 3 heures 25 environ les accumulateurs sont en charge, puis jusqu'à 9 heures en décharge, et enfin de nouveau en charge de 9 heures à 3 heures du matin.

Leur *capacité* devra être égale à 8210 ampères-heure, moins la quantité fournie directement

par les machines qu'on mesure aisément et qu'on trouve égale à 6602 ; donc il faut au moins 1608 ampères-heure de capacité.

Les régimes extrêmes de décharge et de charge qu'ils auront à supporter sont évidemment :

A la décharge, 1000 — 625 soit 375 ampères.

A la charge, 525 ampères au point M et 555 ampères en Q.

La *fig. 25* ainsi étudiée donne par conséquent tous les éléments de la solution ; mais il faut remarquer que les conditions imposées conduisent à l'emploi d'accumulateurs inusités. En effet, 375 ampères de débit à la décharge, pendant peu de temps, pour des appareils de 1600 ampères-heure de capacité, sont admissibles ; mais les régimes extrêmes de charge paraissent un peu trop élevés. Aussi conviendrait-il de modifier la marche prévue ; et, au lieu de faire marcher toutes les machines ensemble, d'actionner, par exemple, la moitié d'entre elles de 9 heures du matin à 11 heures du soir, et l'autre moitié, de 2 heures du soir à 4 heures du matin. La ligne de débit des machines devient alors la ligne brisée XYZTUV. Le régime de charge est beaucoup adouci ; il ne dépasse plus 265 ampères sauf pendant un temps très court aux environs de 2 heures de l'après-midi.

On étudierait de la même manière les puissances d'appareils nécessaires pour toute autre combinaison telle que celle de l'usine de Chelsea, par exemple. Le principe est toujours le même : il consiste, étant donné le diagramme du courant extérieur, à établir le diagramme d'un courant de charge de manière à produire l'énergie électrique dans les meilleures conditions de rendement et avec le minimum de capital immobilisé.

On n'oubliera pas que si les accumulateurs ont un rendement en ampères à peu près égal à l'unité, il n'en est pas de même de leur rendement en énergie électrique. Aussi on devra, autant que possible, faire en sorte que la quantité d'énergie qui passe par leur transformation ne soit que strictement celle qui est nécessaire, le kilowatt-heure étant à un prix bien moindre au sortir des dynamos qu'au sortir des accumulateurs.

---

## CHAPITRE II

---

### RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX RELATIFS AUX USINES CENTRALES DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

**38.** — Il est extrêmement difficile d'obtenir des renseignements exacts sur les diverses questions qui se rattachent à l'exploitation des usines centrales. Les compagnies qui en sont propriétaires ne désirent pas livrer à la publicité les résultats, parfois malheureux, de leur expérience. Il ne semble pas, de plus, que leurs services de statistique aient reçu jusqu'ici le développement qu'ils méritent.

Voici toutefois ceux qu'il nous a été possible de nous procurer :

**39. Durée annuelle moyenne.** — La durée annuelle moyenne est rapportée, en général, au nombre de lampes installées. C'est le chiffre qu'on obtient, en divisant le total des ampères-heure annuels par les ampères qui représentent la consommation de la totalité des lampes installées.

Cette quantité est naturellement des plus variables avec la nature de la clientèle de l'usine centrale. Dans certains quartiers des grandes villes, on peut obtenir des durées élevées, mais qui sortent de la moyenne. La durée dépend aussi dans une grande mesure des conditions d'établissement de la police d'abonnement qui influe, non sur la consommation, mais surtout sur le nombre de lampes installées qui correspond à un matériel producteur donné.

Ainsi, si la police est faite à forfait, à tant par lampe installée, utilisée ou non, la durée moyenne annuelle pourra être deux fois plus élevée que si la police est faite au compteur ; mais cela signifie simplement que le consommateur taxé au compteur fera installer plus de lampes que le premier, pour une même consommation.

Voici à titre d'exemple la répartition par nature de clientèle, de la consommation du courant d'une usine centrale située dans une ville de province de 150,000 habitants, pendant les deux semaines d'équinoxe qu'on peut considérer comme représentant les semaines moyennes.

Clientèle	Printemps	Automne
Cafés et cercles .	0,280	0,260
Fabriques . . .	0,210	0,225
Boutiques et magasins de détail.	0,275	0,285
Bureaux et appartements . . .	0,075	0,073
Théâtres et concerts . . . .	0,160	0,157
	1,000	1,000

Les ampères-heure moyens journaliers représentent 11,5 % de ceux qu'aurait nécessité le fonctionnement continu de la totalité des lampes.

On en déduit la durée moyenne annuelle égale à

$$0,115 \times 24 \times 365 = 1000 \text{ heures environ.}$$

La vente du courant se fait au compteur.

Dans une autre ville de province, à peu près de même importance, mais où l'abonnement est à forfait, on a pu obtenir une moyenne beaucoup plus élevée. Il y a trois circuits distincts, sur lesquels on fait l'extinction générale successivement à 10 heures du soir, à minuit et à 2 heures du matin. Les prix de vente sont naturellement différents. Dans ces conditions, le coefficient, qui était de 11,5 % pour le premier exemple, a pu atteindre 25,6 % et la durée moyenne annuelle être, par conséquent, de 2200 heures environ. Cette moyenne annuelle est une donnée des plus importantes au point de vue de l'estimation de la recette probable d'une distribution projetée.

**40. Durées d'éclairage.** — Nous donnons ci-contre un tableau des heures d'éclairage en fonction de la saison et des heures d'extinction, tableau qui pourra contribuer à l'estimation de la moyenne annuelle.



Les informations suivantes sont celles qui peuvent aider à la détermination de la dépense probable tant en installation qu'en exploitation :

**41. Maximum de consommation.** — Le matériel de l'usine centrale doit pouvoir suffire pour le débit maximum. Ce maximum ne se produira que pendant peu d'heures par an ; mais il faut pouvoir y satisfaire. Il est donc important de chercher à prévoir dans la mesure du possible ce qu'il pourra être. De sa connaissance dépend immédiatement le nombre maximum de lampes qui pourront être reliées à une usine donnée.

L'expérience acquise commence à donner quelques renseignements statistiques à cet égard.

Pour l'usine qui dessert la clientèle dont le détail est donné au § 39, le maximum a toujours été à très peu près de 60 % des lampes reliées au réseau. Ce chiffre semble bien applicable aux quartiers vivants des villes françaises de quelque importance, et se retrouve très sensiblement dans toutes les usines analogues.

A Londres, dans un quartier où figurent surtout des magasins et des maisons d'habitation, la Kensington and Knightsbridge Company n'atteint que 40 % comme maximum d'hiver. Celui

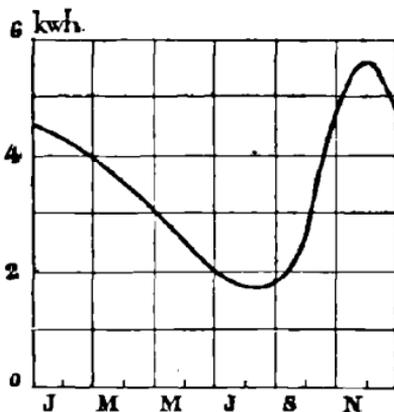
d'été n'est que de 20 à 25  $\%$ . Le nombre de lampes reliées (comptées à 32 watts) est de 40000 ; et la durée moyenne annuelle ne dépasse pas 425 heures.

Dans une autre grande ville du continent, Vienne, sur un réseau de 30000 lampes dont un quart au moins est installé dans des appartements le maximum atteint 52  $\%$ .

La courbe de la *fig. 26* représente les moyennes mensuelles, pour l'année 1891 de la St-James Company de Londres. Il est

Fig. 26

probable que cette courbe varie peu d'une contrée à l'autre, et on pourra s'y référer (*fig. 26*) utilement pour les prévisions à établir en ce qui concerne la varia-



tion de la consommation avec la saison. Elle emprunte une valeur particulière à ce fait que le nombre de lampes reliées n'a pas varié dans le cours de

l'année et c'est pour cette circonstance que nous l'avons choisie.

Il existe une corrélation évidente entre la durée moyenne annuelle, et le maximum de consommation. D'après ce qui précède, on peut établir à peu près la relation numérique suivante, étant admis que la durée moyenne annuelle est déterminée par la nature et la composition de la clientèle :

500 heures	40 %
750 "	50 %
1000 "	60 %

Ces quelques données sont à peu près les seules qu'il soit possible d'obtenir en ce moment : mais les statistiques des grandes usines centrales viendront sans doute les compléter prochainement.

**42. Consommation de charbon, d'huile, d'eau, etc., suivant les différents types d'installation.** — Les différentes consommations rapportées au kilowatt-heure d'énergie électrique produite et distribuée, formant les éléments des devis d'exploitation qui sont la base de l'étude d'une affaire, nous nous sommes efforcés de réunir des chiffres qui représentent

des résultats d'expérience, malgré la réserve que mettent en général les Compagnies à publier leurs données sur ce point.

Les dépenses de consommation dépendant dans une grande mesure de la nature du matériel et de son mode d'emploi.

*Distribution directe.* — Examinant d'abord les distributions directes par courant continu, on remarque qu'en raison du rendement moyen très élevé, il n'y a pas lieu, en général, de faire de distinction entre l'énergie produite et l'énergie utilisée.

Voici d'abord quelques résultats d'exploitation, obtenus sur diverses installations. Les chiffres indiqués sont les moyennes réelles, résultant de plusieurs mois de marche, et comprenant tous les allumages et services accessoires :

Installation avec locomobile à un seul cylindre, sans condensation ; chaudière à foyer intérieur ; dynamo à courant continu. Le service se faisait continuellement à pleine charge ; sur 20 kilowatts environ :

Moyenne de cinq mois de marche, 2<sup>kg</sup>,650 de charbon par kilowatt-heure.

Installation avec machine demi-fixe, compound, à condensation, chaudière à foyer inté-

rieur, faisant un service d'usine centrale, avec durée moyenne de 2350 heures par an et 12<sup>h</sup>,30<sup>m</sup> de marche journalière. Débit maximum 40 kilowatts.

Moyenne de quatre mois de marche, 3<sup>kg</sup>,10 par kilowatt-heure.

Installation comprenant chaudière multitubulaire, moteurs compound à condensation, dynamo à courant continu, faisant un service d'abonnés, avec durée moyenne de 1200<sup>h</sup> environ :

Moyenne de six mois, 4<sup>kg</sup>,92 par kilowatt-heure.

Une installation presque identique à la précédente, mais dans laquelle la durée moyenne était à peu près double de la précédente, a donné :

Moyenne de cinq mois, 3<sup>kg</sup>,75 par kilowatt-heure.

Il est remarquable que les petits services, qui peuvent être assurés par locomobiles, donnent un coefficient économique plus élevé que n'atteignent pas les groupes de matériel en apparence plus perfectionné, au moins pour les puissances de 50 à 100 kilowatts. La raison en est dans la supériorité du type de chaudière, et surtout dans la réduction très considérable des dépenses par

rayonnement, condensation, etc., qui résulte du peu de volume et de l'absence de toute tuyauterie des locomobiles. Il est probable que pour des puissances de 1000 kilowatts on obtiendra et même dépassera les meilleurs des chiffres donnés ci-dessus.

*Distributions par transformateurs.* — Ici il faut tenir grand compte de la distinction entre l'énergie électrique produite et l'énergie vendue. Elle donne la mesure commerciale du rendement de la distribution.

Voici d'abord des chiffres donnés par M. Preece. Dans une usine centrale à courants alternatifs, qui maintenait ses transformateurs continuellement en circuit, on a dépensé, en charbon :

3<sup>kg</sup>,620 par kilowatt-heure produit,  
7<sup>kg</sup>,750 " " " vendu

D'après le même auteur, à l'Usine Centrale de Rome, où les transformateurs sont groupés en sous-stations, et mis hors circuit lorsqu'ils n'ont pas une charge suffisante, on aurait une consommation de charbon de

4<sup>kg</sup> par kilowatt-heure produit  
4<sup>kg</sup>,600 " " " vendu

mais, selon M. Crompton, ce dernier chiffre serait erroné et c'est à peu près le double, soit 9 kilogrammes, qu'il faut lire d'après ses renseignements.

D'un autre côté, dans une usine alimentant un réseau de 50000 lampes, on a obtenu en six mois de marche (juillet à décembre inclus) les résultats suivants, avec les transformateurs constamment branchés :

4 <sup>kg</sup> ,800	par	kilowatt-heure	produit	
7 <sup>kg</sup> ,200	"	"	"	vendu.

Si l'on néglige le chiffre contesté, on voit que la mesure commerciale du rendement de la distribution alternative avec transformateurs branchés en permanence est de 47 % dans le premier exemple cité, et s'élève à 67 % dans le dernier, bien que l'augmentation du chiffre de dépense par kilowatt-heure produit semble indiquer une installation mécanique moins parfaite.

*Distributions avec accumulateurs.* — Sur ce sujet, on possède encore moins de renseignements. M. Crompton seul n'hésite pas à publier les résultats du fonctionnement des usines qu'il a montées, et indique ce qui suit. L'usine de la

Kensington and Knightsbridge C<sup>o</sup> dépense en charbon :

3<sup>kg</sup>,400 par kilowatt-heure produit  
 4<sup>kg</sup>,200 " " " vendu,

ce qui indique un rendement de 81 %, chiffre élevé, mais qui représente, bien entendu, un rendement commercial, et non le rendement de transformation des accumulateurs. En effet, le courant des dynamos est utilisé directement aux heures de forte charge, ce qui contribue à élever le chiffre ci-dessus.

A l'usine de Chelmsford, très analogue à la précédente, on dépense :

4<sup>kg</sup> par kilowatt-heure produit  
 4<sup>kg</sup>,85 " " " vendu,

ce qui conduit au rendement, encore supérieur, de 85 %.

Nous n'avons pu recueillir aucune donnée sur les résultats obtenus par les usines qui emmagasinent dans les accumulateurs la totalité de la production ; mais nous trouvons dans quelques publications officielles des indications relatives au rendement des accumulateurs.

L'usine municipale de Darmstadt, d'après le rapport adressé aux autorités, fonctionne avec

une durée moyenne très faible, soit 336 heures pour les lampes privées et 188 heures pour celles du théâtre. Le rendement des accumulateurs a été trouvé de 60 % en moyenne.

Le coût de l'heure-lampe s'est élevé à 0<sup>fr</sup>,064, ce qui, en supposant qu'il s'agisse de lampes de 16 bougies à 64 watts, donne un prix de revient de 1<sup>fr</sup> le kilowatt-heure. Aucune entreprise privée ne pourrait réussir dans de telles conditions.

La consommation de charbon indiquée est de 2<sup>k</sup>,500 par cheval-heure, ce qui doit conduire à peu près à 4 kilogrammes par kilowatt-heure produit.

A Vienne, l'usine de l'Hôtel-de-Ville accuse les résultats suivants :

En 1022 heures de marche, les machines ont produit 24250 kilowatts-heure, en travaillant en moyenne à 41 % de leur charge maxima. La dépense de combustible a été, tous allumages compris, de 192147 kilogrammes de charbon, soit 7<sup>kg</sup>,93 par kilowatt-heure produit, chiffre qui semble excessif. Les chaudières ayant évaporé 8<sup>kg</sup>,08 par mètre carré et par heure, et 8<sup>kg</sup>,92 par kilogramme de charbon semblent être dans de bonnes conditions, ce qui rend difficile l'explication de la grande consommation, et fait supposer un moteur à vapeur des plus défectueux.

Le rendement des accumulateurs a été trouvé égal à 67 %.

Le prix de revient total s'élève à 1<sup>fr</sup>,23 par kilowatt-heure produit, et il n'est chargé d'aucun amortissement.

Cette exploitation semble des plus malheureuses, puisque le prix de revient du kilowatt-heure sortant des machines est très supérieur au prix du kilowatt-heure vendu dans la même ville par des Compagnies qui ont de lourdes charges d'intérêt, d'amortissement, d'entretien de réseau, etc., etc.

*Consommation d'eau.* — Les dépenses de vapeur sont à peu près les suivantes, par cheval indiqué :

Machine à vapeur, sans condensation :

A pleine charge, 12 à 18 kilogrammes selon la valeur du type.

En allure variable, 16 à 22 kilogrammes selon la valeur du type.

La consommation en eau d'alimentation est sensiblement plus élevée (jusqu'à 15 %), à cause des condensations, à moins que celles-ci ne soient renvoyées aux chaudières.

Les machines à condensation peuvent consommer en vapeur :

7 à 10<sup>kg</sup> pour des machines à un cylindre en pleine allure, et 30 % de plus en allure variable;

6 à 9<sup>kg</sup> pour machines Woolf ou compound en pleine allure; toujours 30 % de plus en allure variable.

La consommation d'eau de condensation est de 25 fois le poids de vapeur.

Pour convertir ces chiffres en kilowatts-heure produits, il faut compter sur un rendement organique d'ensemble d'environ 0,70, et, par conséquent, les majorer d'environ 50 % de leur valeur.

Les mêmes dépenses, comprenant : huile de graissage des cylindres et mouvements, chiffons, etc., nettoyages de chaudières et des carnaux, enlèvement de cendres, etc., représentent dans des conditions moyennes une somme variant contre 15 et 20 % de la dépense du charbon valant entre 25 et 30 francs la tonne.

Des économies importantes peuvent être réalisées sur ce chapitre, par l'installation dans les usines centrales importantes, d'une canalisation complète pour l'huile. On peut alors la maintenir en circulation constante, et surabondante. Elle ne s'échauffe ni ne s'altère dans ces conditions; reprise par une pompe, et filtrée, elle rentre en

circulation, et tout se borne à réparer les pertes inévitables de la circulation.

**43. Frais d'entretien.** — Il est encore difficile d'avoir à ce sujet autre chose que des estimations, car les principales installations sont trop récentes pour que la vraie durée du matériel puisse être sûrement connue.

A propos d'une usine installée par une municipalité, un comité de spécialistes s'est mis d'accord sur les chiffres d'estimation suivants :

Bâtiments . . . . .	2,5 0/0
Dynamos . . . . .	3,0
Moteurs, chaudières . . . . .	5,0
Commutateurs, compteurs . . . . .	5,0
Accumulateurs et leurs accessoires . . . . .	14,5
Conduites souterraines (en câble nu sur isolateurs et dans un couloir en ci- ment) . . . . .	0,5
Conduites en fer renfermant des câbles isolés, et câbles . . . . .	6,0

#### 44. Principales usines de distribution de France et d'Europe

Compagnies	Usines	Matériel et mode d'exploitation
Compagnie Continental Edison.	Faubourg Montmartre. — Avenue Tru- daine.	Courant continu. Distri- bution directe à 3 con- ducteurs. Unités jumel- lées, de 80 kilowatts et 100 kilowatts. Pas d'accumulateurs.
Compagnie de l'air comprimé.	Boulevard Richard- Lenoir. — Bourse du Commerce, etc.	Accumulateurs en sous- stations; deux batteries chargées successive- ment. Toutes les sous- stations réunies en tension pour la charge; décharge à 2 conduc- teurs. Unités de 160 ki- lowatts.
Société anonyme pour la transmission de force par l'électricité.	Rue de Bondy. — Rue des Filles-Dieu. — Boulevard Barbès.	Accumulateurs en déri- vation, à l'usine, sur les conducteurs prin- cipaux. Leur puissance à peu près égale à celle des machines. Dis- tribution à 2 conduc- teurs. Unités de 75 kilowatts.

Compagnies	Usines	Matériel et mode d'exploitation
Société du Secteur de la Place Clichy.	Rue des Dames.	Distribution à 5 fils, courant continu ; compensateurs tournants ; emploi d'accumulateurs pour les heures de faible charge. Unités de 80 et de 300 kilowatts.
Kensington and Knightsbridge Electric Light Co.	Chapel-place. Brompton Road Londres.	Stations secondaires d'accumulateurs, chargés en tension et déchargés en addition aux courants des machines, aux heures de forte charge.
Metropolitan Electric Supply Co.	Manchester Square.	Courants alternatifs et transformateurs, système Lowrie Parker.
Metropolitan Electric Supply, Co.	Sardinia Street.	Courants alternatifs et transformateurs, système Westinghouse.
Metropolitan Electric Supply Co.	Whitehall.	Basse tension et accumulateurs.

Compagnies	Usines	Mode et matériel d'exploitation
Chelsea Electric Supply Co.	Chelsea.	Stations secondaires d'accumulateurs chargés par demi-batteries, en tension, déchargées en addition au courant des machines d'abord transformé à basse tension.
London Electric Supply Corporation.	Deptford.	Haute tension, courants alternatifs avec double transformation. Unités de 1500 chevaux; sous-stations de transformateurs pour la première transformation de 10000 à 2500 volts.
Compagnie du gaz de Rome.	Usine à gaz.	Courant alternatif, système Zipernowski. Transformateurs en sous-stations, circuits secondaires à 3 fils. Unités de 80 et de 360 kilowatts.
Allgemeine Electricität-Gesellschaft.		Courant continu à 3 conducteurs. Unités de 300 kilowatts et au-dessus. Pas d'accumulateurs. Usines reliées par câbles de jonction spéciaux.

Il existe un très grand nombre d'autres usines centrales ; mais nous n'avons cité ici que celles qui peuvent être considérées comme les types des divers modes de distribution de l'énergie électrique.

**45. Données d'expérience sur le travail et les efforts pour la traction des voitures de tramway.**

*Expériences de Tresca sur la ligne de Paris à Versailles.*

Voiture pesant en charge 5670 kilogrammes ;  
voie à ornières.

Effort de traction,  $f$  :

Avec 4 roues garnies de boudins  $f = 0,0100$

Avec 2 seulement, du même côté  $f = 0,0068$ .

Au démarrage, on a

$$f' = 4 \text{ à } 5 f.$$

Les courbes augmentent l'effort de traction :

Avec un rayon de  $12^m,50$ , il est doublé ;

Avec un rayon de  $8^m,50$ , il est triplé.

*Expérience de M. Reckenzaun.*

Sur une voie d'expériences, construite dans

des conditions moyennes, présentant une rampe de 4,98 % et une pente de 5,8 % ainsi que des courbes de 8<sup>m</sup>, 12<sup>m</sup>,50 et 24<sup>m</sup>,50 de rayon. La voie était en rails plats, sauf aux courbes et à leurs approches où elle était à orniers.

La voiture pesant 5300 kilogrammes, était montée sur deux axes, écartés de 1<sup>m</sup>,50. Un seul essieu était moteur, à l'aide d'une transmission par engrenages.

A la vitesse moyenne de 11<sup>km</sup>,2 à l'heure, on a dépensé en puissance moyenne 4,85 chevaux d'énergie électrique; en puissance maxima 14 chevaux d'énergie électrique.

Si l'on admet des rendements de 0,75 pour le moteur électrique et de 0,85 pour l'engrenage double, il en résulte que la traction absorbait net 3 chevaux.

On en déduit :

Effort de traction, 0,013 ;

Parcours moyen, 12,5 tonnes-kilomètres par cheval-heure électrique.

L'eau peut réduire les efforts de 15 à 50 % selon la quantité, mais la neige est très mauvaise.

L'expérience personnelle du conducteur peut se chiffrer par une différence en moins de 25 % d'énergie dépensée pour un parcours donné.

*Expérience de M. Crosby sur le Brooklyn and Jamaica Electric Railway.*

Voie horizontale; vitesse moyenne, 16 kilomètres à l'heure; voltage moyen, 440 volts.

RÉSULTATS AVEC ET SANS VOITURE REMORQUÉE :

Voitures	Poids	Courant en ampères	Puissance en chevaux		Perte dans l'engrenage
			électrique	mécanique	
Voiture à moteur avec voyageurs seule.	5500 <sup>kg</sup>	11 à 12	7 à 7,5	4 à 5	0,9 à 1,3
Voiture remorquée avec voyageurs.	3250	14 à 15	8 "	5,5	

Coefficient de traction  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sans remorque} \quad 0,0122 \\ \text{avec remorque} \quad 0,0112 \end{array} \right.$

Rendements moyens  $\left\{ \begin{array}{l} \text{moteur} \quad 0,76 \text{ à } 0,85 \\ \text{mécanisme} \quad 0,65 \text{ à } 0,86 \\ \text{total} \quad 0,51 \text{ à } 0,73 \end{array} \right.$

On a observé des variations d'efforts de 0,80 en plus ou en moins qui ne peuvent être attribuées qu'à l'état variable de la voie.

Sur les lignes des villes de Richmond, Cleveland, Scranton, M. Crosby a obtenu la puissance moyenne suivante, dans chaque ville respectivement : 6,5 ; 6,6 ; 7,4 chevaux-vapeur. Dans les rampes les valeurs s'élevaient jusqu'à 25,6 ; 15,0 ; 19,2.

Pour une voie de profil moyen, on compte en Amérique 450 watts-heure par voiture-kilomètre, pour voitures de 4 tonnes, ce qui ne fait qu'environ 6,5 tonnes-kilomètres par cheval-heure électrique, chiffre fortement différent de celui de M. Reckenzaun. Toutefois ce dernier chiffre paraît être plutôt une base d'estimation de rendement moyen, plutôt qu'un résultat d'expérience ; il se rapporterait donc à un état très moyen de la voie.

---

## BIBLIOGRAPHIE

—

### SUR LES USINES CENTRALES EN GÉNÉRAL ET SUR LES DISTRIBUTIONS DIRECTES

ANNALES DE L'ÉLECTRICITÉ. — Articles *Distribution* et *Stations centrales*.

DICIONNAIRE D'ÉLECTRICITÉ. — Articles *Distribution* et *Stations centrales*.

ANNEY. — *Manuel pratique de l'installation de la lumière électrique* (stations centrales).

CROMPTON. — *Journal of the Institution of electrical Engineers*, vol. XVII, n° 73.

FRÉPPL. — *Lumière électrique*, vol. XXXVII, p. 382.

G. FORBES. — *Journal of the Institution of electrical Engineers*, vol. XVIII, n° 78.

F. GÉRALDY. — *Lumière électrique*, année 1891, *passim*.

E. GÉRARD. *Leçons sur l'électricité*, tome II, 2<sup>e</sup> édition.

- HERZOG et STARK. — *Lumière électrique*, vol. XXXVI, p. 252 et XXXVII, p. 360.
- D. MONNIER. — *Electricité industrielle*, ch. XVII.
- RASH. — *Lumière électrique*, vol. XLI, p. 273.
- RECHNIEWSKI. — *L'Electricien*, 2<sup>e</sup> série, tome II, n<sup>o</sup> 30.
- E. THOMSON. — *Revue Internationale*, 1888, n<sup>os</sup> 50 et 51.

SUR LES DISTRIBUTIONS PAR  
TRANSFORMATEURS

- ANNEY. — *Manuel pratique de l'installation de la lumière électrique*.
- BOUCHEROT. — *Electricien*, 2<sup>e</sup> série, t. I, n<sup>os</sup> 15, 16, 17.
- E. GÉRARD. — *Leçons sur l'électricité*, tome II, *loc. cit.*
- JACQUIN. — *Compte rendu du Congrès des électriciens en 1889*, p. 266.
- LEDEBOER. — *Lumière électrique*, vol. XI, p. 608.
- K. D. MACHENZIE. — *Soc. of Telegraph Engineers*, vol. XVII, n<sup>o</sup> 71.
- D. MONNIER. — *Electricité industrielle*, *loc. cit.*
- RANKIN KENNEDY. — *Electrical Distribution*, Glasgow, 1887.

- RECHNIEWSKI. — *Electricien*, 2<sup>e</sup> série, t. II, n<sup>o</sup> 41.
- SWINBURNE. — *Institution of Electrical Engineers*, vol. XX, n<sup>o</sup> 92.
- MAJOR GÉNÉRAL WEBBER. — *Institution of Electrical Engineers*, vol. XX, n<sup>o</sup> 92.
- WESTINGHOUSE. — *Lumière électrique*, vol. XXIX, p. 170.

## SUR LES DISTRIBUTIONS PAR ACCUMULATEURS

- CROMPTON. — *Institution of Electrical Engineers*, vol. XVII, n<sup>o</sup> 73.
- CROMPTON. — *Lumière électrique*, vol. XXVIII, p. 341.
- EDMUNDS. — *Lumière électrique*, vol. XXX, p. 34 et XXXI, p. 317.
- E. GÉRARD. — *Leçons sur l'électricité*, loc. cit.
- P. HOHO. — *Lumière électrique*, vol. XXX, p. 310.
- D. MONNIER. — *Electricité industrielle*, loc. cit.
- RECHNIEWSKI. — *Lumière électrique*, vol. XXVIII, p. 51-101.
- WEBBER. — *Institution of Electrical Engineers*, vol. XX, n<sup>o</sup> 92.

SUR LA PUISSANCE NÉCESSAIRE A LA TRACTION  
DES TRAMWAYS

CROSSBY. — *American Institute of Electrical Engineers*, vol. VII, n<sup>os</sup> 8 et 9.

E. GÉRARD. — *Leçons sur l'électricité*, vol. II, p. 180 et suivantes.

RECKENZAUN. — *Old Students Association of the City and Guilds of London Institute*. (Communication du 30 avril 1890.)

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## PREMIÈRE PARTIE

---

### CHAPITRE I

#### DISTRIBUTION EN SIMPLE DÉRIVATION

	Pages.
Réseau et Artères . . . . .	9
Emplacement d'une source . . . . .	12
Emplacement des artères et de l'usine centrale .	16
Pertes de charge dans les conducteurs . . . . .	18
Calcul du réseau . . . . .	19
Calcul des artères . . . . .	22
Rendement de la canalisation . . . . .	29
Modes de réglage. . . . .	30
Cas particulier des usines de distribution pour tramways électriques . . . . .	39

### CHAPITRE II

#### DISTRIBUTIONS MIXTES

Système à trois fils, économie de conducteurs .	47
Système à cinq fils, calcul des compensateurs .	54
Rayon d'action des distributions à 2, 3 et 5 fils .	60

P. 11

## CHAPITRE III

## DISTRIBUTION PAR TRANSFORMATEURS

	Pages
Economie du conducteur . . . . .	64
Modes d'installation et d'exploitation . . . . .	67
Transformateurs isolés . . . . .	67
Rendement de la distribution par transformateurs isolés . . . . .	72
Emploi des condensateurs . . . . .	78
Distribution à intensité constante et à potentiel constant . . . . .	79
Transformateurs groupés en sous-stations . . . . .	81
Distribution par courants polyphasés . . . . .	83
Modes de réglage. . . . .	90
Transformateurs tournants pour circuits en dérivation . . . . .	93
Distribution en série avec transformateurs tournants . . . . .	94

## CHAPITRE IV

## DISTRIBUTION PAR ACCUMULATEURS

Distribution et alimentation simultanées . . . . .	101
Distribution et alimentation séparées . . . . .	107
Distribution mixte avec accumulateurs et transformateurs . . . . .	109
Accumulateurs employés comme secours . . . . .	114
Accumulateurs employés comme régulateurs. . . . .	116

## DEUXIÈME PARTIE

—

## CHAPITRE I

## DISTRIBUTIONS URBAINES

	Pages.
Section des câbles de réseau . . . . .	121
Section des artères . . . . .	122
Rhéostats d'artères . . . . .	123
Rendement annuel moyen d'un réseau . . . .	125
Distribution à 3 et 5 fils. Calcul des compensa- teurs . . . . .	126
Distribution par accumulateurs : diagramme de fonctionnement de l'usine . . . . .	129

## CHAPITRE II

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES USINES CENTRALES  
DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

Durée annuelle moyenne . . . . .	134
Durées d'éclairage . . . . .	136
Maximum de consommation . . . . .	138
Consommation de charbon, d'huile, d'eau, etc., suivant les différents types d'installation . .	140
Frais d'entretien . . . . .	149
Principales usines de distribution de France et d'Europe . . . . .	150
Résultats d'expérience sur la traction des tram- ways . . . . .	153
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	157

---

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES

---

## BIBLIOTHÈQUE DE CRIMINOLOGIE

(Collection grand in-8°).

**La Philosophie pénale** par G. Tarde, Chef de Bureau de la Statistique au Ministère de la Justice. Troisième Edition. Revue et corrigée. 1 vol. . . . . 7 fr. 50

Ce volume renferme les chapitres suivants : Considérations générales. — L'École positiviste. — Théorie de la responsabilité. — Théorie de l'irresponsabilité. — Le criminel. — Le crime. — Le jugement. — La peine. — La peine de mort.

**Études Pénales et Sociales** par G. Tarde, Chef de Bureau de la Statistique au Ministère de la Justice. 1 volume . . . . . 6 fr. »

Ce volume renferme les divisions suivantes : Le duel. — Le délit politique. — L'atavisme moral. — L'amour morbide. — Quatre crimes passionnels. — L'archéologie criminelle en Périgord. — La crise de droit moral et la crise de droit pénal. — Études criminelles et pénales. — L'idée de culpabilité. — Les lois de l'imitation. — Dépopulation et civilisation. — Les idées sociologiques de Guyau. — Le suffrage dit universel.

**Les Palimpsestes des Prisons** recueilli par le professeur César Lombroso. 1 gros volume orné de 33 dessins et d'une planche graphique statistique . . . . . 6 fr. »

Ce volume renferme les divisions suivantes : Les Camarades. — La Justice. — Le Détenue. — Céramique et épigraphes criminelles. — Le délit. — La Prison. — Passions. — Religion et morale. — Le livre. — Politique. — Lyriques. — Agonie. — Femmes. — Palimpsestes étrangères.

**Les Habitués des Prisons de Paris** Étude d'Anthropologie et de Psychologie criminelles par le D<sup>r</sup> Emile Laurent, ancien interne à l'Asile central des Prisons de Paris. 1 volume avec 70 figures dans le texte et 14 portraits en phototypie . . . . . 10 fr. »

Ce volume renferme les chapitres suivants : La population des Prisons de Paris. — Hérité des criminels. — Criminels d'accidents et criminels d'occasion. — Mendians et Vagabonds. — Criminels d'habitude. — Faux moral et criminels nés. — Histoire d'un criminel. — Les dégénérés dans les prisons. — Les Épileptiques. — Les Hystériques. — Les Intoxiqués. — Les Aliénés. — L'âme des criminels. — Croyanes et religion. — L'Argot. — L'Écriture. — La Littérature. — Les Beaux-Arts. — Les Tatouages. — Les Criminels dans la Société. — Du Suicide. — Les Simulateurs. — Différents genres de délits. — Influence des milieux. — Les Châtiment et peines.

**Le Crime à Deux** Essai de psychologie morbide par Scipio Sighele, traduit sur la 2e édition italienne par Vincent Palmet. . . . . 5 fr. »

Divisions de l'ouvrage : La Suggestion dans le Crime. — Le couple saint le couple suicide et le couple fou. — Le couple criminel. — Les couples dégénérés. — Les libricides. — L'évolution du suicide au meurtre dans les drames d'amour.

**Principaux Ouvrages Médicaux**

**CLINIQUE MÉDICALE DE LA CHARITÉ**

**LECONS & MÉMOIRES**

Par le professeur **POTAIN**

et ses collaborateurs

**Ch. A. François-Franck**

Professeur suppléant au Collège de France

**E. Suchard**

Chef de laboratoire d'anatomie pathologique

**H. Vaquez**

Chef de clinique à la Faculté de Médecine

**P. J. Teissier**

Interne des Hôpitaux de Paris

fort vol. in-8° de 1,060 p. avec nombreuses fig. dans le texte. 30 fr.

Ce volume contient tout d'abord des *leçons* du professeur, recueillies par M. VAQUEZ. Celles qui ont été choisies se rapportent toutes aux maladies du cœur. — Le reste du livre est composé de travaux et de recherches poursuivis dans le service : deux mémoires de M. POTAIN (*des souffles cardio-pulmonaires et du choc de la pointe du cœur*), sont la démonstration complète de certains points de la séméiologie cardiaque. — M. VAQUEZ a donné un mémoire sur la *Phlébite des membres*; M. TEISSIER a rédigé les *Rapports du rétrécissement mitral pur avec la tuberculose*; M. SUCHARD a fourni un intéressant travail sur la *Technique des autopsies cliniques*. — Enfin, M. FRANÇOIS-FRANCK a rédigé un très important mémoire, *l'Analyse de l'action expérimentale de la digitaline*. — L'ensemble de ce volume forme donc un tout traitant tout spécialement des maladies du système circulatoire.

**Atlas de Laryngologie et de Rhinologie**

Par A. GOUGUENHEIM, médecin de l'hôpital Lariboisière et J. GLOVER, ancien interne de la clinique laryngologique de l'hôpital Lariboisière. 1 vol. in-4° avec 37 planches en noir et en couleur, comprenant 246 figures et 47 fig. dans le texte . . . . . 50 fr.

**Traité pratique des Maladies du Système nerveux**

Par J. GRASSET, professeur de clinique médicale à la Faculté de Montpellier, et G. RAUZIER, chargé du cours de Pathologie interne à la Faculté de médecine de Montpellier. *Quatrième édition*, revue et considérablement augmentée. 2 vol. grand in-8°, avec 122 figures et 33 planches dont 15 en chromo et 10 en héliogravure. . . . . 45 fr.

**Précis d'Obstétrique**

Par MM. A. RIBEMONT-DESSAIGNES, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris, accoucheur de l'hôpital Beaujon, et G. LEPAGE, chef de clinique obstétricale à la Faculté de Médecine. 1 fort vol. in-8° de 1300 pages avec 450 figures dans le texte . . . . . 30 fr.

**Précis d'Hygiène privée et sociale**

Par A. LACASSAGNE, professeur de médecine légale à la Faculté de Lyon. *Troisième édition*, revue et augmentée. 1 vol. in-16 diamant, cartonné à l'anglaise, tranches rouges . . . . . 7 fr.

parus depuis le 1<sup>er</sup> Janvier 1894

TRAITÉ  
DES MALADIES DES YEUX

Par Ph. PANAS

Professeur de clinique ophtalmologique à la Faculté de Médecine  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu — Membre de l'Académie de Médecine

2 vol. gr. in-8° avec 453 fig. et 7 pl. coloriées, cartonnés. . . . 40 fr.

Dans cet ouvrage, l'auteur s'est attaché à donner d'une façon concise l'état actuel de la science ophtalmologique que en prenant pour base la clinique sans négliger l'enseignement et les recherches de laboratoire. — Le premier volume comprend l'anatomie, la physiologie, l'embryologie, l'optique et la pathologie du globe de l'œil. — Le second contient ce qui a trait à la musculature, aux paupières, aux voies lacrymales, à l'orbite et aux sinus cranio-faciaux ; le tout envisagé au point de vue de l'anatomie, de la physiologie et de la pathologie. En un mot, essentiellement pratique, ce livre s'adresse autant aux étudiants qu'aux ophtalmologues de profession.

Leçons de Thérapeutique

Par le Dr Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris, Membre de l'Académie de médecine.

**Les Agents physiques :** agents thermiques, électricité, modifications de la pression atmosphérique, climats et eaux minérales, 1 vol. in-8° avec nombreuses fig. dans le texte et une carte des eaux minérales et des stations climatiques. . . . . 12 fr.

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE  
D'HYDROTHÉRAPIE MÉDICALE

Par le Dr F. BORREY, médecin de l'établissement de Divonne, ancien interne des hôpitaux de Paris et de la Salpêtrière, 1 vol. in-8°. 10 fr.

*Extrait de l'Introduction.* — L'Hydrothérapie ne se compose pas exclusivement de l'instrumentation et des appareils employés dans les établissements spéciaux. Elle possède comme moyens d'action une foule de procédés différents et variés que l'on peut mettre en œuvre non seulement dans un établissement, mais encore au domicile même des malades ; et « hydrothérapie » n'est pas uniquement synonyme de « douches », ainsi que beaucoup le croient.

C'est dans le but d'étudier, d'une façon aussi pratique que possible, les divers procédés de la méthode hydrothérapique, les actions thérapeutiques qu'ils déterminent et les indications auxquelles ils répondent, que nous avons écrit ce livre. Nous espérons avoir éclairci, dans une certaine mesure, les obscurités ou les points douteux qui règnent encore sur l'interprétation théorique des effets de l'hydrothérapie ou sur les applications pratiques de la méthode.

# REVUE DES SCIENCES

Et de leurs Applications aux Arts et à l'Industrie

*Journal Hebdomadaire Illustré*

MÉDAILLÉ EN OR EN CHEF

Gaston TISSANDIER



VINGT-DEUXIÈME ANNÉE

44 VOLUMES

Publiés

Recettes et Prorédés Utiles

Récréations Scientifiques

Actualités Scientifiques

Boîte aux Lettres

Les Abonnements et Renouvellements sont reçus

à la Librairie G. MASSON

120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

Un an : Paris, 20 fr. Départements, 25 fr. Union postale, 26 fr.

Six mois : Paris, 10 fr. — Départements, 12 fr. 50 — Union postale, 13 fr.

Le Numéro : 50 Centimes

PRIX

d'Abonnements :

Renouvellement d'Abonnement au 1<sup>er</sup> Décembre 1894

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

WAGNER, FISCHER et L. GAUTIER

TRAITÉ  
DE CHIMIE INDUSTRIELLE

A l'usage des Chimistes, des Ingénieurs, des Industriels, des Fabricants de produits chimiques, des Agriculteurs, des Écoles d'arts et manufactures et d'arts et métiers, etc., etc. Troisième édition française entièrement refondue, publiée d'après la treizième édition allemande. Deux beaux volumes grand in-8° formant ensemble 1760 pages avec 736 gravures dans le texte. 30 fr.

S'il est un livre qui s'impose aux fabricants, aux ingénieurs, aux chimistes et à tous ceux qui étudient, c'est certainement celui qui peut non seulement les initier aux difficultés de leur art, mais encore les tenir au courant des progrès de la science et de l'industrie.

Faire l'historique de ces industries, les grouper méthodiquement, en donner les secrets et les procédés, désire en un mot l'ensemble de toutes les industries chimiques, tel est le but de cet ouvrage.

Le *Tome premier* comprend la métallurgie chimique, les matières et produits inorganiques, les matières et produits organiques.

Le *Tome second* comprend la fabrication du verre, des substances alimentaires, la technologie chimique des fibres textiles, les industries diverses, les combustibles et appareils de chauffage, les matières éclairantes et l'éclairage.

COURS  
DE CHIMIE ORGANIQUE

Par M. **Wachsner de Coninck**, professeur-adjoint à la Faculté de Montpellier, membre du Conseil académique. *Tome second.*

*Chimie des fonctions*, série aromatique, 1 vol. in 8° de 275 pages. Prix . . . . . 8 fr.

Prix des deux volumes . . . . . 20 fr.

Ce volume renferme l'étude complète de la série aromatique; on y trouve aussi d'intéressants renseignements sur les matières colorantes les plus importantes. Mais ce qui, croyons-nous, fera l'intérêt du tome II, est l'appendice, consacré tout entier à l'étude des alcaloïdes, des ptomaines, des leucomaines. L'auteur, qui s'est fait connaître par de nombreuses recherches sur les bases pyridiques et quinoléiques, sur les ptomaines pyridiques, etc., avait qualité pour traiter cette question à un point de vue général.

Citons la dernière leçon où se trouve reproduit, d'après Gamaléïa, l'historique de la découverte des ptomaines; le savant auteur russe rend pleine justice aux découvertes des biologistes et chimistes français, et notamment à celles de l'auteur.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

LE  
**CONSTRUCTEUR**

PRINCIPES, FORMULES, TRACÉS, TABLES ET RENSEIGNEMENTS  
POUR L'ÉTABLISSEMENT

**DES PROJETS DE MACHINES**

A l'usage des Ingénieurs, Constructeurs, Architectes, Mécaniciens, etc.

Par **F. REULEAUX**

TROISIÈME ÉDITION FRANÇAISE

Par **A. DEBIZE**

Ingénieur en chef des Manufactures de l'Etat

1 vol. in-8 de 12 pages avec 1184 grav. dans le texte. **30 fr.**

Deux éditions successivement épuisées prouvent l'accueil qu'a reçu cet ouvrage et les services qu'il a rendus.

La première partie qui comprend la **Résistance des Matériaux** donne, sous une forme très simple, toutes les formules dont l'emploi peut présenter quelque utilité dans la pratique. Ces formules se trouvent du reste accompagnées de figures et d'observations indiquant clairement les conditions dans lesquelles elles sont applicables; leur usage se trouve, en outre, facilité par une série d'exemples, convenablement choisis.

La seconde partie est consacrée à l'exposé des principes de la **Graphostatique** avec des exemples de son application à la construction des bâtiments et à celle des machines.

La troisième partie est relative à la **Construction des éléments de machines**. Elle est de beaucoup la plus développée, puisque chaque organe tel que les bielles, les traverses, les roues dentées, les transmissions, etc., etc., est l'objet d'un chapitre.

Enfin la quatrième partie renferme une **Série de tables** reproduisant sous une forme commode, divers éléments de calculs, dont le constructeur a constamment besoin, tels que tracés de courbes, surfaces, volumes, moments d'inertie, racines, etc.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

---

**Traité de Zoologie** par EDMOND PERRIER, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. 2 volumes grand in-8° de 1800 pages avec 1500 gravures dans le texte . . . 40 fr.

---

**Traité de Botanique** par PH. VAN TIEGHEM, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire Naturelle. Deuxième Edition revue et augmentée. Tome I. Botanique générale. Tome II. Botanique spéciale. 2 volumes grand in-8°, de 1856 pages, avec 1213 gravures dans le texte. . . 30 fr. »

---

**Éléments de Botanique** par PH. VAN TIEGHEM, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire Naturelle. Deuxième Edition. 2 volumes in-18 jésus de 1050 pages avec 550 gravures dans le texte . . . . . 10 fr. »

---

**Traité de Géologie** par A. DE LAPPARENT, ancien ingénieur au corps des mines, professeur à l'Institut catholique de Paris. Troisième Edition entièrement revue. 2 volumes grand in-8° de 1660 pages avec 700 gravures dans le texte . . . . . 24 fr. »  
*Ouvrage couronné par l'Institut de France.*

---

**Abrégé de Géologie** par A. DE LAPPARENT, ancien ingénieur au corps des mines, professeur à l'Institut catholique de Paris. Deuxième Edition entièrement refondue. 1 vol. in-18 de 280 pages avec 134 gravures et 1 carte géologique de la France chromolithographiée . . . . . 3 fr. 25

---

**Cours élémentaire de Géologie Stratigraphique** par CH. VÉLAIN. Quatrième Edition entièrement refondue. 1 vol. in-18 de 576 pages avec 435 gravures dans le texte et une carte géologique de la France imprimée en couleur. 4 fr. 50

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS  
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

# COURS DE PHYSIQUE

DE  
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUR,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et  
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE  
COMPLET) . . . . . 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 fig.  
et 1 planche . . . . . 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures . . . . . 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie. Dilatations*; avec 98 fig. . . . . 5 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches . . . . . 5 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*;  
avec 47 figures . . . . . 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures. . . . . 4 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 plan-  
ches. . . . . 4 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et*  
*colorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont  
2 planches de spectres en couleur . . . . . 14 fr.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans  
les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules;  
Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

**TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.**

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 fig. et 1 planche . . . . . 7 fr.  
 2<sup>e</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 fig. et 1 planche . . . . . 6 fr.

**TOME IV. — (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.**

- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction*; avec 240 figures. . . . . 8 fr.  
 4<sup>e</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 fig. et 1 pl. . . . . 5 fr.

**TABLES GÉNÉRALES.**

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891 . . . . . 60 c.*

*Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.*

**ANDRIEU (Pierre),** Chimiste agronome. — **Le vin et les vins de fruits. Analyse du moût et du vin. Vinification. Sucrage. Maladies du vin. Étude sur les levures de vin cultivées. Distillation.** In-8 de 380 pages, avec 78 figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**ARNOUX (Gabriel),** ancien Officier de Marine. — **Essais de Psychologie et de Métaphysique positives. — Arithmétique graphique. — Les espaces arithmétiques hypermagiques.** Grand in-8, avec figures et 1 planche en couleur; 1894. Papier Hollande, 12 fr., Vêlin. . . . . 6 fr.

**BARILLOT (Ernest),** Expert-Chimiste près les Tribunaux, Membre de la Société chimique de Paris. — **Traité de Chimie légale. Analyse toxicologique. Recherches spéciales.** In-8, avec figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**BOUSSAC,** inspecteur général des Postes et Télégraphes. — **Construction des lignes électriques aériennes. (Ecole Professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes).** Ouvrage complété par E. MASSIN, ingénieur des Télégraphes. Grand in-8, avec 201 figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**GIRARD (Aimé).** — **Recherches sur la culture de la pomme de terre industrielle et fourragère.** 2<sup>e</sup> édition. Un volume de texte grand in-8 avec figures et Atlas contenant 6 belles planches en héliogravure; 1891 . . . . . 8 fr.

*On vend séparément :*

Texte. . . . . 3 fr. 75 | Atlas . . . . . 5 fr.

**HERZBERG (Wilhelm),** Directeur du Bureau Royal d'Analyse des papiers à Berlin. — **Analyse et essais des papiers, suivis d'une Étude sur les papiers destinés à l'usage administratif en Prusse (Normal-Papier), par Carl Hoffmann,** ingénieur civil, Directeur de la *Papier Zeitung*. Ouvrage avec figures et 2 planches; 1894. . . . . 5 fr.

**MANNHEIM (Le Colonel A.),** Professeur à l'École Polytechnique. — **Principes et Développements de la Géométrie cinématique. Ouvrage contenant de nombreuses applications à la théorie des surfaces.** In-4, avec 186 figures; 1894. . . . . 25 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE  
DES TRAVAUX PUBLICS  
ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

FONDÉES PAR

M. M.-C. LECHALAS

Inspecteur général des Ponts et Chaussées

**BRICKA (C.)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'Etat. — **Cours de Chemins de fer, professé à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées**. 2 beaux volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.)

TOME I : *Etudes*. — *Construction*. — *Voie et appareils de voie*. Avec 326 figures, 1894 . . . . . 20 fr.

TOME II : *Matériel roulant*. — *Traction*. — *Exploitation technique*. — *Exploitation commerciale*. — *Tarifs*. — *Régime des concessions*. — *Dépenses de construction et d'exploitation*. — *Appendice : Chemins de fer de systèmes divers*; 1894 (Paraitra à la fin de 1894).

L'éminent ingénieur Sévèné, qui a longtemps professé le Cours de Chemins de fer à l'Ecole des Ponts et Chaussées, avait fait autographier ses Leçons; mais cet Ouvrage est épuisé depuis longtemps, — et d'ailleurs, si grande qu'ait été sa valeur, il ne serait plus au courant des progrès réalisés depuis cette époque. Aussi M. Bricka a-t-il rendu un service signalé à tous ceux qui s'intéressent à l'art de l'ingénieur en publiant l'Ouvrage considérable que nous annonçons et qui contient non seulement les matières du cours oral, mais beaucoup de questions et bien des détails que les Leçons ne peuvent donner.

Cette œuvre émane d'un homme qui a beaucoup fait, beaucoup vu faire, et qui maintenant dirige l'un des grands services des Chemins de fer de l'Etat, en même temps qu'il enseigne à nos futurs ingénieurs la plus difficile des parties de leur art. C'est dire qu'elle apporte une puissante contribution à toutes les questions relatives aux Chemins de fer.

**Titres des Chapitres** : *Etudes préliminaires*. *Etudes définitives*. *Construction*. *Bâtiments*. *Présentation des projets*. *Voie proprement dite*. *Appareils de voie*. *Sigaux et enlacements*. *Prix des principaux appareils de voie*. *Entretien et surveillance*. *Annexes*. *Lois, décrets et ordonnances*. *Cahier des charges*. *Conditions d'épreuves*. *Notes sur les procédés d'injection des traverses*.

**CRONEAU (A.)**, Ingénieur de la Marine, Professeur à l'Ecole d'application de Génie maritime. — **Architecture navale**. — **Construction pratique des navires de guerre**. 2 volumes gr. in-8° se vendant séparément. (E. T.)

TOME I : *Plans et devis*. — *Matériaux*. — *Assemblages*. — *Différents types de navires*. — *Charpente*. — *Revêtement de la coque et des ponts*. Gr. in-8, avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl.; 1894, . . . . . 18 fr.

TOME II : *Cloisonnement*. — *Cuirassement*. — *Ouvertures percées dans la coque, les ponts et les cloisons*. — *Ventilation*. — *Services d'eau*. — *Gouvernails*. — *Poids et résistance des coques*. — *Préservatifs des corrosions*. Grand in-8, avec nombreuses figures; 1894, paraitra à la fin de 1894. . . . . 12 fr.

**DENFER (J.)**, Architecte, Professeur à l'École Centrale. — **Architecture et constructions civiles. — Couvertures des édifices. — Ardoises, tuiles, métaux, matières diverses, cheneaux et descentes.** Grand in-8 de 469 pages, avec 423 figures; 1893. (E. T. P.). . . . . 20 fr.

M. Denfer est connu par les grands travaux qu'il a exécutés à Paris et en province et par le succès de ses ouvrages précédents : *Maçonnerie; Charpente en bois et menuiserie.*

La *Couverture des édifices* est une de ces monographies de spécialités destinées à rester longtemps classiques, tant elles sont complètes, claires, bien illustrées de dessins exacts pouvant servir dans les applications. Elle se divise en huit chapitres dont voici les titres :

CHAP. I : *Considérations générales.* — CHAP. II : *Couvertures en ardoises.* — CHAP. III : *Couvertures en pierres, ciments et asphaltes.* — CHAP. IV : *Couvertures en tuiles.* — CHAP. V : *Couvertures en verre.* — CHAP. VI : *Couvertures métalliques.* — CHAP. VII : *Couvertures en matériaux ligneux.* — CHAP. VIII : *Gouttières, cheneaux et accessoires de couverture.*

La couverture des maisons est certainement la partie qui, généralement, laisse le plus à désirer, en même temps que celle dont les déficiences influent le plus sur les frais d'entretien des immeubles. On peut dire, à ce double point de vue, que l'ouvrage de M. Denfer rendra les plus grands services aux propriétaires et aux architectes, en même temps qu'aux entrepreneurs et ouvriers des spécialités diverses se rattachant au sujet.

**DENFER (J.)**, Architecte, professeur à l'École Centrale. — **Architecture et constructions civiles. — Charpenterie métallique. Menuiserie en fer et serrurerie.** — 2 beaux volumes se vendant séparément. (E. T. P.).

TOME I : *Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poteaux. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer.* Grand in-8 de 584 pages, avec 470 figures; 1894. 20 fr.

TOME II : *Paraîtra à la fin de 1894.*

**HENRY (Ernest)**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées. — **Ponts sous-raills, Ponts-routes et travées métalliques indépendantes, Formules, Barèmes et Tableaux.** *Calculs rapides des moments fléchissants et efforts tranchants pour les ponts supportant des voies ferrées de largeur normale, des voies de un mètre, des routes et chemins vicinaux.* Grand in-8, avec 267 figures; 1894 . . . . . 20 fr.

Cet ouvrage a pour but de supprimer les recherches, les calculs ou les épures qui comportent actuellement la détermination des moments fléchissants et des efforts tranchants. Les charges roulantes prévues, tant pour les ponts sous-raills que pour les ponts-routes, sont celles qui ont été prescrites par le règlement ministériel du 29 août 1891. Les moments fléchissants et les efforts tranchants sont fournis, suivant les cas, soit par des formules simples ou des constructions faciles, soit par des tableaux qui les donnent tout calculés, à des intervalles égaux au dixième de la longueur de la poutre, pour des portées variant de mètre en mètre jusqu'à 100<sup>m</sup>, en ce qui concerne les chemins de fer à voie large, et jusqu'à 75<sup>m</sup> en ce qui concerne les chemins de fer à voie de 1<sup>m</sup> ainsi que les voies de terre.

**LECHALAS (Georges)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — **Manuel de droit administratif. Service des Ponts et Chaussées et des chemins vicinaux.** 2 volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.).

TOME I : *Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principe d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations, Dommages et occupations temporaires;* 1889. . . . . 20 fr.

TOME II (1<sup>re</sup> PARTIE) : *Participation des tiers aux dépenses des travaux publics. Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions;* 1893. . . . . 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS  
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose d'environ 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

À côté d'ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourrier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## EXTRAIT DU CATALOGUE.

- Aide-Mémoire de Photographie** pour 1894, publié depuis 1876 sous les auspices de la Société photographique de Toulouse, par C. FABRE. In-18, avec figures et spécimens. Broché .. 1 fr. 75 c, cart. 2 fr. 25.
- Annuaire général de la Photographie pour 1894**, (3<sup>e</sup> année), publié avec le concours de MM. H. Fourrier, Ch. Gravier, G. Marschal, L. Vidal, Wallon, etc. Un volume in-8<sup>o</sup> de 500 pages environ, illustré de nombreuses gravures. Prix 3 fr. 50. c. ; franco, 4 fr. 50 c.
- Colson (R.)**. — *La perspective en Photographie*. In-18 Jésus, avec figures : 1894 . . . . . 1 fr. 25
- Conférences publiques sur la Photographie théorique et technique**, organisées en 1891-1892, par le Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers. In-8, avec 198 figures, et 9 planches ; 1893 . . . . . 7 fr. 50
- Conférences de MM. le Colonel Lanssedat, Davanne, Demény, Lippmann, Janssen, le Capitaine Colson, Fabre, Cornu, Londe, le Commandant Fribourg, Vidal, Wallon, Trutat, Duchesne, le Commandant Moëssard, Becquerel, Gravier, Balagoy, Buguet.**
- Courrèges (A.)**, Praticien. — *Ce qu'il faut savoir pour réussir en Photographie*. Petit in-8 ; 1894 . . . . . 2 fr. 50
- Davanne**. — *La Photographie. Traité théorique et pratique*. 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.  
*Chaque volume se vend séparément 16 francs*
- Donnadieu (A. L.)**, Docteur ès sciences. — *Traité de Photographie stéréoscopique. Théorie et pratique*. Grand in-8 avec figures et atlas de 20 planches stéréoscopiques en photocollographie ; 1892. . . 9 fr.
- Dumoulin**. — *Les couleurs reproduites en Photographie*. Historique. Théorie et pratique. 2<sup>e</sup> édit., in-18 Jésus ; 1894 . . . . . 4 fr. 50
- Fabre (C.)**, Docteur ès sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie*. 4 beaux volumes gr. in-8, avec plus de 700 figures et 2 planches ; 1889 1891 . . . . . 48 fr. »»

*Chaque volume se vend séparément 14 fr.*

Tous les trois ans, un Supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

**Premier Supplément triennal (A)**. Un beau volume grand in-8 de 400 pages, avec 176 figures ; 1892. . . . . 14 fr.

*Les 5 volumes se vendent ensemble 60 fr.*

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

- Ferret (l'abbé).** — *La Photographure sans Photographie.* In-18 jésus; 1894. . . . . 4 . . . . . 1 fr. 25
- Fourtler (H.).** — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique, contenant une Etude méthodique des divers corps usités en Photographie, précédé de Notions usuelles de Chimie et suivi d'une Description détaillée des Manipulations photographiques.* Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 8 fr. »
- Fourtler (H.) et Molteni (A.).** — *Les projections scientifiques. Etude des appareils, accessoires et manipulations diverses pour l'enseignement scientifique par les projections.* In-18 jésus de 300 pages avec 113 figures; 1894. Broché, 3 fr. 50. Cartonné. . . . . 4 fr. 50
- Geymet.** — *Traité pratique de Photographie. Eléments complets, méthodes nouvelles. Perfectionnements. 4<sup>e</sup> édition revue et augmentée par Eugène Dumoulin.* In-18 jésus; 1894 . . . . . 4 fr.
- Horsley-Hinton.** — *L'art photographique dans le paysage. Etude et pratique.* Traduit de l'anglais par H. COLARD. Grand in-8, avec 11 planches, 1894 . . . . . 3 fr.
- Karl (Van).** — *La Miniature photographique. Procédé supprimant le ponçage, le collage, le transparent, les verres bombés et tout le matériel ordinaire de la Photominature, donnant sans aucune connaissance de la peinture les miniatures les plus artistiques.* In-18 jésus . . . . . 0 fr. 75
- Koehler (D<sup>r</sup> R.).** — *Applications de la Photographie aux Sciences naturelles.* Petit in-8, avec figures; 1893. Broché, 2 fr. 50. Cartonné toile anglaise. . . . . 3 fr.
- Londe (A),** Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *La Photographie instantanée.* 2<sup>e</sup> édit. In-18 jés. avec fig.; 1890. . . . . 2 fr. 75  
 — *Traité pratique du développement. Etude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi.* 2<sup>e</sup> édition. In-18 jésus, avec figures et 4 doubles planches en photocollographie; 1892 . . . . . 2 fr. 75  
 — *La photographie médicale. Applications aux sciences médicales et physiologiques.* Grand in-8, avec 80 figures et 19 planches; 1893 9 fr.
- Martin (Ad.).** — *Méthode directe pour la détermination des courbures des objectifs de Photographie.* Grand in-8 avec figures; 1894 . . . . . 2 fr.
- Rouillé-Ladevèze.** — *Sépia-photo et sanguine-photo.* In-18 jésus; 1894. . . . . 75 c.
- Trutat (E.).** — *La Photographie en montagne.* In-18 jésus, avec figures et 1 planche; 1894 . . . . . 2 fr. 75
- Vidal (Léon).** — *Traité de Photolithographie. Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photo-collographie. Auto-graphie. Photographie sur bois et sur métal à graver.— Tours de main et formules diverses.* In-18 jésus, avec 25 figures, 2 planches et spécimens de papiers autographiques; 1893. . . . . 6 fr. 50
- Vieuille.** — *Nouveau guide pratique du photographe amateur.* 3<sup>e</sup> édit. refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus avec fig.; 1892. 2 fr. 75
- Wallon (E.).** — *Choix et usage des objectifs photographiques.* Petit in-8 avec 25 fig; 1893. Broché, 2 fr. 50. Cartonné toile angl. . . . . 3 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

- Appell (Paul)**, Membre de l'Institut. — **Traité de Mécanique rationnelle.** (Cours de Mécanique de la Faculté des Sciences). 3 volumes grand in-8, se vendant séparément.  
 TOME I : *Statique. Dynamique du point*, avec 178 fig. ; 1893. 16 fr.  
 TOME II et TOME III : (sous presse).
- Appell (Paul)**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, et **Goursat (Edouard)**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure. — **Théorie des fonctions algébriques et de leurs intégrales. Étude des fonctions analytiques sur une surface de Riemann.** Grand in-8, avec figures ; Prix pour les souscripteurs . . . . . 14 fr.  
 Le premier fascicule (x-236 pages) a paru.
- Chappuis (J.)**, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **Berget (A.)**, Docteur en sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès sciences physiques.** 3 volumes grand in-8 se vendant séparément : TOME I : *Instruments de mesure. Chaleur.* Avec 175 figures ; 1891 . . . . . 13 fr.  
 TOME II : *Électricité et Magnétisme.* Avec 305 figures ; 1891. . . . . 13 fr.  
 TOME III : *Acoustique. Optique ; Electro-optique.* Avec 193 figures ; 1892 . . . . . 10 fr.
- Chevrot (René)**, Ancien Directeur d'Agence de la Société Générale et du Crédit Lyonnais. — **Pour devenir financier. Traité théorique et pratique de Banque et de Bourse.** In-8 ; 1893 . . . . . 6 fr.
- Cundill (J.-P.)**, Lieutenant-Colonel de l'Artillerie royale anglaise, Inspecteur des Explosifs. — **Dictionnaire de explosifs.** Édition française remaniée et mise à jour avec le concours de l'Auteur par E. DESORTIAUX, Ingén. des Poudres et S. Grand in-8 ; 1893. 6 fr.
- Garçon (Jules)**. — **La pratique du teinturier.** 3 volumes in-8, se vendant séparément.  
 TOME I : *Les méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture ;* 1893 . . . . . 3 fr. 50  
 TOME II : *Le matériel de teinture.* (Sous presse.)  
 TOME III : *Les recettes et procédés spéciaux de teintures.* (S. P.).
- Janet (Paul)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble. — **Premiers principes d'électricité industrielle. Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.** In-8, avec 173 fig. ; 1893. . . . . 6 fr.
- Miquel**. — **Manuel pratique d'Analyse bactériologique des eaux.** In-18 Jésus, avec figures ; 1891 . . . . . 2 fr. 75
- Rodet et Busquet**, Ingénieurs des Arts et Manufactures. — **Les courants polyphasés.** Grand in-8, avec 71 figures ; 1893 . . . . . 3 fr. 50
- Thomson (Sir William) [Lord Kelvin]**, — **Conférences scientifiques et allocutions. Constitution de la matière.** Ouvrage traduit et annoté sur la 2<sup>e</sup> édition, par P. LÉCOL, Agrégé des Sciences physiques, professeur ; avec des *Extraits de Mémoires récents de Sir W. Thomson et quelques Notes* par M. BRILLOUIN, Maître de Conférences à l'École Normale. In-8, avec 76 figures ; 1893 . . . . . 7 fr. 50
- Witz (Aimé)**. — **Problèmes et calculs pratiques d'électricité.** — (L'ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE). In-8, avec 51 figures ; 1893. 7 fr. 50

# TRAITEMENT DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

DE LA PLEURÉSIE D'ORIGINE TUBERCULEUSE  
ET DES BRONCHITES AIGUES ET CHRONIQUES

par le

## GAIACOL IODOFORMÉ SÉRAFON

Et le Gaïacol-Eucalyptol Iodoformé Sérafon

En solutions pour injections hypodermiques  
et en capsules pour l'usage interne

PRÉPARATION ET VENTE EN GROS : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11, rue de la Perle, Paris.

### ALIMENTATION

DES

### MALADES

PAR LES

### POUDRES

DE

*Viande*

### ADRIAN

La **POUDRE de BIFTECK ADRIAN** (garantie pure viande de bœuf français) est aussi inodore et insipide qu'il est possible de l'obtenir en lui conservant les principes nutritifs de la viande. C'est exactement de la chair musculaire privée de son eau, gardant sous un volume très réduit et sous un poids quatre fois moindre, toutes ses propriétés nutritives, et chose importante, n'ayant rien perdu des principes nécessaires à l'assimilation de l'aliment.

*Se vend en flacons de 250 500 gr.  
et 1 kil.*

La **POUDRE DE VIANDE ADRIAN**, d'un prix moins élevé que la poudre de bifeck, ce qui en permet l'emploi aux malades peu fortunés est garantie pure viande de bœuf d'Amérique.

*boîtes de 250. 500 gr. et 1 kil.*

LA

## QUASSINE ADRIAN

essentiellement différente de toutes celles du commerce, est la SEULE dont les effets réguliers aient été constatés. Elle excite l'APPÉTIT, développe les FORCES, combat efficacement les DYSPÉPSIES ATONIQUES, les COLIQUES HÉPATIQUES et NÉPHRÉTIQUES. (Bulletin général de thérapeutique, 15 novembre 1882).

**Dragées** contenant 25 milligrammes de Quassine amorphe.

**Granules** — 2 — Quassine cristallisée.

## ANÉMIE

Dans les cas de CHLOROSE et d'ANÉMIE rebelles aux moyens thérapeutiques ordinaires les préparations à base

## CHLOROSE

## D'HÉMOGLOBINE SOLUBLE

DE V. DESCHIENS

Épuisement

ont donné les résultats les plus satisfaisants. Elles ne constipent pas, ne noircissent pas les dents et n'occasionnent jamais de maux d'estomac comme la plupart des autres ferrugineux.

Se vend sous la forme de

*Affaiblissement  
général*

### SIROP, VIN, DRAGÉES ET ELIXIR

préparés par ADRIAN et Cie, 9 rue de la Perle, Paris.

---

## CAPSULES DE TERPINOL ADRIAN

Le TERPINOL a les propriétés de l'essence de Térébenthine dont il dérive, mais il est plus facilement absorbé et surtout *très bien toléré*, ce qui le rend précieux.

Il n'offre pas, comme l'essence de Térébenthine, l'inconvénient grave de provoquer chez les malades des nausées, souvent même des vomissements.

Le TERPINOL est un diurétique et un puissant modificateur des sécrétions catarrhales (bronches, reins, vessie).

Le TERPINOL ADRIAN s'emploie en capsules de 20 centigrammes (3 à 6 par jour).

---

## TRAITEMENT de la SYPHILIS par les PILULES DARDENNE

POLY-IODURÉES SOLUBLES

SOLUBLES dans tous les liquides servant de boisson (Eau, lait, café, vin, bière, etc.) elles peuvent être prises en pilules ou transformées par les malades, en solutions ou en sirops, au moment d'en faire usage.

**Premier type** (type faible)

(Syphilis ordinaire 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année)

2 pilules par jour correspondent à une cuillerée à soupe de  
*Sirop de Géberty*

**Quatrième type** (type fort)

(accidents tertiaires, viscéraux et cutanés)

8 pilules par jour correspondent à un centig. bi-iodure de mercure et à 4 grammes iodure de potassium.

**Vente en Gros: Société Française de Produits Pharmaceutiques,  
9 et 11 rue de la Perle, PARIS.**

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in 8 (3 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50 ; CARTONNÉ, 3 FR.

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU. — Distribution de l'électricité. Installations isolées.  
A. GOULLY. — Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.  
DUQUESNAY. — Résistance des matériaux.  
DWELSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.  
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur.  
MAGNIER DE LA SOURCE. — Analyse des vins.  
ALHEILIG. — Recette, conservation et travail des bois.  
R.-V. PICOU. — La distribution de l'électricité. Usines centrales  
ARMÉ WITZ. — Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.  
LUNDET. — La bière.  
TH. SCHLESING fils. — Nitrates de chimie agricole.  
SAUVAGE. — Divers types de moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER. — Le Grisou.  
MADAMET. — Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent.  
DUBOUR. — Appareils d'essais silencieux à vapeur.  
CRONEAU. — Canon, torpilles et cuirasse.  
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.  
LECOMTE. — Les textiles végétaux.  
ALHEILIG. — Corderie. Cordages en chanvre et en fils métalliques.  
DE LAUNAY. — Formation des gîtes métallifères.  
BERTIN. — État actuel de la marine de guerre.  
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.  
BERTHELOT. — Traités pratiques de calorimétrie chimique.  
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.  
LANGLOIS. — Le lait.  
MADAMET. — Epures de régulation.  
GUILLAUME. — Unités et étalons.  
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.

### Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires. Méthodes d'exploration. Signes physiques.  
MAGNAN et SÉRIKUX. — Le délire chronique à évolution systématique.  
AUVARD. — Gynécologie. — Séméiologie génitale.  
G. WEISS. — Technique d'électrophysiologie.  
BAZY. — Maladies des voies urinaires. — Urètre. Vessie.  
WURTZ. — Technique bactériologique.  
TROSSEAU. — Ophtalmologie. Hygiène de l'œil.  
FÈRE. — Epilepsie.  
LAVERAN. — Paludisme.  
POLIN et LABIT. — Examen des aliments suspects.  
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine. Action moléculaires, Acoustique, Électricité.  
AUVARD. — Menstruation et fécondation.  
MEGNIN. — Les acariens parasites.  
DEMPLEIN. — Anatomie obstétricale.  
CUCNOT. — Les moyens de défense dans la série animale.  
A. OLIVIER. — La pratique de l'accouchement normal.  
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
CHARRIN. — Les poisons de l'organisme. Poisons du fœtus.  
ROGER. — Physiologie normale et pathologique du foie.  
BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie. Pathologie générale cutanée.  
HANOT. — De l'endocardite aiguë.  
WIEILL MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.  
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. — Maladies climatiques et infectieuses.  
BROCA. — Le traitement des ostéo-arthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.  
DU CAZAL ET CATRIN. — Médecine légale militaire.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

*Ouvrages parus et en cours de publication*

## Section de l'Ingénieur

- MINEL (P.). — Électricité industrielle.  
LAVERGNE (Gérard). — Turbines.  
HÉBERT. — Boissons falsifiées.  
NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières  
H. LAURENT. — Théorie des jeux de hasard.  
GURNEZ. — Décoration au feu de moufle.  
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétoles.  
MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.  
BLOCH. — Appareils producteurs d'eau sous pression.  
WALLON. — Objectifs photographiques.  
DE LAUNAY. — Statist. générale de la production métallifère.  
DWELSHAUVERS-DERY. — Etude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.  
CRONEAU. — Construction du navire.  
CASPARI. — Chronomètres de marine.  
ALHEILIG. — Construction et résistance des machines à vapeur.  
P. MINEL. — Électricité appliquée à la marine.  
H. LÉAUTÉ et A. BÉBARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
P. MINEL. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
PRUDHOMME. — Teinture et impressions.  
DE MARCHENA. — Machines frigorifiques à air.  
AIMÉ WITZ. — Les moteurs thermiques.  
ETARD. — Les nouvelles théories chimiques.  
GUYE (Ph.-A.). — Matières colorantes.  
HOSPITALIER (E.). — Les compteurs d'électricité.  
EMILE BOIRE. — La sucrerie.  
MOISSAN et OUVIARD. — Le nickel, sa production et ses applications.  
ROUCHÉ. — La perspective.  
LE VERRIER. — La fonderie.  
SEYRIG. — Statist. graphique.  
C<sup>t</sup> BASSOT et C<sup>t</sup> DRFFORGES. — Géodésie.  
DRLAFOND. — Recherche des gîtes de houille.  
DE LA BAUME PLUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.  
J. RESAL. — Emploi des métaux et du bois dans les constructions.  
GARNIER et GODARD. — Montage et conduite des machines à vapeur.

## Section du Biologiste

- LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.  
KOEHLER. — Application de la Photographie aux Sciences naturelles.  
DE BRUN. — Maladies des pa s chauds. — Maladies de l'appareil digestif, des lymphatiques et de la peau.  
BEAUREGARD. — Le microscope et ses applications.  
BRUCQ ET JACQUET. — Précis élémentaire de Dermatologie. — Différentes cutanées. Parasites animaux et végétaux.  
LESAGE. — Le Choléra.  
OLIER. — La régénération des os et les résections sous-périostées.  
LANNELONGUE. — La Tuberculose chirurgicale.  
MERKLEN. — Maladies du cœur.  
LETULLE. — L'inflammation.  
CRITZMANN. Le cancer.  
GUENOT. — L'influence du milieu sur les animaux.  
G. ROCHE. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
J. CHATIN. — Anatomie comparée.  
CORNEVIN. — Production du lait.  
BUDIN. — Thérapieutique ob cale.  
BAZY. — Troubles fonctionnels des voies urinaires.  
FAISANS. — Diagnostic précoce de la tuberculose.  
DASTRE. — La Digestion.  
AIMÉ GIRARD. — La betterave à sucre.  
NAPIAS. — Hygiène industrielle et professionnelle.  
GOMBAULT. — Pathologie du bulbe rachidien.  
LEGROUX. — Pathologie générale infantile.  
MARCHANT-GÉRARD. — Chirurgie du système nerveux : Cerveau.  
BERTHAULT. — Les prairies naturelles et temporaires.  
BRAULT. — Myocarde et artères.  
GAMALEIA. — Vaccination préventive.  
ARLOIND. — Maladies charbonneuses.  
NOCARD. — Les Tuberculoses animales et la Tuberculose humaine.  
EDM. FERRIER. — Le Système de culture.  
MATHIAS DUVAL. — La Fécondation.  
BRISAUD. — L'Hémisphère cérébral.  
RECLUS. — Affections des organes génitaux de l'homme.  
HENOCQUE. — Spectroscopie biologique.  
DEHÉRAIN. — Les céréales.  
STRAUS. — Les bactéries.  
A.-J. MARTIN. — Hygiène de l'habitation privée.  
BRUN. — Examen et exploration de l'œil,