



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299052





L'ACCUMULATEUR  
ÉLECTRIQUE  
ET  
SES APPLICATIONS INDUSTRIELLES





# L'ACCUMULATEUR ÉLECTRIQUE

ET

## SES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

TRAITÉ PRATIQUE

A L'USAGE DE L'INGÉNIEUR

PAR LAMAR LYNDON

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR CH. DE VAUBLANC

Ingénieur à la Société Française de l'Accumulateur Tudor.

*F. Nr. 25914*



PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

SUCESSEUR DE BAUDRY ET C<sup>o</sup>

45, RUE DES SAINTS-PÈRES, 45

MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1904

Tous droits réservés.

115382



Akc. Nr. \_\_\_\_\_

5095/56



## PRÉFACE

---

Nous avons été conduits à la publication de ce livre par le besoin évident où l'on se trouvait d'avoir un ouvrage pratique sur les accumulateurs, fait spécialement pour les Ingénieurs électriciens, qui ne sont pas des chimistes, et donnant des détails sur leurs applications techniques. L'accueil chaleureux qui a été fait l'an dernier aux articles publiés sur ce sujet dans l'*Electrical World and Engineer* n'est pas non plus étranger à cette publication.

Nous avons pour but d'aider l'Ingénieur praticien à construire, à installer et à conduire les batteries, et de le guider dans le choix des types de batteries et d'appareillage auxiliaire les mieux appropriés au service qu'ils auront à effectuer. Nous voulons de plus faire comprendre au public technique les avantages que l'on peut tirer des batteries, et en même temps indiquer les limites de leur emploi dans la pratique. Nous avons évité les calculs autant que possible, et lorsque nous avons été forcés de recourir à leur emploi, nous avons effectué complètement les opérations et y avons joint un texte explicatif, de telle sorte que l'on puisse facilement suivre le raisonnement. — De plus, dans bien des cas, chaque discussion est suivie d'un exemple sur des données numériques afin d'en rendre la compréhension plus facile.

Les ouvrages et les journaux qui ont été consultés sont énumérés en détail dans la bibliographie qui suit ; nous avons

utilisé avec profusion tous les renseignements utiles que nous y avons trouvés, et qui entraînent dans le cadre de cet ouvrage ; nous en avons tiré également quelques extraits et des diagrammes.

Nous n'avons pas traité les théories osmiques et thermodynamiques des accumulateurs, leur compréhension exige en effet plus de connaissances électro-chimiques que n'en possèdent la majorité des ingénieurs électriciens. Cet ouvrage veut être avant tout, un manuel pratique de l'Ingénieur.

L'auteur tient à remercier de l'aimable assistance et des encouragements qu'il a rencontrés de divers côtés pendant la préparation de cet ouvrage. Il citera en particulier ceux qui lui sont venus en aide : D<sup>r</sup> Samuel Sheldon, Prof. A.-S. Chessin, A.-S. Hubbart, W.-W. Donaldson, Wolsey Mc. A. Johnson, H.-B. Noses et son frère Edward Lyndon. Les compagnies de la National et de la Gould storage battery, lui ont également donné fort aimablement des renseignements, des courbes et des diagrammes qui augmentent beaucoup la valeur pratique de ce livre.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Recherches sur l'électricité. Gaston PLANTÉ.  
L'accumulateur voltaïque. REYNIER.  
The lead storage battery. D.-G. FITZ-GÉRALD.  
The storage battery. A. TREADWELL.  
Some storage battery phenomena. W.-W. GRISCOM. (*Bulletin de l'American institut of electrical Engineers*, 16 mai 1894.)  
Storage battery Problems. E.-J. WADE. (*Bulletin du British institut of electrical Engineers*, 22 mars, 1900).  
Handbuch der elektrischen accumulators. Paul SHOOP.  
Die theorie des bleiaccumulators. Friederich DOLEZALEK.  
Die accumulatoren. E SIEG.  
Herstellung und verwendung der accumulatoren. F. GRUNWALDT.  
Die accumulatoren fur statunare electriche beleuchtungsanlagen. C. HEIM.  
Die accumulatoren. Johannes ZACHARIAS.

### PÉRIODIQUES

- Electrical World and Engineer.*  
*The electrical review.*  
*The electrician* (Londres).  
*Electrotechnische Zeitschrift.*  
*Central Blatt fur Accumulatoren.*
-



# PREMIÈRE PARTIE

## L'ACCUMULATEUR AU PLOMB

---

### CHAPITRE PREMIER

#### THÉORIE GÉNÉRALE DE L'ACCUMULATEUR

Tout couple voltaïque réversible, c'est-à-dire capable après épuisement d'être régénéré par le passage d'un courant de sens opposé à celui de la décharge, prend le nom d'accumulateur électrique.

Beaucoup de couples remplissent ces conditions, et peuvent être utilisés comme accumulateurs, mais, jusqu'ici, aucun d'eux, à l'exception des couples peroxyde de plomb-plomb, et peroxyde de plomb-zinc, n'ont pu être rendus commercialement utilisables. Dans le courant de la dernière année, Edison a inventé un élément fer-nickel qui pourra avoir de la valeur pour la propulsion des voitures automobiles électriques, mais, pour des raisons données plus loin (p. 84), cet élément ne pourra jamais rivaliser avec l'élément plomb-plomb, ou avec l'élément plomb-zinc, pour le service des usines génératrices.

L'élément plomb-plomb est d'un usage général, c'est le seul employé dans la pratique, aussi nous bornerons-nous dans cet ouvrage à l'étude détaillée de ce type d'éléments.

Les applications techniques et les méthodes d'installation seront les mêmes pour tout autre genre d'éléments, la seule dif-

férence résidera dans le voltage, et dans le nombre d'éléments nécessaires pour une installation donnée.

L'accumulateur plomb-plomb se compose de deux électrodes — positive et négative — et d'électrolyte. L'électrode négative est formée de plomb spongieux (Pb), et l'électrode positive de peroxyde de plomb ( $\text{PbO}^2$ ), leur ensemble forme le couple actif. Ces électrodes sont plongées dans l'électrolyte formé d'acide sulfurique dilué. Les plaques positives et négatives se distinguent facilement les unes des autres par leur couleur. La plaque peroxydée a l'aspect velouté et est de couleur brun chocolat, la plaque de plomb spongieux est gris clair. La dureté de la plaque donne aussi une indication, la matière active positive est en général dure comme de la pierre ponce, tandis que la pâte négative est tendre et se laisse entamer par l'ongle.

Le plomb spongieux n'est pas réellement du plomb métallique, mais bien une forme allotropique de ce métal. Sa conversion en plomb métallique est accompagnée d'un dégagement de chaleur.

Darrius a montré qu'une lame de plomb doux et une lame de plomb peroxydé plongées dans l'acide sulfurique dilué de poids spécifique 1,225 environ, donnent une force électromotrice de 1,46 volt, tandis que dans les mêmes conditions de température, de concentration d'acide, et de disposition des plaques, le plomb spongieux et le peroxyde de plomb formés électrolytiquement donnent une force électromotrice de 1,94 volt.

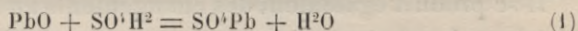
L'on a expliqué clairement de la façon suivante l'action qui se produit dans les accumulateurs :

Quand la batterie est en décharge, le courant électrique passant à travers l'élément décompose l'eau de l'électrolyte, libérant de l'hydrogène et de l'oxygène. Le premier de ces gaz se dégage sur la plaque peroxydée ou positive, tandis que l'oxygène se dégage sur la plaque de plomb spongieux ou négative. L'oxygène et l'hydrogène naissants sont chimiquement plus actifs qu'à l'état stable ordinaire, et se combinent alors plus facilement avec d'autres substances. L'hydrogène naissant se combine avec certaines molécules d'oxygène empruntées au peroxyde de plomb pour former de l'eau ; cette action a pour résultat de réduire le degré d'oxydation du plomb peroxydé, et de le transformer en

oxyde de plomb (PbO). L'oxygène libéré au pôle négatif se combine avec le plomb de la négative pour former de l'oxyde de plomb (PbO). Par conséquent une décharge complète transformerait en un même composé les électrodes positive et négative de l'élément, le couple voltaïque n'existerait plus, et la batterie ne pourrait plus fournir aucune décharge.

Si maintenant l'on soumet la batterie à un courant de charge ou de régénération circulant en sens inverse du courant de décharge, les dégagements gazeux sur l'une et l'autre plaque se trouveront également inversés, de telle sorte que l'oxygène se dégagera sur la plaque positive et l'hydrogène sur la plaque négative. L'oxygène se combinera alors avec l'oxyde de plomb de la positive, lui ajoutera une molécule d'oxygène, et le transformera en peroxyde ; tandis que l'hydrogène se combinera avec la molécule d'oxygène de l'électrode négative pour former de l'eau ; il ne restera donc pas d'oxygène dans la plaque négative qui se trouvera de nouveau transformée en plomb. Lorsqu'elle est complètement transformée, c'est-à-dire chargée, la batterie est donc dans le même état qu'avant la décharge ; elle est par conséquent devenue de nouveau un couple voltaïque actif.

La sulfatation est une action chimique très importante qui se produit pendant la décharge. C'est la transformation de l'oxyde de plomb (PbO) en sulfate de plomb (SO<sup>4</sup> Pb). L'oxyde de plomb ne peut pas exister libre en présence de l'acide sulfurique. Le SO<sup>3</sup> de l'acide se combine avec l'oxyde de plomb pour former du sulfate de plomb. La réaction est la suivante :



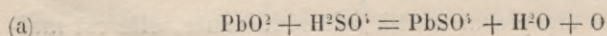
Il est par conséquent évident qu'aussitôt que le peroxyde de plomb de la positive et le plomb spongieux de la négative sont transformés en oxyde de plomb, l'acide sulfurique les transforme à son tour en sulfate de plomb. Cette dernière action est tout à fait indépendante du courant électrique : elle se produirait en plongeant simplement de l'oxyde de plomb dans l'acide sulfurique, tandis que dans les mêmes conditions ni le plomb, ni le peroxyde de plomb ne seraient attaqués.

Cette théorie est simple et tout à fait séduisante, elle est mal-

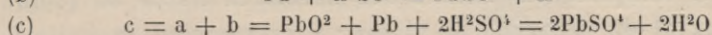
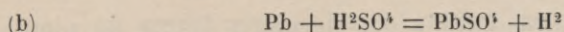
heureusement inexacte ainsi que vont le démontrer les considérations thermo-dynamiques qui suivent. L'oxyde de plomb ne peut pas se transformer chimiquement en sulfate de plomb sans dégagement de chaleur ; cette chaleur représente toute, ou au moins la plus grande partie de l'énergie emmagasinée dans la batterie, et, comme cette énergie est restituée, il est impossible que cette simple combinaison chimique ait lieu. La théorie généralement acceptée actuellement est que le changement du peroxyde de plomb et du plomb spongieux en sulfate de plomb est direct, et s'effectue sans passer par un état intermédiaire. En dehors de cela, le reste de la théorie précédente subsiste.

Le sulfate de plomb est blanc ; il possède une grande résistivité, et est de fait un isolant. Si l'on déchargeait à fond une batterie, de telle sorte que les électrodes soient complètement transformées en sulfate de plomb, cette batterie serait perdue, la réduction du sulfate de plomb pur en Pb ou en  $PbO^2$  étant très difficile sinon impossible. C'est pour cela qu'il y a une limite au delà de laquelle une batterie ne doit jamais être déchargée. Cette limite est telle que la quantité de sulfate formé soit relativement faible, et qu'il reste suffisamment de plomb ou de peroxyde mélangés au sulfate pour diminuer la résistance et permettre au courant de charge de passer pour effectuer la désulfatation. De plus la transformation de  $PbO^2$  ou de Pb en  $PbSO^4$  détermine un accroissement de volume de la matière active, et, si on laisse se former une trop grande quantité de sulfate, l'on risque de voir casser la grille support, ou de voir tomber la matière active.

Il se produit également des changements au sein de l'électrolyte pendant la charge et la décharge. Pendant la charge, le  $SO^3$  combiné avec la matière active pour former le sulfate de plomb, est restitué au liquide dont la densité augmente. A la décharge, l'action inverse a lieu ; le  $SO^3$  est absorbé par le plomb et par le peroxyde pour former du sulfate, et la densité du liquide diminue. L'explication donnée ci-dessus des changements qui se produisent à la charge et à la décharge, se résume par les équations chimiques réversibles suivantes :







L'équation *a* exprime les réactions qui se produisent sur la plaque positive, *b* celles de la plaque négative ; *c* exprime leur effet combiné, c'est l'équation fondamentale de l'accumulateur au plomb. Les équations de charge montrent que les deux électrodes, positive et négative, partent de l'état de sulfate de plomb  $\text{Pb SO}^4$  ; celui-ci se combinant avec les gaz dissociés de l'eau de l'électrolyte se transforme en plomb sur la négative et en peroxyde sur la positive, tandis que le  $\text{SO}^3$  libéré se combine avec l'eau de l'électrolyte pour former de l'acide sulfurique.

Si nous lisons maintenant de gauche à droite, nous obtenons les équations de la décharge ; elles nous montrent la transformation du plomb de la négative et du peroxyde de la positive en sulfate de plomb, ainsi que la réduction en eau de l'acide sulfurique de l'électrolyte.

Il ne faut pas supposer que les réactions données par l'équation indiquent tous les changements ou les transformations qui se produisent. Il y a beaucoup d'autres réactions intermédiaires et de sous-produits de la décomposition, mais ceci regarde plutôt la chimie des accumulateurs, et est par conséquent hors du cadre de cet ouvrage.

Pour l'étude chimique complète des accumulateurs, le lecteur pourra se reporter aux ouvrages cités dans la bibliographie. Nous devons toutefois constater que les théories chimiques sont très variables ; par le fait, la chimie de l'accumulateur n'est pas encore parfaitement connue.

Le voltage d'une batterie dépend de la nature des métaux ou des composés métalliques qui entrent dans la constitution des éléments ; il dépend aussi de la concentration de l'électrolyte. Le voltage d'une batterie plomb-plomb est le même que celui d'une batterie plomb spongieux-peroxyde de plomb, tant que la moindre particule de ces matières est demeurée attachée aux plaques. Théoriquement si l'on considère seulement les électrodes, et si l'on maintient constante la concentration de l'électrolyte, la force électromotrice de la batterie restera constante jusqu'à la trans-

formation complète en sulfate des dernières traces de plomb spongieux et de peroxyde de plomb ; à ce moment la batterie tombera subitement à zéro. En réalité le voltage tombe graduellement du commencement à la fin de la décharge ; cette divergence d'avec la loi théorique a été l'objet d'un grand nombre de recherches et d'hypothèses. Quelques érudits en particulier Fitz-Gérald, Darrieus, et en dernier lieu M. Griscum ont proposé une théorie des réactions chimiques dans les éléments plomb-plomb, qui diffère un peu de celle donnée précédemment. Cette théorie tend à expliquer les variations de voltage, et à tenir compte de certaines combinaisons chimiques qui se produisent dans les éléments.

D'après cette théorie, le passage du courant détermine la décomposition de  $\text{SO}^4 \text{H}^2$  en hydrogène  $\text{H}^2$  au voisinage de l'électrode négative et en  $\text{SO}^4$  au voisinage de l'électrode positive. Le  $\text{SO}^4$  formé près de la positive se combine avec  $\text{H}^2\text{O}$  et  $\text{SO}^4\text{H}^2$  de l'électrolyte pour former  $\text{SO}^4 \text{H}^2$  et  $\text{H}^2\text{S}^2\text{O}^8$ , c'est-à-dire de l'acide persulfurique.

Ce dernier composé fut observé pour la première fois en 1878 par Berthelot ; il fut reconnu ensuite par Roberston, en même temps que par les autorités citées plus haut.

L'acide persulfurique est un composé instable qui commence à se décomposer aussitôt que le courant qui l'a produit cesse de passer ; il se décompose aussi sous l'influence de la chaleur. L'on suppose qu'il est la cause du voltage élevé que l'on observe sur les éléments en charge au moment où ils sont complètement chargés ; dans tous les cas sa présence contribue dans une large mesure à l'accroissement du voltage au-dessus du voltage normal de 2 volts.

De l'avis de certains auteurs, le peroxyde de plomb, à la fin de la charge, n'est pas le peroxyde ordinaire  $\text{PbO}^2$ , mais bien le peroxyde hydraté  $\text{H}^2\text{Pb}^2\text{O}^5$ , ou peut-être même un oxyde plus élevé tel que de l'acide perplombique  $\text{H}^2\text{Pb}^2\text{O}^7$ .

Gladstone et Tribe ont observé que pendant la charge, la plaque positive absorbe 34 p. 100 de plus d'oxygène que la négative n'absorbe d'hydrogène. Il résulte de cela que le dégagement d'hydrogène libre à la surface de l'électrode négative devra se

produire quelque temps avant le dégagement d'oxygène sur la plaque positive ; c'est ce que l'on observe toujours lorsque l'on approche de la fin de la charge d'une batterie. Ceci peut s'expliquer facilement par la production d'oxydes supérieurs de plomb qui demanderaient plus d'oxygène que n'en exige la production de  $PbO^2$ .

Gladstone et Tribe émettent l'avis que l'excès d'oxygène absorbé par la plaque positive est dû à des actions locales. Cette théorie est sans fondements. Aucun élément ne pourrait durer plus que quelques décharges si de telles actions existaient.

D'autres n'acceptent pas cette théorie, et l'école allemande actuelle les combat.

Elbs et Shonen ont trouvé dans leurs recherches qu'il se forme de l'acide persulfurique lorsque la charge est prolongée dans de l'acide de forte densité (poids spécifique de 1,300 à 1,500) ; mais dans l'acide de densité suffisamment basse pour le fonctionnement pratique d'une batterie, il ne s'en produit qu'une quantité insignifiante. Dans tous les cas, ce ne serait pas un produit direct, mais seulement un produit secondaire.

De plus  $H^2 S^2 O^8$  est endothermique, c'est-à-dire que sa formation absorbe de l'énergie, il exige par conséquent pour sa formation une force électromotrice un peu plus élevée que la force électromotrice du couple plomb-peroxyde de plomb, laquelle est de deux volts.

Gladstone et Hibbert ont montré ultérieurement que si l'on ajoute de l'acide persulfurique dans l'électrolyte au voisinage de l'anode, l'on n'observe aucune élévation de voltage ; il y a au contraire une légère diminution. Ces résultats furent plus tard confirmés par Mugdan.

Dolezaleck montre qu'il ne se produit aucune action chimique irréversible pendant la charge d'une batterie, ce qui serait cependant le cas s'il se formait de l'acide persulfurique ; il montre de plus que le voltage croissant à la charge jusqu'au dégagement gazeux, et que le voltage décroissant graduellement à la décharge sont dus aux grandes variations de densité de l'électrolyte dans les pores des plaques. Nous allons voir dans ce qui suit comment les variations de densité de l'électrolyte influent sur le voltage.

Ces variations de densité sont beaucoup plus fortes que celle que l'on observe dans l'électrolyte au voisinage des plaques, et, sans aucun doute l'explication de Dolezaleck est logique et sensée.

Le régime de décharge que peut supporter un élément dépend de la surface de plaque sur laquelle agit l'électrolyte. La surface active dans un élément quelconque est égale à la somme des surfaces des plaques positives ; cette surface, pour chaque positive, est égale à la longueur multipliée par la largeur multipliée par 2, ce facteur 2 est introduit parce que les deux faces de la plaque sont actives.

L'unité de capacité d'une batterie est l'ampère-heure. Le produit du régime de décharge par la durée de celle-ci donne la capacité totale, la batterie étant considérée comme complètement déchargée lorsque le voltage minimum de 1,80 volt est atteint. La capacité varie avec le régime de décharge, elle est moindre aux régimes rapides qu'aux régimes lents. L'on considère en général comme régime normal le régime de décharge en huit heures ; c'est-à-dire qu'une batterie d'une capacité de 80 ampères-heure, complètement chargée, pourra débiter à un régime continu de 10 ampères, pendant huit heures, sans que le voltage tombe au-dessous de 1,80 volt par élément.

Nous avons montré qu'à la décharge les plaques empruntaient du  $\text{SO}^3$  à l'électrolyte. Si tout le  $\text{SO}^3$  était enlevé de l'acide sulfurique, il ne resterait plus que de l'eau, et le couple ne présenterait plus qu'une force électromotrice de 1,46 volt. Mais le  $\text{SO}^3$  n'est emprunté à l'électrolyte qu'aux points où celui-ci est en contact avec les plaques.  $\text{SO}^3$  étant enlevé, la densité décroît en ces points et détermine une circulation qui permet à une nouvelle quantité d'acide de prendre la place de l'électrolyte supprimé. Toutefois l'action chimique est moins rapide au fond des pores de la plaque, là où la circulation du liquide est difficile. Ceci explique le pouvoir récupérateur d'une batterie d'accumulateurs qui permet au voltage de se relever après une décharge. Ceci se produit lorsqu'on fait reposer la batterie pendant quelques minutes à circuit ouvert, et que l'on donne à l'eau ou à l'acide très dilué des pores, le temps de se diffuser dans l'acide ambiant

plus concentré, tandis que ce dernier pénètre à son tour dans les pores.

Comme le courant sort de l'élément par la plaque peroxydée, l'on a pris l'habitude d'appeler cette plaque la plaque positive, et la plaque par laquelle le courant retourne à l'élément a été appelée la plaque négative, ceci a été fait par analogie avec les pôles positif et négatif d'une dynamo qui sont respectivement les points de départ et de retour du courant de l'armature.

Si l'on considère l'accumulateur comme un couple voltaïque, ceci est complètement faux, car dans un tel couple, l'électrode positive est celle d'où le courant part, et l'électrode négative celle vers laquelle le courant se dirige au sein de l'électrolyte. Il est évident que dans une batterie en décharge le courant va de la plaque négative à la plaque positive. Le plomb métallique occupe un rang très élevé dans la liste des éléments électro-positifs, tandis que le peroxyde de plomb est l'un des plus bas de cette liste. Donc si l'on considère l'accumulateur comme un élément voltaïque les polarités adoptées sont fausses, mais si on le considère comme une source de courant ou de force électromotrice, elles sont correctement désignées. Comme c'est uniquement dans ce sens qu'un ingénieur doit considérer une batterie, nous nous conformerons ici à la dénomination usuellement adoptée.

L'expression « charge » ne veut pas dire que l'on donne à proprement parler une énergie électrique aux plaques, ou qu'elles possèdent une telle énergie ; cela signifie seulement que les conditions chimiques de l'élément deviennent telles qu'il forme un couple chimique actif, ou une batterie ; il ne diffère alors en aucune façon d'un élément voltaïque ordinaire.

Cette condition chimique est produite en pratique par l'action du courant électrique, mais si du plomb spongieux et du peroxyde de plomb préparés par des procédés purement chimiques, comme ils le sont souvent, étaient appliqués respectivement sur des supports négatifs et positifs, l'on obtiendrait une batterie dont les plaques seraient complètement chargées.

Par conséquent un élément chargé est un élément dans lequel les plaques positives sont recouvertes de peroxyde de plomb, et les négatives de plomb spongieux ; un élément déchargé est celui

dans lequel du sulfate de plomb s'est formé sur les électrodes, le courant électrique n'intervient donc dans les actions de charge et de décharge que comme un agent réducteur dans un sens, et comme un produit de l'énergie des actions chimiques dans l'autre sens.

La polarisation est un phénomène qui se présente lors du passage du courant entre deux électrodes plongées dans un électrolyte, son effet est toujours de s'opposer au passage du courant et de réduire son intensité.

L'on a l'habitude de considérer comme effet de polarisation tous les effets qui s'opposent au passage du courant qui les produit. Il y a cependant ici deux effets distincts qui tendent à s'opposer au passage du courant, ce sont l'accroissement de résistance ohmique et la force contre-électromotrice.

L'auteur préfère considérer à part la variation de résistance ohmique et réserver l'expression « polarisation » pour les effets de force contre-électromotrice.

Le passage du courant dans l'électrolyte détermine une décomposition partielle ou totale des composés qui l'engendrent, et lorsqu'on l'interrompt, les éléments, ou autres composés qui restent, peuvent se dissoudre dans l'électrolyte, disparaître sous forme de gaz, entourer les électrodes comme une gaine, être absorbés ou occlus dans les pores des électrodes, ou peuvent entrer en combinaison chimique avec la matière active des électrodes.

La production d'une gaine, soit gazeuse, soit composée d'un sel de la substance dont sont formées les électrodes, aura pour effet d'augmenter la résistance. Le changement de composition chimique de l'électrolyte et des électrodes, et l'action des gaz occlus ou entourant les électrodes, auront pour effet de s'opposer au passage du courant, en engendrant une force contre-électromotrice.

L'hydrogène est le plus important des agents de polarisation mis en jeu. Étant électro-positif, il s'en va à l'électrode négative et engendre une force électromotrice en opposition avec la force électromotrice aux bornes.

## CHAPITRE II

### CONDITIONS GÉNÉRALES AUXQUELLES DOIT SATISFAIRE UNE PLAQUE D'ACCUMULATEUR

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, la capacité d'une batterie d'accumulateurs dépend de la surface exposée à l'action de l'électrolyte. Par conséquent l'utilisation la meilleure de la matière, exige que la plaque soit moulée, ou façonnée de telle sorte qu'elle expose la plus grande surface possible, par unité de poids de plomb, à l'action de l'électrolyte.

L'action électrolytique ne peut pas pénétrer à une profondeur appréciable dans une plaque pleine, par conséquent la partie de plomb ou de peroxyde de plomb sur laquelle agira l'électrolyte, doit être poreuse, ou finement divisée de façon à présenter une grande surface à l'électrolyte.

Le plomb spongieux et le peroxyde ne possèdent ni solidité, ni rigidité, ni grande conductibilité. Les considérations mécaniques rendent les deux premières conditions indispensables, et sans la dernière, on ne pourrait utiliser ces substances d'une façon efficace à la production du courant, même si les conditions chimiques de l'élément étaient parfaites. Les plaques doivent donc se composer de deux parties : la grille, qui sera formée d'une charpente ou plaque rigide, et la matière active qui se composera de plomb poreux finement divisé, ou de peroxyde de plomb.

La grille donne la force et la solidité nécessaires à la plaque, elle constitue la voie conductrice nécessaire au passage du courant et permet d'effectuer la distribution de l'action électrique — et par conséquent chimique — d'une façon égale à la surface des électrodes.

La matière active est soit formée électrolytiquement ou chimiquement à la surface de la grille, soit fabriquée séparément et

appliquée ensuite sur la grille par des procédés mécaniques.

Ainsi que nous l'avons dit, l'électrolyte ne peut pénétrer à une profondeur appréciable dans une plaque pleine; cependant l'on peut donner à la couche de matière active une épaisseur relativement considérable, si cette matière est suffisamment poreuse pour permettre la pénétration de l'électrolyte.

Les principales conditions que doit remplir une bonne plaque d'accumulateurs sont les suivantes :

1° La disposition de la grille et de la matière active doit être telle que le courant soit distribué d'une façon égale en tous les points de la matière active. Ceci exige que la résistance soit la même de deux points quelconques pris à la surface de la plaque, à la borne d'arrivée du courant. Cette condition est théoriquement impossible à remplir, mais on peut l'approcher suffisamment pour toutes les exigences de la pratique, en construisant une grille bien appropriée, et en assurant fortement l'adhérence de la matière active sur cette grille.

2° La grille doit être construite de telle sorte qu'elle puisse se dilater et changer de volume, lorsque le volume de la matière active varie sous l'action du courant et de l'électrolyte. Ceci est également difficile à réaliser en pratique, et même impossible pour certains types de plaques. L'impossibilité dans laquelle sont les constructeurs de remplir cette condition est la cause de la plupart des ennuis que l'on rencontre dans les batteries d'accumulateurs. La dilatation est très forte à la formation, et la dilatation et la contraction à la décharge et à la charge sont également très sensibles.

3° La matière active doit adhérer solidement à la grille et être en contact électrique avec celle-ci. L'on peut obtenir cette condition à la fabrication, mais si la matière active se dilate sans que la grille fasse de même, c'est-à-dire si la condition n° 2 n'est pas remplie, la matière active perdra en peu de temps les deux contacts électrique et mécanique.

4° La grille doit résister à l'action de l'acide. Ceci est aussi une condition impossible à réaliser dans la pratique. Dans certains types de batteries cela n'est nullement nécessaire, mais ce serait désirable pour beaucoup d'entre elles. Pour le moment les



constructeurs doivent se contenter de fabriquer une grille qui dure aussi longtemps que la partie active de la plaque.

5° La grille doit être faite en un métal tel qu'il ne puisse y avoir d'action locale entre elle et la matière active. Il n'y a pas de difficultés à remplir cette condition, et dans quelques types d'éléments la matière active est faite avec une partie du plomb de la grille, ce qui rend l'action locale impossible.

6° Il faut prévoir une assez grande quantité d'électrolyte, de telle sorte que les variations de concentration s'égalisent rapidement. Ceci est surtout important dans les batteries qui doivent être chargées et déchargées à des régimes rapides.

7° La matière active doit présenter la plus grande surface possible à l'électrolyte. Ceci est obtenu par différentes méthodes dont nous donnons un grand nombre plus loin. Il y a deux types généraux de plaques. L'un d'eux est connu sous le nom de type « Planté »; ces plaques sont faites en préparant des lames de plomb à grande surface et en les oxydant par actions chimiques ou électro-chimiques; on obtient ainsi les plaques positives. Pour former les négatives, les plaques peroxydées sont connectées comme cathodes, l'hydrogène libéré par le passage du courant réduit le peroxyde à l'état de plomb spongieux. Par cette méthode de formation l'on obtient une couche mince de matière active laquelle est poreuse et fortement adhérente.

L'autre type est celui dans lequel la matière active est fabriquée sous forme de pâte ou de poudre et appliquée ensuite sur la grille; elle est généralement comprimée sous forte pression. Ce type est connu sous le nom de type « Faure »; usuellement, dans le commerce on l'appelle type « à oxydes rapportés ». Chaque mode de construction a ses avantages, et chaque type de batteries trouve des cas auxquels elle est le mieux appropriée. Il y a une quantité innombrable de brevets sur les grilles, les formes de plaques, les méthodes de formation, et sur les procédés complets de fabrication. Beaucoup des meilleurs procédés sont tenus secrets et ne sont jamais divulgués ni à l'office des brevets, ni au public technique.

---

## CHAPITRE III

### DU VOLTAGE ET DE SES VARIATIONS

Ainsi que nous l'avons indiqué au chapitre premier, le voltage augmente graduellement à mesure qu'avance la charge jusqu'à atteindre son maximum. Pendant la décharge le voltage diminue graduellement jusqu'à une valeur minimum. Ces variations de voltage sont habituellement représentées par des diagrammes appelés courbes de voltage; ce sont de simples courbes tracées en coordonnées rectangulaires, les abscisses représentent le temps en minutes ou en heures, les ordonnées le voltage aux bornes de l'élément. En se reportant à ces courbes l'on peut déterminer le voltage d'un élément à un instant quelconque de la charge ou de la décharge, et en comparant les courbes de charge et de décharge dessinées à la même échelle, on peut déterminer le rendement de l'élément.

Il est évident, d'après ce qui précède, que plus la matière active sera poreuse et la circulation de l'électrolyte bien ménagée, et moins la chute de voltage sera accentuée sur la courbe de décharge. La figure 1 montre les courbes de charge et de décharge d'un élément. L'on voit que la courbe de charge se compose de deux parties, l'une où le voltage se maintient constamment à une valeur normale entre 2,2 et 2,3 volts, et l'autre correspondant à la fin de la charge, dans laquelle le voltage monte constamment de 2,3 à 2,6.

Il est probable que des modifications chimiques intermédiaires commencent à se produire au moment où la courbe se met à monter rapidement; il est probable aussi que des gaz se dégagent, et que les effets de polarisation sont alors plus marqués.

La courbe de décharge présente la même allure, mais en sens

inverse : le voltage tombe rapidement à environ 2 volts, il conserve alors une valeur presque constante, jusqu'à un point de la courbe voisin de la fin de décharge; à partir de ce point, le voltage se met à tomber très rapidement, il arriverait promptement à zéro si l'on continuait la décharge. Cette chute rapide de voltage est due à un grand nombre de causes; la plus importante d'entre elles est la formation de sulfate à la surface de la plaque;

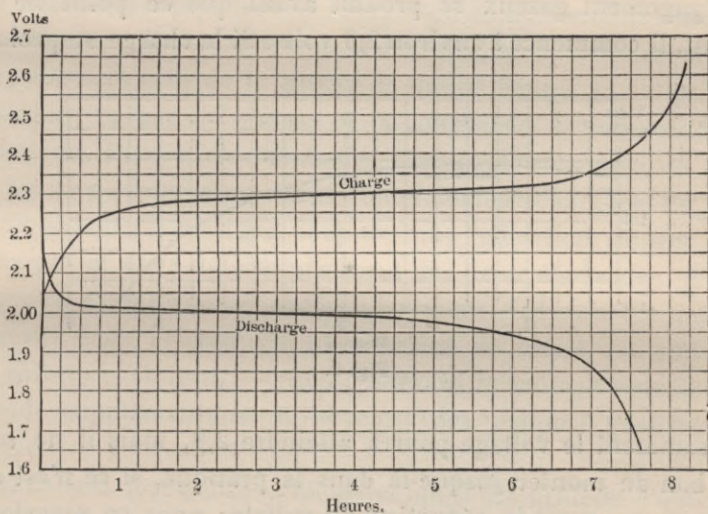


Fig. 1.

ce sulfate empêche l'électrolyte de pénétrer dans les pores de la matière active. L'électrolyte renfermé dans ces pores se transforme alors rapidement en eau, le  $\text{SO}^3$  de  $\text{SO}^4 \text{H}^2$  se trouvant fixé sur la plaque.

Dolezaleck démontre que la force électromotrice des accumulateurs dépend pour 40 p. 100, ou 0,8 volt, de la réduction du peroxyde et de l'oxydation du plomb spongieux, pour 40 p. 100 ou 0,8 volt de la concentration de l'électrolyte, et pour 20 p. 100 ou 0,4 volt de la sulfatation des oxydes.

Le professeur Ayrton a trouvé que lorsque 69 p. 100 de la matière active de la plaque peroxydée est convertie en sulfate, l'élément perd complètement sa force électromotrice; il attribue ceci à la formation d'une couche superficielle de sulfate, et aussi à la formation de peroxyde sur la plaque négative.

Les conditions que doit remplir une batterie pour donner une courbe de décharge dont la chute soit peu accentuée, sont les suivantes : grande quantité d'électrolyte, couche mince de matière active, ou matière active poreuse, et réduction complète du sulfate de plomb en Pb et Pb O<sup>2</sup> par la charge précédente.

En général une batterie se comporte comme il suit : à la charge, le voltage part de 2 volts environ pour monter à environ 2,5 volts; le dégagement gazeux se produit avant que ce point ne soit atteint, il commence à environ 2,3 volts. Si la charge se prolonge

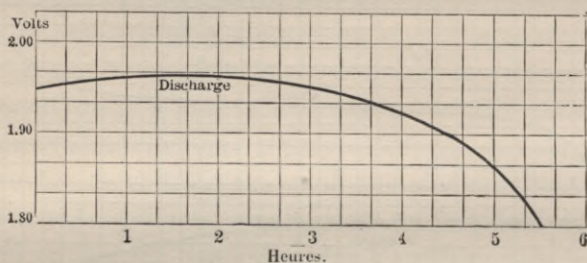


Fig. 2.

suffisamment le voltage pourra atteindre 2,8, mais il ne serait pas bon de monter jusque-là dans la pratique, si ce n'est dans de rares cas pour la réduction du sulfate; nous en reparlerons plus loin.

Lorsque l'on coupe la charge, le voltage tombe rapidement, jusqu'à 2,1 volts, ou à la valeur normale correspondant à la température et à la concentration de l'électrolyte dans l'élément. Dès que l'on commence la décharge, le voltage tombe jusqu'à environ 2,05 volts.

Pendant les dix ou quinze premières minutes de décharge, le voltage tombe à 2 volts; à partir de ce point il tombe très lentement jusqu'à atteindre environ 1,9, après quoi la chute de voltage devient rapide.

Après une longue période de repos précédée d'une charge complète, si l'on met un élément en décharge, le voltage au lieu de baisser commence par se relever légèrement. Il faudra soumettre l'élément à plusieurs charges et décharges successives pour le ramener à son état primitif, c'est-à-dire pour que le voltage soit

élevé au début de la décharge, et tombe rapidement pendant les premières minutes.

La figure 2 représente la courbe de décharge d'un élément qu'on a laissé au repos pendant un certain temps après avoir été complètement chargé.

Le maintien du voltage, et par conséquent de la capacité d'un élément, dépend des deux plaques, positive et négative; si donc l'une d'elles est complètement chargée ou complètement réduite, et que l'autre soit incomplètement chargée, la capacité sera diminuée; elle sera celle de la plaque la moins bonne, la batterie se déchargera en peu de temps, et la courbe de voltage tombera rapidement. Il est donc nécessaire que les deux genres de plaques positive et négative soient complètement chargées. Le voltage d'une batterie n'est pas toujours une indication de son état de charge; et pour déterminer l'état des deux électrodes, il est nécessaire de les essayer indépendamment. Cet essai se fait en plongeant dans l'électrolyte un morceau de métal, — soit du zinc, soit du cadmium, — et en observant le voltage entre cette électrode supplémentaire et chacune des plaques positive et négative.

L'on se sert fort peu de zinc parce qu'il est difficile d'obtenir du zinc pur, et que le zinc, lorsqu'il est impur, se dissout dans l'électrolyte. Or si une portion quelconque du métal se dissout, il a une tendance à se déposer, pendant la charge, sur la plaque négative, ce qui conduirait à de fausses lectures.

Lorsque l'on emploie le cadmium, lequel doit être aussi pur que possible, il ne faut pas qu'il soit nettoyé et brillant, il doit au contraire être « vieilli », c'est-à-dire légèrement oxydé. La raison de ceci est qu'il existe une différence de potentiel entre le cadmium brillant et l'oxyde de cadmium, et que le cadmium brillant s'oxyde si rapidement qu'il faudrait le gratter après chaque lecture, pour obtenir des résultats comparables.

Le cadmium ne doit pas venir en contact avec les électrodes ni avec les connexions; le meilleur moyen d'éviter de tels contacts est de recouvrir le bâton de cadmium d'une enveloppe de caoutchouc que l'on perce d'une multitude de petits trous.

Lorsqu'une batterie est déchargée, c'est-à-dire lorsque les

éléments sont tombés à 1,8 volt le voltage entre le cadmium et la plaque positive doit être d'environ 2,05 volts, et entre le cadmium et la plaque négative de 0,25 volt, le cadmium étant positif au sens voltaïque, pour les deux électrodes. Le voltage de l'élément est de  $2,05 - 0,25 = 1,8$ ; la lecture du cadmium négatif devant être retranchée de la lecture du cadmium positif lorsque les deux lectures sont faites dans le même sens.

Ces lectures doivent être faites pendant que l'élément est en décharge au régime normal. Lorsque la batterie est complètement

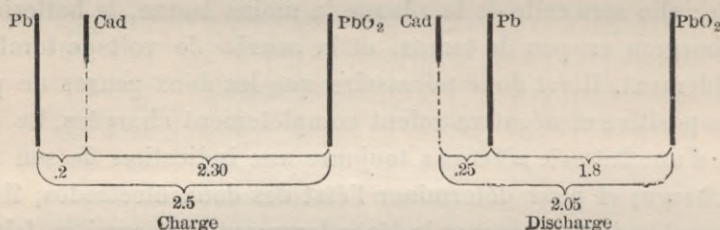


Fig. 3 et 4.

chargée, et qu'elle est encore traversée par le courant normal de charge, le voltage entre le cadmium et la plaque positive doit être d'environ 2,35 volts, et le voltage entre le cadmium et la négative de 0,18 à 0,20, le cadmium étant alors positif par rapport à la plaque positive, et négatif par rapport à la plaque négative; ceci veut dire qu'au sens voltaïque la plaque négative devient plus électro-positif, et devient par ce fait positif par rapport au cadmium, au lieu d'être négative comme lorsqu'elle est en décharge.

Les figures 3 et 4 indiquent les résultats que l'on obtient; la figure 4 se rapporte à la décharge et la figure 3 à la charge.

La position respective des différents éléments indique leurs relations voltaïques, le côté positif étant à gauche.

A la fin de la décharge, le cadmium est positif par rapport à la plaque peroxydée, et le voltage entre les deux est d'environ 2,05 volts; il est également positif par rapport à la plaque de plomb spongieux, le voltage entre les deux est d'environ 0,25 volt.

Le voltage entre plaques est par conséquent la différence des lectures faites au cadmium, c'est-à-dire 1,8.

La figure 3 montre qu'à la fin de la charge le cadmium est

encore positif par rapport à la plaque peroxydée, et que la différence de potentiel entre les deux a augmenté; il n'en est pas de même pour la plaque de plomb spongieux dont la situation par rapport au cadmium a changé, et qui est devenue négative vis-à-vis de lui, ainsi qu'on le voit. Le voltage entre le cadmium et la positive est de 2,32, il est de 0,18 volt entre le cadmium et la négative (mais en lisant en sens inverse); le voltage entre plaques est alors la somme des deux lectures, soit 2,5 volts.

Par conséquent l'on voit que le voltage entre plaques sera la somme de deux lectures au cadmium toutes les fois que les lectures seront faites dans des directions opposées, ou toutes les fois que les connexions du voltmètre devront être inversées après avoir fait une lecture pour pouvoir faire l'autre.

Au contraire lorsque les deux lectures au cadmium seront faites dans le même sens, le voltage des éléments sera égal à leur différence. Si l'on fait par exemple toutes les trois lectures, ceci suivant les cas, la somme ou la différence des deux lectures au cadmium, le résultat devra être égal au voltage lu sur l'élément. Toutefois il est quelque peu difficile en pratique de mesurer ces voltages assez exactement pour obtenir une concordance parfaite, ceci tient à la légère action qui se produit entre le cadmium et la plaque négative.

L'auteur a vu des cas se présenter où les éléments en charge étaient montés à 2,5 volts et où la lecture faite entre le cadmium et la plaque négative donnait pratiquement zéro; ceci montrait que, bien que les positives soient complètement chargées, les négatives ne l'étaient pas; et les éléments avaient peu ou pas de capacité. En continuant la charge pendant un certain temps, l'on finissait par réduire les négatives en plomb spongieux, et la batterie avait alors recouvré sa capacité entière.

Quelquefois sous l'action de décharges rapides, les négatives se trouvent peroxydées; il est alors assez difficile de réduire le peroxyde en plomb spongieux.

Fitz-Gérald explique cette peroxydation par l'action de l'oxygène dégagé et de l'acide persulfurique  $H^2 S^2 O^8$  précédemment formé, lesquels se portent vers la plaque négative, celle-ci étant l'anode lorsque l'élément est en décharge.

Le dégagement gazeux est aussi une indication de charge complète, pourvu que le régime de charge ne soit pas excessif.

Il se dégage des gaz libres lorsque les quantités d'hydrogène et d'oxygène produits sont en excès, par rapport aux quantités nécessaires pour se combiner avec le sulfate de plomb des plaques; leur dégagement montre que tout, ou presque tout le sul-

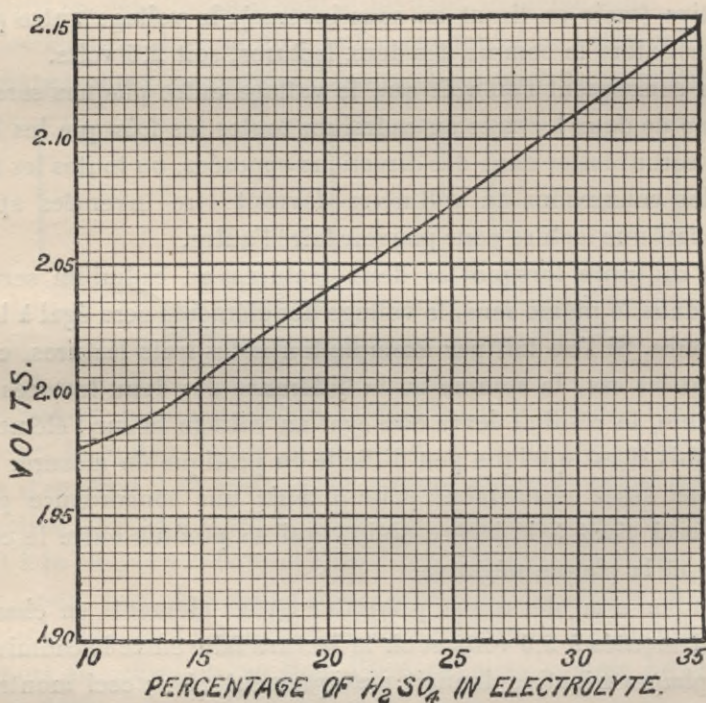


Fig. 5.

fate est réduit. Cependant si le régime de charge est trop élevé, les gaz se produiront plus vite que ne peut se faire la combinaison avec le sulfate, et l'excès se dégage alors sous forme de gaz libres même avant la fin de la charge.

Le voltage d'un élément dépend encore de la densité de l'électrolyte, de la résistance intérieure, et de la température. La courbe de la figure 5 donne l'accroissement du voltage, avec l'augmentation de concentration de l'électrolyte.

Dolezaleck a montré que la variation de force électromotrice avec la concentration de l'acide correspond exactement à la



variation d'énergie libre à laquelle sont soumises deux molécules de  $H^2 SO^4$  lorsque leur concentration varie.

L'on peut calculer la force électromotrice aux différentes densités par la formule suivante due à Steinmetz ;

$$E = 1,850 + 0,917 (S - s),$$

où,  $E$  = force électromotrice en volts ;

$S$  = poids spécifique de l'électrolyte ;

$s$  = poids spécifique de l'eau.

Les deux poids spécifiques étant pris à la température de l'expérience.

L'on peut également employer la formule :

$$E = 1,850 + 0,00057, Z,$$

où  $Z$  est le poids de  $H^2 SO^4$  en grammes par litre d'électrolyte.

Ces formules ne sont pas vraies pour les concentrations extrêmes, 0 ou 100 p. 100, mais elles sont exactes pour des densités variant de 1,005 à 1,650.

La variation de résistance intérieure a pour effet de faire varier la perte intérieure de voltage, et par conséquent de changer le voltage aux bornes de l'élément. Toutefois cet effet est toujours si faible qu'il est négligeable en pratique.

L'augmentation de température a pour effet d'augmenter le voltage de charge ainsi que le voltage de décharge. Ce sujet sera traité en détails dans un chapitre suivant. Pour déterminer les watts-heure reçus ou débités par un élément, l'on multipliera le voltage moyen par les ampères-heure. Ce voltage moyen s'obtient en déterminant la surface comprise entre la courbe, les ordonnées extrêmes et la ligne de base, et en divisant par la longueur de l'abscisse ; on l'obtiendra également par toute autre méthode donnant l'ordonnée moyenne d'une courbe.

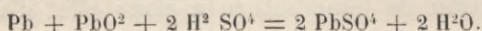
## CHAPITRE IV

### QUANTITÉ ET RÉPARTITION DE LA MATIÈRE ACTIVE

Le poids de peroxyde ou de plomb spongieux nécessaires pour obtenir une capacité donnée, dépend :

- 1° De la disposition de la matière active ;
- 2° De sa densité ;
- 3° De son épaisseur ;
- 4° Du régime de décharge, c'est-à-dire de la densité de courant par unité de surface de plaques.

Le poids théorique de plomb métallique nécessaire sur chaque électrode pour produire un ampère-heure à la décharge est de 3,827 gr. ; ce plomb converti en peroxyde pèsera 4,422 gr. Cette quantité théorique est calculée en partant de l'équation fondamentale :



Toutefois dans la pratique, le poids de matière active sur chaque électrode est de quatre à six fois le poids théorique, ceci parce qu'il est impossible de réduire toute la matière active, et de faire atteindre chaque particule par le courant.

Les expériences de Fitz-Gérald, Reckenzaun et Sellon ont montré qu'il faut de 14,174 à 22,677 gr. de plomb spongieux et de 15,024 à 24,378 gr. de plomb peroxydé par ampère-heure.

Fitz-Gérald prétend que le poids maximum n'est nécessaire que lorsque le contact entre la matière active et la grille est défectueux. Par le fait lorsque certaines parties de peroxyde ou de plomb spongieux ne sont plus en contact avec la grille, ces parties deviennent inertes et ne doivent par conséquent plus être considérées comme matière active.

Si l'on enlevait des portions de la couche de matière active aux points où le contact n'existe plus, la capacité resterait invariable et le poids de matière active diminuerait. Donc toute donnée basée sur des contacts défectueux est erronée ; l'on serait amené en effet à la limite, à un poids infini pour le cas où le contact n'existerait plus du tout.

Les poids donnés s'entendent pour des décharges complètes se terminant à 1,8 volt.

Un poids donné de plomb métallique donnera 1,155 fois son poids de peroxyde de plomb, c'est-à-dire que par la transformation en peroxyde son poids augmentera de 15,5 p. 100. Inversement pour produire un poids donné de peroxyde, il faut 0,866 de ce poids de plomb métallique, c'est-à-dire 86,6 p. 100.

$$\text{PbO}^2 \times 0,866 = \text{Pb}$$

$$\text{Pb} \times 1,155 = \text{PbO}^2$$

De même les relations entre l'oxyde de plomb (litharge) et le plomb métallique sont les suivantes :

$$\text{Pb} \times 1,075 = \text{PbO}$$

$$\text{PbO} \times 0,93 = \text{Pb}$$

entre le minimum et le plomb métallique,

$$\text{Pb}^3 \text{O}^4 \times 0,906 = \text{Pb}$$

$$\text{Pb} \times 1,104 = \text{Pb}^3 \text{O}^4$$

Si un poids donné de peroxyde de plomb est transformé en litharge ou inversement, l'on obtiendra les relations :

$$\text{PbO}^2 \times 0,937 = \text{PbO}$$

$$\text{PbO} \times 1,067 = \text{PbO}^2$$

Si un poids donné de peroxyde est converti en sulfate de plomb ou inversement, l'on aura :

$$\text{PbO}^2 \times 1,275 = \text{PbSO}^4$$

$$\text{PbSO}^4 \times 0,785 = \text{PbO}^2$$

La règle pratique suivante due à Fitz-Gérald donne le poids de matière active nécessaire par ampère-heure pour chacune des deux plaques :

Décharge lente 8 à 10 heures . . . . .		15,024 grammes	
— modérée 5 — . . . . .		19,009	—
— rapide 3 — . . . . .		19,814	—
— très rapide 2 — . . . . .		22,679	—
— — 1 — . . . . .		28,349	—

Fit-Gérald explique la nécessité d'augmenter la quantité de matière active avec le régime de décharge par ce fait qu'avec un poids donné de matière active sur les plaques, l'on obtiendra moins d'ampères-heure à un régime rapide qu'à un régime lent; il faudra par conséquent plus de matière active pour les régimes de décharge rapides, si l'on veut maintenir la capacité constante.

L'auteur n'est pas d'accord avec cette théorie, la diminution de capacité aux forts régimes est due en effet à plusieurs causes, lesquelles peuvent toutes être rapportées à la densité de courant, à la surface exposée à l'action électrolytique, et à la circulation de l'électrolyte, plutôt qu'à la quantité absolue de peroxyde et de plomb spongieux mis en présence.

Dans les décharges rapides, l'acide n'a pas le temps de se renouveler dans l'intérieur des pores, ce qui fait que le voltage tombe rapidement à la valeur minimum acceptable, avant que la capacité normale ait pu être atteinte. La perte par résistance intérieure est également augmentée dans le cas des décharges rapides.

L'on sait qu'une batterie qui a été rapidement déchargée a un pouvoir de récupération extraordinaire. Si on la laisse reposer quelques instants, l'on pourra en tirer une seconde décharge qui dépassera de beaucoup la décharge de récupération que l'on eût obtenue si l'on avait fait la première décharge à un régime lent.

Ces considérations amènent à conclure que si l'on augmente la quantité active sans augmenter la surface de la plaque, l'on n'obtiendra pas une plaque appropriée aux décharges rapides; l'on augmentera, en effet, ainsi l'épaisseur de la couche de matière active, tandis qu'une couche mince de matière active conviendrait bien mieux pour de telles décharges. L'on se rapprocherait plus des conditions voulues en employant la même quantité de matière active répartie sur une plus grande surface.

Le D<sup>r</sup> Sieg décrit quelques expériences faites pour déterminer l'influence de la couche de matière active sur la capacité des bat-

teries. Les résultats sont donnés par les courbes de la figure 6. Dans ces courbes les ordonnées représentent la capacité en ampères-heure par kilogramme d'élément, et les abscisses correspondent aux différents régimes de décharge.

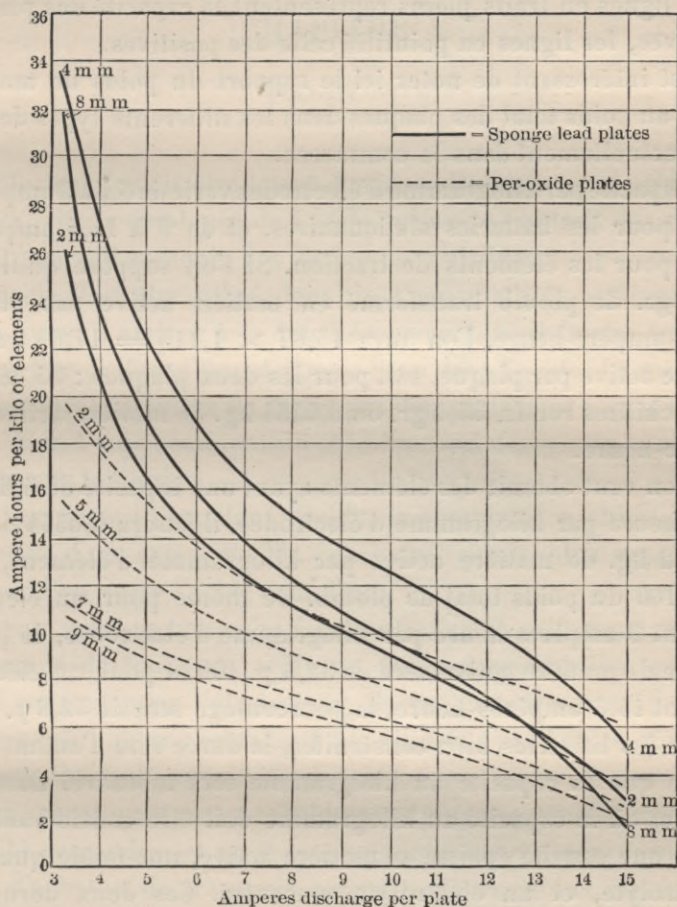


Fig. 6.

Ampere hours per kilo of elements = ampère-heures par kilo d'électrodes.  
 Sponge lead plates = négatives.  
 Per oxide plates = positives.  
 Amperes discharge per plate = ampères à la décharge par plaque.

Ces courbes ne représentent pas exactement la différence de capacité par unité de poids, des plaques épaisses ou minces, parce qu'on les a déterminées en maintenant constante la proportion du poids de la grille au poids de la matière active pour

les plaques de différentes épaisseurs, ce qui n'est pas vrai en pratique. Ces courbes montrent cependant que pour un poids donné d'électrodes, plus la couche de matière active est mince, et plus la capacité est grande.

Les lignes en traits pleins représentent la capacité des plaques négatives, les lignes en pointillé celle des positives.

Il est intéressant de noter ici le rapport du poids de matière active au poids total des plaques dans les différents types de batteries actuellement dans le commerce.

La capacité par kilogramme d'électrodes varie de 5,5 à 9 ampères-heure pour les batteries stationnaires, et de 9 à 14,5 ampères-heure pour les éléments de traction. Si l'on suppose qu'il faut 15,87 gr. de plomb transformé en matière active par plaque et par ampère-heure, l'on aura  $15,87 \times 1,115 = 17,69$  gr. de matière active par plaque, soit pour les deux plaques : 35,38 gr., ou, en chiffres ronds, 35,4 gr. ou 0,0354 kg. de matière active par ampère-heure.

Si l'on veut obtenir des éléments ayant une capacité de 5,5 ampères-heure par kilogramme d'électrodes, il faudra  $0,0354 \times 5,5 = 0,22$  kg. de matière active par kilogramme d'élément, soit 22 p. 100 du poids total de plomb. De même pour un élément débitant 9 ampères-heure par kilogramme d'électrodes, le pourcentage de matière active sera de 32,5 p. 100 et pour un élément donnant 14,5 ampères-heure, le pourcentage sera de 52,8 p. 100.

Dans les batteries bien construites, la durée sera d'autant plus grande que la capacité au kilogramme sera moindre. Dans les batteries où la capacité au kilogramme doit être considérable, il faudra une couche épaisse de matière active, une faible quantité d'électrolyte, et un électrolyte concentré. Ces deux dernières conditions sont préjudiciables ainsi que nous allons le voir.

Plus le poids par ampère-heure de capacité est considérable, plus le prix d'une batterie sera élevé; donc la durabilité d'une batterie doit se payer.

## CHAPITRE V

### ÉLECTROLYTE

L'électrolyte doit être formé d'acide sulfurique au soufre. Il ne faudra jamais employer de l'acide sulfurique extrait des pyrites car il pourrait contenir des impuretés nuisibles.

L'acide doit être dilué dans de l'eau distillée suffisamment pure, jusqu'à arriver à la densité convenable; il faudra toujours verser l'acide dans l'eau et jamais l'eau dans l'acide. La raison de ceci est que la dilution ne donne pas lieu seulement à un mélange, mais bien à une combinaison chimique qui dégage de la chaleur et chauffe le liquide.

Si l'on versait l'eau dans l'acide, la combinaison chimique, en présence d'un excès d'acide concentré, serait plus rapide que lorsque l'on verse l'acide dans l'eau.

Depuis quelque temps les fabricants d'acide sulfurique ont pris l'habitude de livrer un acide de faible concentration spécialement préparé pour l'électrolyte; ils prétendent cet acide supérieur à celui obtenu en faisant des dilutions par faibles quantités au moment de l'emploi. Il est évident que cet acide conviendra mieux, parce qu'il sera probablement plus exactement réglé à la densité demandée, et qu'il sera soigneusement préparé; mais les frais d'achat et de transport seront toujours moins élevés pour un électrolyte dilué sur place; le poids de l'électrolyte dilué est en effet trois fois plus grand que le poids équivalent d'acide concentré.

Le poids spécifique de l'électrolyte des batteries complètement chargées doit être d'environ 1,210 à 1,240 à la température de 15°,5 C, pour les batteries de stations centrales; cependant pour les batteries d'électromobiles, l'on admet souvent des poids spécifiques de 1,260. A la décharge, une partie de  $\text{SO}^3$  se combine

avec l'oxyde de plomb pour former du sulfate, ceci détermine une diminution graduelle, en quantité définie, du poids spécifique du liquide ainsi que nous allons le montrer.

La densité en fin de décharge ne doit pas tomber en pratique au-dessous de 1,150, elle varie en général de 1,185 à 1,195.

Lorsque l'on mélange l'acide et l'eau, le liquide s'échauffe, et il faudra attendre qu'il refroidisse avant de l'employer. Le récipient dans lequel se fait le mélange doit être en verre, en poterie

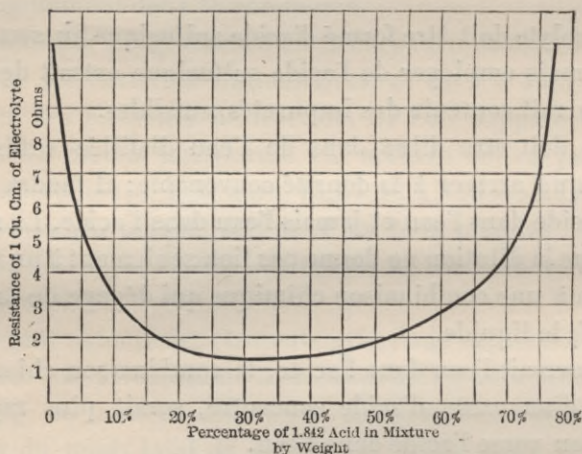


Fig. 7.

Resistance of 1 Cu. Cm. of Electrolyte = résistance de 1 cm<sup>3</sup>. d'électrolyte.  
Percentage of 1.842 Acid in Mixture by Weight = p. 100 d'acide à 1.842, en poids.

vernissée ou en plomb; il faut de plus agiter le liquide avec un bâton propre pendant que l'on verse lentement l'acide dans l'eau. La densité sera plus forte après refroidissement que lorsque le liquide est encore chaud, il faudra probablement ajouter alors une légère quantité d'eau ou d'acide pour arriver exactement à la densité voulue.

La densité de l'électrolyte a une action importante sur le fonctionnement des batteries. Si elle est trop élevée, cela facilitera la sulfatation et les plaques pourront être détériorées rapidement. Il ne faut pas oublier que la force électromotrice d'une batterie varie avec la densité de l'électrolyte, ainsi que nous l'avons dit précédemment.

La résistance de  $H^2 SO^4$  est minimum vers la densité de 1,260,



elle augmente à partir de ce point si le poids spécifique augmente ou diminue.

La figure 7 donne une courbe des variations de la résistance de l'électrolyte avec la concentration; la figure 8 donne également des courbes de variation de résistance avec la densité et pour quatre températures différentes; cette figure ne donne que la partie utile de la courbe. Ces courbes montrent que le coefficient de température est négatif; on voit en effet que la résistance décroît lorsque la température augmente.

L'électrolyte doit être exempt de chlore, de nitrates, d'acétates, de fer, de cuivre, d'arsenic, de mercure, et des moindres traces de platine. Le mercure seul n'a pas d'inconvénients s'il n'est pas en assez grande quantité pour amalgamer les plaques, mais combiné avec d'autres métaux il pourra déterminer des actions locales, ainsi qu'il est expliqué au chapitre vu.

M. Rudolph Heinz donne les limites suivantes pour les quantités de fer, de

chlore et de nitrates admissibles dans un bon électrolyte: l'acide concentré étant considéré comme cent pour cent, l'on pourra admettre au plus, 0,01 p. 100 de fer, 0,002 p. 100 de chlore; et

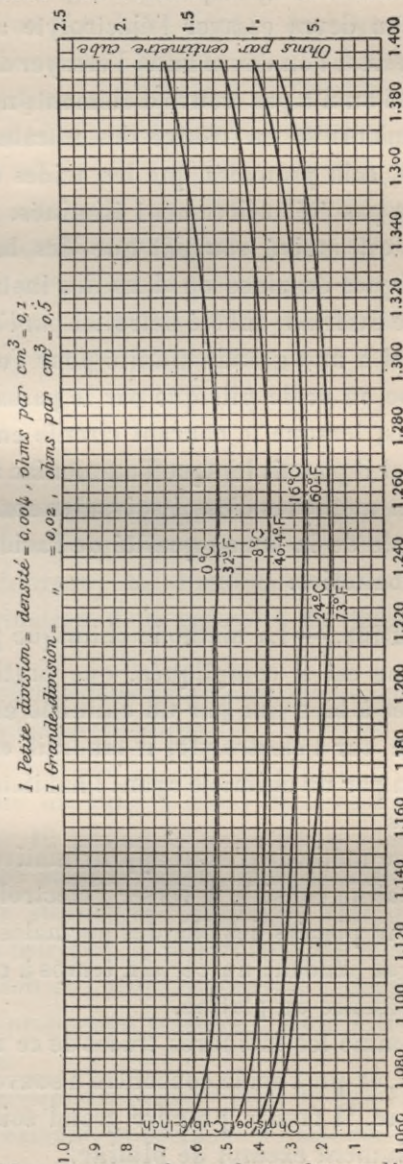


Fig. 8.

1 p. 100 de nitrates sous une forme quelconque, ammoniacque, acide nitrique, etc... Il dit également que le liquide devra être exempt de matières organiques.

L'on devra essayer l'électrolyte avant de s'en servir dans les batteries; l'on devra aussi l'essayer de temps à autre après usage.

Si l'on n'a pas trouvé d'éléments nuisibles aux premiers essais, et qu'ensuite on trouve des nitrates, des chlorures ou des acétates, cela prouvera que les acides employés pour la formation n'ont pas été entièrement éliminés.

Il est arrivé souvent que des batteries installées dans des fabriques de glace ou dans des installations où l'on devait produire du froid, ont été détruites par l'absorption de l'ammoniacque, lequel a une grande affinité pour l'eau. Cet ammoniac se transforme en acide nitrique par le passage du courant dans les éléments, lorsque le courant circule en sens inverse de celui dans lequel il passait lorsque l'ammoniac a été absorbé.

Les méthodes d'essai suivantes sont suffisantes pour se rendre compte de la bonne qualité de l'acide ou de l'électrolyte destinés aux batteries.

**Platine.** — La méthode chimique pour découvrir des traces de platine est si compliquée, que pratiquement elle ne peut être menée à bien que par un chimiste expérimenté. Si l'on avait un doute sur l'électrolyte, il faudrait en faire analyser un échantillon par un chimiste ayant l'habileté et les connaissances nécessaires.

Une méthode d'essai approximative pour déterminer des traces de platine consiste à verser l'électrolyte suspect dans un élément où sont placées des plaques normales de la batterie. S'il se dégage des gaz pendant un certain temps à circuit ouvert, ceci indiquera la présence du platine.

Comme les moindres traces de ce métal feront décharger l'élément, et que l'acide concentré a souvent passé par des alambics en platine, il faudra prendre grand soin de se procurer de l'acide absolument exempt de platine.

**Fer.** — Prendre un échantillon d'acide dilué dans deux fois son volume d'eau, neutraliser avec de l'ammoniacque ou une solu-

tion de potasse caustique. Faire bouillir ensuite avec de l'eau oxygénée en employant un volume d'eau oxygénée égal à environ un trentième de la solution à essayer. Tout le fer est alors transformé en sel ferrique. Mettre un peu de ce liquide dans un tube à essai. Ajouter de l'ammoniac ou de la potasse caustique jusqu'à rendre le mélange alcalin. S'il y a une certaine quantité de fer, il se formera un précipité brun rouge lorsque le liquide deviendra alcalin.

Il faudra faire un second essai pour rechercher les traces de fer. Prendre pour cela un échantillon du liquide qui a été neutralisé et soumis à l'ébullition avec l'eau oxygénée; ajouter quelques gouttes de prussiate rouge de potasse. S'il y a des traces de fer, le liquide prendra une couleur rouge. Cet essai est très délicat.

**Chlorures.** — A l'acide dilué, ajouter quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent obtenue en faisant dissoudre 20 grammes de nitrate d'argent dans 1000 centimètres cubes d'eau. S'il y a du chlore sous forme de chlorure, la dissolution deviendra blanche par suite de la formation d'un précipité de chlorure d'argent.

Le chlorure d'argent est soluble dans l'ammoniaque et pourra être précipité à nouveau dans l'acide nitrique.

**Nitrates.** — 1° Mettre dans un tube à essai 26 centimètres cubes d'acide dilué et ajouter 40 grammes de solution concentrée de sulfate ferreux; verser soigneusement dans le mélange 10 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré, chimiquement pur. S'il y a de l'acide nitrique, il se formera des stratifications brunes entre la solution et l'acide concentré. L'intensité de la coloration indiquera la proportion relative d'acide nitrique présent dans le liquide essayé.

2° Si l'électrolyte a été précédemment essayé pour le chlore, et si l'on a trouvé qu'il en était exempt, la méthode d'essai suivante pour rechercher les nitrates sera excellente.

Mettre un peu de limaille de cuivre pure dans un tube à essai, verser dans ce tube l'électrolyte à essayer. Fermer avec un bou-

chon traversé par un tube deux fois recourbé ainsi que l'indique la figure 9. Verser de la solution de sulfate ferreux dans le coude du tube ainsi qu'il est indiqué en B sur la figure. Si l'on chauffe le tube sur un bec Bunsen les vapeurs nitreuses se dégageront et seront absorbées par le protosulfate de fer qui prendra une couleur brun foncé.

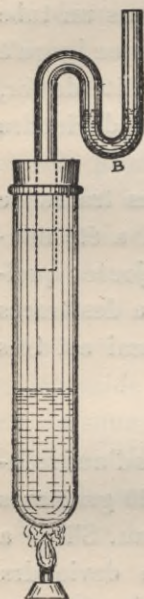


Fig. 9.

**Cuivre.** — Une solution d'ammoniaque ajoutée à l'électrolyte donnera un précipité blanc bleuté s'il y a les moindres traces de cuivre. Si l'on ajoute un excès d'ammoniaque de telle sorte que la liqueur devienne alcaline, le précipité disparaîtra et le liquide prendra une couleur bleu foncé. Cet essai est délicat à effectuer; il pourra indiquer la présence de 0,002 p. 100 de cuivre.

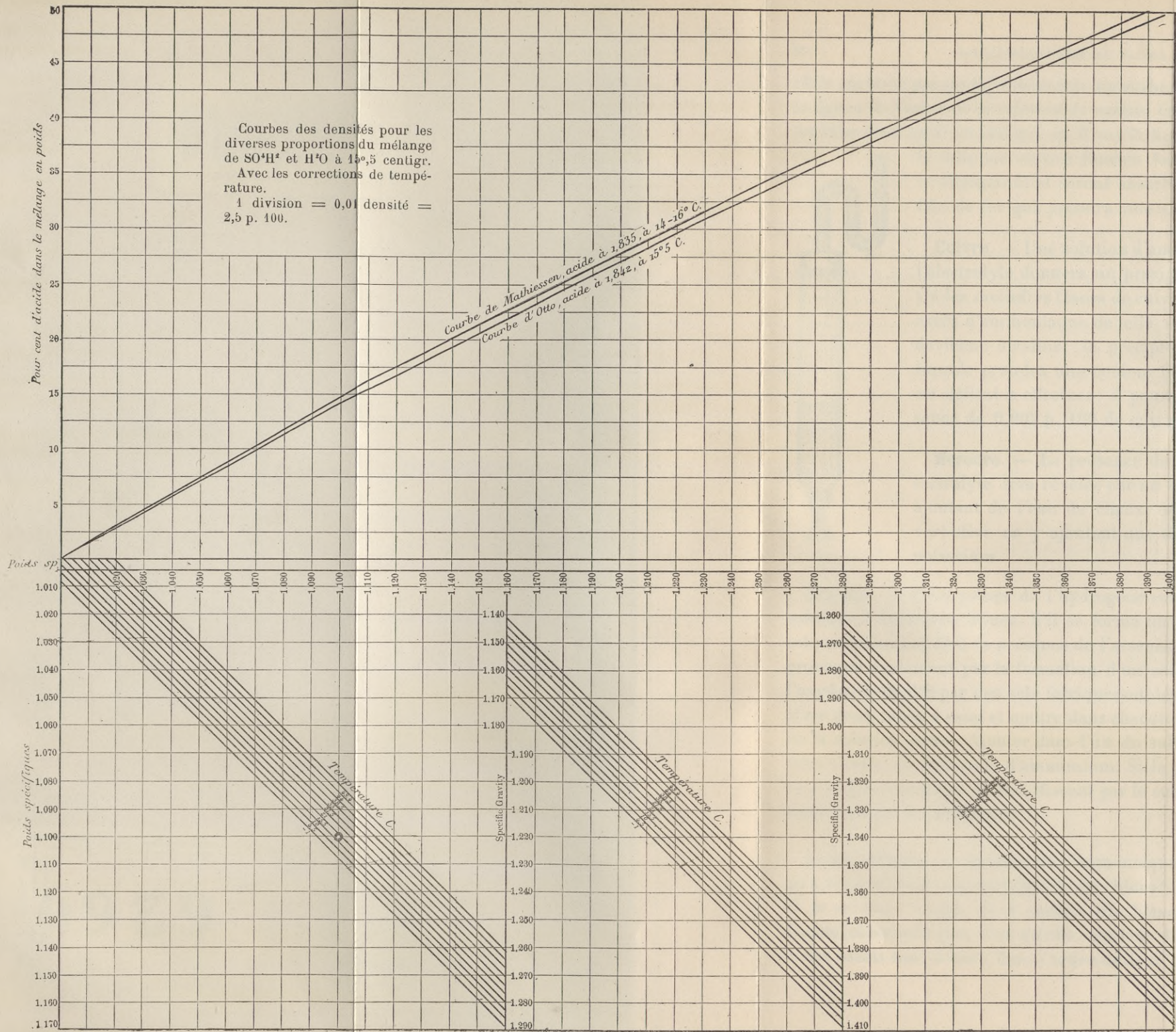
**Mercure.** — La présence du mercure dans l'électrolyte sera révélée par un précipité noir en y ajoutant de l'eau de chaux, ou par un précipité vert-olive en y ajoutant une solution d'iode de potassium.

**Arsenic.** — Faire passer de l'hydrogène sulfuré  $H^2S$  dans une solution d'électrolyte diluée. S'il se forme un précipité jaune, il est probablement dû à la présence de l'arsenic, mais il peut être provoqué également par la formation d'un sulfure provenant de l'oxydation de  $H^2S$  par des sels ferriques ou des nitrates. Prendre alors deux tubes à essai et mettre dans chacun d'eux une portion de la solution jaune. Ajouter dans l'un du sulfite d'ammonium; dans l'autre du carbonate d'ammonium. Si le précipité jaune est un composé arseniqué il sera dissout par le sulfite d'ammonium, mais non par le carbonate.

**Acide acétique.** — Ajouter de l'ammoniaque à la solution jusqu'à neutralisation; ajouter ensuite du chlorure ferrique ( $Fe^2 Cl^6$ ). Si la solution rougit, et si ensuite elle blanchit par l'addition d'acide chlorhydrique, c'est qu'elle contient de l'acide acétique.

Les essais sont donnés dans l'ordre de leur importance. Si les





quatre premiers essais indiquent qu'il n'y a ni platine ni fer, ni chlore, ni nitrates, l'on peut raisonnablement admettre que l'électrolyte peut être employé, sans effectuer les autres essais. Il serait pourtant meilleur de faire tous les essais indiqués ci-dessus.

La planche I donne une série de courbes et de diagrammes au moyen desquels l'on peut déterminer la densité des mélanges à un pourcentage d'acide donné, jusqu'à 40 p. 100 et à des températures variant de 0° à 49° centigrade. Inversement, l'on peut également, au moyen de ces courbes, déterminer le pourcentage d'acide dans un mélange d'une densité donnée, et les variations de la densité d'un mélange avec la température.

1° Pour trouver la densité d'un liquide ayant un pourcentage donné d'acide, lire le pourcentage d'acide à l'échelle verticale de gauche dans la partie supérieure du tableau. Suivre horizontalement jusqu'à la rencontre de la courbe correspondant à la densité de l'acide entrant dans la composition du mélange. Descendre ensuite verticalement jusqu'à la rencontre de l'échelle horizontale des « poids spécifiques », sur laquelle l'on obtiendra la densité pour une température de 15°,5 C. ou 60° F. Si la température du mélange est au-dessous ou au-dessus de 15°,5, il faudra continuer à descendre verticalement au delà de la graduation horizontale jusqu'à rencontrer la diagonale sur laquelle est inscrite la température du mélange. A partir de ce point l'on suivra une horizontale vers la gauche jusqu'à rencontrer l'échelle sur laquelle sont marqués les poids spécifiques. L'intersection de cette horizontale avec l'échelle verticale donnera la densité du mélange pour le pourcentage et la température considérés.

Remarquons ici que l'acide sulfurique du commerce a un poids spécifique de 1,835, c'est donc la courbe correspondant à ce poids spécifique qu'il faudra employer dans la pratique. Toutefois la formule  $H^2SO^4$  correspond à un poids spécifique de 1,842 il faudra donc employer la courbe correspondante dans les calculs électro-chimiques pour déterminer la densité et les pourcentages d'acide.

2° Pour trouver le pourcentage d'acide dans un mélange d'une densité et d'une température données.

Lire la densité donnée sur celle des échelles verticales infé-

rieures où elle se trouve inscrite. Suivre horizontalement vers la droite jusqu'à l'intersection avec la diagonale correspondant à la température donnée; mener de ce point une verticale jusqu'à la rencontre de la courbe; mener à partir de ce point de rencontre une horizontale vers la gauche, jusqu'à son intersection avec l'échelle verticale. Ce point ainsi déterminé donne le pourcentage d'acide (à 1,835 ou à 1,842 suivant la courbe employée) nécessaire pour obtenir à la température donnée la densité demandée.

3° Pour trouver la variation de densité correspondant à une variation donnée de température.

Lire la densité donnée sur l'une des échelles inférieures. Suivre horizontalement jusqu'à l'intersection avec la diagonale correspondant à la température donnée. Suivre à partir de ce point verticalement vers le haut ou vers le bas (suivant que la température à trouver est plus élevée ou plus basse que la température donnée) jusqu'à la rencontre de la diagonale correspondant à la température pour laquelle on recherche la densité. A partir de cette intersection, suivre de nouveau horizontalement vers la gauche jusqu'à rencontrer l'échelle verticale sur laquelle l'on a fait la première lecture. Le nouveau point ainsi déterminé sur cette échelle donnera la densité pour la nouvelle température.

4° Pour trouver la température de l'électrolyte, la densité étant connue pour une température donnée, et la densité pour la température cherchée étant également connue :

Lire sur l'une des échelles verticales inférieures la densité donnée; suivre une ligne horizontale à partir du point ainsi déterminé jusqu'à sa rencontre avec la diagonale correspondant à la température donnée; tracer en ce point une verticale. Mener de même une horizontale pour la densité correspondant à la température cherchée. Cette horizontale rencontrera la verticale précédemment tracée en un point qui donnera la température cherchée.

Si l'intersection de ces deux lignes tombait entre deux diagonales, l'on déterminerait approximativement la température d'après la position du point d'intersection par rapport à ces diagonales.



**Exemples.** — 1° Quel est le poids spécifique d'un mélange contenant 36,5 p. 100 d'acide à 1,835, à la température de 15°,5 C?

Réponse : 1,2688.

2° Quel est le poids spécifique d'un mélange contenant 32 p. 100 d'acide à 1,835, à la température de 32°,22 C.

Réponse : 1,224.

3° Si un mélange contient 30 p. 100 d'acide à 1,835, quel est son pourcentage en acide à 1,842.

Réponse : 29,2 p. 100.

4° Si un mélange présente une densité de 1,180 à 29°,44 C. combien contiendra-t-il pour cent d'acide à 1,835, combien d'acide à 1,842.

Réponse : 26 p. 100 d'acide à 1,835, ou 25,4 p. 100 d'acide à 1,842.

**Remarque.** — Comme il n'y a pas de ligne de température entre les lignes de 26°,66 C. et de 32°,22 C., il faut choisir un point équidistant de ces deux lignes pour la température de 29°,44 C. Pour 28°,05 C, il faudrait prendre un point à un quart de la distance entre les deux lignes, à partir de celle qui correspond à 26°,66 C.

5° Un mélange présente un poids spécifique de 1,290 lorsqu'il est à 37°,07 C. Quelle sera la densité à 4°,44 C.

Réponse : 1,3075, soit en chiffres ronds 1,308.

6° Quelle est la température d'un mélange qui présente une densité de 1,256, sa densité relevée précédemment à 4°,45 C. étant de 1,276.

Réponse : 43°,33 C.

Les tables suivantes donnent les constantes de l'électrolyte à des densités variables, pour la température de 15°,5 C. Ces données ont servi à la détermination des courbes précédentes.

TABLEAU I. — *Acide sulfurique. Mélange en poids.*

POIDS SPÉCIFIQUE	POUR CENT d'acide à 1,835.	POIDS D'ACIDE à 1,835 par Dm <sup>3</sup> en grammes.	POUR CENT d'acide à 1,842.
1,000	0,00	0,00	0,000
1,007	1,00	10,1	0,935
1,014	2,50	25,3	2,337
1,021	3,66	37,3	3,422
1,028	5,00	51,4	4,675
1,036	6,00	62,1	5,610
1,043	7,00	72,8	6,545
1,051	8,00	83,8	7,480
1,058	9,00	95,0	8,415
1,066	10,25	109,1	9,584
1,074	11,50	123,2	10,752
1,082	12,50	135	11,687
1,090	13,60	148	12,716
1,098	14,70	161,1	13,744
1,107	16,00	177	14,960
1,115	17,00	189,1	15,895
1,124	18,25	204,6	17,064
1,133	19,60	222	18,326
1,124	21,00	239,4	19,635
1,151	22,00	252,6	20,570
1,160	23,25	269,1	21,739
1,169	24,50	285,7	22,907
1,179	26,00	306	24,310
1,188	27,25	323	25,479
1,198	28,50	341	26,647
1,208	30,00	362	28,050
1,218	31,25	380	29,219
1,229	32,75	402	30,621
1,239	34,00	420,5	31,790
1,250	35,50	443	33,192
1,261	37,00	465,6	34,595
1,272	38,37	487	35,876
1,283	39,75	509	37,166
1,295	41,25	533,1	38,569
1,306	42,62	555,5	39,850
1,318	44,00	579	41,140
1,330	45,50	604	42,542
1,342	47,00	629,4	43,945
1,355	48,50	656	45,347
1,368	50,00	682,5	46,750
1,381	51,50	709,7	48,152
1,394	53,00	737,3	49,555
1,408	54,50	765,7	50,957
1,421	56,00	794,0	52,360
1,436	57,50	824,0	53,762
1,450	59,00	853,7	55,165
1,465	60,50	884,5	56,567
1,479	62,00	915,2	57,970
1,495	63,50	947,4	59,372
1,510	65,00	979,5	60,775

POIDS SPÉCIFIQUE	POUR CENT d'acide à 1,835.	POIDS D'ACIDE à 1,835 par Dm <sup>3</sup> en grammes.	POUR CENT d'acide à 1,842.
1,526	66,50	1012,6	62,177
1,542	68,00	1046,4	63,580
1,559	69,70	1084,2	65,169
1,576	71,30	1121,4	66,665
1,593	73,00	1160,5	68,255
1,611	74,60	1199,4	69,751
1,629	76,20	1238,7	71,247
1,648	77,87	1280,6	72,808
1,666	79,50	1321,8	74,332
1,686	81,30	1368	76,015
1,706	83,00	1413	77,605
1,726	85,00	1464	79,475
1,747	87,00	1517	81,345
1,768	89,00	1570,2	83,215
1,790	91,62	1636,6	85,665
1,801	93,12	1673,6	87,067
1,807	94,00	1695	87,890
1,812	94,70	1714,3	88,544
1,818	95,66	1735,5	89,442
1,824	96,80	1762	90,508
1,830	98,33	1796	91,939
1,835	100,00	1835	93,500

TABLEAU II. — *Points approximatifs d'ébullition.*

DENSITÉ DE L'ACIDE	DEGRÉS CENTIGRADES	DENSITÉ DE L'ACIDE	DEGRÉS CENTIGRADES
1,526	143,7	1,768	217,4
1,706	192	1,790	229,8
1,726	198	1,812	246
1,747	206,3	1,835	272

## CHAPITRE VI

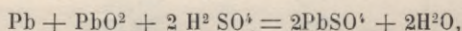
### QUANTITÉ D'ÉLECTROLYTE

D'après l'équation fondamentale de l'accumulateur au plomb, une quantité définie de  $\text{SO}^3$  est enlevée à l'électrolyte pendant la décharge, ce qui détermine une diminution de la densité de l'électrolyte au cours de la décharge.

La diminution de la densité de l'électrolyte entraîne une baisse de force électro-motrice de capacité, de conductibilité; comme celles-ci doivent être maintenues aussi grandes que possible, il s'ensuit qu'il faudra faire en sorte que la densité ne tombe pas trop bas en fin de décharge. La densité initiale, c'est-à-dire celle correspondant au commencement de la décharge, ne doit pas être supérieure à 1,240 ou 1,245, car des densités plus élevées causent de la sulfatation et détériorent les plaques.

Il est évident que plus la quantité d'électrolyte prenant part à l'action chimique sera grande, et moins il y aura de variation dans la densité.

Si nous nous reportons à l'équation :



nous voyons que pour chaque unité de courant déchargé, il y aura deux équivalents électro-chimiques de  $\text{SO}^4\text{H}^2$  décomposés.

L'équivalent en ampère-heures de l'acide sulfurique est de 4,826 gr. Donc pour chaque ampère-heure déchargé, il y aura  $2 \times 4,826 = 3,652$  gr. décomposés. Pour  $Q$  ampère-heures,  $Q \times 3,652$  gr. seront décomposés.

$\text{H}^2\text{SO}^4$  est en partie composé d'eau, même dans sa forme concentrée, il doit être considéré comme  $\text{H}^2\text{O} + \text{SO}^3$ . L'on calcule comme suit le poids d'eau dans l'acide concentré : le poids moléculaire de  $\text{H}^2\text{SO}^4 = 98$ ; l'eau entre pour 18 dans ce poids. Si nous désignons par  $aq$  cette quantité d'eau :

$aq = \frac{18}{98} = 0,1837 =$  proportion de  $H^2O$  dans  $SO^3H^2$  concentré, de poids spécifique 1,842.

Dans  $A$  grammes d'acide, il y aura par conséquent  $A \times 0,1837$  gr. d'eau, et  $A (1,00 - 0,1837)$  gr. de  $SO^3$ .

La méthode suivante pour calculer la quantité d'électrolyte est due à Fitz-Gérald.

Soit  $N$  le pourcentage de  $H^2SO^4$  dans l'électrolyte au début de la décharge.

Soit  $Aq$  le poids d'eau dans l'électrolyte.

Soit  $n$  le pourcentage de  $H^2SO^4$  dans l'électrolyte à la fin de la décharge.

Alors

$$\frac{N}{100 - N} = \frac{A}{Aq} \quad (3)$$

$$Aq = \frac{A \times (100 - N)}{N} \text{ grammes.} \quad (4)$$

A la fin de la décharge, une certaine quantité de  $H^2SO^4 = A$  a été décomposée,  $SO^3$  a été fixé et  $H^2O$  est resté libre dans l'électrolyte; c'est-à-dire que  $(A - aq)$  a été enlevé et  $aq$  est resté. L'eau mélangée à  $H^2SO^4$  pour le diluer, et représentée par  $Aq$  est également restée dans l'électrolyte, de telle sorte que pour une quantité donnée de  $SO^3$  qui se combine avec la matière active, il reste une quantité d'eau  $Aq + aq$  pour diluer l'électrolyte. Pour éviter que la densité ne tombe au-dessous de la valeur voulue, c'est-à-dire pour que  $n$  soit le pourcentage de  $H^2SO^4$  dans le mélange total en fin de décharge, il faudra qu'il reste une certaine quantité d'électrolyte égale à  $x$  fois la quantité de liquide décomposé.

$$x (A + Aq) + A + Aq = P \quad (5)$$

$=$  quantité totale d'électrolyte nécessaire,  $x$  étant variable avec  $n$ .

$$\begin{aligned} \frac{n}{100} &= \frac{x A}{x (A + Aq) + Aq + aq} \\ \frac{100}{n} &= \frac{x (A + Aq) + Aq + aq}{x A} \\ \frac{100 \times A}{n} &= A + Aq + \frac{Aq + aq}{x} \\ \frac{100 A}{n} - (A + Aq) &= \frac{Aq + aq}{x}, \end{aligned}$$

d'où

$$x = \frac{Aq + aq}{\frac{100 A}{n} - (A + Aq)} \quad (6)$$

substituons dans l'équation (5).

$$P = \frac{Aq + aq}{\frac{100 A}{n} - (A + Aq)} (A + Aq) + A + Aq. \quad (7)$$

P étant le poids total de l'électrolyte.

Si l'on prend  $A = 365,7$ , et si l'on substitue leurs valeurs à N, n, Aq, et aq, l'on obtiendra le résultat en grammes par 100 ampères-heure.

L'on obtiendra pour Aq

$$\overline{Aq} = 365,7 \left( \frac{100 - N}{N} \right)$$

et

$$aq = 365,7 \times 0,1837 = 67,28.$$

Pour cette valeur particulière de A.

Si l'on substitue à A la valeur  $3,657 \times Q$ , et que l'on donne à Aq et aq les valeurs correspondantes, l'on obtiendra le résultat en grammes pour Q ampères-heure.

Si n est l'inconnue, on écrira l'équation :

$$n = \frac{100 A}{\frac{(Aq + aq) (A + Aq)}{P - (A + Aq)} + A + Aq} \quad (8)$$

Si l'on connaît trois des quatre quantités P, N, n, et Q (ampères-heure de décharge), l'on pourra déterminer la quatrième.

En général, N, n, et les ampères-heure de décharges sont connus, ou sont des quantités que l'on se donne, et c'est P que l'on cherche.

La planche II donne une série de courbes construites par l'auteur pour un fabricant d'accumulateurs, et qui donne les relations entre les ampères-heure à la décharge; la densité initiale de la batterie au moment où elle est entièrement chargée, la densité de l'électrolyte après une période quelconque de décharge, et la quantité d'électrolyte dans l'élément.

Désignons les ampères-heure par AH;

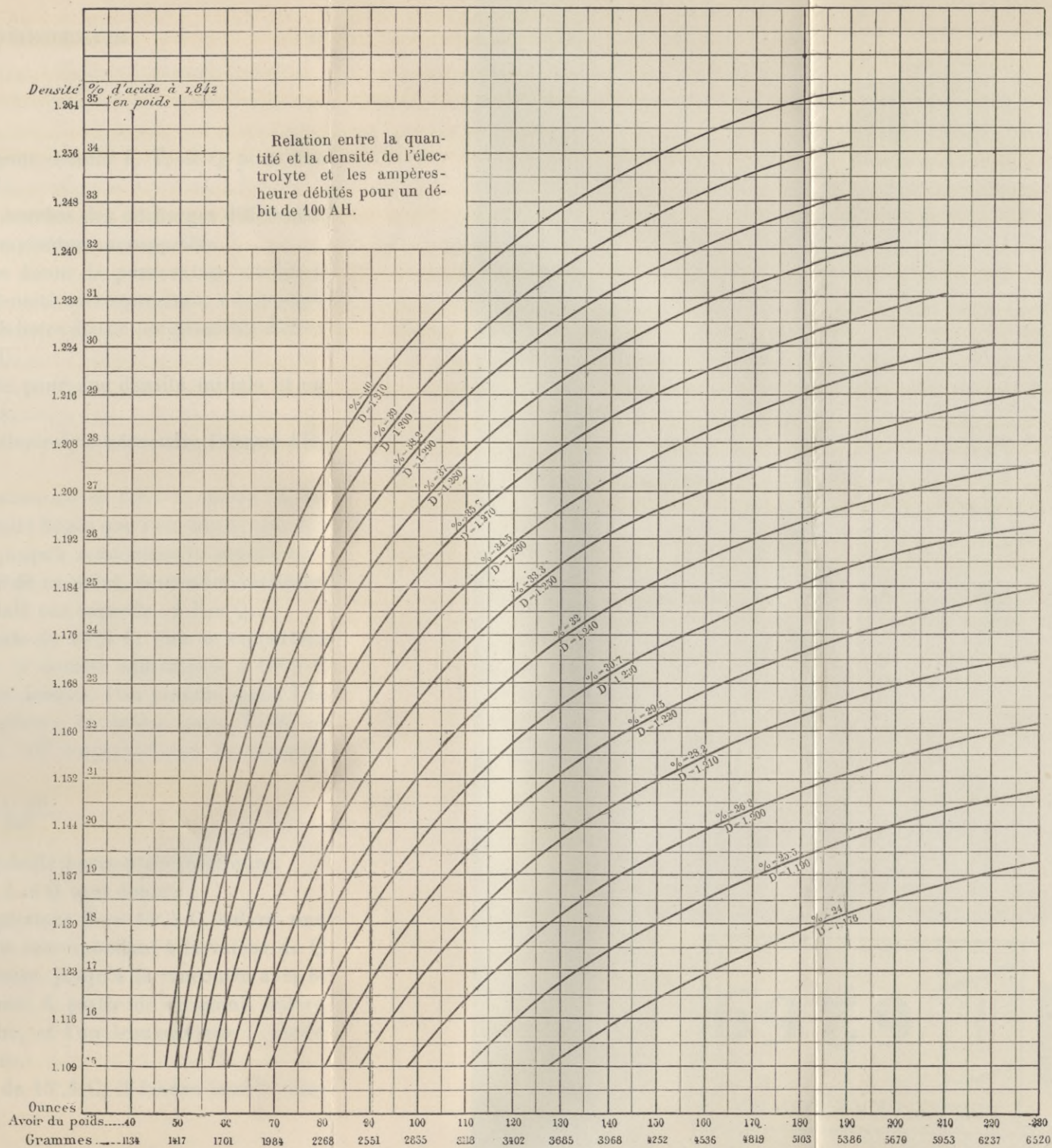


Table 10  
Data for 1950

Year	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Population	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Area	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Production	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Consumption	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Exports	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Imports	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Balance of Trade	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Debt	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Assets	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Liabilities	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Defense	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Social Security	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Education	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Health	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Housing	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Transportation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Conservation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Administration	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Expenditure on Other	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Taxes	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Fees	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Dividends	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Interest	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Profits	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Revenue from Other	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Social Security	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Education	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Health	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Housing	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Transportation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Conservation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Administration	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Deficit on Other	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Social Security	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Education	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Health	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Housing	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Transportation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Conservation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Administration	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Surplus on Other	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Social Security	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Education	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Health	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Housing	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Transportation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Conservation	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Administration	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Government Net Worth on Other	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150



La densité initiale par I ;

La densité finale par T ;

La quantité par Q ;

Les courbes sont calculées pour donner I, T, et Q pour 100 ampères-heure, à 15°,5 C (60° F).

L'on pourra rapporter à ces courbes des décharges différentes en faisant les corrections de température appropriées.

L'échelle verticale de gauche donne le pourcentage d'acide à 1,842 dans le mélange, et la densité correspondante à la température de 15°,5 C. L'échelle inférieure donne les quantités d'électrolyte en grammes (Planche II).

Chaque courbe est construite pour une densité initiale et un pourcentage d'électrolyte donnés.

1° Trouver la quantité (Q) d'électrolyte nécessaire lorsque AH, I et T, sont donnés :

Si AH = 100 et si la température est de 15°,5 C, suivre l'horizontale correspondant à la densité finale que l'on désire, lue sur l'échelle verticale de gauche, jusqu'à rencontrer la courbe correspondant à I donné. A partir de ce point, descendre verticalement jusqu'à l'échelle horizontale sur laquelle on lira Q.

Si la température est différente de 15°,5 C, l'on se rapportera à la planche I et l'on trouvera la densité équivalente à 15°,5 C par la méthode précédemment donnée, l'on prendra pour I la densité ainsi trouvée ; l'on opérera de même pour T. Si la décharge AH est différente de 100 ampères-heure la quantité d'électrolyte sera

$$\frac{Q \times AH}{100},$$

où Q est la lecture faite sur l'échelle horizontale inférieure.

2° Déterminer T, quand AH, I et Q sont donnés :

Si AH = 100 et si la température T = 15°,5 C, suivre une ligne verticale à partir du point correspondant à la valeur de Q sur l'échelle horizontale inférieure, jusqu'à sa rencontre avec la courbe correspondant à I donné. A partir de ce point, suivre horizontalement vers la gauche, et l'on trouvera sur l'échelle verticale la valeur de T cherchée.

Si la température n'est pas de 15°,5 C, il faudra faire la cor-

rection de température pour I, ainsi qu'il est expliqué plus haut ; on prendra la courbe correspondant à la valeur corrigée de I.

Après avoir trouvé T, il faudra lui appliquer de nouveau la correction de température.

Si AH a une valeur autre que 100, il faudra appliquer la formule de correction  $\frac{100 \cdot Q}{AH} = QC$  ; on emploiera la valeur QC au lieu de Q pour déterminer le point de départ sur l'échelle horizontale, et l'on opérera pour la suite comme précédemment.

3° L'on se donne AH, Q et T, et l'on cherche I :

Mener une verticale du point Q, et une horizontale du point T, leur intersection tombera sur une courbe des I qui donnera la valeur de I cherché, si  $AH = 100$  ampères-heure, Si l'intersection tombe entre deux courbes, on déterminera la valeur de I d'après la position du point par rapport aux deux courbes.

Il faudra appliquer à T, avant de faire les lectures, la correction de température précédemment indiquée, la même correction devra être appliquée à I après sa détermination.

Si AH a une valeur autre que 100, la valeur de Q devra être corrigée ; et la valeur  $QC = \frac{100 \cdot Q}{AH}$  déterminera le point de départ sur l'échelle horizontale.

4° Enfin si Q, T et I, sont donnés, l'on peut déterminer le nombre d'ampères-heure qui ont été débités, ceci en prenant soin de faire les corrections de température convenables pour T et pour I ; nous supposons dans ce qui suit que l'on emploie ces valeurs corrigées alors :

On mènera une horizontale de T jusqu'à I, de l'intersection de cette ligne horizontale avec I, l'on abaissera une verticale jusqu'à sa rencontre avec l'échelle horizontale ; on lira sur l'échelle horizontale une certaine valeur que nous appellerons *g*. L'on aura alors

$$AH = \frac{Q \times 100}{g}.$$

*Exemples :*

1° Dans une batterie qui doit fournir 100 ampères-heure, combien faudra-t-il de grammes d'électrolyte, si la densité au début de la décharge est de 1,250 et si l'on veut qu'elle soit de 1,195 à la fin, les densités étant prises à la température de 15,5 C.

Réponse : 4 110 grammes.

2° Combien de grammes d'électrolyte faut-il dans un élément qui doit donner 80 ampères-heure, la densité étant de 1,265 avant le début de la décharge et à 37°,77 C; et la densité en fin de décharge devant être de 1,185 à 21°,11 C.

Réponse : 2 200 grammes.

L'on résout ce problème ainsi qu'il suit :

L'on fait sur la planche I les corrections de température des densités initiale et finale que l'on ramène à 15°,5 C. 1,265 à 37°,27 C devient 1,276 à 15°,5 et 1,185 à 21°,11 devient 1,189 à 15°,5.

En prenant ces valeurs respectivement pour les densités initiale et finale, l'on trouve d'après la courbe que le poids d'électrolyte pour 100 AH est de 2 750 grammes. Pour 80 AH, le poids sera de

$$\frac{2750 \times 80}{100} = 2200 \text{ grammes.}$$

Il est à remarquer qu'il n'y a pas de courbe correspondant à la densité initiale 1,276; par conséquent, sur l'horizontale partant du point 1,189 lu sur l'échelle de gauche, il faudra choisir un point entre les courbes 1,270 et 1,280, à environ 0,6 de la distance qui sépare ces deux courbes. En pratique il suffira de déterminer ce point approximativement.

Dans les problèmes suivants, on supposera que la température des mélanges est de 15°,5 C. Si la température était différente, l'on ferait les corrections nécessaires pour ramener à cette température.

3° Quel est le poids de l'électrolyte, la densité initiale étant 1,225, la densité finale 1,776, et le nombre d'ampères-heure débités 210.

Réponse : 10 298 grammes.

L'on trouve pour 100 AH, 4 904 grammes, pour 210 AH, la quantité d'électrolyte sera donc de  $\frac{4904 \times 210}{100} = 10298$  grammes.

4° Un élément contient 6 747 grammes d'électrolyte dont la densité au début de la décharge est de 1,240. Sa densité est devenue ensuite 1,200. Combien l'élément a-t-il débité d'ampères-heure ?

Réponse : 116 ampères-heure.

Dans ce cas, la courbe indique qu'il faut 5 811 grammes pour fournir 100 ampères-heure ; la décharge obtenue avec 6 747 grammes sera donc de

$$\frac{6\,747}{5\,811} \times 100 = 116 \text{ AH.}$$

5° Un élément contenant 6 804 grammes d'électrolyte a débité 162 ampères-heure, et la densité finale de l'électrolyte est de 1,147.

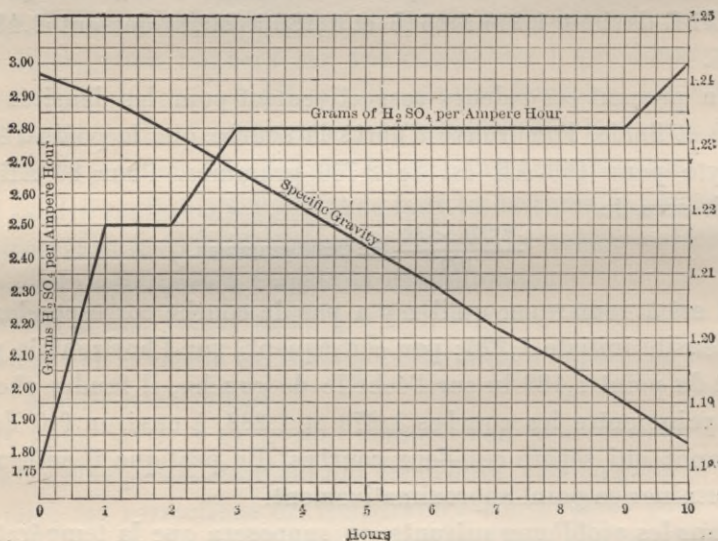


Fig. 10.

Hours = heures.

Specific gravity = poids spécifique.

Grams of H<sup>2</sup> SO<sup>4</sup> per ampere hour = grammes de SO<sup>4</sup> H<sup>2</sup> par ampère-heure.

Quelle était la densité au début de la décharge ?

Réponse : 1,208.

6 804 grammes d'électrolyte, et 162 AH, nous donnent  $\frac{6\,804 \times 100}{162} = 4\,200$  grammes pour 100 AH. L'intersection de la verticale de 4 200 et de l'horizontale 1,147 tombe entre les courbes 1,200 et 1,210 et près de cette dernière. L'on voit donc que la valeur cherchée est environ 1,208.

6° Un élément contient 3 203 grammes d'électrolyte dont la densité est 1,245, Quelle sera la densité lorsqu'on aura débité 106 ampères-heure ?

Réponse : 1,164.

$$\frac{3203 \times 100}{106} = 3021$$

grammes est le poids de l'électrolyte correspondant à 100 AH. Menons au point correspondant à 3021 une verticale, arrêtons-la approximativement au milieu entre les courbes 1,240 et 1,250. Menons alors une horizontale jusqu'à rencontrer l'échelle verticale de gauche et nous obtenons la valeur de la densité finale cherchée.

Après un peu de pratique, l'usage de ces courbes paraîtra fort simple, et avec un peu d'attention l'on pourra résoudre tous les problèmes concernant l'étude des accumulateurs, et relatifs à l'électrolyte, la densité, etc...

TABLEAU III

TEMPS	AMPÈRES	VOLTS	DENSITÉ	DIMINUTION DE DENSITÉ	GRAMMES de H <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> employés	
					par heure	par amp.-heure
8 h. 57 mat.	4,00	2,01	1,2440	»	»	»
9 h. 57 —	»	2,00	1,2373	0,0037	7	1,75
10 h. 57 —	»	1,99	1,2319	0,0054	10	2,50
11 h. 57 —	»	1,90	1,2260	0,0059	10	2,50
12 h. 57 soir	»	1,97	1,2199	0,0061	11	2,75
1 h. 57 —	»	1,95	1,2139	0,0060	11	2,75
2 h. 57 —	»	1,935	1,2079	0,0060	11	2,75
3 h. 57 —	»	1,915	1,2017	0,0062	11	2,75
4 h. 57 —	»	1,89	1,1961	0,0056	10	2,50
5 h. 57 —	»	1,855	1,1899	0,0062	11	2,75
6 h. 57 —	»	1,835	1,1835	0,0064	12	3,00

TABLEAU IV

RÉGIME DE DÉCHARGE		DURÉE DE LA DÉCHARGE en heures.	CAPACITÉ EN AH	GRAMMES de H <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> par AH.
ampères.	ampères par dmq.			
5	2,94	6	30	2,560
4	2,35	9	36	2,705
3	1,76	14	42	2,855
2	1,18	24	48	3,083
1	0,59	59	59	3,269

En pratique, la variation de densité de l'électrolyte à la décharge n'est pas conforme à celle de la théorie, à moins que le régime de décharge soit très faible; plus le régime de décharge sera élevé et moins la densité diminuera pour un débit total donné. Les résultats de quelques expériences effectuées en Allemagne par le Dr A. Pfaff ont été publiées au début de 1901<sup>1</sup>, nous les reprodui-

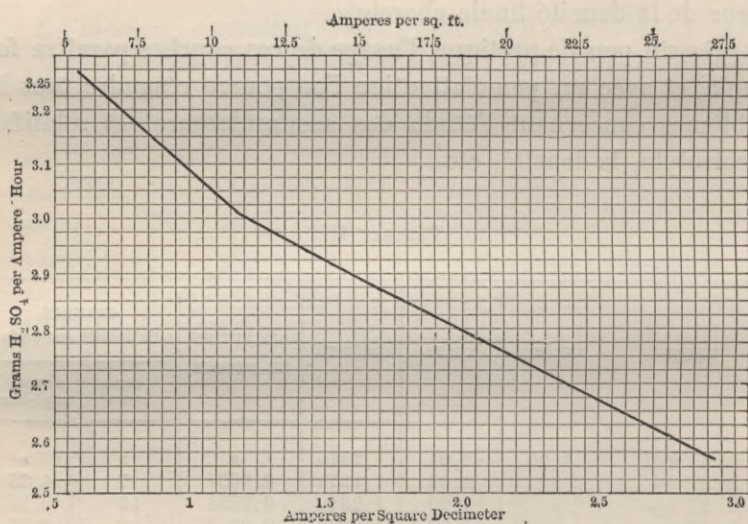


Fig. 11.

Amperes per sq. ft. = Ampères par pied carré.  
 Amperes per Square Decimeter = ampères par décimètre carré.  
 Grams H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> per ampere hour = grammes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par ampère-heure.

sons ici dans les tableaux III et IV et dans les courbes des figures 10 et 11.

Le tableau III et la figure 10 indiquent les variations observées dans un élément déchargé à régime constant. Le tableau IV et la figure 11 donnent les variations qui se produisent avec différents régimes de décharge.

Dans la figure 10, la ligne brisée indique en grammes la quantité d'électrolyte prélevée par ampère-heure aux différents points de la décharge. La courbe des poids spécifiques se rapporte à l'échelle de droite et indique le poids spécifique de l'électrolyte aux différents instants de la décharge.

<sup>1</sup> *Centralblatt für accumulatoren*, n° 5, vol. II, mars 1901.

La figure 11 indique de combien variera avec le régime de décharge la quantité de  $H^2 SO^4$  enlevé à l'électrolyte.

L'on peut conclure de ces expériences que les lois théoriques ne sont admissibles que pour des régimes trop faibles pour être praticables. Toutefois les calculs seront utiles pour déterminer les valeurs limites du poids et de la densité finale de l'électrolyte d'un élément, d'une capacité et d'une densité initiale données.

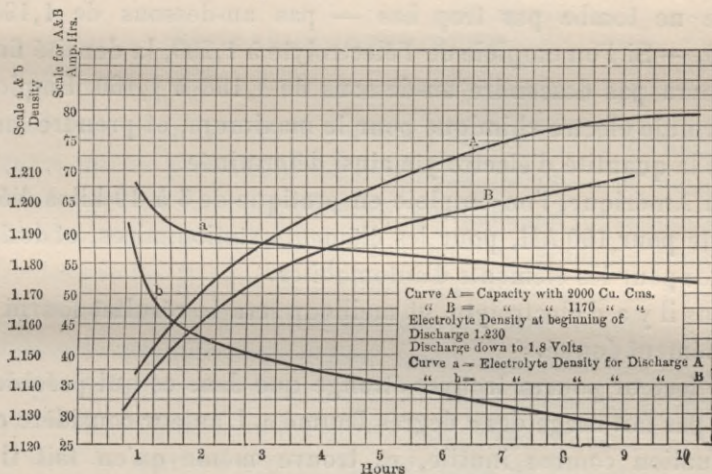


Fig. 12.

Hours = heures.

Scale a et b density = échelle pour a et b, densité.

Scale for A et B, amp. hrs. = échelle pour A et B, ampères-heure

Courbe A = capacité avec 2000 cm<sup>3</sup>. — Courbe B = capacité avec 1170 cm<sup>3</sup>.

Densité de l'électrolyte au début de la décharge 1,230. — Décharge jusqu'à 1,8 volt.

Courbe a = densité de l'électrolyte pour la décharge A.

Courbe b = densité de l'électrolyte pour la décharge B.

Le désaccord entre les résultats théoriques et pratiques aux forts régimes de décharge est dû à la formation d'une couche de sulfate qui empêche la diffusion de l'électrolyte dans les pores. L'acide dans les pores de la plaque devient alors très dilué, il se débarrasse presque totalement de son  $SO^3$  pour former du sulfate avec la matière active. Si l'acide de l'électrolyte pouvait se mêler à celui des pores, après la décharge, le poids spécifique résultant serait le même, pour un débit donné en ampères-heure, quel qu'ait été le régime de décharge.

Enfin la question de variation de capacité avec l'accroissement de la quantité de l'électrolyte a été étudiée par Herr H. Wehrin<sup>1</sup> :

<sup>1</sup> Centralblatt für accumulatoren, n° 4, 1904.

les courbes ci-dessous (fig. 12) indiquent les accroissements de capacité que l'on obtient en augmentant la quantité d'électrolyte, ces courbes ont été tracées d'après les résultats d'expériences.

La diminution de densité de l'électrolyte au cours de la décharge est également indiquée. Une bonne règle, en général, est d'employer un acide faiblement concentré — pas au-dessus de 1,204 — et de prendre suffisamment d'électrolyte pour que la densité finale ne tombe pas trop bas — pas au-dessous de 1,190 à 1,200. — Si l'on emploie de l'électrolyte à 1,200, la densité finale ne devra pas descendre au-dessous de 1,158 à 1,160. Employer la formule électro-chimique pour le maximum, et prendre largement la quantité d'électrolyte ainsi déterminée.

En Amérique, l'on emploie en pratique de 5 à 10 kilos d'électrolyte pour 100 AH, pour les éléments stationnaires, et de 2,5 à 4 kilos pour les éléments d'automobiles.

Plus il y a d'électrolyte, et meilleur sera le résultat fourni par un élément donné.

Le lecteur pourra trouver étrange que dans ce qui précède on n'ait pas fait usage des « degrés Baumé ». L'auteur considère cette graduation comme inutile, et trouve même qu'en fait il est absurde d'employer une unité qui ne signifie rien et qui doit être convertie en poids spécifiques pour avoir un sens. Ce système n'est utile ni en théorie, ni en pratique, et, il est beaucoup plus rationnel d'employer la notation en poids spécifiques.

---



## CHAPITRE VII

### DÉCHARGE INTÉRIEURE

L'on désigne sous le nom d' « actions locales », les décharges intérieures qui se produisent dans certains cas entre la matière active et les grilles support, ou entre des portions de la matière active et des impuretés métalliques situées sur la même plaque, et entre lesquelles il peut se produire une différence de potentiel. Les conditions essentielles qui doivent être remplies pour qu'il puisse se produire une action locale sont les suivantes : l'électrolyte doit être en contact avec les deux éléments formant le couple actif, la grille ou les autres impuretés doivent être en contact avec la matière active; la différence de potentiel entre les deux éléments formant le couple voltaïque local doit être assez grande pour décomposer l'électrolyte.

La force électromotrice minimum qui puisse décomposer l'électrolyte varie avec la nature des électrodes qui forment le couple. Le tableau suivant donne les voltages de décomposition de l'électrolyte lorsque l'un des éléments est l'hydrogène et l'autre l'un de ceux inscrits au tableau :

Platine spongieux, ou platine finement divisé.	0,005	volt.
Or. . . . .	0,02	—
Fer . . . . .	0,08	—
Platine en lames . . . . .	0,09	—
Argent. . . . .	0,15	—
Nickel. . . . .	0,21	—
Cuivre. . . . .	0,23	—
Cadmium . . . . .	0,48	—
Étain. . . . .	0,53	—
Plomb. . . . .	0,64	—
Zinc. . . . .	0,70	—
Mercure . . . . .	0,78	—

L'action locale ou décharge intérieure se présente plus souvent à l'électrode en plomb spongieux qu'à l'électrode peroxydée.

Cette « self-décharge » est due le plus souvent à des impuretés dans l'électrolyte.

Le voltage entre l'électrode de plomb spongieux et l'électrode d'hydrogène, c'est-à-dire une électrode constituée par une plaque de platine recouverte de platine spongieux contenant de l'hydrogène occlus, et autour de laquelle s'est formée une gaine d'hydrogène, est d'environ 0,33 volt dans l'électrolyte de densité usuelle. Il résulte de ceci que s'il y a dans l'électrolyte ou dans le plomb spongieux, comme impuretés, l'une des substances du tableau précédent, comprises entre le platine et le cuivre inclus, cette substance ayant un voltage de dissociation inférieur à 0,33 volt, l'action locale pourra se produire et la self-décharge aura lieu. L'intensité de la décharge locale sera inversement proportionnelle aux valeurs des forces électromotrices nécessaires pour décomposer l'électrolyte, et par conséquent parmi les éléments déterminant l'action locale le platine aura le plus d'effet, et le cuivre sera la substance ayant le moins d'action.

L'on a déterminé expérimentalement que si la solution contient un millionième de platine, la plaque négative se décharge rapidement.

Il s'est présenté des cas où l'on avait considéré l'acide employé pour l'électrolyte comme chimiquement pur, parce qu'il avait été distillé dans des récipients en platine, et où cependant les plaques négatives perdirent leur capacité et se désagrégèrent rapidement.

On a trouvé également que s'il se trouve en présence dans l'électrolyte, deux ou plusieurs métaux du même caractère, qui à eux seuls auraient fort peu d'action pour produire la « self-décharge », leur action combinée déterminera une décharge intérieure rapide de la batterie. L'on n'a jamais donné de raison de ce phénomène singulier, mais il est certain que la présence de deux ou plusieurs métaux presque quelconques dans l'électrolyte a un effet destructeur. Malheureusement, plus la plaque négative est bonne, plus la matière active est poreuse, et plus les décharges intérieures sont à craindre.

Nous devons mentionner ici que l'on ne doit jamais laisser

sécher ou laisser exposées à l'action de l'air les plaques négatives chargées. En effet le plomb spongieux s'oxyde très rapidement, il en résulte un fort échauffement de la plaque qui durcit rapidement. — Il devient très difficile de réduire la matière active en plomb doux spongieux après exposition à l'air.

La concentration de l'électrolyte a une influence marquée sur la rapidité de « self-décharge » de l'électrode de plomb spongieux. Dolezaleck explique ceci en montrant qu'à la décharge, l'hydrogène est engendré autour des impuretés de l'acide, et que celles-ci jouent alors le rôle d'électrodes d'hydrogène; que par conséquent leur voltage augmente avec la concentration de l'acide; cette augmentation est très grande par rapport à la variation de densité; elle augmente dans le même rapport la facilité de décomposition de l'électrolyte, et accélère l'action locale.

Quequefois dans des éléments profonds, la différence de densité de l'électrolyte entre le haut et le bas de l'élément, agissant en même temps qu'une autre force électromotrice locale insuffisante à elle seule pour décomposer l'électrolyte, détermine une différence de potentiel assez élevée pour décomposer le liquide et par conséquent pour produire une action locale.

Les impuretés métalliques de l'acide ne peuvent produire de décharges locales sur la plaque positive que si elles sont facilement oxydables. Ces métaux agissent alors comme transposeurs de l'oxygène de l'anode à la cathode, ils déterminent ainsi un transport de la charge, d'où il résulte une décharge intérieure graduelle de l'élément. Tous les métaux qui se présentent à différents degrés d'oxydation ont cette propriété. Par exemple, les sels de fer deviennent des sels ferriques à l'anode, et se transportent sur la cathode où ils dégagent leur oxygène. Ils retournent alors à l'anode, se rechargent de nouveau d'oxygène, reviennent ensuite à la cathode, et ainsi de suite continuellement.

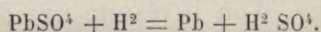
Les sels de manganèse ont la même action, il faudra les éviter dans la préparation de la matière active.

Lorsque la grille positive est entièrement recouverte de peroxyde, il ne peut pas y avoir d'action locale entre la matière active et la grille, parce que les pores de la matière peroxydée, vers le fond de la couche, sont toujours remplis d'une certaine quantité de

sulfate; nous voulons parler ici des pores les plus rapprochés de la grille de plomb; ceux-ci sont en effet rarement atteints par l'action de l'électrolyte ou des gaz provenant de la décomposition. L'électrolyte, par conséquent, ne peut pas pénétrer complètement à travers le plomb peroxydé pour atteindre la grille de plomb, et les conditions nécessaires à l'action locale ne sont pas remplies.

Si cependant la couche de peroxyde se détachait, ou si l'on pratiquait une incision dans la couche, le plomb se trouvant exposé à l'électrolyte, l'action locale se produirait. Il en résulterait une formation de sulfate qui recouvrirait le plomb d'une couche protectrice, et arrêterait cette action.

Si l'on met en court-circuit, ou si l'on soumet à une décharge rapide une batterie dans laquelle des actions locales se sont produites précédemment entre la matière active peroxydée et son support, ces actions recommenceront. En effet la couche de sulfate formée au point où s'était produite l'action locale, sera réduite en plomb spongieux; celui-ci deviendra actif à la charge, il permettra de plus à l'électrolyte de pénétrer jusqu'à atteindre le plomb de la grille, et celui-ci pourra également prendre part à l'action destructive. Ceci continuera de la même façon jusqu'à ce que la couche de sulfate protecteur se soit refermée. La transformation du sulfate en plomb spongieux sur la plaque positive est due à un excès d'hydrogène qui reste sur la plaque positive dans les décharges très rapides.



Si l'on soumet un élément à des charges et des décharges répétées, l'action locale sur le peroxyde aura cessé au moment où la capacité sera devenue invariable. Lorsque l'action locale a lieu, la capacité augmente continuellement; ceci est dû à la formation de peroxyde par l'action du couple local. Lorsque la capacité d'un élément a atteint une valeur constante, l'on peut déterminer l'importance de la décharge intérieure due à l'action locale de la manière suivante: l'on décharge l'élément d'une certaine quantité, en lui laissant une charge résiduelle connue. L'on met l'élément de côté pendant un certain nombre de jours, puis l'on termine la décharge. La différence entre la charge résiduelle

connue et la décharge résiduelle mesurée divisée par le nombre de jours pendant lesquels l'élément est resté au repos, donnera une idée de l'effet produit par l'action locale ; il faudra, bien entendu, que l'élément soit soigneusement isolé de façon à éviter toute perte extérieure.

Dans les plaques du type Planté, il ne faut pas toujours considérer l'augmentation de capacité due aux charges et décharges répétées, comme étant causée par les actions locales, car dans ce type de plaques, la capacité va en augmentant jusqu'au 50<sup>e</sup> cycle d'opérations environ. De plus si l'acide de formation n'a pas été complètement éliminé des plaques, celles-ci continueront à se former jusqu'à destruction totale, et la capacité augmentera pour chaque nouvelle décharge. Par conséquent, ce qui précède n'est applicable qu'à des éléments soigneusement formés et qui ont été complètement débarrassés des acides de formation qui attaquent le plomb.

---

## CHAPITRE VIII

### INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

Les variations de la température provoquent des changements extraordinairement grands dans : la capacité en ampères-heure, le voltage à la charge et à la décharge, la résistance intérieure, et le rendement.

Nous avons parlé précédemment (chap. v) des variations de la densité avec la température.

L'action de la variation de température a été récemment étudiée par le Prof. Heim de Hanovre, et aussi par d'autres. Ces expériences semblent avoir été effectuées d'une façon complète et avec soin. Dans les expériences du Prof. Heim<sup>1</sup>, les éléments ont été complètement chargés jusqu'au fort dégagement gazeux, le voltage lu aux bornes de l'élément était :

à 14° C. . . . .	2,70 volts.
30° C. . . . .	2,58 —
45° C. . . . .	2,52 —

Ces résultats indiquent qu'à la charge le voltage décroît lorsque la température croît.

Toutefois, à la décharge, le contraire a lieu, le voltage augmente avec la température.

La figure 13 donne les courbes de charge et de décharge d'un élément à 14° C et à 45° C ; ces courbes montrent clairement les différences de voltage indiquées ci-dessus. La densité de courant était de 1,69 ampère par décimètre carré.

Le Prof. Heim montre également que la résistance de l'élément varie avec la température. Les résultats de ses observations sont les suivants pour un élément possédant trois plaques

<sup>1</sup> *Electrotechnische Zeitschrift*, 26 septembre 1901.

positives et quatre négatives, la surface totale positive était de

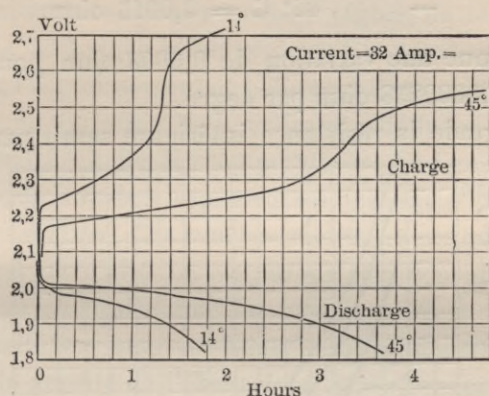


Fig. 13.

Current = 32 amp. = Intensité = 32 amp.  
Hours = heures. Discharge = Décharge.

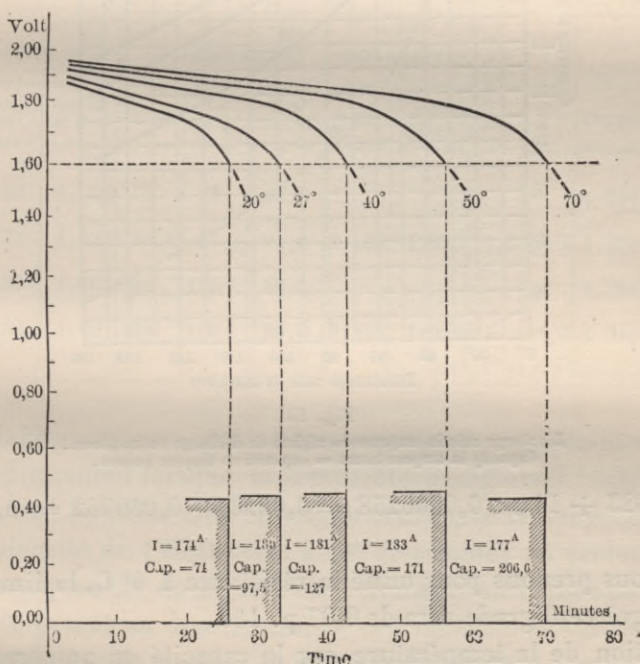


Fig. 14.

Time = temps.

18,9 dm<sup>2</sup>; la capacité normale était de 69 ampères-heure, et la densité de l'acide de 1,22 à 18 C :

Résistance intérieure à 14° C = 0,0023 ohm.

— — — — — 43° C = 0,0015 ohm.

ceci nous donne une variation de 0,0008 ohm pour 31 degrés, c'est-à-dire 0,0000258 ohm par degré.

A 0° centigrade la résistance intérieure serait par conséquent

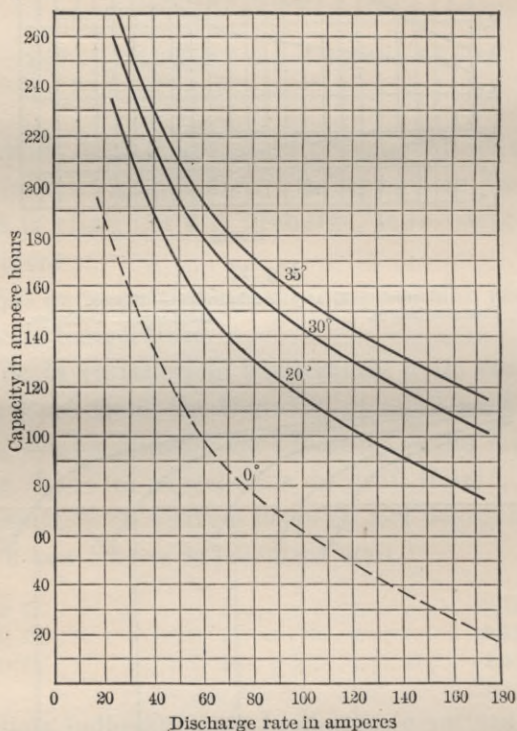


Fig. 15.

Discharge rate in amperes = régime de décharge en ampères.  
Capacity in ampere hours = capacité en ampère heures.

de  $0,0023 + 14 \times 0,0000258 = 0,0023 + 0,000362 = 0,002662$  ohms.

Si nous prenons pour unité la résistance à 0° C, la diminution par degré centigrade sera de 0,97 p. 100.

L'action de la température sur la capacité en ampères-heure est beaucoup plus considérable. Il résulte des nombreux essais faits sur différents types d'éléments que l'accroissement de capacité est pratiquement le même pour les différents types, mais il ne semble suivre aucune loi générale.



La figure 14 indique les variations de capacité en ampères-heure avec la température, pour un même régime de décharge, et pour une batterie déchargée à fort régime. Ces courbes montrent clairement que l'accroissement en pour cent de capacité n'est pas constant pour une variation de température donnée; il varie avec la position dans l'échelle des températures. La figure 15 donne une autre série de courbes représentant les variations de capacité avec la température. Ces courbes montrent que plus le régime de décharge est élevé plus les variations sont considérables.

Le tableau suivant donne les variations avec la température de la capacité en ampères-heure, du rendement en ampères-heure, de la densité de l'électrolyte, et du rendement en volts et en watts. La densité du courant est donnée en ampères par décimètre carré, et la température en degrés centigrades.

TEMPÉRATURE	COURANT		AMPÈRES-HEURE			VOLTAGE MOYEN		RENDEMENT en volts.	RENDEMENT en watts.	DENSITÉ DE L'ÉLECTROLYTE A 18°.	
	am-pères.	densité par dm <sup>2</sup> .	charge.	dé-charge.	Ren-dement.	charge.	dé-charge.			charge.	décharge.
14	20	1,062	76	74	93,5					1,241	1,215
14	32	1,69	60,8	57,6	94,6	2,438	1,938	79,5	75,2	1,238	1,224
45	20	1,062	143	128	89,5					1,246	1,209
45	32	1,69	128	108	85,0	2,326	1,953	84	71,3	1,246	1,219

Ce tableau montre que les rendements en ampères-heure et en watts diminuent lorsque la température augmente, bien que le rendement en volts aille en augmentant avec la température.

La densité de l'électrolyte a été déterminée en prélevant une certaine quantité du liquide de l'élément, en l'amenant à 18° C et en le pesant au densimètre.

La variation de la capacité avec la température a pour résultat curieux de permettre d'obtenir, en apparence, plus de courant à la décharge que l'élément n'en a reçu à la charge.

Prenons comme exemple un essai qui a été fait sur un élément ayant reçu 61,9 ampères-heure de charge à 14° C et à un régime

de 1,69 ampère par décimètre carré. Cet élément, après avoir été porté à la température de 45° C, a donné à la décharge 96 ampères-heure. L'élément a été ramené ensuite à 14° C et il a reçu 76 ampères-heure de charge ; porté de nouveau à 45° C, et mis en décharge, il a fourni 108,3 ampères-heure.

Continuant l'expérience dans le même ordre d'idées, l'on a chargé et déchargé l'élément à 14° C, puis on l'a laissé reposer pendant une heure et demie ; après récupération, il a donné 8 p. 100 de plus de capacité. L'on a ensuite fait subir le même traitement à l'élément, mais on l'a porté à la température de 45° C lorsqu'il était au repos après la fin de la première décharge ; il a fourni alors, après repos, 33 p. 100 de sa capacité en plus.

Ces phénomènes, dus à la chaleur, semblent s'expliquer, d'une part par une augmentation de porosité de la matière active due à la dilatation causée par la chaleur, et d'autre part, par l'accroissement de circulation du liquide qui rend plus efficace l'action combinée de la matière active et du  $\text{SO}^3$  de l'électrolyte.

La diminution du voltage de charge est due probablement à une diminution de la force électromotrice de polarisation provenant de la disparition des gaz adhérant aux plaques, ou des gaz occlus. Il est possible que d'autres causes concourent également à cette diminution de voltage.

Les variations de capacité qui se produisent dépendent en valeur absolue de l'épaisseur de la couche de matière active, de sa nature, de sa composition, et du régime de décharge. Il est évident que plus la matière active est poreuse à son état normal, plus le régime de décharge est faible, et moins sera grande l'augmentation de capacité pour des températures plus élevées.

La règle que nous donnons ci-dessous, qui n'est qu'approchée, mais qui est fort simple, permet de déterminer approximativement la variation de capacité avec les changements de température.

La variation sera de :

Au régime en 6 heures, 1,5 p. 100 par degré centigrade

—	3	2,5	—	—
—	2	3,2	—	—

La capacité à 15°,5 C étant prise pour unité.

La chaleur ne semble avoir aucune action détérioratrice sur les plaques jusqu'à la température de 45° C, et elle ne semble pas hâter leur usure.

Le Prof. Heim émet l'avis que si, après un usage prolongé des batteries à haute température, l'on reconnaît que jusqu'à 45° C la durée des plaques ne se trouve pas diminuée, il serait d'une bonne pratique industrielle de pouvoir, en cas de besoin, porter

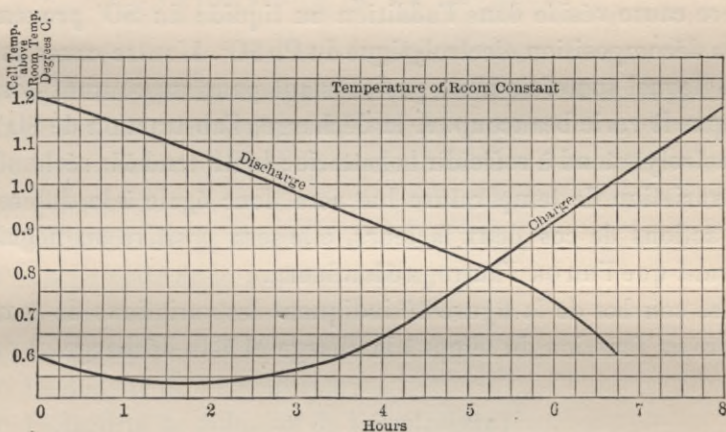


Fig. 16.

Discharge = décharge.

Hours = heures.

Temperature of room constant = température de la salle constante.

Cell temp. above room temp. degrees C = excès de la temp. de l'élément sur celle de la salle, deg<sup>r</sup>, C.

les batteries à cette température. L'on pourrait alors utiliser la capacité ainsi gagnée à supporter les charges anormales qui se présentent dans les exploitations de traction, le dimanche, et à d'autres rares occasions, et pour lesquelles il ne conviendrait pas de prévoir des batteries supplémentaires ou des machines génératrices spéciales.

Il est toutefois certain qu'une température trop élevée détériore les batteries, et tend à diminuer leur durée. La température de 38° C semble être la plus élevée à laquelle puissent être soumises les batteries, d'après les expériences et les données des constructeurs d'accumulateurs.

A la décharge, la température de l'élément diminue tout en restant supérieure à la température ambiante. Ce curieux phénomène a été observé pour la première fois par Duncan et Wiegand en Amérique, et d'autre part par le Prof. Ayrton en

Angleterre. Cette diminution de température s'explique par ce fait qu'une certaine quantité d'acide sulfurique est séparée de l'eau à la décharge, ce qui détermine un refroidissement du liquide ; ceci est l'inverse du fait bien connu que le mélange de l'acide sulfurique et de l'eau est accompagné d'un dégagement de chaleur.

A la charge, la batterie s'échauffe pour deux raisons ; la première cause réside dans l'addition au liquide du  $\text{SO}^3$  provenant de la décomposition électrolytique du  $\text{Pb SO}^4$ . L'autre cause est le  $\text{RI}^2$ , lequel toutefois n'est pas constant pour un courant donné, vu que R varie beaucoup. A la décharge, l'abstraction de  $\text{SO}^3$  de l'électrolyte tend à refroidir la batterie ; le  $\text{RI}^2$  tend à la réchauffer. La variation de température lue sera donc égale à la différence des actions de ces deux facteurs, elle sera positive ou négative suivant que l'un ou l'autre prédominera.

Les courbes de la figure 16 indiquent les variations de température en fonction du temps à la charge et à la décharge.

## CHAPITRE IX

### VARIATIONS DE LA CAPACITE

Dans une batterie composée d'un nombre donné de plaques ayant chacune une surface définie, et supportant une quantité donnée de matière active, la capacité variera avec différents facteurs qui sont :

- 1° La nature de la plaque ;
- 2° La porosité de la matière active ;
- 3° La disposition de la matière active ;
- 4° La quantité d'électrolyte ;
- 5° La densité de l'électrolyte ;
- 6° La facilité de diffusion de l'électrolyte ;
- 7° La température ;
- 8° Le régime de décharge.

Les facteurs 1, 2 et 3 se rapportent à l'utilisation de la matière active. Il est évident qu'avec une quantité donnée de matière active, la capacité sera d'autant plus grande que cette matière active sera plus poreuse, et qu'elle sera mieux répartie au point de vue de son contact intime avec la grille et avec l'électrolyte. Il est évident aussi (6) que plus l'électrolyte pourra pénétrer rapidement et profondément dans toutes les parties de la matière active, plus grande sera la décharge que pourra fournir la batterie. Les effets de la variation de la quantité d'électrolyte (4) sur la capacité d'une batterie ont été déjà discutés (chap. VI) et l'on a vu que la capacité augmente un peu avec la quantité d'électrolyte.

En ce qui concerne la densité (5) l'on a trouvé expérimentalement que pour le même élément déchargé dans les mêmes conditions, la capacité augmente avec la concentration de l'électrolyte jusqu'à environ 1,225, et qu'elle commence à décroître de nouveau à partir de 1,260. Le fait que la résistance de l'électrolyte

est moindre entre ces limites, fait supposer qu'il y aurait alors moins de perte due à la résistance intérieure; ceci expliquerait peut-être partiellement l'augmentation de la capacité entre ces limites.

Il faut noter ici également que la capacité d'un élément dépend du nombre de décharges qu'il a fournies. Avec les plaques Planté, la capacité augmente jusqu'à la cinquantième décharge, environ, après quoi elle se met à décroître lentement. Avec les plaques Faure, la capacité augmente jusqu'à environ la cinquième ou sixième décharge, après quoi elle commence à tomber.

Les plaques Planté continuent de se former jusqu'à la cinquantième décharge environ et la quantité de matière active utilisable sur les électrodes positives augmente, les négatives toutefois perdent de leur capacité dès les premières décharges. Après la cinquantième décharge environ, la formation a atteint pratiquement sa limite, et la matière active commence à tomber. La reformation ne compense pas complètement la perte, et les négatives commencent en même temps à perdre de la capacité; ces deux actions concourent à provoquer une diminution légère et graduelle de la capacité, qui se continue jusqu'à usure complète de la batterie.

Dans les plaques Faure il n'y a pas de matière disponible pour permettre au peroxyde de continuer à se former, et les quelques premières charges et décharges suffisent à compléter la réduction faite à l'usine, ce qui permet d'obtenir le maximum de capacité. Après la cinquième ou sixième décharge, il se produit une chute graduelle de petites particules de matière active; ce sont celles qui se transforment en sulfate et ne sont pas converties à nouveau en peroxyde parce qu'elles ne sont pas traversées par le courant; elles se détachent alors de la grille; ceci cause une diminution faible mais continue de la capacité.

Les variations de la capacité avec la température ont été déjà étudiées (chap. VIII) et l'on a montré que la capacité augmente rapidement avec la température.

8° Il suit des discussions précédentes que plus le régime de décharge sera rapide, et plus sera faible la capacité d'une batterie donnée. Les raisons de cette diminution sont : que l'élec-

trolyte ne circule pas aussi rapidement qu'il serait nécessaire, que la couche de sulfate qui se forme empêche l'action de se continuer, qu'il y a polarisation, et, dans le cas de décharges très rapides, qu'il se forme du peroxyde sur la plaque négative; tous ces cas ont été examinés en détail.

L'on ne peut pas donner une règle générale certaine pour

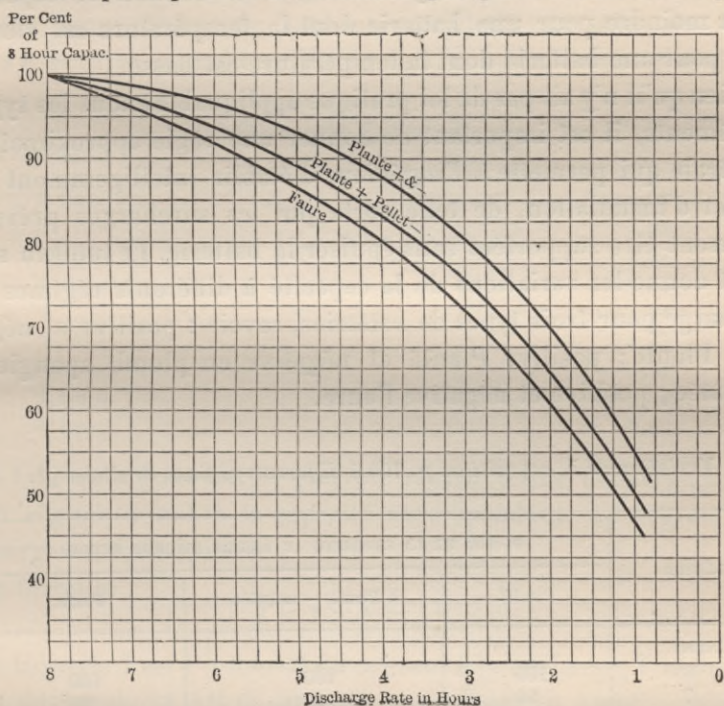


Fig. 17.

Discharge rate in hours = régime de décharge en heures.  
 Per cent of 8 hour capac = pour cent de la capacité en 8 heures.  
 Plante + Pellet = positive Planté, négative empâtée.

déterminer la façon dont décroît la capacité avec l'augmentation du régime de décharge. Les différentes causes provoquant cette diminution varient en effet beaucoup avec les différents types de plaque ainsi qu'avec la température.

Si les plaques ont une surface active très grande, c'est-à-dire finement divisée, si la couche de matière active est mince et poreuse, si enfin il y a une quantité suffisante d'électrolyte et s'il est de densité convenable, de telle sorte que la formation rapide d'une couche de sulfate soit évitée, il est évident qu'alors la

diminution de capacité pour les décharges à fort régime sera moindre que pour des plaques comportant la même quantité de matière active, mais en couche épaisse, de moindre porosité, et plongées dans une faible quantité de liquide de forte densité.

De plus, comme la porosité et la circulation du liquide sont meilleures aux hautes températures, la diminution de capacité sera moindre pour une batterie dont la température est élevée que pour une batterie dont la température est basse.

Bien qu'il n'y ait pas de loi pratique applicable à tous les types d'éléments, il est important de donner une règle approximative générale qui permette à l'ingénieur d'établir intelligemment un projet d'installation, de telle sorte que les surcharges prévues puissent être supportées sans épuiser la batterie. Le tableau suivant donne les variations de la capacité à différents régimes de décharge pour trois types de batteries, savoir : positive et négative Planté; positive Planté et négative en plomb spongieux empâtée; positive et négative Faure.

*Variation de la capacité en p. 100 à différents régimes de décharge.*

RÉGIME	P. 100 DE LA CAPACITÉ AU RÉGIME EN HUIT HEURES		
	Planté.	+ Planté — empâtée.	Faure.
heures.			
8	100	100	100
7	99	97	96
6	96 1/2	93 1/2	92
5	93	89	86 1/2
4	88	83	80
3	80	75	72
2	70	65	61
1 1/2	63	57 1/2	53 1/2
1	55	50	46

Les courbes de la figure 17 ont été tracées d'après ces données. Les régimes de décharge sont indiqués en abscisses et les capacités en pour cent en ordonnées.

Le tableau et les courbes montrent que l'on peut prendre comme moyenne les données du second type de plaques, pour calculer une batterie devant remplir des conditions données.



Il n'est pas nécessaire d'avoir une exactitude plus grande, car les autres variables, et en particulier la température étant inconnue, il est impossible en pratique de faire un calcul exact. Il serait toutefois utile de demander au constructeur une série de courbes de décharges du type particulier d'éléments qu'il construit avant d'établir un projet.

Nous avons déduit du tableau précédent une série de facteurs K pour le second type d'éléments, nous les donnons ci-dessous.

Tableau des facteurs K.

Régime	K
8 heures . . . . .	1,00
7 — . . . . .	1,03
6 — . . . . .	1,07
5 — . . . . .	1,13
4 — . . . . .	1,21
3 — . . . . .	1,33
2 — . . . . .	1,54
1,1/2 h. . . . .	1,74
1 heure . . . . .	2,00

Ce tableau a pour but de pouvoir ramener une décharge faite à un régime donné à la capacité correspondante au régime de décharge en huit heures.

La formule

$$I \times T \times K = AH$$

dans laquelle I est l'intensité du courant à la décharge, T la durée de la décharge, et AH la capacité équivalente en ampères-heure au régime en huit heures, permet de ramener une décharge quelconque à une base unique d'après laquelle la plupart des batteries d'accumulateurs sont désignées et vendues.

Inversement si l'on connaît la capacité d'une batterie au régime en huit heures, sa capacité pour un régime plus rapide sera  $\frac{C}{K}$  où C est la capacité en huit heures, et K le facteur du tableau correspondant au régime demandé.

Ces facteurs K sont surtout utiles pour déterminer la capacité d'une batterie qui doit débiter à différents régimes pendant des temps donnés, nous examinerons ceci dans un chapitre suivant (chap. XLIII).

## CHAPITRE X

### RÉSISTANCE INTÉRIEURE

La résistance intérieure ohmique d'un élément est en général très faible lorsqu'il est en bon état.

Ainsi que l'on doit s'y attendre d'après les considérations faites sur la dilution de l'électrolyte dans les pores, et sur la sulfatation à la décharge, la résistance intérieure va en augmentant pendant la décharge et atteint son maximum à la fin de celle-ci ; à ce moment, la résistance intérieure est de quatre à cinq fois supérieure à ce qu'elle était au début de la décharge ; inversement la résistance décroît du commencement à la fin de la charge.

La résistance intérieure est pratiquement constante quel que soit le régime de charge ou de décharge, mais elle varie d'après l'état de charge de l'élément. Les courbes de la figure 18 indiquent comment et dans quelles proportions s'effectuent ces variations. L'on voit que la résistance diminue à la charge jusqu'à atteindre un minimum, après quoi elle demeure pratiquement constante ; ses variations sont alors en effet à peine appréciables.

A la décharge, la résistance augmente lentement au début, puis ensuite plus rapidement à mesure que la décharge se poursuit. Si l'on continuait jusqu'à arriver à la sulfatation complète des plaques, la résistance prendrait une valeur de plusieurs ohms.

Nous donnons les méthodes de mesure de la résistance intérieure dans le chapitre relatif aux essais.

La résistance ohmique n'est toutefois pas la seule cause déterminant la chute de voltage à la décharge et l'élévation de voltage à la charge, aux bornes d'un élément. Les effets de polarisation, et les variations de résistance et de force contre-électromotrice, agissent chacun d'une façon importante sur la chute de voltage.

L'auteur désigne sous le nom de « résistance virtuelle » la résistance apparente due à l'ensemble de ces différents effets ; elle est numériquement égale à la différence des voltages de charge et de décharge divisée par la somme des intensités du courant de charge et de décharge. Elle est aussi égale à la différence entre le voltage à circuit ouvert et le voltage à la décharge divisée par l'intensité du courant de décharge. Il est toutefois bien entendu

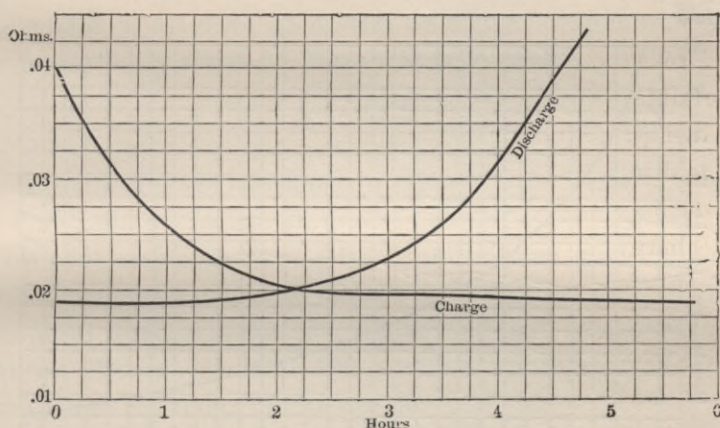


Fig. 18.

Hours = heures.

Discharge = décharge.

qu'il ne faut pas tenir compte pour cette détermination du voltage excessif qui se produit à la charge à l'approche du dégagement gazeux, ni de la forte chute de voltage qui a lieu en fin de décharge. Ce sont là, deux conditions extrêmes, et bien qu'il faille en tenir compte lorsque les batteries sont employées sur des distributions à potentiel constant, elles ne se présentent pas en marche normale.

Ainsi qu'on le verra plus loin, certains enroulements de champ du survolteur ont précisément pour but de produire une force électromotrice qui compense exactement la chute de voltage de la batterie. Il est donc important de déterminer la valeur que l'on devra donner à cette chute de voltage dans les calculs.

L'auteur a fait un grand nombre d'expériences sur la chute de voltage et sur la résistance intérieure. Il a trouvé que la chute de voltage est pratiquement constante quelle que soit la dimension

de l'élément, pour un régime de charge ou de décharge donné, et pour un état de charge déterminé.

Le tableau qui suit, et la courbe de la figure 49 indiquent le rapport qu'il y a entre le régime de décharge et la chute de voltage, et montrent que cette dernière est indépendante de la dimension de l'élément. En fait, ce dernier point n'est pas tout à fait exact, mais il est suffisamment vrai pour les besoins de la

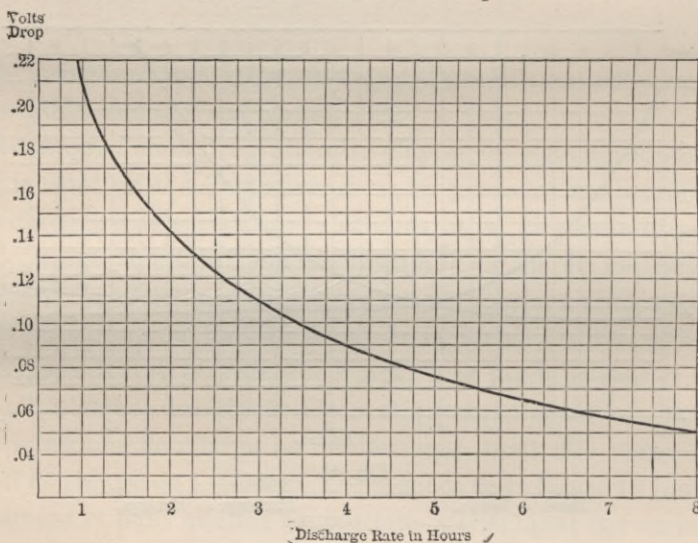


Fig. 49.

Discharge rate in hours = régime de décharge en heures.  
Volts drop = chute de voltage.

pratique. Un résultat absolument exact ne peut être obtenu qu'en faisant un essai sur chaque batterie en particulier, ou tout au moins sur le type de batterie sur lequel l'on veut être renseigné. Mais pour les calculs industriels, la courbe et le tableau donnés ci-dessous sont suffisants. Ils sont établis pour une batterie au tiers déchargée.

TABLEAU VI.

Régime.	Chute.
En 8 heures . . . . .	0,05 volt.
6 — . . . . .	0,065 —
4 — . . . . .	0,09 —
3 — . . . . .	0,11 —
2 — . . . . .	0,14 —
1,1/2 h. . . . .	0,185 —
1 heure . . . . .	0,21 —

Ces valeurs sont prises pendant une décharge continue de deux minutes ou plus au régime indiqué. Toutefois, en général, les régimes maximums ne sont atteints que pendant des temps très courts et les valeurs des chutes de voltage correspondantes ne dépassent pas 70 à 80 p. 100 de celles inscrites au tableau. Dans les formules employées pour le calcul des survolteurs, le facteur relatif à la compensation de la chute ou de l'élévation de voltage d'une batterie se présente comme étant la résistance intérieure de l'élément, il est donc nécessaire de mettre cette donnée sous cette forme; on y arrive au moyen de la formule

$$R = \frac{0,09}{D} \quad (9)$$

dans laquelle R est la résistance intérieure virtuelle de l'élément, et D l'intensité au régime en quatre heures.

L'on peut employer dans cette formule l'une quelconque des chutes de voltage données au tableau en la divisant par l'intensité du courant correspondant au régime auquel elle appartient. Ainsi un élément donnant 100 ampères au régime en quatre heures a une résistance intérieure de

$$\frac{0,09}{100} = 0,0009 \text{ ohm.}$$

La chute de voltage variera aussi avec la température, l'état de l'élément et la densité de l'électrolyte; les données précédentes ne sont donc que des moyennes.

Rappelons que dans le cas de plusieurs éléments réunis en série, il faut ajouter à la résistance intérieure virtuelle, la résistance des connexions en plomb et des circuits allant au survolteur y compris la résistance au contact des interrupteurs et autres joints pour obtenir la résistance ohmique totale du circuit de la batterie.

## CHAPITRE XI

### RENDEMENT

Le rendement d'une batterie est le rapport entre le courant utile ou l'énergie qu'elle fournit à la décharge, au courant ou à l'énergie absorbés par la batterie à la charge. Le rendement en ampères-heure est égal au rapport du nombre d'ampères-heure utiles débités par la batterie au nombre d'ampères-heure qui lui sont fournis à la charge ; le rendement en watts-heure est le rapport des watts-heure débités aux watts-heure reçus par la batterie. Il est d'usage, en général, d'établir le rendement en ampères-heure, bien qu'il n'y ait aucune raison pour cela, étant donné que le rendement en ampères-heure ne peut pas donner une idée bien définie du rendement en énergie.

Le travail absorbé ou fourni par une batterie se mesure en watts, et le rendement en énergie ou en watts a seul de l'importance pour l'ingénieur. Le rendement en ampères-heure est toujours élevé, et il a été adopté sans aucun doute parce que les constructeurs peuvent ainsi établir des courbes séduisantes qu'ils peuvent présenter dans les discussions de rendement des batteries, ou fournir à des acheteurs en perspective pour les renseigner.

Le rendement d'une batterie dépend :

- 1° Du régime de charge ;
- 2° Du régime de décharge ;
- 3° De la résistance intérieure virtuelle ;
- 4° De l'épaisseur et de la porosité de la couche de matière active ;
- 5° De la densité, de la quantité et de la diffusion de l'électrolyte ;

6° Du temps écoulé entre la fin de la décharge et le début de la charge suivante ;

7° De l'absence d'actions locales ;

8° De la température.

A la charge, il y a perte d'énergie, par les dégagements gazeux ; par la chaleur (en réalité par  $RI^2$ ) ; par la force contre-électromotrice de polarisation ; cette perte d'énergie est à peu près proportionnelle au régime de charge.

A la décharge, il y a perte d'énergie par la chaleur, par la polarisation, et par la force contre-électromotrice ; ces pertes augmentent avec le régime de décharge.

Nous avons montré que plus les régimes de charge et de décharge sont faibles, et plus les courbes de voltage se rapprochent l'une de l'autre ; et comme la différence des deux représente la perte en volts, il est évident que le rendement sera meilleur à des régimes faibles de charge et de décharge qu'à des régimes élevés. La résistance intérieure ohmique et la résistance virtuelle tendent à augmenter le voltage à la charge et à le diminuer à la décharge, et déterminent ainsi une perte d'énergie. Le rendement dépend donc en grande partie de la résistance intérieure, bien qu'il soit influencé aussi par certains effets chimiques, notamment par les dégagements gazeux.

L'épaisseur et la porosité de la matière active influent sur la résistance intérieure et par conséquent sur le rendement. Lorsque le régime de charge est élevé, la couche de matière active épaisse, et la diffusion imparfaite, le voltage de l'élément s'élève rapidement par suite de la forte concentration dans les pores, d'une partie de l'acide qui ne peut pas se diffuser extérieurement dans l'électrolyte environnant. Ceci entraîne à un voltage de charge plus élevé, et à une augmentation de dépense d'énergie pour charger la batterie. Cette perte d'énergie apparaît sous forme de chaleur, et il est reconnu que les batteries soumises à un fort régime de charge s'échauffent, et prennent une température plus élevée que celle qui résulterait uniquement de la résistance intérieure. Cet échauffement s'explique physiquement par la libération rapide de  $SO^3$  qui, ajouté à l'eau, forme un mélange chimique exothermique. Certaines réactions chimiques secondaires

peuvent tendre également à augmenter la force électromotrice de l'élément à la charge, et à diminuer le rendement.

Le professeur Georges Forbes a désigné l'excès de voltage au-dessus du voltage normal de deux volts sous le nom de force électromotrice « bâtarde », et il appelle l'attention sur la grande augmentation de rendement que l'on obtiendrait si cette force électromotrice « bâtarde » pouvait être supprimée. Il cite un essai fait sur l'élément Litanode de Fitz-Gérald, dans lequel la force électromotrice « bâtarde » n'existait pas et dont le rendement était extraordinairement élevé. L'on n'a pas expliqué pourquoi cet élément particulier était exempt d'un défaut qui est général, si ce n'est par ce fait que le grillage support de la matière active était en celluloid.

Dans les décharges rapides, la polarisation augmente et contribue à diminuer le voltage de la batterie. L'extrême dilution de l'acide dans les pores des plaques phénomène inverse de celui de la charge, accélère également la chute de force électromotrice et précipite la fin de la décharge. Nous donnons ci-dessous les résultats d'un essai fait par le Dr Franz Peters<sup>1</sup> comme exemple des variations du rendement avec les régimes de charge et de décharge :

RÉGIME DE CHARGE		RÉGIME DE DÉCHARGE		RENDEMENT en AH.
Ampères.	Ampères par dm <sup>2</sup> .	Ampères.	Ampères par dm <sup>2</sup> .	
10	0,187	9	0,169	95,7
10	0,187	6	0,113	98,7
16	0,3	9	0,169	80,8
16	0,3	6	0,113	83,2

Malheureusement les rendements en watts-heure ne sont pas donnés, ceux-ci présenteraient une différence beaucoup plus considérable entre les régimes rapides et les régimes lents.

<sup>1</sup> *Centralblatt für accumulatoren*, 15 janvier 1901.



Toutefois il ne faut pas supposer que l'on obtient le rendement réel d'une batterie en la chargeant et la déchargeant à des régimes élevés et en prenant le rapport de la quantité fournie à la décharge à la quantité reçue à la charge. La quantité débitée sera bien en effet très inférieure à la quantité reçue à la première charge, mais l'on verra que la charge suivante sera beaucoup moins importante que la première. Ainsi le pouvoir récupérateur de la batterie sera beaucoup plus grand que si la décharge avait été faite à un régime normal. En d'autres termes, si l'on décharge une batterie à un régime rapide, elle ne fournira pas toute l'énergie disponible pendant le temps que le voltage tombera à 1,80 volt, et il lui restera une charge résiduelle importante. L'on est arrivé souvent à des résultats erronés dans la détermination du rendement d'une batterie en négligeant de tenir compte de ce fait. Les rendements devraient être calculés sur une série de cycles de charges et de décharges faites au même régime et dans les mêmes conditions.

Si on laisse au repos pendant un temps assez long un élément qui a été déchargé rapidement, la charge résiduelle sera perdue en partie par l'absorption d'hydrogène et par la combinaison inefficace de  $PbO$  avec  $SO^3$ . Par conséquent le rendement sera meilleur si la décharge et la charge se succèdent rapidement. C'est dans ces conditions que travaillent les batteries régulatrices destinées à égaliser les fluctuations de charge. Ces batteries ont également l'avantage d'être chargées à un point où le voltage de charge est au-dessous du point de dégagement gazeux, et le voltage de décharge voisin du point le plus élevé.

Si une batterie est mise alternativement en charge et en décharge à de courts intervalles, la quantité fournie à la charge ne sera matériellement pas différente de celle fournie à la décharge, même si le régime est violent. En effet les durées de charge et de décharge étant courtes, les points des courbes de voltage auxquels la batterie entrera en charge ou en décharge seront très rapprochés.

Considérons les courbes de la figure 20. ABC est la courbe de charge, et ADE la courbe de décharge; cette dernière est tracée à l'envers par rapport aux abscisses. Si la charge moyenne

de la batterie est telle que la charge et la décharge aient lieu respectivement aux environs des points B et D, il n'y aura qu'une faible perte de voltage, vu que ces points sont beaucoup plus rapprochés que ceux correspondant à la charge et à la décharge complètes.

Les recherches de B. Hopkinson sur le rendement des batteries « tampon » indiquent que le rendement en watts est beaucoup plus élevé dans ces batteries que dans celles utilisées comme réservoirs. Plus les durées de charge et de décharge seront lon-

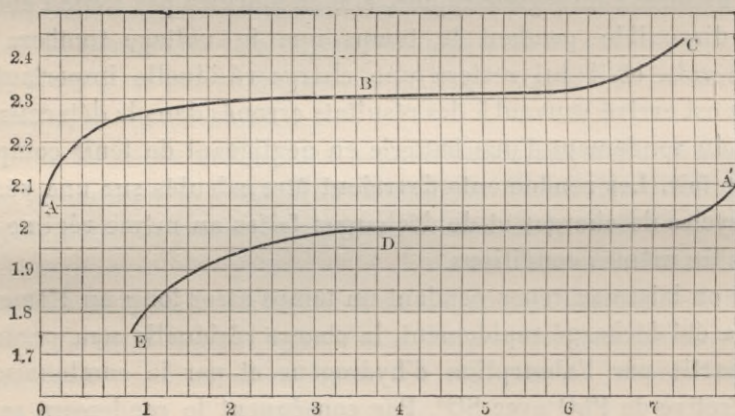


Fig. 20.

gues et plus le rendement sera faible. Les cycles d'une minute (une demi-minute de charge et une demi-minute de décharge) donnent un rendement de 90 à 97 p. 100, et les cycles de dix minutes donnent de 87 à 93 p. 100. Dans ces expériences, les éléments travaillaient à des points de la courbe tels que le dégagement gazeux ne se produisait pas à la charge. C'est le cas qui se présente le plus généralement, et les données ci-dessus ont une valeur pratique.

Nous devons mentionner ici que des batteries formées d'éléments autres que les accumulateurs au plomb, et qui auraient une force électromotrice faible, soit de 0,75 à 1,3 volt, ne pourront jamais avoir un bon rendement, quelque parfait que soit leur fonctionnement. En effet plus le voltage d'un élément sera faible, plus sera grand le rapport entre la perte de voltage de

l'élément (due à la résistance et à la polarisation) et sa force électromotrice ; cette perte de voltage absorbera par conséquent une partie considérable du voltage total de l'élément. Donc si ces batteries peuvent donner des résultats satisfaisants dans le cas où le prix du courant est une question secondaire (par exemple dans le cas des voitures électriques), elles ne pourront pas lutter avec les batteries plomb-plomb dans le cas des stations centrales, où une différence de 2 p. 100 dans le rendement est souvent le facteur déterminant du choix d'un appareil.

La densité, la quantité et la diffusion de l'électrolyte ont tous trois un effet marqué sur le rendement des batteries. La densité doit être telle que la résistance de l'électrolyte soit faible ; la quantité d'électrolyte doit être suffisante pour éviter une grande variation de densité à la décharge ; enfin le voltage dépend beaucoup de la facilité de diffusion de l'électrolyte.

Si la diffusion est faible, l'électrolyte arrivera à une grande concentration à la charge et à une grande dilution à la décharge dans les pores de la plaque ; il en résultera une augmentation de voltage dans le premier cas et une diminution dans le second. Par conséquent, si la quantité, la densité et la vitesse de diffusion de l'électrolyte ont une valeur convenable, il en résultera un faible voltage à la charge jusqu'au point des dégagements gazeux, et un voltage élevé à la décharge ; si au contraire l'élément est défectueux sous ce rapport, l'augmentation du voltage à la charge et sa diminution à la décharge détermineront une baisse du rendement.

Si on laisse un élément au repos après avoir été déchargé, la sulfatation continuera ; il s'ensuit qu'il faudra fournir à l'élément pour arriver à le charger entièrement, un plus grand nombre d'ampères-heure et à un voltage plus élevé, qu'il n'aurait fallu si la recharge avait commencé immédiatement après la décharge. L'excès d'énergie nécessaire pour compléter la charge représente une diminution correspondante du rendement. S'il se produit une décharge intérieure, l'énergie ainsi dépensée est perdue, puisqu'elle ne produit aucun travail utile, et par conséquent le rendement est diminué.

Nous avons montré précédemment que le rendement d'une

batterie est moindre aux températures élevées qu'aux températures basses.

Dans les conditions ordinaires, le rendement en watts d'une batterie utilisée uniquement en réservoir varie de 70 à 90 p. 100. Plus une batterie est grande, plus le voltage à la fin de la décharge est élevé, et meilleur sera le rendement. Avec les grosses batteries dans lesquelles la charge n'est jamais continuée longtemps après la manifestation du dégagement gazeux, et où la décharge est arrêtée à environ 1,87 volt, le rendement des éléments peut atteindre 85 p. 100. Les chiffres de 80 p. 100 pour les batteries réservoir, et de 92 p. 100 pour les batteries régulatrices sont d'une bonne moyenne commerciale.

Les méthodes de détermination du rendement sont données dans le chapitre relatif aux essais.

---

## CHAPITRE XII

### DURÉE ET CAUSES DE DÉTÉRIORATION

La durée d'une batterie dépend :

- 1° De la nature de la matière active ;
- 2° De son adhérence au support ;
- 3° De la façon dont la matière active est maintenue en place (plaques Faure) ;
- 4° De l'épaisseur de la couche de matière ;
- 5° De la porosité ;
- 6° De la distribution de la matière active sur la grille support ;
- 7° De la densité de l'électrolyte ;
- 8° De la quantité d'électrolyte ;
- 9° De la pureté de l'électrolyte ;
- 10° Du régime de charge par unité de surface de plaque ;
- 11° Du régime de décharge par unité de surface de plaque ;
- 12° De la durée des régimes maxima ;
- 13° Du voltage maximum auquel est porté l'élément à la charge ;
- 14° Du voltage minimum atteint par l'élément à la décharge ;
- 15° Du temps qui s'écoule entre les cycles de charge et de décharge ;
- 16° De la température maximum à laquelle travaillent les éléments ;
- 17° Du temps maximum pendant lequel les éléments sont laissés au repos dans l'électrolyte ;
- 18° De l'efficacité de la séparation des plaques ;
- 19° De l'absence d'actions locales ;
- 20° De l'emplacement de la batterie, ceci eu égard aux gaz qui peuvent pénétrer dans le local de la batterie, être absorbés par l'électrolyte et détériorer les plaques ;

21° De la quantité de plomb disponible dans les plaques positives pour être transformé en peroxyde (plaques Planté).

Nous avons parlé dans les discussions précédentes de la plupart de ces conditions et de leurs effets sur le fonctionnement général des batteries. Ce chapitre sera donc en fait une récapitulation des observations faites précédemment, et spécialement considérées par rapport à leur action sur la durée des batteries.

1° La matière active la plus apte à constituer une batterie de longue durée devra être dure et solide, et en même temps poreuse et d'un faible poids spécifique. Les particules doivent avoir entre elles une forte cohésion, et le tout doit former une masse solide, compacte, dure comme de la pierre ponce; elle devra résister à la pression de l'ongle dans le cas de la plaque peroxydée, elle devra au contraire être douce et facilement entamée par l'ongle dans le cas de la plaque de plomb spongieux. La matière pourra se dilater et se contracter sans tomber, et sans qu'aucunes particules de sa surface se détachent.

2° La matière doit également être fortement fixée sur la plaque support ou grille; sans quoi certaines parties pourraient se détacher quelle que soit la cohésion de la matière active elle-même. Un mauvais contact détermine en outre une sulfatation graduelle de la matière active, parce qu'elle n'est pas traversée à fond par le courant de charge et par conséquent pas ramenée à son état propre de Pb ou de PbO<sup>2</sup>. De plus il est alors toujours possible qu'une couche de sulfate se forme entre la grille et la matière active (ceci s'applique plutôt au type de plaques Faure qu'au type Planté).

3° La qualité du support affecte évidemment la durée dans les batteries à plaques empâtées.

4° L'épaisseur de la couche de matière active est également un facteur important, elle doit dépendre du service que la batterie aura à assurer. Comme il se produit une dilatation à la décharge et une contraction à la charge, la matière active a toujours une tendance à tomber, ou à tordre la plaque si la dilatation est trop considérable. Or, plus la couche de matière active sera épaisse, moins la surface sera grande pour une quantité donnée de matière, et moins la dilatation sera considérable. Si cependant la

couche est trop épaisse, la capacité sera diminuée ; de plus d'autres considérations examinées précédemment exigent que la couche soit mince dans le cas où la batterie doit travailler à des régimes élevés de charge ou de décharge. La couche ne pourra donc être épaisse que pour les batteries qui ne fonctionnent qu'à de faibles régimes.

5° Plus la porosité sera grande, plus chaque particule de matière active sera accessible à l'électrolyte, et plus l'action chimique sera complète et uniforme ; de plus l'expansion tendant à tordre la plaque sera moindre, les pores donnant un peu d'espace aux molécules pour se dilater ; en d'autres termes, la matière active deviendra dans ce cas plus dense à la décharge.

6° La distribution de la matière active sur le support a une grande importance, car d'une distribution inégale, d'une densité inégale, d'une inégale perfection du contact avec la grille en différents points, il résulte une répartition inégale du courant. Ceci détermine une dilatation inégale des différentes parties de la même plaque, et fait que certaines parties de la matière active se trouvent surchargées par un excès de courant, tandis que d'autres manquent de charge.

La charge tend à s'égaliser d'elle-même sur les différentes parties de la plaque, lorsqu'on laisse la batterie au repos pendant un certain temps, mais avant que cette égalisation ait lieu, et pendant qu'elle se produit, l'on se trouve dans des conditions favorables à la production d'actions locales.

7° Si la densité de l'électrolyte est trop élevée, il y a danger de sulfatation. De plus si les bacs ont une certaine profondeur, il y aura plus de tendance à avoir de fortes différences de densité entre le fond et le haut du bac qu'avec une densité plus faible. La différence de force électromotrice causée par cette différence de densité est suffisante en général pour que toute l'action électrolytique ait lieu sur la partie inférieure des plaques. Si les bacs ont plus de 50 centimètres de profondeur, ce qui est la profondeur maximum que l'on doit adopter, les parties inférieures des plaques se désagrégeront rapidement, et l'on devra les remplacer, bien que la partie supérieure de ces plaques soit demeurée entièrement bonne.

8° S'il n'y a pas assez d'électrolyte dans l'élément, la densité devient faible vers la fin de la décharge — surtout dans les pores des plaques, — et l'acide se trouve très dilué. La décomposition électrolytique des solutions très diluées a un effet différent sur les plaques que celle des solutions de plus forte densité; son action est alors corrosive et destructive et abrège par conséquent la durée des éléments.

Duncan et Wiegand ont observé en changement dans l'action chimique sur les plaques de plomb, lorsque la dilution de l'électrolyte a atteint un certain degré; il se forme alors un composé différent de peroxyde de plomb, et il en résulte une destruction rapide des plaques.

9° L'effet des impuretés de l'électrolyte est généralement de corroder et éventuellement de désagréger les plaques; elles remplissent les pores et diminuent ainsi la capacité; elles déterminent une action locale en se déposant sur les plaques, et en formant un couple avec la matière active sur laquelle elles se sont déposées.

10° Lorsque le régime de charge est faible, la concentration de l'acide dans les pores et les autres actions chimiques, se produisent d'une façon modérée; la contraction est également moins dangereuse qu'à des régimes élevées, et la matière active a le temps de s'accommoder graduellement au changement de condition. L'on déduit de là que plus le régime de charge sera élevé, et plus l'action nuisible sur les plaques se fera sentir. De plus s'il y a une grande quantité de sulfate sur les plaques, les régimes rapides de charge produiront un échauffement de la batterie. Si le régime de charge est par contre trop faible, soit environ un trentième du régime normal, il en résultera de la sulfatation.

11° Les régimes de décharge doivent être modérés aussi bien que les régimes de charge et pour les mêmes raisons. La charge rapide est toutefois plus funeste que la décharge rapide, parce que quand la charge est faite à un régime trop élevé, la matière active se contracte et peut se détacher de la grille.

La décharge rapide peut amener la production de peroxyde sur la négative par le fait du dégagement considérable d'oxygène et des autres produits de l'électrolyse. Il en résulte alors une



action locale. En outre, les observations de Duncan et Wiegand sur la variation de la nature des produits de l'électrolyse dans les solutions d'acide très diluées expliquent en partie la détérioration des batteries lorsque le régime de décharge est très rapide. L'électrolyte des pores de la plaque perd en effet dans ce cas rapidement son acide et devient très dilué ; ceci conduit à une détérioration plus rapide que celle observée aux régimes lents.

12° L'on déduit de 10 et de 11 que les détériorations dues aux régimes élevés sont proportionnelles à leur durée.

13° Bien qu'il soit nécessaire de charger de temps en temps (une fois par mois environ) les batteries jusqu'à 2,65 volts par élément, il serait nuisible de le faire continuellement. En effet les gaz formés dans les pores lorsque l'on pousse la charge loin, tendent à faire craqueler ou à désagréger la matière active par la poussée qu'ils exercent en se dégageant. Ces gaz peuvent également chercher un passage entre la matière active et la grille ; ils diminuent ainsi le contact et préparent les voies aux actions secondaires et à la sulfatation. La matière active peut également se craqueler ou tomber par suite de la forte variation de volume qui se produit lorsque la réduction du sulfate est complète. Il est bon cependant de surcharger les batteries plusieurs fois par an pour convertir complètement en peroxyde le sulfate qui aurait pu s'accumuler.

14° Le voltage minimum que l'on admet comme limite de décharge d'une batterie semble être le facteur ayant le plus d'influence sur la durée des plaques. Si la décharge est poussée trop loin elle pourra avoir pour conséquences : 1° une forte sulfatation ; 2° une grande variation du volume de la matière active, d'où fracture, chute ou torsion ; 3° une dilution excessive de l'électrolyte, d'où action électrolytique corrosive.

15° S'il s'écoule un temps considérable entre la fin de la décharge et le commencement de la recharge, il se produira sûrement de la sulfatation. Des éléments complètement chargés et soumis à un repos d'une longue durée se déchargeront d'eux-mêmes par suite des pertes et des actions locales, et la matière active se sulfatera graduellement.

Une batterie fonctionnera d'autant mieux et aura une durée d'autant plus longue qu'elle sera plus vite remise en charge après la fin de la décharge.

16° La température maximum à laquelle doit fonctionner une batterie ne doit pas dépasser 32° C, en aucun cas elle ne devra être supérieure à 37° C. Aux températures élevées, l'action chimique est plus rapide, les pores plus ouverts, et par conséquent la tendance à la sulfatation plus grande qu'aux températures plus basses.

17° Si les plaques ne sont pas séparées d'une façon efficace, et s'il peut se produire des pertes ou des courts-circuits d'une plaque à l'autre, il en résultera évidemment des décharges intérieures et par conséquent de la sulfatation.

18° Si les batteries sont placées dans des locaux ou pénètrent des fumées ou des gaz contenant des produits qui attaquent le plomb, ces produits seront absorbés par l'électrolyte, ils passeront ensuite de l'anode à la cathode suivant que la batterie sera en charge ou en décharge, et il est probable que finalement les plaques se désagrègeront. Cette condition se présentera souvent dans les industries chimiques, et, il est des cas authentiques de batteries installées dans des usines employant des machines frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac, où ces batteries ont été rapidement détruites. Cette destruction est due dans ce cas à l'absorption de l'ammoniac par l'électrolyte et à sa transformation en acide nitrique sous l'action du courant.

19° Dans le type Planté, la durée des plaques positives dépend en grande partie de la quantité de plomb disponible sur la plaque pour être converti en matière active. Tandis que la couche de matière active tombe, l'action du courant de charge convertit en peroxyde le plomb mis à nu, et ainsi la plaque est continuellement revivifiée. L'usure de la plaque est complète lorsqu'il n'y a plus de plomb disponible.

En général les plaques positives voisines des négatives extrêmes se détériorent, et présentent des signes d'usure avant les autres positives, parce qu'elles sont plus actives et donnent plus que leur part de courant à la décharge. Ceci est dû à ce fait que les négatives extrêmes, ne travaillant que sur une face, four-

nissent une intensité du courant moindre que les autres. La chute de voltage est par conséquent moindre, et la tendance à égaliser cette chute entre les différentes plaques fait que les négatives extrêmes débitent plus de courant qu'elles ne devraient, et forcent ainsi les positives voisines à fournir un excès de courant.

## CHAPITRE XIII

### DÉTÉRIORATIONS. — LEURS REMÈDES

L'on peut déduire de l'énumération des conditions de durée que la plupart des ennuis résultent de l'inobservance des prescriptions énumérées.

Les principales détériorations auxquelles sont sujettes les batteries sont :

- 1° La perte de capacité ;
- 2° La corrosion des plaques ;
- 3° La fracture et le gondolement ;
- 4° La chute de la matière active ;
- 5° La sulfatation ;
- 6° L'inversion des négatives ;
- 7° La décharge intérieure ;
- 8° Le durcissement des négatives, à l'air ;
- 9° La perte de voltage.

1° La perte de capacité (qui diffère de la perte de charge) peut provenir : *a*) de la fermeture par du sulfate ou par des impuretés des pores du plomb spongieux ; *b*) de la contraction des pores de la matière active ; *c*) de la chute de la matière active hors de la grille ; *d*) de la formation d'une couche de sulfate entre la grille et la matière active ; *e*) d'une perte d'électrolyte.

Lorsque la plaque négative présente une diminution de capacité, sans paraître sulfatée, et sans qu'il y ait chute de matière, l'on trouvera généralement que la matière s'est resserrée, ou que les pores sont bouchés par du sulfate ou par des impuretés.

Pour régénérer ces plaques, l'on décharge la batterie, on enlève les plaques négatives et on les place dans un bain d'acide

sulfurique de densité 1,200. On les monte dans ce bain comme anodes, c'est-à-dire à l'inverse de ce qu'elles sont ordinairement. L'on emploie comme cathodes des lames pleines en plomb d'environ 4 millimètres d'épaisseur. Lorsqu'on fait passer le courant dans les plaques, le plomb spongieux se transforme d'abord en  $PbO$  puis en  $PbO^2$  lorsque l'action continue. Lorsque le plomb spongieux est complètement peroxydé, l'on inverse de nouveau le courant, après avoir pris soin d'enlever l'acide utilisé pour la première opération que l'on remplace par de l'acide neuf ; ceci afin que les impuretés ne se déposent pas à nouveau sur les plaques négatives. Lorsque ces plaques sont de nouveau transformées en plomb spongieux, on les remonte vis-à-vis des positives ; l'on trouvera alors que la capacité et l'activité des négatives se sont accrues, et sont revenues à peu près à leur valeur initiale. L'inversion de la batterie complète, c'est-à-dire des positives et négatives devra être évitée si l'on peut se procurer des électrodes auxiliaires. Toutefois, si cela n'est pas possible, l'on pourra en faisant l'inversion avec soin, conserver les positives comme électrodes sans qu'elles soient détériorées.

Pour l'inversion, et pour la retransformation en plomb spongieux, l'intensité du courant devra être environ la moitié de celle du régime en huit heures ; soit en règle générale 0,39 ampère par décimètre carré de surface de plaque positive (= nombre de plaques positives  $\times$  longueur  $\times$  largeur  $\times$  2). L'acide ayant servi à la transformation du plomb spongieux en peroxyde ne devra être réutilisé qu'après qu'on en aura extrait les impuretés dégagées des plaques.

Les pertes d'électrolyte dues à des fuites, à l'évaporation, ou à d'autres causes, devront être compensées par une addition convenable d'acide fortement dilué — environ 5 p. 100 d'acide pour 95 p. 100 d'eau. — Si le liquide ne couvre pas complètement les plaques, la quantité de matière en activité est moindre, et la capacité se trouve diminuée en proportion.

2° La corrosion des plaques peut provenir de deux causes :

a) De l'action chimique résultant de la décomposition électrolytique de l'acide fortement dilué dans les pores de la matière active ;

b) De la présence dans l'électrolyte d'acides attaquant le plomb, ou de leurs sels.

L'on ne peut pas remédier à la première cause, laquelle se présente dans tous les éléments dont la décharge a été poussée trop loin, ou encore lorsque la décharge est faite à un régime élevé et que les plaques ont une couche épaisse de matière active. Si l'électrolyte contient des acides attaquant le plomb, l'on s'en apercevra par une augmentation continue de capacité, la formation se poursuivant par suite de l'attaque des plaques. Le remède évident consiste à enlever l'électrolyte et à le remplacer par de l'acide neuf exempt d'impuretés nuisibles.

Nous devons ajouter à ces effets, la désagrégation normale qui se poursuit lentement, et qui est due à l'action de l'acide et des produits de la décomposition; l'on ne peut pas l'arrêter complètement, car c'est la dépréciation naturelle à laquelle sont sujettes les plaques. Toutefois l'on peut y remédier en partie en diminuant la densité de l'acide.

Toutes les actions corrosives des liquides sur les solides qui y sont immergés, se produisent plus rapidement à la surface du liquide; les plaques d'accumulateurs qui émergent du liquide se désagrègent au voisinage de la surface du liquide, avant que les parties complètement immergées soient très détériorées. Ceci sera de peu d'importance si l'on maintient toujours le niveau du liquide de telle sorte que les plaques soient totalement immergées.

Toutefois les queues de plomb qui vont des plaques aux bandes de connexion devront être suffisamment épaisses et massives, pour résister à l'action corrosive du liquide.

3° Le bris ou la torsion des plaques sont dus à une dilatation excessive ou inégale; le plus souvent à cette dernière cause.

Ces accidents indiquent que la décharge a été poussée trop loin, que le régime a été trop rapide, ou bien que la distribution du courant dans la plaque n'est pas uniforme, ce qui fait que certaines portions de la plaque ont été trop déchargées, ou déchargées à un régime trop élevé. Le gondolement se produira aussi, même à des régimes normaux, lorsque la formation ou l'application de matière active sur la plaque n'a pas été effectuée

d'une façon uniforme sur toute son étendue. Lorsque le gondolement se produit dans ces conditions, il indique que la plaque est défectueuse.

Le gondolement des plaques aux régimes élevés peut être dû aux légères inégalités dans la répartition de la matière active, en même temps qu'aux différences de densité de l'électrolyte, ceci dans le cas de bacs profonds. L'on peut également obtenir des gondolements dans les batteries déchargées à des températures élevées ; ils sont dus dans ce cas à l'augmentation de capacité, et à la formation plus considérable de sulfate qui en résulte ; ceci détermine une variation de volume de la matière active beaucoup plus considérable que si la décharge avait été effectuée à une température moins élevée, et si la batterie avait fourni une décharge moins considérable.

Sir David Salamans a observé un phénomène qui est resté jusqu'ici inexpliqué, c'est le gondolement des plaques exposées à la lumière ; le côté convexe de la plaque est le côté opposé à celui sur lequel frappent les rayons lumineux.

Si le mauvais fonctionnement est dû à la défectuosité des plaques, l'on ne pourra y apporter aucun remède malgré tous les soins que l'on pourra donner à la batterie, soit en veillant à la bonne circulation de l'électrolyte, soit en ne poussant pas la décharge trop loin, soit en évitant l'action de la lumière ou de la chaleur.

4° L'on ne peut éviter la chute de la matière active si elle est mal formée ou mal appliquée, ou si elle est d'une nature telle qu'elle se désagrège, ou qu'elle n'adhère pas à la grille. La chute de matière active se produit toutefois même avec une bonne matière active, mais seulement, alors, dans de faibles proportions ; elle est due aux dilatations et contractions que la grille ne peut pas suivre, ou bien au dégagement rapide des gaz lorsque la charge est faite à un fort régime, ou qu'elle est poussée trop loin.

Lorsque la chute de matière se produit dans des proportions plus grandes que de coutume, et qu'il peut s'en suivre une détérioration, il faut se conformer aux règles suivantes :

Charger à de plus faibles intensités ; ne pas donner de sur-

charges, c'est-à-dire ne pas dépasser 2,4 volts à la charge; ne pas pousser la décharge trop loin, c'est-à-dire pas au-dessous de 1,8 volt, et recouvrir les plaques d'une enveloppe quelconque si cela est possible, et si cela n'a pas déjà été fait à la fabrication.

5° La sulfatation nuisible diffère de la sulfatation normale à la charge et à la décharge en ce qu'elle est presque irréductible; elle détermine : 1° la chute de la matière active; 2° le gondolement de la plaque; 3° une perte de capacité; 4° une augmentation de résistance intérieure entraînant une diminution correspondante du rendement; 5° une augmentation de la température pendant le passage du courant.

Plusieurs auteurs prétendent que ce sulfate diffère par sa nature et par sa composition chimique du sulfate ordinaire. D'autres, au contraire, prétendent qu'il n'y a pas deux sulfates, que le sulfate pernicieux est le même que le sulfate usuel, la différence consistant seulement dans le degré de réduction. Le sulfate de plomb pur ayant une faible conductibilité, et étant en fait presque un isolant, il ne peut pas être réduit ou oxydé, parce qu'il ne peut pas être traversé par le courant. Si cependant le sulfate est mélangé à une quantité suffisante de peroxyde de plomb, ou de plomb, ce mélange pourra avoir suffisamment de porosité pour que l'électrolyte puisse être absorbé, et produise par conséquent la conductibilité. L'action normale de charge et de décharge pourra alors avoir lieu. Cette dernière théorie semble juste et rationnelle et beaucoup d'expériences paraissent la confirmer. La sulfatation pernicieuse est donc simplement de la sur-sulfatation.

La sur-sulfatation est due à la décharge trop rapide ou à la décharge trop prolongée de toute la masse, ou simplement de certaines parties de la matière active. Ses effets pernicieux proviennent de l'augmentation considérable de résistance, de la dilatation et de la contraction considérables de la matière, ainsi qu'il est dit plus haut.

Les causes de décharge excessive sont : *a*) les décharges intentionnelles trop prolongées sur un circuit extérieur; *b*) les actions locales et les pertes; *c*) le décollement de la matière active qui se décharge sans être traversée par le courant de



charge, et qui par conséquent se trouve trop déchargée; d) les courts-circuits entre les plaques.

Les régimes trop élevés à la décharge tendent également à former à la surface des plaques une couche de sulfate qui empêche les parties intérieures de la matière active de participer à la décharge; il en résulte que la décharge se produit uniquement sur une faible portion de la matière active à la surface de la plaque; il y a donc décharge trop prolongée à la surface, et formation de sulfate irréductible.

Lorsque la matière active n'est pas en contact intime avec la grille, et que l'électrolyte peut pénétrer entre les deux, il est évident qu'à la décharge, l'action se produira plus rapidement sur la partie de la matière active la plus voisine de la grille, et qu'une couche de sulfate se formera en ce point. Lorsqu'il y a suffisamment de plomb spongieux ou de peroxyde transformé en sulfate, la couche de sulfate entre la grille et la masse active devient non conductrice, et l'on ne peut faire passer le courant dans la plaque qu'à un haut voltage. Si la densité de l'acide ou la température sont élevés, la sulfatation se propagera plus rapidement.

En même temps que ces effets se produisent, l'on observe en général également les accidents cités plus haut, et dus à la variation de volume de la matière active. L'on constate le plus souvent que la matière active se craquèle et tombe, et que les plaques se voilent.

Les décharges exagérées et par suite la sulfatation, résultent également des actions locales, ou encore des courts-circuits entre les plaques positives et négatives.

Comme le sulfate est blanc, sa présence est révélée par une coloration de plus en plus claire des parties sulfatées. Si l'action continue, il pourra se produire sur les plaques ou sur les portions de plaques atteintes, une couche blanche de sulfate pur. Les opinions sont différentes sur le meilleur traitement auquel l'on doit soumettre les plaques sulfatées. Beaucoup d'auteurs prétendent que l'on obtient les meilleurs résultats en chargeant à faible régime — environ un quart du régime normal — pendant très longtemps, et qu'ainsi le sulfate se trouve réduit graduellement.

D'autres prétendent que les fortes densités de courant sont préférables. L'auteur a déduit de ses propres expériences que, si la sulfatation a été poussée très loin, l'échauffement de l'élément, dû à sa forte résistance, limite de lui-même le régime de charge; et il pense que l'on devra déterminer le régime de charge au moyen d'un thermomètre; ce régime devra être aussi élevé que possible sans que la température puisse dépasser 40° C. En général, au début de la charge, cette température sera atteinte avec un courant très faible; les régimes élevés ne seront donc pas possibles au début; toutefois l'on pourra augmenter l'intensité du courant à mesure que la réduction se poursuivra.

Les plaques sur lesquelles s'est formée une couche de sulfate entre la grille et la matière active ne sont pas réductibles en général; l'on devra les enlever et les remplacer par d'autres. Quelquefois cependant, si la couche n'est pas trop épaisse, ou si elle n'est pas complètement transformée en sulfate, la réduction sera possible. Si la sulfatation a été poussée suffisamment loin pour qu'il se soit formé une couche blanche, les plaques devront être prises à part, et les positives et négatives connectées séparément vis-à-vis d'électrodes auxiliaires; l'on devra ensuite faire passer le courant dans la direction convenable pour réduire le sulfate (positives anodes, négatives cathodes). Si la sulfatation a été produite par une action locale, l'on devra en rechercher les causes et les éliminer (chap. VII).

La densité du liquide et sa température doivent également être maintenues dans les limites prescrites. Bien que ces facteurs ne produisent pas la sulfatation par eux-mêmes, ils sont un adjuvant puissant des causes réelles, il augmentent et accélèrent l'action perturbatrice.

L'on évitera les courts-circuits en maintenant les éléments propres extérieurement, et en ne laissant jamais la matière, qui est conductrice, s'accumuler au fond des bacs, ou entre les plaques sur les séparateurs. Il faudra veiller également à ce que l'écartement des plaques soit bien maintenu.

Lorsqu'il se sera formé un excès de sulfate, il faudra plusieurs cycles de charges et de décharges pour ramener la batterie à sa capacité primitive. La première charge devra toujours être

effectuée avec une surcharge prolongée. Lorsque des éléments de grande capacité sont reliés en série, comme cela se présente en général, et qu'il devient nécessaire de surcharger un seul élément pour l'amener à son état normal, l'on devra donner cette surcharge sans pour cela fournir aux autres éléments une surcharge qui pourrait les détériorer; l'on arrive à ce résultat en séparant l'élément défectueux du circuit, et en disposant des câbles de faible longueur appelés « ponts », de telle sorte que l'on puisse connecter l'élément en circuit à la charge, et le supprimer du circuit à la décharge, le courant passant alors dans le « pont » sans traverser l'élément défectueux.

En répétant cette manœuvre, l'on obtiendra la surcharge nécessaire à l'élément à traiter. Si l'on veut remettre l'élément en état rapidement, il faudra le connecter à la charge en série avec les autres dans le sens normal, et en sens inverse à la décharge, de telle sorte que le courant de décharge du circuit général traverse comme courant de charge l'élément défectueux. En opérant de la sorte, l'action sera continue. Toutefois les grands ponts et les fortes prises de courant nécessaires dans les batteries puissantes sont difficiles à manœuvrer; aussi cette méthode est-elle limitée aux éléments de faible dimension.

De plus, si l'on coupe un élément, on diminue le voltage de la batterie de 2 volts; si on l'intercale en outre en sens inverse dans le circuit de décharge, l'on perdra encore 2,5 volts, soit en tout une diminution de 4,5 volts dans le voltage total de la batterie. Il faudra donc que le service de la batterie puisse admettre cette diminution de voltage, ou que les éléments de réduction ou le survolteur puissent la compenser.

L'inversion des plaques négatives ne se produit que lorsqu'il y a plusieurs éléments en série, ou qu'il y a une force électromotrice extérieure. Elle a lieu lorsqu'un élément a été déchargé jusqu'à zéro et ensuite chargé en sens inverse, ce qui détermine une inversion des plaques. Ce cas se présente toutefois rarement, si ce n'est quand un élément perd sa capacité par suite d'accident ou de détérioration; sa décharge est alors terminée avant que les autres éléments en série avec lui aient commencé à faiblir. Les éléments en bon état ayant une plus grande capacité et étant

plus puissants que l'élément défectueux, ils déterminent son inversion. Le remède dans ce cas est de recharger et de continuer la charge de l'élément défectueux jusqu'à ce qu'il soit ramené à son état normal. Il faudra déterminer la cause de perte de capacité, sans quoi l'inversion se reproduira à la prochaine décharge.

Pour surcharger un élément monté en série avec d'autres, l'on pourra employer la méthode précédemment indiquée qui consiste à mettre l'élément en circuit à la charge et à le retirer du circuit à la décharge.

7° Nous avons traité complètement la question de décharge intérieure dans le chapitre qui s'y rapporte. Pour y remédier l'on devra employer de l'électrolyte pur et maintenir les plaques complètement immergées. L'action locale a souvent pour résultat de remplir d'impuretés et de sulfate les pores du plomb spongieux, et de réduire ainsi la capacité.

Si les négatives sont de nature à supporter l'inversion, l'on pourra les régénérer par cette méthode telle qu'elle est donnée au début de ce chapitre au paragraphe qui traite de la perte de capacité.

8° Le durcissement des négatives à l'air provient de l'oxydation, de l'action des gaz occlus, et de l'échauffement; l'état du plomb spongieux devient alors tel qu'il est difficile de le ramener à sa condition première. La seule méthode à employer consiste à surcharger les plaques d'une façon continue; il faudra pour cela prendre des positives auxiliaires; celles-ci seraient en effet probablement détériorées si on les soumettait à la surcharge considérable qui sera nécessaire. En général, le meilleur moyen à employer lorsque les négatives auront durci à l'air, sera de les renvoyer à l'usine et de demander au fabricant d'en envoyer de nouvelles ou d'effectuer leur réduction. Toutefois si l'on se trouve dans des conditions nécessitant l'emploi immédiat de la batterie, et si l'on ne peut employer de positives auxiliaires, la surcharge devra être effectuée à faible régime — environ la moitié du régime normal; — il ne se produira probablement pas ainsi de sérieuses détériorations.

9° Perte de voltage. Ce cas se présente souvent. En général dans une batterie il y a un ou plusieurs éléments qui ont un

voltage inférieur au voltage normal, quelquefois même leur polarité s'inverse. La diminution de force électromotrice est due à la présence d'une quantité anormale de sulfate dans la matière active; il faudra le réduire et supprimer la cause de sa formation, ainsi qu'il a été expliqué dans le paragraphe traitant de la sulfatation.

## CHAPITRE XIV

### SOINS ET CONDUITE DES BATTERIES

A ce qui vient d'être dit, nous devons ajouter quelques observations relatives à la conduite des batteries.

Il ne faudra jamais dépasser le régime de décharge en une heure; ce régime ne devra durer que peu de temps, vingt minutes environ, excepté dans le cas des batteries régulatrices où l'on pourra admettre pendant une minute ou deux le régime en quarante-cinq minutes lorsque les fluctuations de la charge sont très grandes. L'on peut admettre un régime de charge élevé lorsque la batterie est presque ou complètement déchargée, mais ce régime devra être modéré vers la fin de la charge, c'est-à-dire lorsque le dégagement gazeux commence à se manifester. Une bonne règle pour la charge rapide sera de donner à la batterie 35 p. 100 de la charge pendant la première heure, 52 p. 100 pendant les deux heures suivantes, et 13 p. 100 pendant la quatrième heure. Ne jamais charger à un régime trop faible, car cela est nuisible. Le régime en trente heures doit être considéré comme un minimum.

Il faut prendre de temps à autre le voltage et faire des lectures au cadmium sur chaque élément pour se rendre compte du fonctionnement des éléments pris séparément ainsi que du fonctionnement de chaque genre de plaques. L'on doit également prendre la densité de chaque élément au moins une fois par semaine. Si la densité de l'acide est plus faible chez un élément que chez les autres, ceci indique un court-circuit ou une action locale dans cet élément.

Le densimètre employé pour mesurer la densité des éléments devra être aussi grand que possible, il ne devra pas être établi entre des limites trop étendues, sans quoi l'échelle serait trop

courte, et les divisions trop petites pour pouvoir faire des lectures exactes. Dans les petits densimètres, l'erreur introduite par le ménisque qui se forme autour de la tige à la surface du liquide est considérable; elle est en fait assez grande pour que l'on ne puisse observer avec exactitude les faibles variations de densité.

Le modèle de tableau donné à la figure 21 donne une idée des observations que l'on doit effectuer sur une batterie, et de la façon dont on doit les noter.

Lorsque l'on fait des connexions, il faut s'assurer que l'on relie bien ensemble les polarités voulues. Un voltmètre à aimant permanent indiquera la polarité et son emploi évitera les erreurs.

<i>Rapport de batterie.</i>							
Nombre d'éléments. . . . .		batterie installée à.					
Type d'éléments. . . . .		190					
Nombre de plaques par élément . . . . .							
Bacs en verre ou en bois doublé de plomb. . . . .							
Température de la salle . . . . .		° C.					
Température des éléments à la fin de la charge . . . . .		° C.					
— —		de la décharge . . . . .					
— —		° C.					

NUMÉRO de l'élément	VOLTAGE PAR ÉLÉMENT		POIDS SPÉCIFIQUE		MOYENNE des ampères-heure débités chaque jour.	RÉGIME MOYEN de décharge.	COULEUR des positives claires ou brun foncées.	APPARENCE des négatives.	NOTER si les positives sont droites ou voilées.
	Fin de charge à . . . amp.	Fin de décharge à . . . amp.	Fin de charge.	Fin de décharge.					
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Fig. 21.

Si les bacs ont une profondeur supérieure à 50 centimètres, il faudra provoquer la circulation de l'électrolyte par un moyen mécanique. Une méthode simple et économique consiste à employer de l'air comprimé que l'on distribue tout le long de la ligne d'éléments au moyen d'un tuyau ordinaire en fer, muni, en face de chaque élément d'une ouverture sur laquelle est vissé un raccord. De chaque raccord part un petit tuyau de caoutchouc d'environ 9 millimètres de diamètre qui va jusqu'au fond de l'élé-

ment. L'insufflation de l'air dans l'électrolyte provoque sa circulation. L'on interpose un robinet de réglage entre chaque tuyau de caoutchouc et le tuyau de distribution générale, de façon à envoyer dans chaque élément une quantité d'air convenable. Il suffit d'une petite quantité d'air et d'une pression faible ; environ 300 grammes par centimètre carré.

Si les batteries sont employées d'une façon intermittente, et si elles doivent rester un certain temps sans charge ni décharge, la densité devra être basse ; elle ne devra pas dépasser 1.200, et il devra y avoir environ 7 kilos d'acide par 100 ampères-heure.

Si cela est possible, il ne faudra jamais laisser une batterie longtemps au repos lorsqu'elle sera déchargée. Si les conditions du service de la batterie exigent qu'elle reste au repos après la décharge, on arrêtera celle-ci à 1,85 volt. Il faudra toujours se méfier de la sulfatation, et lorsque les plaques commenceront à devenir plus claires qu'elles ne doivent l'être normalement il faudra immédiatement en rechercher la cause et la faire disparaître, puis donner ensuite une bonne surcharge aux éléments sulfatés.

Lorsque la densité de l'électrolyte devient supérieure à la densité normale par le fait de l'évaporation, il faudra la ramener à sa valeur en ajoutant de l'eau pure dans les éléments. Il faudra introduire cette eau par le fond des éléments au moyen d'un tuyau de caoutchouc ou de plomb plongeant jusqu'au fond du bac. L'eau ainsi introduite se diffusera et se mélangera d'elle-même avec l'acide, tandis que si elle était simplement versée par le haut elle resterait au-dessus en raison de sa plus faible densité et ne se mélangerait que très lentement avec l'électrolyte, si même le mélange avait lieu.

Si les batteries doivent être inutilisées pendant un certain temps — six semaines ou plus, — l'on ne devra pas laisser les plaques dans l'électrolyte, à moins que l'on ne puisse faire charger et décharger légèrement la batterie au moins une fois par semaine. Sinon, lorsqu'une batterie devra rester au repos pendant un certain temps, l'on devra la charger lentement, puis ensuite la décharger pendant environ deux heures au régime normal. L'on enlèvera ensuite l'électrolyte et on le remplacera immédiatement



par de l'eau. L'on continuera ensuite la décharge à demi-régime jusqu'à ce que le voltage devienne très bas, environ 0,5 volt par élément. Il faudra mettre les éléments en court-circuit pour obtenir une décharge lorsque l'électrolyte aura été remplacé par de l'eau. L'on devra ensuite laver soigneusement les plaques à l'eau courante ; en général le jet d'un tuyau sur les plaques sera suffisant, puis on les laissera tremper dans l'eau pendant environ vingt-quatre heures et on les fera ensuite sécher. Lorsqu'on devra mettre de nouveau la batterie en service, il suffira de remettre l'électrolyte dans les bacs et de donner une forte surcharge.

## CHAPITRE XV

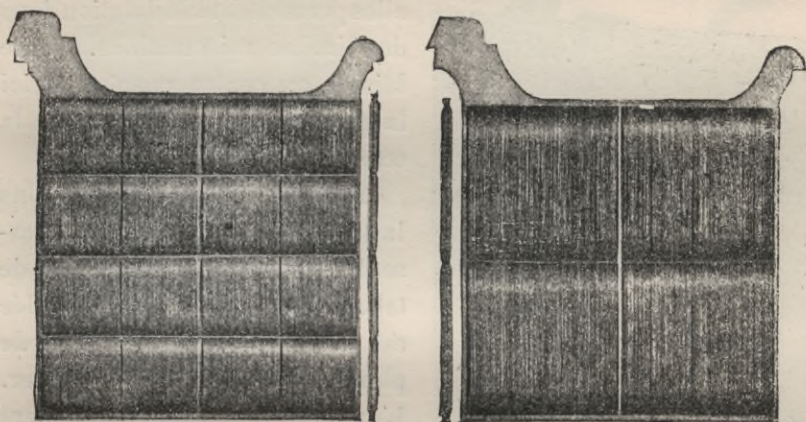
### PLAQUES DU TYPE PLANTÉ

Le nom de « procédé Planté » vient de Gaston Planté qui construisit le premier en 1860 une batterie d'accumulateurs pratique en faisant passer du courant dans deux lames de plomb plongées dans de l'acide sulfurique dilué. Au bout d'un temps assez long une légère couche de peroxyde de plomb s'était formée sur l'anode par suite du dégagement d'oxygène, tandis que la cathode était demeurée intacte. En changeant alors le sens du courant, le peroxyde se trouvait réduit en plomb métallique spongieux — la plaque peroxydée étant devenue la cathode — et la plaque non attaquée précédemment se trouvait peroxydée. Ceci constituait alors une batterie d'accumulateurs, mais sa capacité était négligeable, car les couches de matière active étaient infiniment minces, étant donné que l'action de l'oxygène sur le plomb ne peut continuer à se produire lorsque ce dernier a été recouvert d'une couche de peroxyde.

Planté arriva par des renversements répétés, à augmenter suffisamment l'épaisseur de la couche de matière active pour obtenir des éléments favorablement comparables à ceux fabriqués de nos jours. Toutefois, il fallait plusieurs mois pour y arriver, et le procédé n'était par conséquent pas industriellement praticable. On appelle actuellement procédés Planté, tous ceux qui servent à produire de la matière active sur la plaque, en transformant une partie de la plaque elle-même en matière active.

Il y a différentes méthodes pour diviser finement le plomb, ou pour fabriquer des plaques ayant une grande surface développée et susceptibles d'être traitées par la formation Planté ; ce sont : L'entaillage, le rainurage, le laminage, le moulage, et le gaufrage. *L'entaillage* consiste à faire passer sur la surface d'une

lame de plomb des roues munies de tranchants, qui entaillent la plaque des deux côtés à la fois. Les roues d'entaillage tournent dans des rainures ; leur nombre varie de 200 à 400 sur le même axe suivant la largeur de la plaque. Lorsque le tranchant de la périphérie des roues pénètre dans le plomb, il laisse derrière lui



Positive : 39 cm.  $\times$  39 cm. Négative : 39 cm.  $\times$  39 cm.  
Surface = 30,5 décim. carrés. — Surface développée = 305 décimètres carrés.

Fig. 22.

des rainures, et le plomb doux se trouve comprimé entre les voies des roues voisines ; il prend alors la forme de côtes minces ou de lamelles qui émergent au-dessus de la surface de la plaque. En rendant ces côtes très minces, et en en faisant par consé-

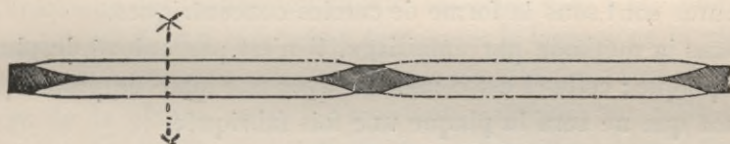


Fig. 23.

quent un grand nombre pour une plaque de dimensions données, l'on obtient une surface développée considérable.

Les figures 22 et 23 représentent la plaque de la Gould Storage Battery Company qui est construite par cette méthode ; la figure 23 donne une section verticale de la plaque. La surface développée est de 20 fois la surface primitive de la plaque lorsque l'entaillage est très fin. Les côtes les plus fines ont 0,3 mm. d'épais-

seur, les plus fortes ont 0,6 mm. Le rainurage varie entre ces limites; les côtes seront plus ou moins épaisses suivant le service auquel sera destinée la batterie.

Les plaques ainsi construites ont l'avantage d'être d'une seule

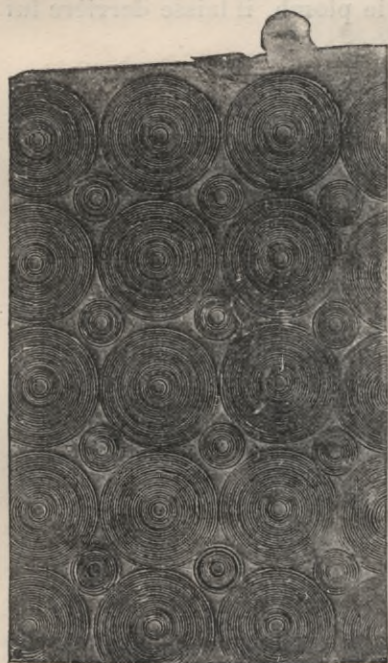


Fig. 24.

pièce, sans joints ni soudures; elles permettent la dilatation dans des limites raisonnables. L'âme laissée au centre représente ici la grille, et donne à la plaque la conductibilité nécessaire.

L'on aperçoit clairement dans la figure 23 que les côtes dépassent la surface de la plaque, de telle sorte que la plaque entaillée est plus épaisse que la lame de plomb qui a servi à la fabriquer. L'on doit remarquer également que la surface entière de la plaque n'est pas rainurée. On laisse des renforts de plomb plein à de certains intervalles, ainsi qu'il est montré à la figure 22.

La figure 24 montre un autre type de plaques entaillées où les rainures sont sous la forme de cercles concentriques.

Dans la méthode par entaillage, il n'est pas enlevé de plomb à la plaque; celle-ci est construite avec une lame de plomb plus mince que ne sera la plaque une fois fabriquée.

**Rainurage.** — Cette méthode consiste à pratiquer des rainures dans une plaque de plomb de façon à former un côtelage. La plaque de plomb employée doit être de la même épaisseur que la plaque une fois finie, car les rainures sont faites en enlevant — généralement en sciant — une partie du métal.

Cette méthode produit également de bonnes plaques, mais elle ne permet pas une division aussi fine, et un développement aussi grand que dans les plaques entaillées. Les éléments Wil-

lard and American, représentés dans les figures 25 et 26 donnent un exemple de plaques rainurées.

L'on remarquera que dans ces plaques, les ailettes sont inclinées vers le haut; ceci a pour but d'empêcher la chute de la



Fig. 25.

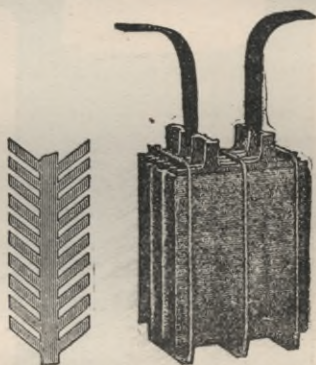


Fig. 26.

matière active. Il n'est pas enlevé de métal dans la construction, de ces plaques, les rubans sont simplement soulevés par un outil dans l'épaisseur de la plaque.

**Laminage.** — Cette méthode consiste à former la plaque de rubans de plomb alternativement plats ou plissés. Les plaques de la National Battery Company (fig. 27) sont de cette nature. L'épaisseur des bandes ou rubans varie de 0,38 à 0,5 mm. leur largeur est de 6,3 mm. c'est également la largeur de la plaque. Les rubans plats ou plissés sont placés alternativement en travers de la plaque entre les montants extrêmes de celle-ci. La plaque est munie de montants de renforcement sur la largeur et sur la longueur leur nombre varie avec la dimension de la plaque. Ces renforts sont soudés dans des rainures pratiquées dans l'épaisseur de la plaque, de telle sorte qu'ils ne fassent pas saillie sur la surface de la plaque. Les bandes de plomb sont toutes fortement assemblées; cette méthode de construction donne une plaque solide et de grande surface développée. Les extrémités des bandes de plomb sont soudées au cadre au chalumeau oxydrique.

Cette plaque a l'avantage de permettre une libre et rapide circulation de l'électrolyte.

Les éléments « de Kabath » sont constitués également de

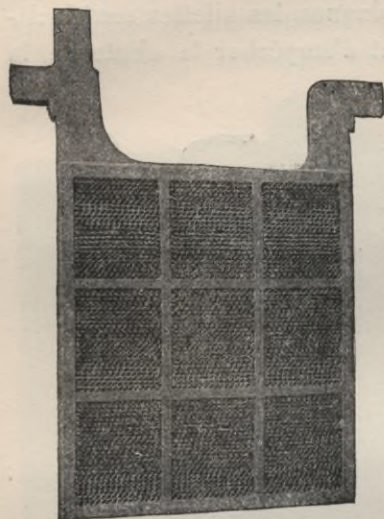


Fig. 27.



Fig. 27 A.

rubans laminés alternativement plans ou gaufrés ; ils ont beaucoup de ressemblance avec les éléments précédemment décrits. L'élément

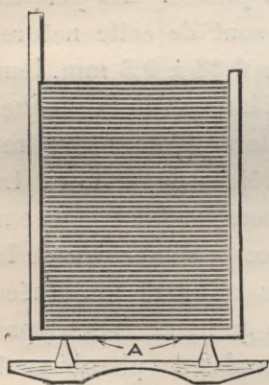


Fig. 28.

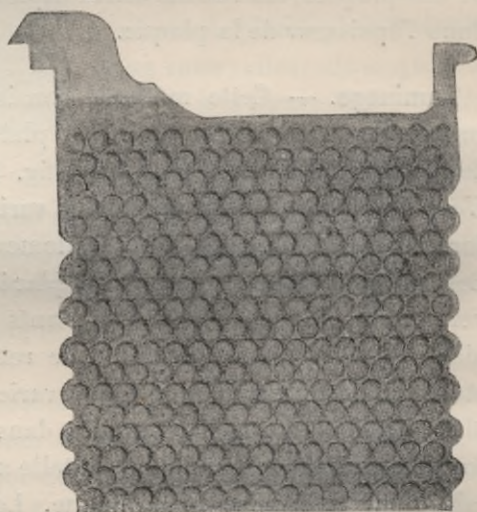


Fig. 29.

de la D. P. Battery fabriqué par Drake et Gorham, est représenté dans la figure 28. Les lamelles sont droites, leurs extrémités

sont soudées à une barre ou ruban de plomb de chaque côté de la plaque ainsi que le montre la figure. Il est à remarquer que les montants ne sont pas reliés entre eux en haut et en bas par des barres transversales. Ce mode de construction permet à la plaque de se dilater librement à la décharge et de se contracter à la charge.

La plaque Manchester fabriquée par l'Electric Storage Battery Company, est représentée dans la figure 29. Elle est constituée par des rubans de plomb roulés en spirale; les « boutons » ainsi formés sont introduits dans des trous percés dans la grille-support. Le ruban de plomb est lisse sur une face et porte des aspérités sur l'autre. Lorsque la plaque est formée, la dilatation des boutons actifs les fait adhérer fortement contre la grille support; l'adhérence mécanique nécessaire se trouve ainsi assurée. Toutefois l'oxydation des boutons empêche le contact métallique avec la grille, ce qui fait que la conductibilité n'est pas aussi élevée que dans certains autres types de plaques.

Certaines plaques Planté sont fabriquées par coulée dans des moules. L'on peut obtenir ainsi des ailettes très fines, ou tout autre genre de divisions. Les plaques Tudor, nouveau modèle, fabriquées par la Société française de l'accumulateur Tudor, par l'Aktien Gesselschaft Hagen, et par les ateliers d'OERlikon, etc..., sont un exemple de ce genre de plaques. La figure 33 donne une section de la plaque de Tudor.

La figure 27 A représente la plaque coulée de la National Battery Company. La plaque et les ailettes forment un seul bloc homogène. Rien ne gêne la dilatation et la contraction, et la conductibilité entre les ailettes et le support est la plus élevée qu'il soit possible d'obtenir. La coulée est faite sous pression pour assurer la compacité et éviter les soufflures et autres défauts.

Simmon a fabriqué des plaques en filaments de plomb en pressant ensemble du fil de plomb très fin, qui était ensuite coupé et moulé. Ceci n'a du reste pas donné une bonne plaque; elle était en effet sujette à tomber en morceaux sous l'action de la dilatation et de la contraction; de plus sa conductibilité était faible.

La plaque Planté du Prof. William Main est d'un type spécial. Elle est constituée par un empilage de feuilles minces de plomb

d'environ 0,3 mm. d'épaisseur percées d'un grand nombre de trous. Les feuilles extrêmes ont environ 2,5 mm. d'épaisseur et sont en plomb antimonieux. La pile de feuilles de plomb constituant la plaque est assemblée au moyen de rivets en plomb ; la plaque est ensuite percée de nombreux trous ; avant d'assembler les lames de plomb on les recouvre toutes d'une couche de sulfate de magnésium ; celui-ci se dissout et laisse un certain espace entre les différentes lames. L'électrolyte peut ainsi pénétrer dans toutes les parties

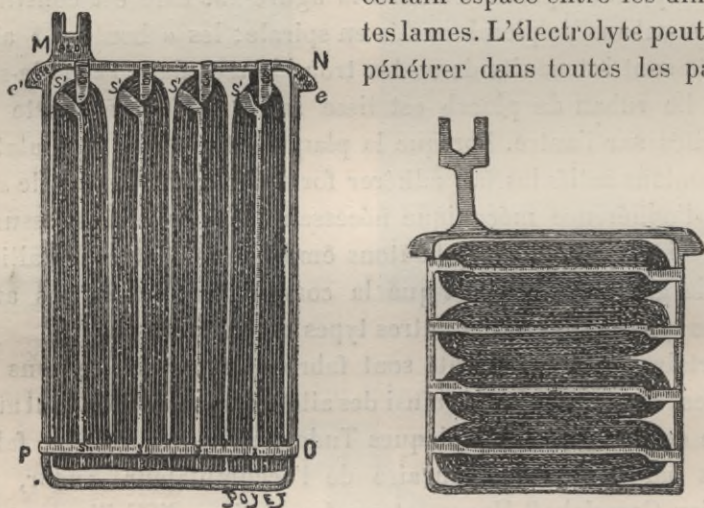


Fig. 30.

de la surface des feuilles de plomb ; les plaques ont de cette manière une grande surface active.

La plaque Blot est constituée par des rubans de plomb laminé roulés en fuseaux ; les couches de ruban laminé sont alternativement plates ou plissées, les rubans sont tous gaufrés. Le fuseau a deux fois la longueur de la plaque, sa largeur est d'environ 4,5 cm. L'épaisseur de la plaque est de 9 millimètres, et correspond à la largeur du ruban qui sert à former le fuseau. Le ruban de plomb a 1/2 millimètre d'épaisseur. L'enroulement des fuseaux se fait sur une navette en plomb antimonieux portant d'étroites fourchettes à ses deux extrémités. Lorsque les fuseaux sont terminés, on les coupe en deux par le milieu. La plaque est constituée en réunissant les demi-fuseaux à la barre supérieure de la plaque ; l'extrémité correspondant à la fourchette est reliée



à la barre par soudure ou par fusion de l'une sur l'autre. Les rubans sont également reliés entre eux à la même extrémité par une forte soudure. La partie inférieure est libre, mais des barres transversales placées de chaque côté, l'empêchent de se porter de côté hors du plan de la plaque. Ceci n'empêche en rien la dilatation longitudinale des fuseaux; et ce mode de construction est celui qui approche le plus des conditions idéales. Les figures 30, 31 et 32 représentent la plaque et son mode de construction.

Nous n'avons décrit précédemment que quelques-unes des méthodes les plus importantes de fabrication des plaques destinées à la formation Planté. Mais ceci donne une idée pratique de tous les types de plaques se rapportant à cette catégorie.

Pour des descriptions et des données plus complètes sur ces types de plaques,

ou sur d'autres, rien ne sera meilleur que de consulter les publications commerciales des différents fabricants d'Europe et d'Amérique.

Lorsque l'on fabrique des plaques destinées à la formation Planté, il faut faire avec grand soin des expériences pour déterminer jusqu'à quel point l'on peut subdiviser le plomb. Si l'on admet trop d'ailettes ou de rubans, l'on obtiendra à la formation plus d'oxyde que la plaque ne peut en supporter. Il en résultera un gondolement, ou bien la matière tendra à sortir de la plaque sous forme de bourgeonnements en certains points. Lorsque la plaque s'est dilatée jusqu'à la limite, et qu'il se forme encore de la matière active, la dilatation se produit alors dans

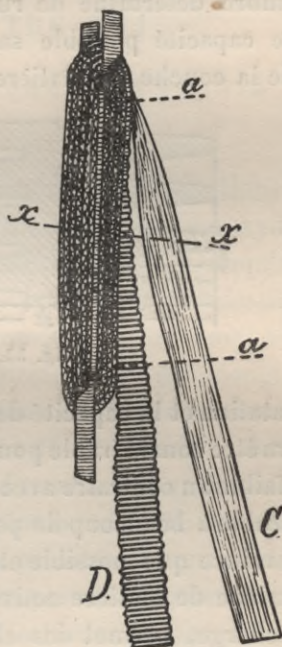


Fig. 31.



Fig. 32.

un sens perpendiculaire au plan de la plaque, et détermine un gauchissement.

Si, d'autre part, la plaque n'est pas suffisamment subdivisée, la surface exposée à l'action électrolytique sera faible, et par conséquent la capacité sera très limitée. Pour chaque type de plaques, il y a un nombre déterminé de rubans ou d'ailettes donnant le maximum de capacité possible sans gondolement ni torsion. L'épaisseur de la couche de matière active sera variable avec la

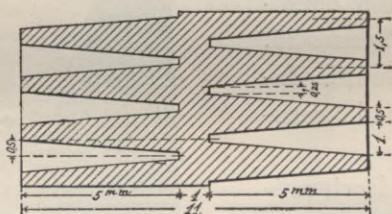


Fig. 33.

faculté de dilatation et la capacité de la plaque ; le nombre de subdivisions devra être considérable pour une formation superficielle, il devra être faible au contraire avec une formation en profondeur.

Il est préférable à beaucoup de points de vue, d'avoir une formation aussi mince que possible et un grand nombre d'ailettes. Une couche mince de matière active donne un voltage plus uniforme à la décharge, permet des charges et des décharges plus rapides ; par conséquent les plaques à couche mince de matière active devront être employées pour les batteries qui auront à travailler à des régimes élevés.

Toutefois la matière active se dilate à la décharge et se contracte à la charge, et, une couche mince de matière active présentant une plus grande surface subira une contraction et une dilatation plus grande qu'une couche épaisse de matière sur une surface moindre ; elle tendra par conséquent à se détacher de son support. Il résulte de ceci que les batteries destinées à être chargées à pleine capacité, et déchargées jusqu'à leur voltage minimum devront recevoir une formation en profondeur.

## CHAPITRE XVI

### MÉTHODES DE FORMATION PLANTÉ

Dans les méthodes de formation que nous allons décrire, le plomb est attaqué et converti finalement en peroxyde de plomb après avoir passé par des états intermédiaires. Lorsqu'elles ont été complètement formées en positives, les plaques destinées à constituer des négatives sont inversées, et le peroxyde de plomb de ces plaques est ainsi transformé en plomb spongieux.

Sheldon et Watermann ont montré par des expériences fort intéressantes que<sup>1</sup>, dans la formation Planté effectuée dans de l'acide sulfurique, le plomb est d'abord transformé en sulfate de plomb, puis ensuite en peroxyde de plomb, et qu'il s'écoule un temps appréciable entre le passage du premier état au second.

L'expérience consistait à faire passer du courant alternatif de fréquence variable entre deux électrodes plongées dans de l'acide sulfurique dilué; l'on notait la fréquence et la nature du dépôt. Aux basses fréquences il se déposait du peroxyde brun, et, aux fréquences élevées, il ne se formait que du sulfate blanc, lequel se détachait des plaques presque aussitôt formé. Dans le premier cas la durée d'une pulsation était assez grande pour former du sulfate et le transformer ensuite en peroxyde; dans le second cas le sulfate de plomb avait seul le temps de se former pendant la durée d'une pulsation, et il se trouvait détaché par la pulsation suivante en sens inverse.

Les méthodes de formation rapide ou de formation autogène « Planté » peuvent être classées en formations chimiques, for-

<sup>1</sup> Formation du sulfate de plomb par l'électrolyse, au moyen des courants alternatifs et avec des électrodes en plomb. Samuel Sheldon et Marcus B. Watermann, *Physical Review*, n° 22, vol. IV (janv.-fév. 1897.)

mations électro-chimiques, formations électrolytiques, et formations amalgamiques.

Les méthodes de formation électro-chimique se divisent en trois groupes :

Le premier groupe est celui dans lequel l'on emploie l'un des acides dissolvant le plomb, ou un sel de ces acides, en combinaison avec un sulfate ou un carbonate.

Les principaux acides dissolvant le plomb sont l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique, et l'acide acétique.

Lorsque l'on emploie ces dissolvants, il doit y avoir également en présence un carbonate ou un sulfate, lequel agira comme redéposant du plomb dissout par l'acide. Il peut y avoir plusieurs combinaisons de dissolvants acides et de carbonates ou de sulfates, un mélange de plusieurs de ces combinaisons produira en substance les mêmes effets. Dans ce mode de formation, la difficulté sera de débarrasser la plaque une fois formée des moindres traces d'acides attaquant le plomb. Si ces acides ne sont pas complètement éliminés, la formation se continuera en service courant, et la plaque sera rapidement détruite.

Le second groupe de formation électro-chimique est un procédé Planté accéléré dans lequel les inversions répétées du courant sur les plaques sont évitées.

Ce second groupe de formation, électro-chimique, est basé sur ce principe que deux peroxydes mis en présence dans la même solution tendent à se décharger l'un l'autre. Par conséquent si la formation est effectuée dans de l'acide sulfurique dilué auquel l'on a ajouté un peu de peroxyde, le peroxyde de plomb qui se forme à la surface des plaques par l'action électrolytique sera désoxydé par le peroxyde que l'on a ajouté à l'électrolyte. Cette désoxydation a lieu presque simultanément avec l'oxydation première, ceci équivaut donc pratiquement à la formation continue de plomb spongieux. Il résulte de là que la formation sera continue et n'exigera pas d'inversion de courant.

Le troisième groupe comprend les diverses formations électro-chimiques qui ne peuvent être classées dans le premier ou dans le second groupe.

Dans les procédés qui seront décrits plus loin nous donnerons,

dans plusieurs cas les proportions des différents produits entrant dans la composition de l'électrolyte. Toutefois ces proportions seront rarement exactes; les inventeurs en effet indiquent des proportions fausses pour tromper les concurrents, ils ne révèlent dans leurs brevets que les produits employés, et n'indiquent ainsi que le strict nécessaire pour protéger leur procédé. Aussi ne pourra-t-on guère trouver les proportions exactes que par l'expérience. L'importance qu'il y a d'effectuer les mélanges chimiques exactement dans les proportions voulues, a été montrée par des expériences faites récemment en Allemagne.

Nous donnons comme exemple le cas suivant : avec un mélange de 10 centimètres cubes d'acide sulfurique et de 10 centimètres cubes d'acide nitrique de poids spécifique 1,18, le tout dilué dans de l'eau; le poids de peroxyde de plomb déposé pour 100 ampères-heure était de 0,1837 gr. En employant la même dilution de l'électrolyte, mais en prenant 12 centimètres cubes d'acide sulfurique et 10 centimètres cubes d'acide nitrique, le dépôt fut de 108 grammes par 100 ampères-heure, soit 650 fois plus pour une variation de 10 p. 100 dans la composition de l'électrolyte.

La structure mécanique du plomb spongieux produit électrolytiquement, peut être modifiée par des additions à l'électrolyte; s'il est formé dans de l'acide sulfurique pur et dilué, et à une forte densité de courant l'on obtient un plomb spongieux qui séché en vase clos, à l'abri de l'air, donne une poudre fine et friable.

S'il est formé dans la glycérine et l'acide sulfurique, les autres conditions restant les mêmes, l'on obtiendra une structure fibreuse, analogue à du feutre. La structure cristalline du peroxyde peut être altérée de la même façon. Les bains de formation seront acides, alcalins ou neutres suivant la nature du sulfate ou du carbonate employé, et de sa proportion dans la solution.

Lorsque la formation a lieu dans des bains neutres, il se forme une quantité importante d'un hydrate de peroxyde de plomb, lequel donne une grande dureté à la matière active. L'addition de sulfate de mercure favorise la formation de peroxydes proportionnellement plus durs; ceci est dû probablement à ce que la présence du sulfate de mercure retarde les changements dans l'acide sulfurique.

En règle générale, plus la température de l'électrolyte sera élevée et moins la couche de peroxyde de plomb sera adhérente au support conducteur, et moins cette couche sera dure. La couche de peroxyde devient également plus cassante et plus dure lorsque la densité du courant diminue, les autres conditions restant les mêmes.

De tous les différents procédés, le procédé électro-chimique semble être le meilleur pour produire une plaque durable, de grande capacité et d'un rendement élevé.

Nous devons remarquer ici que, théoriquement, la formation Planté ne convient pas aussi bien pour la plaque négative que pour la plaque positive. En effet, la matière active des deux genres de plaques dégénère par diminution de contact avec le support conducteur, par diminution de porosité, et par la sulfatation. Sur la plaque négative, aucune action ne se produit tendant à régénérer la matière, tandis que sur la positive, l'oxygène libéré à la charge reforme toujours une bonne couche de matière active ; de plus dans le cas de chute de matière, il se forme une nouvelle couche de peroxyde.

Comme il ne se produit aucune action de reformation sur la négative, sa capacité décroît continuellement, à partir du moment où elle est mise en service ; tandis que dans la positive, la capacité augmente d'abord jusqu'à une certaine limite pour décroître ensuite également, mais très lentement. L'on doit donc, lorsqu'on la construit, donner à la négative une capacité initiale plus élevée que celle de la positive ; on lui donne en pratique de 25 à 50 p. 100 de plus. Ceci ne signifie pas qu'il y aura une quantité plus considérable de matière active sur les négatives que sur les positives. En réalité, c'est le contraire qui a lieu, et si les plaques étaient déchargées jusqu'au voltage zéro, les plaques positives présenteraient une capacité plus élevée que les négatives.

Ce que l'on doit chercher, c'est que la capacité de la négative à partir de la pleine charge jusqu'à 1,7 volt soit de 25 à 50 p. 100 plus élevée que celle de la positive, cette condition est réalisée avec moins de matière que sur la positive, à cause de la plus grande porosité du plomb spongieux.

Comme beaucoup des accidents survenant aux plaques négati-

tives proviennent de la dilatation et de la contraction de la matière active, il faudra que la surface de matière soit aussi faible que possible, la formation devra donc être plus épaisse que sur la positive. La plaque empâtée présente une surface moindre, pour la même quantité de matière active, que la plaque Planté; c'est pourquoi ce type de plaques est considéré comme meilleur pour les négatives. Toutefois il existe beaucoup de batteries qui possèdent des négatives Planté et qui donnent des résultats satisfaisants.

Avant de décrire les différentes méthodes de formation, nous indiquerons les résultats des essais faits en Allemagne et cités plus haut, qui eurent pour but de déterminer le poids de peroxyde de plomb déposé par 100 ampères-heure pour différentes compositions de l'électrolyte. Ces expériences ne furent pas complètes, car l'on n'a pas noté la structure physique et la nature du peroxyde formé, l'on n'a pas indiqué s'il était fortement adhérent au support; ces deux conditions sont cependant encore plus importantes que la quantité de peroxyde déposé. Ces résultats donnent toutefois une idée de la meilleure voie à suivre dans les expériences que l'on tentera :

L'acide sulfurique de poids spécifique 1,028 dépose 0,7683 gr.  $PbO^2$ .

L'acide sulfurique de poids spécifique 1,003 dépose 0,7096 gr.  $PbO^2$ .

L'électrolyte composé de 1 litre d'eau; 24 centimètres cubes d'acide sulfurique; 50 centimètres cubes d'alcool méthylique dépose 3,748 gr de  $PbO^2$  par 100 ampères-heure.

Un mélange de 1 litre d'eau; 500 centimètres cubes d'acide sulfurique de poids spécifique 1,152; et 50 grammes d'alcool éthylique dépose 5,664 gr.

24 centimètres cubes d'acide sulfurique; 10 centimètres cubes de sulfate d'hydroxylamine et un litre d'eau déposent 28,5 gr. Il est à noter que dans cette expérience, la présence du sulfate d'hydroxylamine déterminera la formation d'un peu d'acide nitrique dans l'électrolyte.

Un mélange d'acide formique et d'acide sulfurique dont les proportions ne sont pas indiquées, donne un dépôt de 21,326 gr.

L'acide acétique et l'acide sulfurique en proportions non indiquées dépose 129,4 gr.

L'on essaya également le nitrate de potassium et l'acide sulfurique, mais l'expérience a échoué.

*Acide nitrique et acide sulfurique.* — Les résultats des deux essais faits avec ce mélange ont été donnés précédemment pour montrer la nécessité de faire un mélange dans des proportions convenables.

3,5 gr. de chlorate de potasse ; 50 grammes de sulfate d'ammoniaque cristallisé ; et 50 p. 100 d'acide sulfurique donnent un dépôt de 100,6 gr.

Dix grammes de chlorate de potasse ; 50 grammes de sulfate de sodium cristallisé ; avec de l'acide sulfurique en faible quantité donnent un dépôt de 121,6 gr.

#### PROCÉDÉS CHIMIQUES

1° Le procédé chimique le plus généralement employé est celui dans lequel la couche poreuse est produite à la surface du plomb par l'action de l'acide nitrique dilué.

L'acide nitrique employé doit être très dilué ; il doit entrer environ pour 1 p. 100 dans le mélange, le poids spécifique à 15°,5 C sera alors de 1,005 à 1,006.

Il faut environ un décilitre de liquide par décimètre carré de surface de plomb. Les plaques doivent être placées dans un récipient qui ne soit pas attaqué par l'acide, par exemple un récipient en porcelaine vernissée. L'on élève alors la température jusqu'au point d'ébullition du liquide. On la maintient ainsi pendant douze heures. Les plaques sont ensuite enlevées et exposées à l'air, puis placées à nouveau dans le liquide qui est reporté à l'ébullition pendant sept heures environ. Lorsqu'on retire les plaques pour la seconde fois, on les lave à l'eau chaude, puis ensuite à l'acide sulfurique fortement dilué. On les forme ensuite dans de l'acide frais, de poids spécifique 1,15 environ. L'électrolyte dans lequel les plaques sont formées ne devra jamais être employé pour la mise en service des plaques.

L'inconvénient de ce procédé est qu'il est fort difficile d'éli-



miner les dernières traces d'acide nitrique; or, s'il en reste les moindres traces la matière se détachera et tombera du support par suite de la corrosion du métal sous-jacent.

### 2° SWAN.

Ce procédé est probablement le plus ancien des procédés chimiques. Les plaques de plomb sont couvertes d'une couche de blanc de plomb au moyen du procédé Deutsh, bien connu, pour la fabrication du blanc de plomb, ce procédé utilise l'action des vapeurs d'acide carbonique et acétique sur le plomb métallique. Lorsque la couche est devenue suffisamment épaisse, le blanc de plomb est réduit en plomb métallique spongieux. Ce résultat est obtenu en formant les plaques dans un bain de sulfate d'ammoniaque dans lequel elles sont montées comme cathodes. L'on emploie des plaques auxiliaires comme anodes. L'hydrogène libéré aux cathodes transforme le blanc de plomb en plomb spongieux.

Ce procédé chimique n'est pas considéré comme satisfaisant, car il est assez coûteux; de plus, il reste en général des traces d'acide acétique que l'on ne peut pas éliminer. Celles-ci déterminent la désagrégation de la plaque lorsqu'elle est mise en service.

### 3° EPSTEIN<sup>1</sup>.

La formation par ce procédé s'effectue comme il suit : les plaques de plomb sont placées dans une solution d'acide nitrique à 10 p. 100, laquelle est maintenue pendant plusieurs jours à la température de 40° C. Lorsque l'épaisseur de la couche a atteint environ 1 millimètre, l'on sèche les plaques à l'air. L'on élimine l'acide nitrique par une formation dans un électrolyte contenant de l'acide sulfurique dilué auquel est ajouté un peu de sulfate de cuivre. Dans ce cas, les plaques sont connectées comme cathodes, et l'on prend des plaques auxiliaires comme anodes. Finalement la surface est réduite en plomb spongieux; l'on continue alors à former les plaques dans de l'acide sulfurique dilué contenant de l'acide pyro-tartrique. La couleur jaune grisâtre des plaques se transforme en brun foncé dans cette dernière formation.

<sup>1</sup> Brevet américain, n° 425 999.

L'on peut objecter à cette méthode que, non seulement il pourra rester sur les plaques après la formation, des composés des acides carbonique et nitrique, mais encore que l'acide pyrotartrique dégagera sous l'action électrolytique un peu d'acide acétique; la présence de tous ces produits déterminera une destruction rapide des plaques. De plus le cuivre du sulfate de cuivre se déposera sur les cathodes.

#### 4° LUCAS<sup>1</sup>.

Dans ce procédé, les plaques sont d'abord traitées par l'acide nitrique dilué, porté à une température élevée. L'acide nitrique est ensuite éliminé en mettant les plaques en présence du gaz ammoniac. Ce gaz se combine avec l'acide nitrique pour former du nitrate d'ammonium, dont on provoque l'évaporation en portant à une température élevée. Les plaques, pour en être débarrassées, doivent être portées à 200° C, et même à une température plus élevée et voisine du point de fusion. Bien que cela ne soit pas indiqué dans le brevet de Lucas, il est à présumer que ce gaz ammoniac est envoyé sous pression sur les plaques de façon à pénétrer complètement dans tous les pores.

Quoique cette méthode soit sujette aux mêmes critiques que les méthodes précédentes, où il est fait usage d'acide nitrique, elle semble être l'une des plus sûres et des meilleures des méthodes chimiques.

#### 5° SHULTZE<sup>2</sup>.

L'on forme une couche de sulfure de plomb en plaçant les plaques de plomb dans des cuves en fer que l'on remplit de soufre et que l'on soumet à l'action de la chaleur, ce procédé est tout à fait semblable à celui du durcissement de l'enveloppe. Les plaques sont ensuite formées comme de coutume dans de l'acide sulfurique dilué.

Une autre méthode pour former le sulfure de plomb consiste à former une pâte épaisse avec du soufre et de l'eau, et à en couvrir les plaques que l'on chauffe ensuite. Dans l'un et l'autre cas,

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 69.483.

<sup>2</sup> Brevet allemand, n° 21.454.

l'on doit élever la température progressivement et avec beaucoup de soin; l'on devra de plus maintenir aussi constante que possible la température finale.

Ce procédé est théoriquement excellent, car il ne met en présence des plaques aucun acide nuisible ou pouvant attaquer le plomb. Toutefois on l'a trouvé trop coûteux pour pouvoir être employé industriellement, et le brevet est tombé en désuétude faute de paiement des annuités.

#### 6° PAGET.

Dans cette méthode les plaques sont placées dans de l'acide nitrique dilué et porté à l'ébullition, puis l'on soude sur les plaques des queues pour l'assemblage. L'on soumet ensuite les plaques à l'action d'une solution chaude de nitrate de magnésium; puis elles sont assemblées dans un bain contenant du sulfate double de magnésium et d'ammonium, et formées par le passage du courant. Elles sont ensuite assemblées de nouveau dans un autre bac contenant de l'acide sulfurique dilué usuel, et mises en service normal.

#### 7° STARKEY.

Dans cette méthode l'on ajoute à l'acide sulfurique dilué une faible quantité d'acide chromique. L'on prétend que les plaques se forment plus rapidement dans ce bain, qu'elles sont plus dures et plus profondément peroxydées que dans l'acide ordinaire, et qu'elles donnent des résultats très satisfaisants.

#### 8° DUNCAN.

Dans ce procédé, les plaques sont traitées par la chaleur dans une solution de litharge dans de la potasse ou de la soude caustique. L'on obtient un dépôt épais et dense de plomb spongieux que l'on forme ensuite par la méthode ordinaire.

#### 9° WUILLOT<sup>1</sup>.

Ici la surface des plaques de plomb est transformée en carbonate de plomb par l'action des vapeurs d'acide nitrique ou d'acide acétique en présence de l'acide carbonique ou d'une solution

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 36.237.

d'acide carbonique. Ce carbonate de plomb est réduit en plomb spongieux par le passage du courant dans les plaques montées comme cathodes, avec des anodes auxiliaires, et dans un bain alcalin formé soit de carbonate de sodium, soit d'hydrate de sodium.

#### 10° RECKENZAUN.

Dans ce procédé la plaque de plomb est oxydée au moyen de l'arc électrique. L'arc électrique est produit entre la plaque de plomb et une électrode auxiliaire en charbon. En faisant promener cette électrode sur la plaque, l'on produit l'oxydation sur toute sa surface. Cette méthode donne sur la positive une couche d'oxyde adhérent, mais le coût et la difficulté du procédé le rendent impraticable. En tous cas, il ne peut être employé qu'avec des feuilles de plomb plates et pleines, et non avec des surfaces plissées, côtelées ou finement divisées de quelque façon que ce soit.

### PROCÉDÉS ÉLECTRO-CHIMIQUES

#### *Premier groupe : 1° VAN DE POELE<sup>1</sup>.*

Dans ce procédé, l'on décape les plaques dans un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique dilué dans l'eau. On les forme ensuite dans un bain composé de ces mêmes acides mélangés, mais moins dilués que pour le décapage. On lave ensuite les plaques à l'eau courante et l'on continue la formation dans un bain d'acide sulfurique dilué. Dans cette dernière formation, le nitrate de plomb précédemment formé, est décomposé, et l'on obtient du peroxyde sur l'électrode positive. L'on ajoute ensuite du peroxyde de manganèse à l'électrolyte, ou bien l'on retire les plaques du bain et on les saupoudre de peroxyde de manganèse. Puis on les place dans un bain d'acide sulfurique dilué et l'on complète la formation.

Les objections faites précédemment à tous les systèmes employant les acides nitrique ou chlorhydrique s'appliquent à ce cas. En particulier, il sera difficile de débarrasser complètement les plaques des traces de l'acide attaquant le plomb.

<sup>1</sup> Brevet américain, n° 282.414.

2° CUTTRISS<sup>1</sup>.

Dans cette méthode les plaques sont formées par le courant électrique dans un bain d'acides sulfurique et nitrique dilués dans l'eau et auquel est ajouté une faible quantité de bichromate de potasse.

3° LUCAS<sup>2</sup>.

a) Ce brevet embrasse toute la classe que nous allons décrire, c'est-à-dire : l'emploi de tout acide dissolvant le plomb, ou de tout sel dont l'acide est un dissolvant du plomb, combiné à un sulfate ou à un carbonate destiné à redéposer le plomb sur la plaque dont il a été enlevé. Dans ce brevet, les acides chlorhydrique, nitrique ou acétique sont mélangés à du sulfate de sodium ou du sulfate de magnésium.

b) Dans le brevet allemand n° 90 446, Lucas emploie l'acide perchlorique ou ses sels au lieu de l'acide chlorhydrique. Cette méthode est absolument inutile étant donné que l'acide chlorhydrique est transformé en grande partie en acide perchlorique par l'action du courant, ceci n'est donc pas différent de la méthode précédente employant l'acide chlorhydrique et ses sels.

## 4° SWINBURNE.

Dans ce procédé, l'on emploie comme acide de formation un mélange d'acide acétique et d'acide sulfurique dilué. L'on élimine l'acide acétique en soumettant les plaques à l'action de la chaleur; on les porte à environ 200° C et l'on suppose qu'à cette température tout l'acide acétique sera évaporé. Toutefois, les objections relatives à la formation par l'acide nitrique s'appliquent ici.

## 5° DUJARDIN.

L'on emploie dans cette méthode un électrolyte formé d'acide sulfurique dilué saturé de moitié avec du nitrate de sodium (Beetcher recommande d'ajouter à la solution une faible quantité d'acide acétique). Les proportions données sont : 1 kilogramme de nitrate de sodium (ou d'un alcalin quelconque); 2 kilogrammes

<sup>1</sup> Brevet américain, n° 261.435.

<sup>2</sup> Brevet allemand, n° 82.730.

d'acide sulfurique; 10 kilogrammes d'eau. En réalité la solution se transforme bientôt en un mélange d'un sulfate alcalin et d'acides sulfurique et nitrique libres, de telle sorte que la méthode est pratiquement identique à celles citées précédemment. L'acide nitrique formé se trouve désoxydé, mais l'on peut le régénérer en insufflant de l'air dans le bain.

#### 6° SHOOP.

Le Dr Shoop a donné un grand nombre de procédés appartenant à cette classe, nous donnons ci-dessous les principaux d'entre eux :

a) Le bain se compose de 5 kilogrammes de bisulfate de sodium; 100 grammes de chlorate de potasse; 45 litres d'eau. L'on fait passer le courant à un régime de 0,4 ampère par décimètre carré de surface d'anode. Après avoir été enlevées du bain de formation, les plaques sont placées dans un électrolyte composé d'acide sulfurique de poids spécifique 1,400, puis on fait passer le courant en sens inverse du sens adopté dans le premier bain, de façon que l'hydrogène se dégage sur les plaques brunes. L'on emploie des plaques auxiliaires pour les électrodes opposées. Ce second changement a pour but d'éliminer le chlore; l'électrolyse sera terminée lorsque les plaques brunes seront devenues grises, ces plaques seront alors enlevées, bien lavées à l'eau et séchées à l'air. Leur séchage sera ensuite complété en les portant à une température de 200° C. Les plaques se trouveront alors recouvertes d'une couche de plomb spongieux que l'on transformera en peroxyde dans un bain d'acide sulfurique à 5 p. 100 et avec une densité de courant d'un ampère par décimètre carré.

L'on augmentera l'uniformité de la couche formée en insufflant de l'air dans le liquide, l'on devra maintenir la température entre 25 et 35° C. La durée de la formation est d'environ cent heures.

L'on obtiendra des résultats analogues avec le même mélange plus dilué : en doublant environ la quantité d'eau. Toutefois, dans ce dernier cas, la durée de la formation sera d'environ deux cents heures. L'on peut remplacer le bisulfate de sodium du premier bain de formation par du sulfate de sodium (sel de Glauber) avec la même concentration relative; toutefois les résultats dans ce cas ne sont pas aussi bons.

- b) Le bain de formation se compose de sulfate d'ammoniaque et d'acide fluorhydrique;
- c) Bain composé d'une solution de sulfate de plomb dans du tartrate d'ammoniaque;
- d) Solution de chlorate de sodium et d'acide sulfurique;
- e) Chlorure de fer ou de zinc et acide sulfurique;
- f) Tartrate dans l'acide sulfurique. Dans ce cas l'action du courant sur le tartrate produit de faibles quantités d'acide acétique, lequel est probablement l'agent actif.

Les objections faites plus haut s'appliquent à toutes ces méthodes; en particulier, il sera difficile de débarrasser entièrement les plaques des acides attaquant le plomb.

#### 7° HARRIS et HOLLAND<sup>1</sup>.

L'on plonge les plaques dans un bain formé d'acide sulfurique dilué et d'acide nitrique ou acétique. Puis on les enlève de ce bain et on les soumet à l'action du courant dans un électrolyte composé d'une solution de concentration modérée de sulfate de magnésium ou de son équivalent, par exemple de sulfate d'aluminium et de quantités relativement faibles d'acide sulfurique, d'acide acétique et d'acétate de magnésium. L'action chimique détermine la formation de sulfate de plomb et le passage du courant détermine la peroxydation de ce sulfate; le sulfate de magnésium et l'acétate sont employés pour faciliter la peroxydation du sulfate de plomb, laquelle présente quelque difficulté. Lorsque la formation est suffisamment profonde, on lave soigneusement les plaques, puis on les soumet à une seconde formation, dans un bain d'acide sulfurique dilué auquel est ajouté une faible quantité de sulfate de sodium et de potassium. Ceci complète la formation en transformant en peroxyde toutes les traces de sulfate de plomb restantes. Lorsqu'elles sont complètement formées, les plaques destinées à constituer des négatives sont connectées comme telles dans le circuit, puis transformées en plomb spongieux par le passage du courant.

#### 8° LUCKOW.

Dans cette méthode, l'on emploie un bain de chlorate de sodium

<sup>1</sup> Brevet américain, n° 574.417.

et de sulfate de sodium, puis l'on traite les plaques à la façon habituelle de cette classe de formation.

#### 9° HERING.

Formation au nitrate de plomb mélangé avec de l'acide sulfurique dilué. Cette formation est tout à fait équivalente à la formation usuelle à l'acide nitrique, car le nitrate de plomb dégage rapidement son acide nitrique sous l'action du courant.

#### 10° X...

Les plaques sont concentrées comme anodes et immergées dans un bain d'acide sulfurique dilué, l'on emploie des plaques auxiliaires comme cathodes. L'on fait passer le courant jusqu'à ce qu'il se soit formé sur les plaques une couche brune de peroxyde.

Les plaques sont ensuite lavées et plongées dans un bain d'acide nitrique fortement dilué, où elles resteront jusqu'à ce que le peroxyde brun ait pris une couleur grise, après quoi elles sont de nouveau enlevées et connectées comme anodes dans un bain d'acide sulfurique dilué.

L'on continue ce traitement alternativement jusqu'à ce que la couche de matière active ait atteint l'épaisseur voulue. La solution d'acide nitrique employée doit être dans la proportion de 2 à 3 p. 100 d'acide nitrique pour 98 à 97 p. 100 d'eau.

Si le bain d'acide nitrique est trop fort, la formation sera mauvaise.

L'on prétend que ce traitement est rapide, d'un bon rendement, qu'il n'exige que peu de courant pour la formation, et que de plus, comme on peut faire pénétrer la formation aussi profondément qu'on le désire, l'on obtient des plaques de grande capacité spécifique.

Fitz-Gérald dit que l'on peut éliminer complètement l'acide nitrique en saturant les plaques avec une solution faible de sulfate d'ammoniaque, et en chauffant ensuite jusqu'à environ 315° C. Ceci est presque le point de fusion du plomb (exactement 326° C) et l'on devra régler soigneusement la température pour éviter d'atteindre le point de ramollissement du métal.



*Second groupe : 1° NORDEN.*

Dans ce mode de formation, l'on ajoute à la solution d'acide sulfurique dilué un peroxyde qui a pour but de réduire d'une façon continue en plomb spongieux le peroxyde de plomb formé.

Norden recommande d'ajouter à l'acide sulfurique dilué du permanganate de potasse, de l'acide persulfurique ou de l'acide perchlorique. Les deux premiers sont les meilleurs, le dernier laisserait probablement des traces d'acide chlorhydrique.

*2° X...<sup>1</sup>.*

Dans cette méthode les plaques sont plongées dans une solution d'eau oxygénée pendant plusieurs heures et sont ensuite formées dans un bain d'acide sulfurique dilué contenant de l'eau oxygénée.

*Troisième groupe : 1° NORDEN et SHELDON.*

Dans cette méthode, l'on fait passer du courant alternatif dans les plaques plongées dans une solution de soude caustique, ceci détermine la désagrégation des deux électrodes si la fréquence du courant ne dépasse pas 25 à 30 périodes par seconde. Lorsque la désagrégation est suffisamment profonde, l'on retire les plaques et on les soumet à la formation Planté ordinaire dans de l'acide sulfurique dilué.

*2° HABER.*

Ceci est la formation Planté ordinaire, mais accélérée par une forte densité de courant. L'on fait passer le courant dans les plaques connectées comme anodes dans un bain d'acide sulfurique dilué, l'on emploie des plaques auxiliaires comme cathodes. La densité de courant est d'environ 1 500 ampères par décimètre carré de surface exposée. Par cette méthode, la formation sera terminée en quelques minutes (de 20 à 30 minutes) et il ne reste sur les plaques aucune trace d'un acide attaquant le plomb. Toutefois la quantité totale d'énergie nécessaire pour effectuer une formation complète est environ 10 fois supérieure à celle nécessaire dans le cas de la formation ordinaire. Ce procédé n'est donc

<sup>1</sup> Brevet hongrois, n° 19.427.

applicable que dans les pays où le travail et la main-d'œuvre sont d'un prix élevé et où on a le courant à un très bas prix.

#### SACHSISCHE ACCUMULATOR WERKE<sup>1</sup>.

Ce brevet comporte un procédé de formation rapide, dans lequel l'on emploie de l'acide sulfurique très dilué, et auquel il est ajouté de l'hydrogène sulfuré ( $H^2S$ ). Ce procédé donne d'excellents résultats, malheureusement les vapeurs d'hydrogène sulfuré qui se dégagent pendant la formation sont non seulement d'une odeur insupportable, mais sont de plus un poison. Ce procédé n'a pas été appliqué industriellement en Allemagne, parce que les usines de ce pays ne se sont jamais installées spécialement pour employer ce procédé de fabrication, qui comporte l'aménagement de chambres à fumées et une ventilation appropriée.

D'après les bons résultats que semblent devoir donner théoriquement les plaques ainsi fabriquées, il nous semble que ce serait un fort bon système à employer, pourvu que l'on installe convenablement les détails de l'usine de façon à effectuer la formation dans des chambres à gaz.

#### 5° BECKMANN.

Dans ce procédé, les plaques sont formées dans un électrolyte composé d'une solution d'acide sulfureux dans l'eau. L'acide sulfureux étant un gaz, la formation devra être effectuée sous pression de façon à éviter que le gaz ne s'échappe de l'électrolyte.

Cette formation est rapide et donne de bons résultats. Il ne reste aucun élément nuisible pouvant attaquer le plomb. L'acide sulfureux  $H^2SO^3$  se transforme en acide sulfurique  $H^2SO^4$  sous l'action électrolytique.

#### 6° LUCKOW<sup>2</sup>.

Dans ce procédé le bain de formation est alcalin; ce peut être de l'ammoniaque, de l'hydrate de sodium, de calcium ou de barium. Les solutions doivent être très diluées; la meilleure proportion sera de un dixième p. 100, et la proportion maxima sera de trois dixièmes p. 100. Nous donnons comme exemple le mélange sui-

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 127.275.

<sup>2</sup> Brevet anglais, n° 24.960.

vant : 5 litres d'eau, 20 centimètres cubes de soude caustique de poids spécifique 1,13.

Lorsque cet électrolyte est préparé et que la formation commence, il faut mettre le bain à l'abri de l'air afin d'éviter que l'acide carbonique ( $\text{CO}^2$ ) ne se combine avec l'alcali. L'on placera dans la chambre de formation un corps absorbant l'acide carbonique, par exemple de la chaux. Le voltage de formation est, en général, supérieur à deux volts, il monte même, dit-on, jusqu'à trois volts. La densité du courant sera de 10 à 20 ampères par mètre carré de surface d'anode; toutefois l'on pourra, si on le désire, employer des densités plus élevées. La formation devra être effectuée à une température modérée. Au début, l'hydrure de plomb qui se forme sur les plaques positives, tombe au fond de l'élément, mais en continuant l'électrolyse il se forme sur la plaque une couche douce et poreuse d'hydrure de plomb. Celui-ci se transforme en oxyde ( $\text{PbO}$ ) et ensuite en peroxyde de plomb ( $\text{PbO}^2$ ). Après avoir continué l'opération pendant huit jours, l'on inverse les pôles, et l'on fait passer le courant en sens inverse pendant six jours. L'on pourra toutefois ne faire durer la première opération que quatre jours; l'on inversera ensuite pendant trois jours; l'on fera de nouveau passer le courant dans la première direction pendant quatre jours, puis l'on inversera pendant trois jours. Si l'on augmente la concentration de l'électrolyte, l'action diminuera d'intensité.

Après formation, on lavera les plaques soigneusement à l'eau courante, puis on les mettra sous presse pour éliminer l'eau. La formation des plaques positives sera ensuite continuée dans une solution de carbonate de potassium, de façon à peroxyder complètement les particules qui n'auraient pas été peroxydées dans la première formation. Ce bain au carbonate de potassium a une bonne conductibilité et la densité de courant dans la seconde formation pourra être double de celle de la première formation. Après avoir été enlevées du second bain, les plaques seront soigneusement lavées, et seront prêtes alors à être mises en service.

## PROCÉDÉS ÉLECTROLYTIQUES

## 1° CLARK.

L'on dissout de la litharge dans une solution alcaline bouillante de poids spécifique 1,285 à 1,320, dans la proportion de 20 à 50 grammes de litharge par litre de solution. Le bain est prêt pour l'usage lorsqu'il s'est refroidi jusqu'à la température de 70° C. L'on plonge alors les plaques dans le bain et on les assemble au pôle positif du circuit de formation. L'on emploie comme cathodes des plaques auxiliaires ou le bac lui-même. A la température de 70°, trois à quatre heures suffisent pour transformer la surface de la plaque en plomb spongieux, toutefois si le bain est trop chaud, l'oxyde déposé sera à nouveau dissous. Si la température du bain tombe à 15° C environ, il se formera une couche de peroxyde de plomb d'apparence velouteuse, et adhérant fortement au plomb; toutefois l'action ne sera pas aussi rapide que lorsque le bain est chaud.

Mentionnons ici que l'auteur, après avoir fait de nombreuses expériences sur les dépôts de plomb spongieux provenant de dissolutions de litharge, a été complètement convaincu que l'on ne peut pas obtenir une bonne plaque d'accumulateurs par ce procédé. Même en rendant la matière plus compacte, en la soumettant à l'action de la presse hydraulique, l'on n'évitera pas qu'elle s'amollisse rapidement, et qu'elle se désagrège après un petit nombre de décharges.

## 2° M. DE MONTAUD.

Dans ce procédé les plaques sont recouvertes électrolytiquement de plomb provenant d'une solution d'oxyde de plomb, c'est-à-dire de litharge, dans de la potasse et de l'eau. Ici le courant dépose une couche de peroxyde de plomb sur l'anode, tandis que la cathode est recouverte de plomb réduit. L'on emploie des courants de haute densité, la température étant portée à 100° C. L'on ne dit pas si cet échauffement est dû à la haute densité du courant ou à une source extérieure. La durée de la formation est donnée comme étant de trente minutes. Après avoir

été enlevées du bain, les plaques positives, qui sont couvertes d'une couche épaisse de peroxyde de plomb, seront lavées plusieurs fois, puis montées dans le bac définitif en face des négatives, et chargées; les plaques négatives auront été préalablement lavées et maintenues immergées afin d'éviter l'action de l'air, puis soumises à une forte pression.

D'après le D<sup>r</sup> d'Arsonval<sup>1</sup> l'accumulateur de Montaud a une durée extraordinaire, et l'adhérence du peroxyde est telle qu'on ne peut le détacher qu'à l'aide d'un marteau et d'un ciseau.

### 3° SYLVEY.

La formation est effectuée par l'action du courant sur les plaques plongées dans un bain d'acide acétique et de potasse. Cette action décompose les anodes et redépose la partie dissoute à l'état métallique sur les cathodes. Les cathodes sont ensuite enlevées, l'on agit par la pression pour rendre le dépôt plus compact, puis les plaques sont montées comme positives dans les éléments.

### 4° DUNCAN.

Dans ce procédé, les anodes libèrent du plomb, lequel est transporté et déposé sur les cathodes; l'action se produit dans un bain contenant une solution d'oxyde de plomb dans de la potasse.

## PROCÉDÉS AMALGAMIQUES

### 1° SELLOX.

Dans ce procédé, le plomb est amalgamé avec du mercure, mis sous forme de plaques, puis le mercure est extrait électrolytiquement par l'action du courant sur les plaques amalgamées montées comme anodes dans un bain d'acide sulfurique.

### 2° SHOOP.

a) Les plaques de plomb sont formées dans un électrolyte d'acide sulfurique auquel l'on a ajouté du sulfate de mercure. Ici il est probable que le mercure du sulfate de mercure s'amalgame avec le plomb, puis est ensuite expulsé par l'électrolyse. L'avantage de ce procédé sur le procédé de Sellon est que la surface seule de la plaque se trouve amalgamée.

<sup>1</sup> Voir *the lead storage Battery*, par D.-G. Fitz-Gérald.

b) Le plomb est allié à l'aluminium, puis ce dernier métal est dissous par immersion dans l'acide chlorhydrique.

c) Cette méthode est la même que la précédente, si ce n'est que l'on emploie l'alliage plomb-zinc.

Il y a plusieurs méthodes par amalgamage dans lesquelles le plomb est allié avec du cadmium, du potassium, ou tout autre métal qui pourra ensuite être dissous, puis extrait. Toutefois ces procédés n'ont jamais donné de bons résultats en pratique, car il reste toujours des traces du métal composant l'alliage. Le seul qui semble offrir quelques chances de succès est le procédé *a* de Shoop, où l'amalgamage ne se produit qu'à la surface et non à l'intérieur de la plaque.

Il ne faut pas supposer que ce chapitre embrasse toutes les méthodes connues de formation Planté. Toutefois il contient la plupart des procédés les plus importants et les plus connus ; bien que, ainsi que nous l'avons déjà dit, les proportions des produits employés seront probablement erronées dans bien des cas.

Il faut remarquer que, lorsqu'on est arrivé à déterminer un procédé de formation parfait pour un type donné de plaques, il ne s'ensuit pas toujours que l'on puisse employer ce procédé avec succès sur d'autres types de plaques ; il est même quelquefois difficile d'adapter le procédé de formation d'un type de plaques à un autre type. Ceci provient de la différence de surface développée, de la façon dont la matière active peut être maintenue, et de la plus ou moins grande subdivision de la plaque.

Dans une note présentée à la A. I. E. E. le 16 mai 1894 par M. Griscom, l'on trouve les résultats de quelques expériences qui furent faites pour déterminer la capacité relative de plaques identiques dans le même élément. L'on fit des essais sur un élément comportant cinq positives et six négatives ; les plaques de même polarité n'étaient pas reliées directement entre elles, mais elles étaient connectées par polarités, à une barre de distribution commune avec des résistances intermédiaires. De cette façon on pouvait examiner le fonctionnement de chaque plaque, bien que toutes fonctionnent en parallèle et dans un seul élément. L'on découvrit ainsi qu'il y avait une différence de capacité notable dans les plaques faites de même matière, soumises au même

traitement, autant qu'il était possible, et identiques à tous les points de vue. Cette différence allait jusqu'à 30 p. 100 à la décharge, jusqu'à 1,8 volt, et lorsque la décharge était poussée au delà de ce point, cette différence devenait même plus considérable. Il résultait de là que la positive de plus haute capacité se déchargeait dans les plaques de moindre capacité. Griscom explique ce phénomène en disant que la plaque de plus faible capacité débite à la décharge à un régime plus faible que la plaque de plus forte capacité, mais que cependant elle débite d'une façon continue; elle atteint par conséquent à la fin de la décharge une force électromotrice beaucoup plus faible. Lorsqu'on ouvre le circuit, la plaque dont la décharge a été poussée le moins loin recouvre un voltage plus élevé que sa voisine et se décharge sur elle.

---

## CHAPITRE XVII

### SYSTÈME FAURE

En 1880, Camille A. Faure inventa la plaque d'accumulateurs « empâtée » ; cette plaque est constituée par une grille en plomb antimonieux sur laquelle la matière active est appliquée mécaniquement. A l'origine, l'élément Faure avait ses deux plaques positive et négative empâtées avec du minium, lequel est un peroxyde de plomb  $Pb^2O^3$ . Il fallait un temps relativement court pour réduire ce  $Pb^2O^3$  en  $Pb^2O$  (ou  $PbO^2$ ) à l'anode, ou en  $Pb$  à la cathode, et les éléments ainsi constitués avaient une grande capacité par unité de poids.

A ce dernier point de vue, la plaque empâtée est supérieure à la plaque Planté. Aussi l'on construira plus facilement dans le type Faure les batteries auxquelles il est imposé d'avoir un poids relativement faible. Toutefois la plaque positive Faure manque de durée; ceci est dû à ce que la matière active a une tendance à se détacher du support et à tomber.

L'on a en partie remédié à cet inconvénient en employant des enveloppes, ou des formes spéciales de grilles retenant plus fortement la matière active rapportée.

Dans le premier cas, chaque plaque positive est recouverte d'une enveloppe attachée solidement sur la plaque, et qui retient fortement la matière active en place. Cette enveloppe est mince, et doit être facilement pénétrable par l'électrolyte de façon à ne pas entraver l'action électrochimique.

L'on a imaginé, et l'on emploie dans les fabriques de plaques « Faure » un nombre considérable de variétés de grilles et de matière active. Elles sont en si grand nombre que nous ne pourrions décrire ici que les plus importantes.



## DIFFÉRENTS TYPES DE GRILLES

## A. Grilles destinées à l'empâtage.

1° *Charpente formée de lames perforées, ou de treillages doubles dans lesquels les ouvertures sur chacune des faces sont placées en quinconce.*

Au premier type appartiennent la plaque Correns de l'accumulatorenb fabrik A. G., et la plaque Kayser. La figure 34 représente la première de ces plaques et montre clairement sa forme.

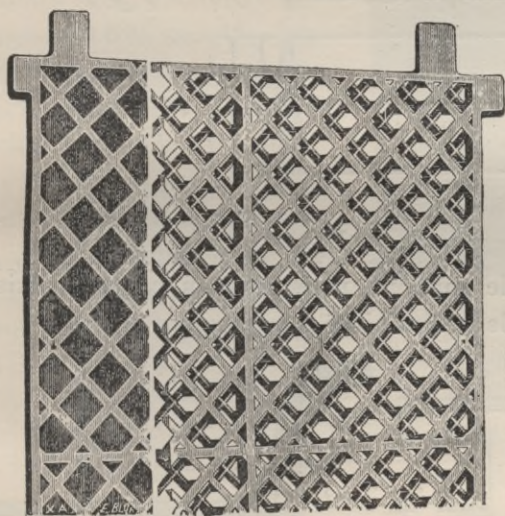


Fig. 34.

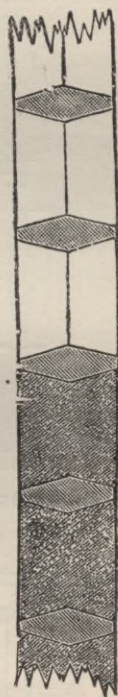


Fig. 35.

La matière active est introduite dans l'espace laissé libre entre les deux treillages qui forment les deux faces de la plaque ; elle est fortement tassée et pressée contre les côtelures. Lorsqu'elle est finie, la plaque est unie et solide, la matière active affleure la surface extérieure des grillages.

2° *Grilles constituées par des lames perforées ou des grillages.* — Dans cette classe sont comprises les plaques de l'Électric Power Storage Co, dont la section est donnée dans la figure 35 ; la grille négative de la Compagnie de Hagen (fig. 36) ; la négative Hartung (fig. 37) ; la Bose (fig. 38). Comme on le voit, cette dernière

grille est munie de rainures pour la dilatation. Ces rainures ne

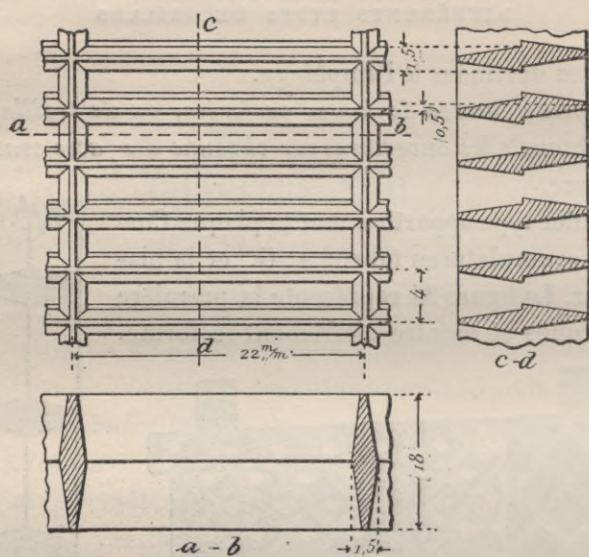


Fig. 36.

sont pas remplies de matière, mais sont au contraire laissées vides pour donner de la flexibilité à la plaque.

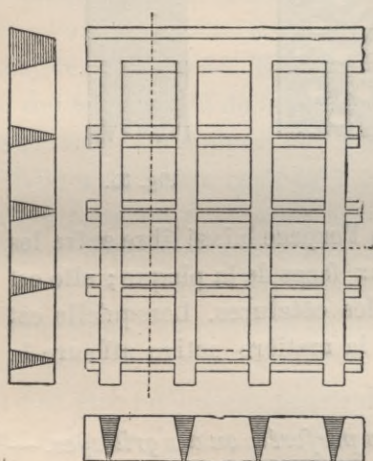


Fig. 37.

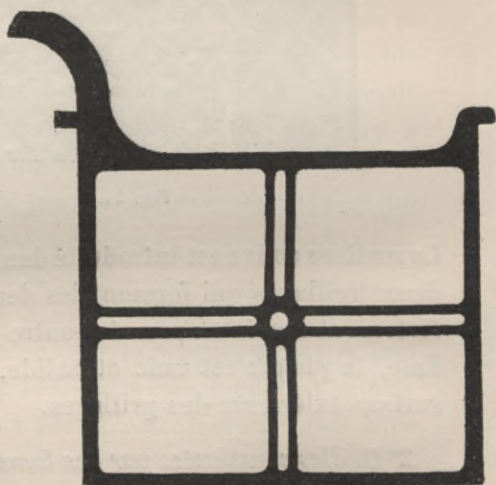


Fig. 38.

La grille positive Exide est représentée dans la figure 39. Les côtelures verticales de cette plaque sont inégalement espacées ;

elles sont plus rapprochées les unes des autres dans la partie opposée à la prise de courant. Ceci a pour but de donner une meilleure conductibilité aux points les plus éloignés de la prise de courant et d'obtenir ainsi une distribution égale du courant sur toute la surface de la plaque.

Ainsi qu'on le voit, les dimensions des alvéoles des plaques sont très variables, et, il semble que le maximum de surface admissible pour ces alvéoles varie suivant les opinions des différents constructeurs. En fait, il sera important, pour déterminer les dimensions de ces alvéoles, de tenir compte de l'épaisseur de



Fig. 39.

la plaque, de la nature de la matière active servant à l'empâtage, et du service que la batterie sera appelée à assurer. Il n'y a toutefois pas de loi définie à ce sujet,

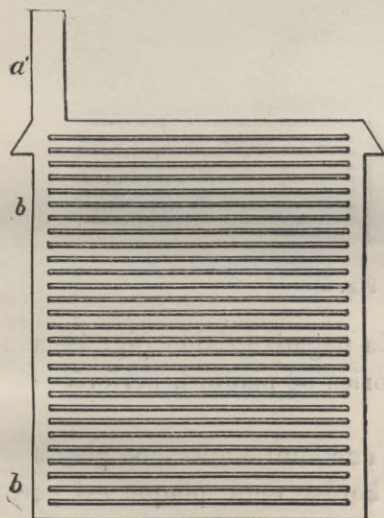
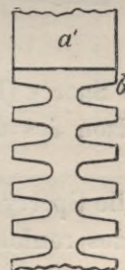


Fig. 40.



et l'on ne peut résoudre la question qu'expérimentalement.

3° *Plaques pleines rainurées et non perforées.* — A cette classe appartiennent les plaques Tudor ancien modèle (fig. 40); les Pollak (fig. 41), et les Khotinsky (fig. 42).

La matière active est appliquée sur les deux faces de la plaque et pressée avec soin dans les retraits ou les rainures de la plaque.

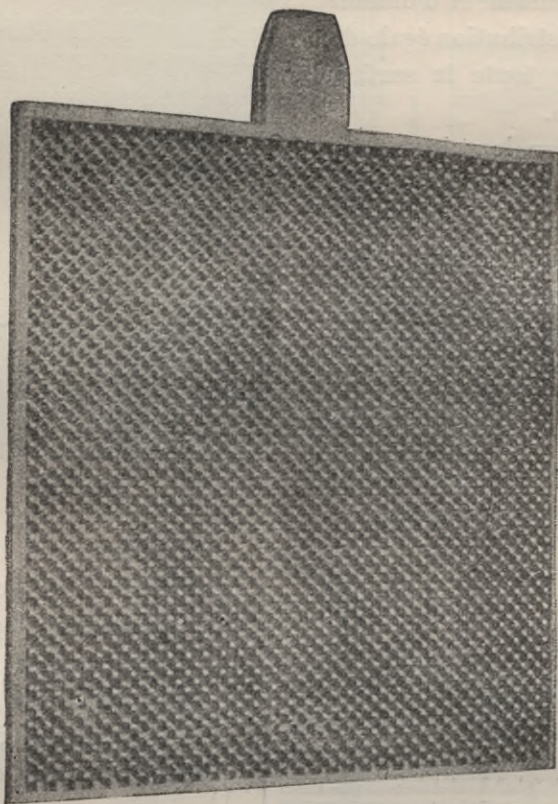


Fig. 41.

La grille Sperry (fig. 43) et la négative Exide (fig. 44) sont une combinaison des deux catégories de plaques, perforées et à rainures.

La grille Sperry est faite d'une feuille mince de plomb laminé portant des renforts sur les bords. Cette plaque est percée de petits trous triangulaires; l'emporte-pièce est constitué de telle sorte qu'il ne coupe que deux des côtés du triangle; la partie coupée est rabattue perpendiculairement au plan de la plaque.

L'on obtient ainsi une grille perforée portant de part et d'autre de nombreuses aspérités et ressemblant à une râpe. La

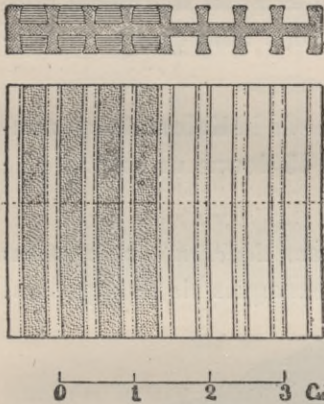


Fig. 42.

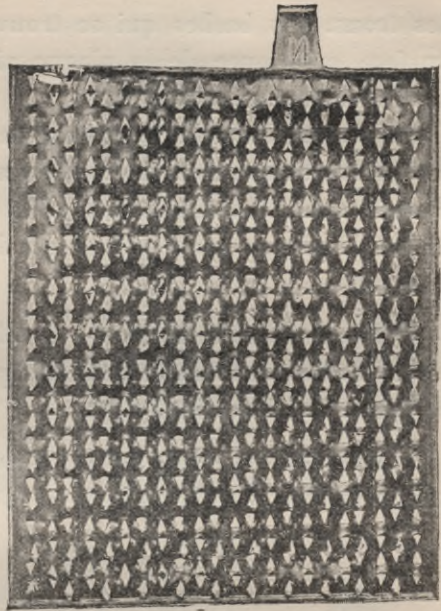


Fig. 43.

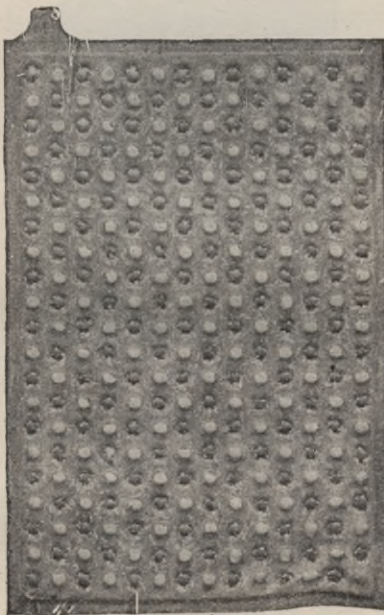


Fig. 44.

matière active est appliquée ensuite sur la grille sous forte pression, et forme ainsi une

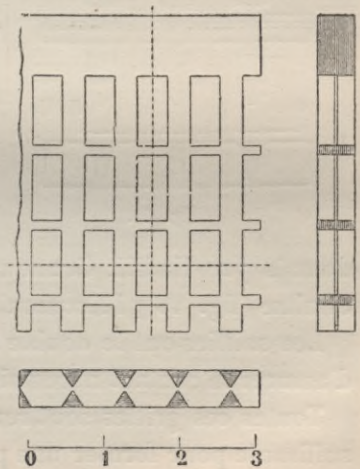


Fig. 45.

masse compacte qui couvre les deux côtés de la plaque et remplit

les trous. Les barbes qui se trouvent courbées et rivées à la surface extérieure de la plaque aident encore à maintenir la matière active en place.

La plaque Exide est construite de la même manière ; toutefois les perforations sont ici circulaires, les ébarbages ne sont pas coupés complètement, et lorsqu'ils sont relevés, ils restent attachés à la plaque par la périphérie des trous ainsi que le montre la figure.

4° *Plaques à côtes double.* — La plaque de la Kolner Accumulatoren Werke représentée dans la figure 45 donne un exemple de ce genre de fabrication.

5° *Plaques formées de rubans d'épaisseur différente en certains points ou portant des saillies.* — Des exemples de ce type sont

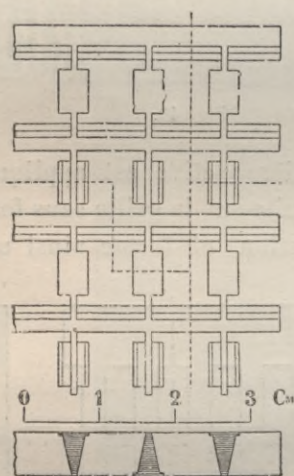


Fig. 46.

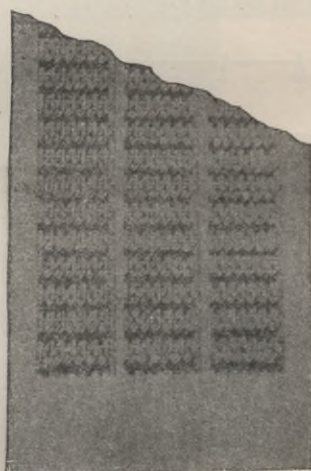


Fig. 47.

donnés par Hadlik Grunewalt et C<sup>o</sup> (fig. 46) ; Hobel (fig. 47) ; Shultze (fig. 48) ; l'Accumulatoren Fabrik A. G. (fig. 49).

Les saillies ont le double but de maintenir la matière active et d'assurer le contact nécessaire à une bonne conductibilité.

Toutes ces grilles sont remplies de matière active en quantité suffisante pour former une plaque lisse et unie.

6° *Grilles portant seulement des rainures horizontales.* — C'est le type de la plaque Porter (fig. 50) et de la plaque Geln-

hausen (fig. 51). Dans la plaque Porter tout l'espace est rempli de

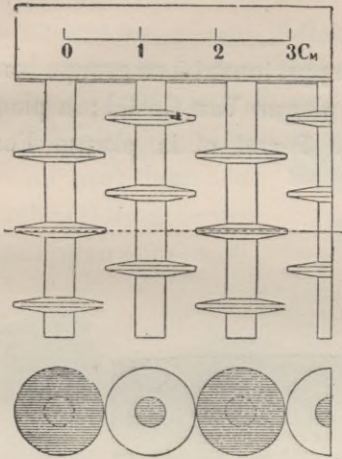


Fig. 48.

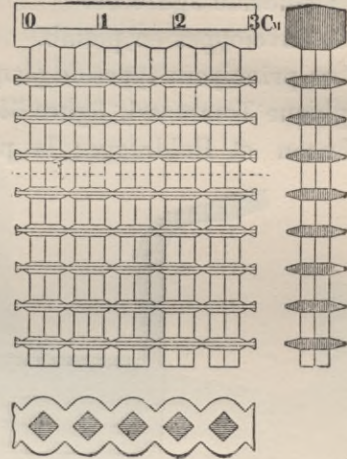


Fig. 49.

matière active, tandis que dans la plaque Gelnhausen, certaines divisions, à des intervalles égaux dans le sens vertical, sont laissées vides pour permettre la dilatation et la contraction de la matière ainsi que la circulation de l'électrolyte.

*B. Grilles support coulées autour de la matière active.*

Dans certains types de plaques, l'on fabrique des pains de matière active de forme cylindrique ou autre; on les place ensuite dans des moules, et l'on coule la grille de plomb support autour de ces pains de matière active. Habituellement la coulée est faite sous pression de façon à assurer un bon contact mécanique

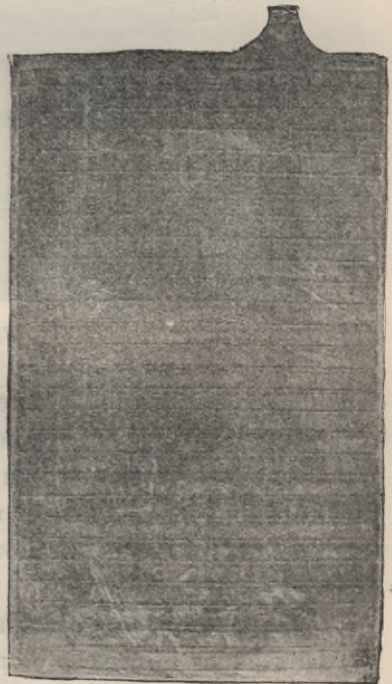


Fig. 50.

et électrique, éviter les soufflures, et éliminer les impuretés.

Dans ce groupe nous citerons la plaque Reekenzaun, figure 52 et la chloride figure 53.

### C. Enveloppes en plomb.

Les principaux types de plaques appartenant à ce groupe sont : la plaque Tommassi, figure 54 ; la plaque Van Gestel ; la plaque Johnson et Holdregge ; la plaque Perret et la plaque Ford-

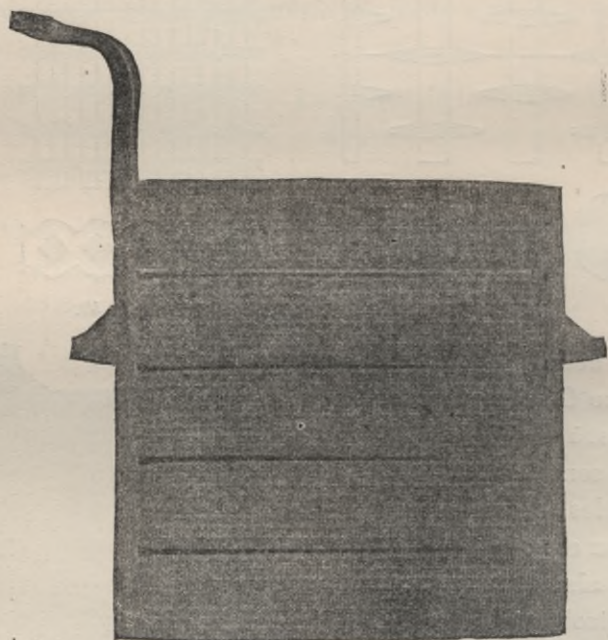


Fig. 51.

Washburn. La plaque Tommassi se compose comme on le voit sur la figure, d'un tube perforé dans lequel on introduit la matière active. La plaque Van Gestel se compose d'un long tube perforé que l'on remplit de matière active, et que l'on replie ensuite sur lui-même un nombre de fois suffisant pour constituer la plaque.

La plaque Johnson et Holdregge est unie, elle est constituée par deux lames minces de plomb perforé qui sont lisses d'un côté et côtelées de l'autre. Les deux faces côtelées sont placées en regard, et les deux lames sont rivetées l'une sur l'autre ; on laisse entre les deux un léger espace dans lequel l'on comprime la



matière active. L'on enfonce des épingles d'acier dans les trous avant d'introduire la matière active ; on les enlève ensuite, et l'on obtient une plaque perforée, ce qui facilite la circulation du liquide à travers et dans l'intérieur de la plaque.

L'élément Perret n'est pas constitué par des plaques. Chaque électrode est constituée par un seul tube de plomb perforé de forme rectangulaire rempli

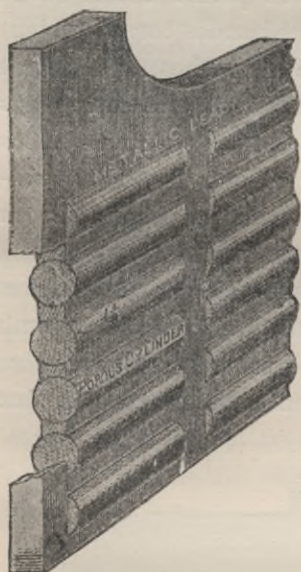


Fig. 52.

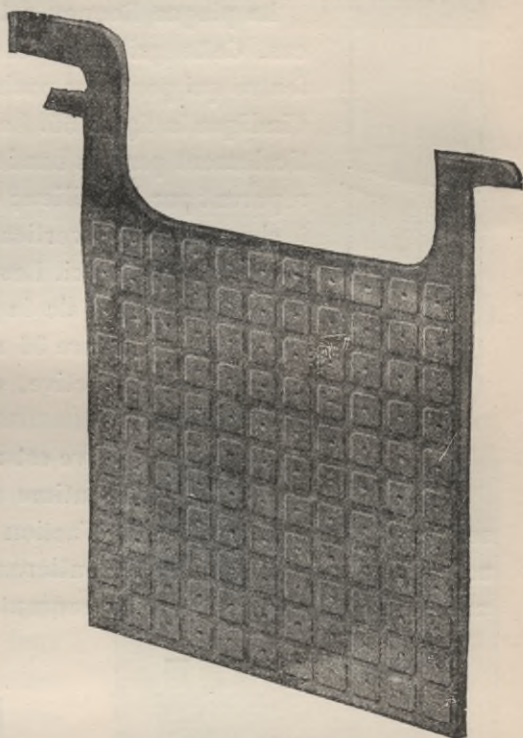


Fig. 53.

de matière active et suspendu par le haut dans l'élément. L'on obtient la capacité voulue en montant plusieurs tubes en parallèle.

L'électrode Ford-Washburn est constituée par une boîte unie faite de deux lames minces de plomb perforé et remplie de matière active ; une bande de plomb est noyée dans la pâte pour assurer la conductibilité.

#### D. Grilles non métalliques.

L'on a essayé de construire des plaques empâtées avec des grilles faites de substances autres que le plomb.

La majorité des constructeurs qui ont travaillé dans cette voie

ont cherché surtout à alléger les éléments autant qu'il était possible, par l'emploi de grilles légères; mais bien peu se sont préoccupés d'enfermer la matière active de telle sorte qu'elle ne puisse se détacher de son support.

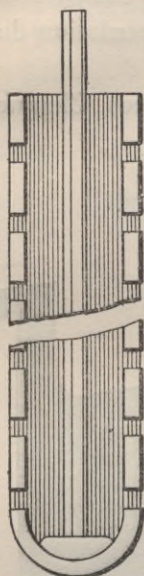


Fig. 54.

La plaque Rooney est un exemple du premier cas. Cette grille est constituée par un tissu de feutre qui porte des poches sur chaque face comme l'indique la figure 55. La plaque est traversée verticalement par des bandes de plomb mince qui la séparent par le milieu; ces bandes correspondent à chaque rangée verticale de poches, et forment le fond de celles-ci. Les extrémités de ces rubans dépassent le haut de la grille et sont connectées ensemble. La figure 56 représente la plaque remplie de matière active, et avec un séparateur en partie coupé.

La matière active est appliquée dans les poches et est en contact intime avec les bandes de plomb servant de fond à ces poches. L'action se produit sur la matière active seule, les rubans étant entièrement couverts, et servant uniquement de conducteurs du courant.

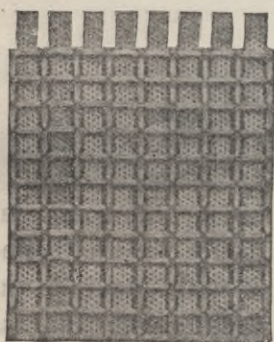


Fig. 55.



Fig. 56.

L'élément Hatch est un exemple du second cas; il est représenté dans les figures 57, 58, 59 et 60. Chaque électrode est constituée par deux plaques en poterie poreuse non vernissée, portant des

poches ou des rainures sur leurs faces. Ces poches sont remplies de matière active en quantité suffisante pour émerger de la surface de la plaque. Deux plaques de poteries avec une lame de

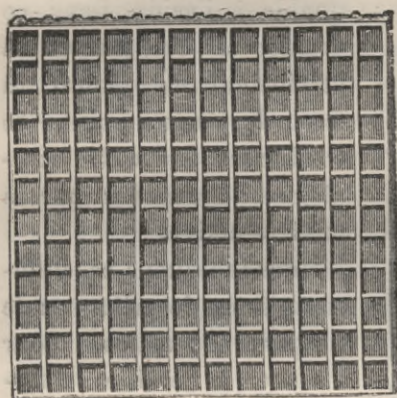


Fig. 57.



Fig. 58.

plomb entre les deux constituent une électrode. La matière active est en contact avec la lame de plomb, et celle-ci sert de conducteur du courant à la charge et à la décharge. Les plaques de poterie sont recouvertes de matière active sur les deux faces, de façon à constituer alternativement des électrodes positives ou négatives; les électrodes adjacentes sont donc de polarités contraires; les mêmes polarités se reproduisent de deux en deux. Les plaques formant un élément complet sont assemblées solidement au moyen d'un fort ruban de caoutchouc afin d'assurer un bon contact entre la matière active et les lames de plomb, et afin d'éviter les chutes de matière.



Fig. 59.

La plaque Winkler (fig. 61) est constituée par une série d'augets superposés, lesquels sont remplis de matière active. Cette plaque se fait en plomb; mais si l'on veut de la légèreté, on

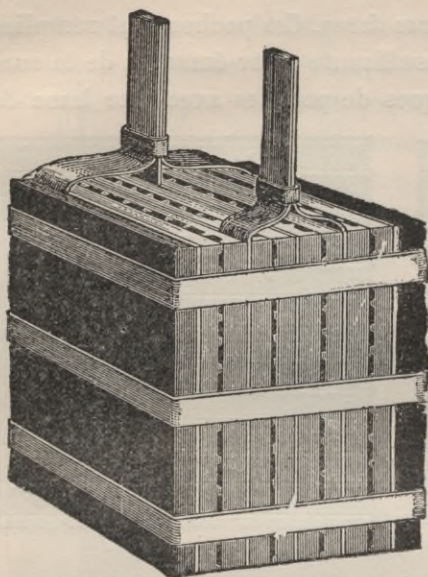


Fig. 60.

pourra la faire en ébonite, en celluloid, ou en toute autre matière rigide inattaquable à l'acide. Dans ce dernier cas, l'on placera un conducteur en plomb au fond de chaque auget; ce conducteur devra être complètement recouvert par la matière active.

Nous indiquons ces différents types de grilles ou de plaques spéciales, pour montrer le nombre de formes que l'on a données aux plaques empâtées. La liste donnée ici est loin d'être

complète. Nous n'avons pas eu l'intention de décrire toutes les

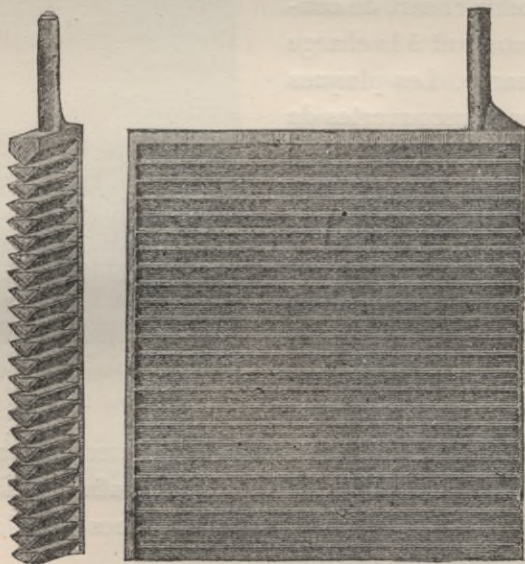


Fig. 61.

plaques qui ont été imaginées. Ceci nous demanderait une place

considérable et serait de peu d'intérêt pour l'ingénieur praticien. En fait, beaucoup de formes indiquées ne sont pas en usage actuellement, nous les avons données uniquement pour montrer jusqu'à quel point ce champ d'études a déjà été parcouru en tous sens.

Le plomb pur n'a pas suffisamment de rigidité pour pouvoir être employé à la fabrication des grilles sur lesquelles la matière active devra être appliquée mécaniquement.

Si la grille est légèrement voilée, la matière active se craquellera et tombera. Ceci est également vrai pour les plaques Planté, mais dans une moins grande mesure, car la couche de matière active est beaucoup plus mince, et est en général répartie sur de petites surfaces indépendantes les unes des autres.

Il sera donc nécessaire d'ajouter au plomb un métal ou des métaux qui lui donneront une solidité et une résistance à la torsion suffisantes sans changer sensiblement la caractéristique voltaïque de la grille.

L'antimoine est le métal le plus communément employé. Les proportions en poids varient de 88 p. 100 de plomb et 12 p. 100 d'antimoine, à 98 p. 100 de plomb et 2 p. 100 d'antimoine. Le mélange le plus couramment employé comprend 96 p. 100 de plomb et 4 p. 100 d'antimoine.

L'on a employé également le mercure et l'étain; par exemple la grille Worms est composée de 96,5 de plomb, 2,2 p. 100 d'antimoine, et 1,3 p. 100 de mercure. La grille Julien est composée de 92 p. 100 de plomb, 3,5 p. 100 d'antimoine et 4,5 p. 100 de mercure. La grille Nevens est composée de 23 p. 100 de plomb et 77 p. 100 d'étain.

L'on admet généralement que ces alliages ne sont pas attaqués par les actions électro-chimiques qui se produisent dans les accumulateurs, et qu'ils doivent par suite durer indéfiniment; ceci est une idée fautive, car ni l'antimoine ni le mercure n'ont d'action protectrice sur le plomb auquel ils sont alliés.

Il est vrai toutefois que ces alliages ne s'oxydent pas aussi rapidement que le plomb pur, et que par conséquent la désagrégation se trouve quelque peu retardée.

Les alliages de plomb et d'antimoine sont cassants, on les brisera si on essaie de les tordre.

## CHAPITRE XVIII

### MÉLANGES DE MATIÈRE ACTIVE POUR L'EMPÂTAGE

Tous les mélanges destinés à l'empâtage des plaques se composent avant la mise en service, de plomb pulvérisé, ou d'oxydes de plomb (massicot, litharge ou minium), auxquels est ajouté un liquide, de façon à former une pâte. Dans certains cas, l'on y ajoute en outre d'autres substances.

Les substances que l'on mêle au plomb ou aux oxydes de plomb peuvent se subdiviser en quatre classes :

1° Substances possédant la propriété de durcir la matière pulvérulente (ex. : acide sulfurique dilué);

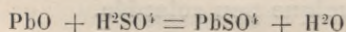
2° Substances augmentant la conductibilité de la matière active (ex : charbon pulvérisé);

3° Substances augmentant la porosité de la matière active (ex : pierre ponce pulvérisée);

4° Substances inactives par elles-mêmes, mais qui maintiennent la matière active et retardent ainsi la désagrégation (ex : fibre d'asbeste).

De ces quatre substances la première devra toujours être employée soit seule, soit avec l'une des trois autres, soit avec toutes trois ensemble. Remarquons qu'il existe un nombre presque infini de combinaisons atteignant pratiquement le même but. Dans ce qui suit, nous donnons quelques-uns des mélanges les plus importants qui sont actuellement employés en pratique.

Le mélange d'empâtage le plus anciennement employé se compose de litharge diluée dans de l'acide sulfurique. Lorsque l'on fait ce mélange il se forme du sulfate de plomb ainsi que le montre l'équation :



Il semble donc qu'en réalité l'empâtage est effectué avec un

mélange de  $PbO$  et de sulfate de plomb. L'acide avec lequel le  $PbO$  est mélangé ne se trouve pas en effet en quantité suffisante pour transformer toute la masse en sulfate.

L'on emploie pour ce mélange de l'acide sulfurique de poids spécifique 1,420 environ, la proportion de liquide et de litharge est dans le rapport de 4 à 6. Le mélange doit être très intime, et l'on doit employer le moins d'acide possible. L'on doit obtenir une pâte d'apparence humide mais non suffisamment délayée pour pouvoir couler. Après qu'on a rempli une grille, on la soumet à la pression, ce qui remplit tous les recoins et forme du tout une masse très compacte. La plaque est ensuite séchée à l'air. Si le séchage se fait à la température ordinaire, il durera de une à deux semaines suivant la sécheresse de l'air, et l'épaisseur de la couche de matière active. Dans quelques cas, le séchage est accéléré en plaçant les plaques dans des étuves où l'on maintient une température d'environ  $93^{\circ} C$ .

Après un séchage complet, les plaques sont assemblées, puis chargées et déchargées plusieurs fois, après quoi elles sont prêtes à être mises en service.

L'on emploie le plus communément la litharge ( $PbO$ ) pour l'empâtage des négatives, et le minium ( $Pb^3O^2$ ) pour les positives. Il suffit pour les négatives de les réduire à l'état de plomb spongieux ( $Pb$ ) par l'action de l'hydrogène dégagé par la charge dans un bain d'acide sulfurique dilué. Elles devront être connectées comme cathodes vis-à-vis d'anodes auxiliaires constituées et par des lames de plomb.

Le  $Pb^2 O^3$  des plaques positives est transformé en  $PbO^2$  ( $Pb^2 O^2$ ) par l'addition d'oxygène; celui-ci leur est fourni en faisant passer le courant dans ces plaques montées comme anodes vis-à-vis d'électrodes auxiliaires (cathodes) dans un bain d'acide sulfurique.

Böse constitue, pour être placée dans la grille de la figure 38, une feuille mince de matière active en mélangeant de l'oxyde et du peroxyde de plomb avec de l'alcool dans lequel est dissous un peu d'hydrocarbure provenant de la distillation du coaltar. Nous donnons l'anthracène comme un exemple de l'hydrocarbure que l'on peut mêler à l'alcool.

Le mélange ainsi obtenu est pressé sur la grille, les plaques

sont ensuite séchées dans des fours à air chaud, puis durcies par immersion dans l'acide sulfurique dilué. L'on termine la formation par des charges et décharges successives.

Verdier emploie une pâte faite de litharge mêlée à de la glycérine et de l'eau.

Après avoir été séchées, les plaques sont traitées dans une solution de sulfate de sodium mêlée à de la glycérine et à de l'eau, puis elles sont formées.

Desruelles forme une pâte avec 60 parties de minium, 40 parties de graphite, 25 parties de porcelaine pulvérisée, et 10 parties de blanc d'œufs. Le graphite a pour but d'augmenter la conductibilité, et la porcelaine d'augmenter la porosité; l'albumine constitue un bon liant pour la matière.

Metzger fait une pâte d'oxyde de plomb, d'acide sulfurique dilué et de silicate de potassium.

James emploie les composés suivants.

Pour les positives : minium 85 p. 100; litharge 10 p. 100; asbeste cardée 4 p. 100 et charbon en poudre 1 p. 100.

Pour les négatives : litharge 94 p. 100; asbeste cardée 4 p. 100; soufre 1 p. 100 et charbon en poudre 1 p. 100.

Sperry fait le mélange comme suit : 70 p. 100 de plomb spongieux, 26 p. 100 de minium; et 4 p. 100 de sulfate d'ammonium. Le tout est légèrement humecté avec de l'ammoniac dilué, suffisamment pour faire une poudre humide. Cette poudre est placée dans un cadre; la grille au-dessus, puis une nouvelle couche de poudre; le tout est ensuite assemblé à la presse hydraulique.

*Litharge, glycérine et acide sulfurique.* — La pâte faite avec de la litharge, de l'acide sulfurique et de la glycérine constitue une excellente matière active, surtout pour les plaques négatives. Pour effectuer cette pâte, l'on mélange d'abord des volumes égaux de glycérine et d'acide concentré. Le liquide obtenu s'échauffe par suite de la combinaison chimique qui se produit. Après refroidissement l'on ajoute de l'eau en quantité telle qu'elle constitue environ 66 p. 100 du volume total du liquide.

L'on fait une pâte épaisse en mélangeant la litharge au liquide ainsi obtenu: la proportion sera d'environ 870 centimètres cubes



de liquide pour 4 kilos de litharge. Lorsque l'on applique cette pâte sur la grille, on la presse en général en faisant passer la grille empâtée entre deux rouleaux de caoutchouc; cette pression fait dégager une partie de l'humidité de la plaque.

Il est reconnu que, lorsque ces plaques sont formées en négatives, cette pâte donne un plomb spongieux solide, analogue à du feutre, de beaucoup supérieur au plomb spongieux fragile et granuleux que l'on obtient avec la pâte de simple litharge délayée dans l'acide sulfurique.

*Minium glycérine et acide sulfurique.* — Le mélange et l'application sur la plaque se font de la même manière que pour le cas précédent, excepté que le minium est substitué à la litharge, et qu'il faut moins de liquide pour faire la pâte; la proportion sera d'environ 625 centimètres cubes de liquide pour 4 kilos de minium.

*Plomb pulvérisé et eau.* — Un mélange de poussière de plomb et d'eau constitue une bonne matière active qui se comporte comme un ciment et devient dure et dense. La poussière de plomb doit être préparée avec soin et doit être débarrassée de tout l'air qu'elle renferme.

La densité de ce mélange est trop élevée pour permettre une porosité suffisante; les constructeurs qui font usage de cette matière active corrigent cet inconvénient en ajoutant à la pâte de la pierre ponce pilée ou une substance équivalente.

*Litharge mêlée à des solutions caustiques.* — Si l'on mélange de la litharge à une solution caustique saturée telle que de l'hydrate de potassium ou de sodium, l'on obtiendra une pâte qui durcira ou se solidifiera en une minute, à la température ambiante; elle durcira même si rapidement qu'il sera impossible d'employer un tel mélange.

Toutefois si la solution est diluée, le temps qu'elle mettra à durcir augmentera proportionnellement au degré de dilution; en diluant ainsi la solution, la pâte sera maniable et pourra être appliquée sur la grille avant son durcissement.

L'on donne comme formant un mélange satisfaisant une pro-

portion en poids de 1 partie d'un sel cristallisé (de sodium ou de potassium) et de 2 ou 3 parties d'eau.

Fitz-Gérald a trouvé trois mélanges qu'il a désignés sous le nom de « lithanodes » n<sup>os</sup> 1, 2 et 3.

Le n<sup>o</sup> 1 consiste en un mélange de litharge et d'une solution de sulfate d'ammoniac de façon à former une pâte; l'on peut également mêler d'abord ensemble les deux sels puis en faire ensuite une pâte par addition d'eau. Les grilles empâtées avec ce mélange seront séchées à l'air; la durée du séchage variera avec l'épaisseur de la couche de matière active. Après le séchage, l'on badigeonnera les plaques avec du peroxyde de plomb en poudre très fine pour les rendre conductrices, puis on les connectera comme anodes pour en faire des positives, et comme cathodes pour en faire des négatives, dans une solution de sulfate de magnésic.

L'on obtiendra ainsi des plaques poreuses ayant une grande conductibilité.

La lithanode n<sup>o</sup> 2 consiste en un mélange de litharge et de sulfate de plomb, ce mélange durcit et adhère fortement; l'acide ou l'eau ne le détériorent pas.

La lithanode n<sup>o</sup> 3 consiste en un mélange de litharge avec une solution de potasse caustique.

MARCHENAY. — La matière active inventée par A. Marchenay, de Paris, est connue sous le nom de pâte ou de matière active au chlorure. Elle appartient à la classe dans laquelle le support conducteur est coulé autour des pains de matière active préalablement placés dans le moule ainsi qu'il est montré dans la figure 53.

Le chlorure de plomb est obtenu en dissolvant du plomb métallique finement divisé dans l'acide nitrique dilué, d'où il est précipité sous forme de chlorure de plomb par addition d'acide chlorhydrique. L'on peut également l'obtenir en dissolvant de la litharge dans de l'acide acétique, et en précipitant par l'acide chlorhydrique.

Le chlorure de plomb est lavé, puis fondu avec du chlorure de zinc et ce mélange encore mou est moulé sous forme de pains rectangulaires ayant 19 millimètres de côté et 8 millimètres

d'épaisseur. Ces pains sont ensuite mis en place dans le moule à grille, puis la grille est coulée sous pression, dans ce moule.

Les plaques sont alors assemblées avec des plaques de zinc dans une solution de chlorure de zinc, et mises en court-circuit, Cette opération les débarrasse en grande partie du chlore.

Les plaques sont ensuite lavées à l'eau courante pour éliminer les dernières traces du chlore. Les pains de matière active sont alors à l'état spongieux et peuvent être formés en positifs ou en négatifs comme on le voudra; toutefois, en pratique, on les emploie uniquement pour la fabrication des plaques négatives.

Dans beaucoup de cas, la formation des matières actives rapportées demande autant de temps que la formation Planté améliorée, parce que le minium ou la litharge employés doivent être ramenés à l'état de  $PbO^2$  et de  $Pb$ , respectivement par la libération d'oxygène ou d'hydrogène.

Considérons, par exemple, un élément de formation composé de 20 plaques négatives contenant chacune 250 grammes de litharge, soit au total 5 kilogrammes de litharge à réduire.

Prenons les poids atomiques (grammes équivalents) des différentes combinaisons :

1 molécule de litharge ( $PbO$ ) pèse  $206,5 + 16 = 222,5$  gr.

1 molécule d'hydrogène  $H^2 = 2$  grammes, devra se combiner avec celle-ci pour former de l'eau.

1 molécule  $H^2O = 2 + 16 = 18$  grammes.

1 molécule de plomb ( $Pb$ ) = 206,5 gr.

1 ampère-heure libérera 0,0374 gr. d'hydrogène.

1 kilogramme de litharge exigera 8,97 gr. d'hydrogène pour transformer son oxygène en eau; 5 kilogrammes exigeront 44,85 gr. d'hydrogène. Il faudra donc

$$\frac{44,85}{0,0374} = 1200 \text{ ampères-heure.}$$

pour réduire la litharge en plomb.

L'intensité du courant traversant les plaques doit être limitée à une certaine densité par décimètre carré — cette densité est variable avec le type de plaques, mais est en général de 0,65 ampère par décimètre carré, ceci en prenant les surfaces sur les deux

faces des plaques. — Les plaques considérées devront être formées avec un courant d'environ 15 ampères, ceci est en effet à peu près le courant normal pour des plaques de dimensions voulues pour être empâtées avec 5 kilogrammes de matière active et une épaisseur normale de la couche active.

Il faudra donc  $\frac{1200}{15} = 86,7$  heures pour la réduction théorique du  $\text{PbO}$  en  $\text{Pb}$ .

En pratique, il faudra de 20 à 30 p. 100 de plus d'énergie électrique que ne l'indique la théorie; ceci est dû à l'imparfaite pénétration du liquide et au dégagement dans l'air d'une partie des gaz, lesquels ne participeront pas par conséquent à la réduction de l'oxyde.

Considérons maintenant la plaque positive; prenons, par exemple, 20 plaques, comme précédemment, et plaçons-les dans un bac de formation; supposons-les chacune empâtée avec 250 grammes de minium, ce qui donnera un total de 5 kilogrammes pour les 20 plaques.

1 molécule de minium ( $\text{Pb}^3 \text{O}^4$ ) =  $(3 \times 206,5) + (4 \times 16) = 683,5$  gr. Il doit y être ajouté deux molécules d'oxygène pour former  $\text{PbO}^2 = (\text{Pb}^3 \text{O}^6)$ ; le poids deviendra par conséquent  $683,5 + (2 \times 16) = 715,5$  gr.

Il faut  $\frac{32}{683,5} = 0,04682$  gr. d'oxygène pour transformer 1 gramme de minium en  $\text{PbO}^2$ ; par conséquent, pour 5 kilogrammes de minium il faudra 234,1 gr. d'oxygène. Comme un ampère-heure libère 0,298 gr. d'oxygène, il faudra pour former ces plaques un nombre total d'ampères-heure égal à  $\frac{234,1}{0,298} = 787$  ampères-heure.

Si nous supposons comme précédemment une intensité de courant de 15 ampères, la durée théorique de la formation sera de

$$\frac{787}{15} = 52 \text{ heures et demie.}$$

Enfin, en pratique, il faudrait 25 p. 100 de plus d'énergie, et, par conséquent la durée de la formation serait de 25 p. 100 plus considérable.

## CHAPITRE XIX

### ENVELOPPES ET SÉPARATEURS

Afin d'éviter que la matière active ne se détache ou ne tombe, l'on peut, quel que soit leur mode d'empâtage, recouvrir les plaques d'enveloppes protectrices. Dans le cas où des particules de matière active tendraient à se détacher ou à tomber, elles ne pourraient jamais, avec ces enveloppes, quitter leur contact ni tomber au fond de l'élément pour former finalement un court-circuit entre les plaques.

Dans la plupart des cas, ces enveloppes ne sont nécessaires que pour les plaques positives; toutefois, dans quelques cas, l'on en recouvre également les négatives.

Le brevet original de Faure, daté du 11 janvier 1881, mentionne des enveloppes de feutre, d'asbeste ou d'autres matières suffisamment poreuses destinées à maintenir la matière active en contact avec la grille. Ses premières plaques étaient recouvertes de papier parcheminé et d'une couche de feutre épais. L'on n'emploie plus actuellement ces matières parce que le papier parcheminé n'a pas de durée et que le feutre se dilate et n'a pas suffisamment de porosité.

L'on a essayé le caoutchouc mou en lames perforées, mais il ne convient pas parce qu'il se désagrège rapidement sous l'action de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'acide. Sous ce rapport, nous devons mentionner ici que le caoutchouc mou, vulcanisé, de quelque forme qu'il soit, devient rapidement inutilisable lorsqu'il reste plongé dans l'électrolyte; il ne devra donc, en aucun cas, être employé pour un service permanent.

Les enveloppes que l'expérience a montré être les meilleures sont : le caoutchouc durci, le celluloïd, la toile d'amiante, le coton de verre et la peroxyline.

Le caoutchouc durci est employé en lames minces perforées et montées sous forme d'un sac dans lequel l'on glisse la plaque; il constitue un revêtement efficace et durable. Toutefois, ce caoutchouc se dilate, aussi est-il peu employé, si ce n'est pour certains types de batteries de traction.

Les enveloppes en celluloïd constituées de la même façon que celles en caoutchouc conviennent également bien, quoique ce produit se décompose quelque peu sous l'action de l'électrolyte et des gaz qui se dégagent. Comme il est submergé, son inflammabilité ne présente aucun inconvénient. L'on emploie quelquefois le coton de verre, c'est-à-dire du verre à l'état fibreux et finement divisé. On le tasse dans l'intervalle existant entre les deux plaques; il remplit ainsi admirablement son but. La masse est suffisamment poreuse pour absorber la quantité d'électrolyte nécessaire au fonctionnement des batteries de traction et pour permettre la circulation du liquide.

La peroxyline est beaucoup plus employée qu'aucune des matières citées plus haut. Ce genre d'enveloppes est constitué d'un tissu de coton à larges mailles, traité chimiquement avec un mélange en parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique dilués dans deux parties d'eau. L'on obtient un composé dont le caractère général est semblable à celui du coton poudre et qui brûle si rapidement qu'on peut le considérer pratiquement comme un explosif. L'on y ajoute une petite quantité de nitro-benzine, ce qui rend la peroxyline inerte. On la lave ensuite soigneusement, puis on l'adapte autour des plaques positives. Elle conserve son apparence et sa texture premières après avoir supporté ce traitement chimique. Toutefois, ce genre d'enveloppes ne convient pas pour les plaques négatives, car l'action de l'hydrogène les désagrège rapidement.

L'on emploie dans toutes les batteries des séparateurs que l'on place entre les plaques, excepté pour les plaques recouvertes d'enveloppes en caoutchouc durci ou en celluloïd. Ces séparateurs devront être aussi minces que possible, tout en étant solides :

ils seront percés de nombreux trous pour permettre la circulation du liquide.

Les séparateurs sont généralement faits en caoutchouc durci, en bois ou en verre.

Le caoutchouc durci est employé pour les éléments de petites dimensions et, en particulier, pour les éléments destinés à la

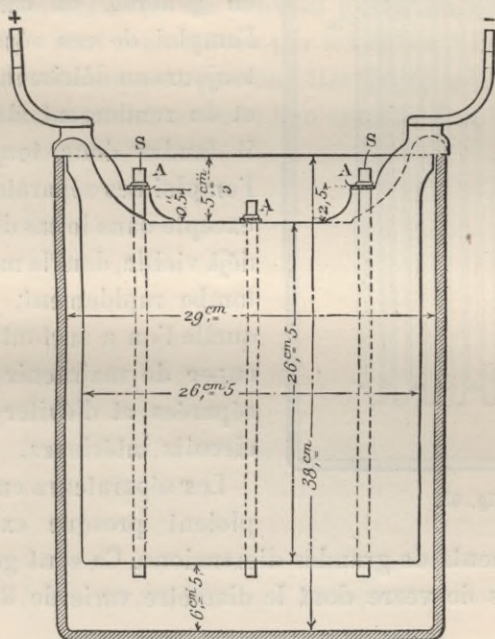


Fig. 62.

traction. Ces séparateurs sont ordinairement constitués par des lames minces de caoutchouc durci, perforé et munies de renforts. Les différences entre les séparateurs fabriqués par les divers constructeurs consistent presque uniquement dans la disposition et la forme de ces renforts.

Il vaut mieux qu'il y ait un grand nombre de trous de petite dimension, qu'un nombre moins considérable de trous plus grands, dans la feuille de caoutchouc; en effet, il sera moins à craindre ainsi que des particules de matière active ne passent à travers ces trous.

L'on emploie souvent des séparateurs en bois pour les grands,

et même pour les petits éléments. Ils semblent donner des résultats satisfaisants; toutefois, il est toujours à craindre qu'il ne

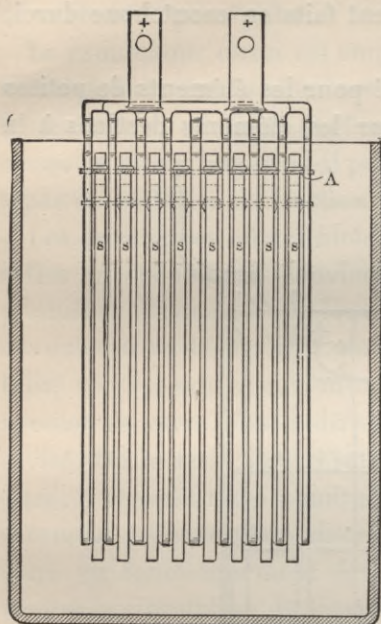


Fig. 63.

s'en dégage de l'acide acétique qui détériorerait les plaques. Une des compagnies Américaines en fait un grand usage; toutefois, en général, on considère que l'emploi de ces séparateurs est toujours au détriment de la durée et du rendement de l'élément; il faudra donc toujours éviter l'emploi des séparateurs en bois, excepté dans le cas d'une batterie déjà vieille, dont la matière active tombe rapidement, et pour laquelle l'on a surtout à se préoccuper de maintenir les plaques séparées et d'éviter les courts-circuits intérieurs.

Les séparateurs en verre s'emploient presque exclusivement dans les éléments de grandes dimensions. Ce sont généralement des baguettes de verre dont le diamètre varie de 8 à 16 milli-

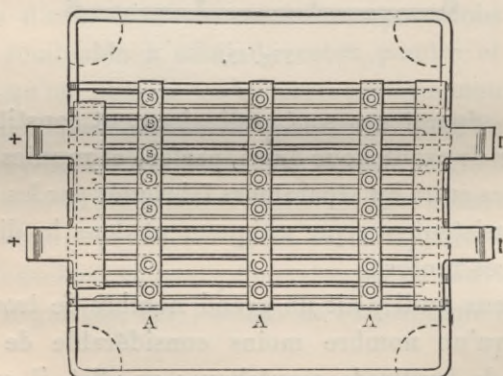


Fig. 64.

mètres et qui sont munies d'une collerette ou d'une bague à l'une de leurs extrémités. Ces baguettes sont placées verticalement



entre les plaques, et sont maintenues en place, d'une part, par les plaques et, d'autre part, par une bande de caoutchouc qu'elles traversent.

Si l'on se reporte aux figures 62, 63 et 64, S, S, S, sont les baguettes de verre et A, A, A, les bandes de caoutchouc qui reposent en travers sur les plaques et qui sont traversées par les baguettes. Ces dernières ne peuvent passer au travers des trous parce qu'elles sont maintenues par les collerettes du haut.

Les bandes de support peuvent être faites soit en caoutchouc durci, soit en caoutchouc mou; l'on emploie l'un et l'autre dans la pratique.

## CHAPITRE XX

### BACS

Les bacs se font soit en caoutchouc durci, soit en verre, soit en celluloïd, soit, dans le cas d'éléments de grandes dimensions, en bois doublé de plomb.

Les bacs en caoutchouc durci sont employés presque exclusivement pour la traction ou pour les éléments transportables. L'épaisseur du caoutchouc varie de 6,5 mm. à 3 millimètres. Le caoutchouc durci semble constituer le meilleur type de récipient pour les éléments de petite dimension mais il est d'un prix de revient élevé. Les bacs en celluloïd sont excellents, mais cette matière est très inflammable, elle prend feu très rapidement et brûle avec une rapidité presque explosive, aussi est-elle peu employée. La proximité d'une allumette enflammée ou la production d'une étincelle au voisinage d'un bac en celluloïd constitueront un danger. Cette matière est plus employée en Europe et en Angleterre qu'en Amérique où on ne l'emploie pour ainsi dire pas.

Les bacs en verre ne peuvent s'employer que pour les batteries stationnaires. Ils donnent toute satisfaction une fois installés et reviennent moins cher que tout autre type de bacs.

M. David Salomons a observé que les bacs en verre cassent quelquefois, par suite de dilatation inégale lorsqu'ils sont exposés à la lumière.

Il est malheureusement presque impossible, commercialement, de construire des bacs en verre de grandes dimensions; les dimensions limites sont d'environ  $30 \times 30 \times 40$  centimètres.

Pour les éléments stationnaires de grandes dimensions, l'on emploie de fortes cuves en bois doublées de plomb laminé. Sui-

vant les dimensions de l'élément, la doublure pèse de 200 à 300 grammes par décimètre carré. La doublure de plomb doit être rabattue sur le rebord supérieur des cuves et le recouvrir entièrement.

Les cuves elles-mêmes devront être faites en chêne sain ou en bois de teck soigneusement séché et bouilli dans de la paraffine

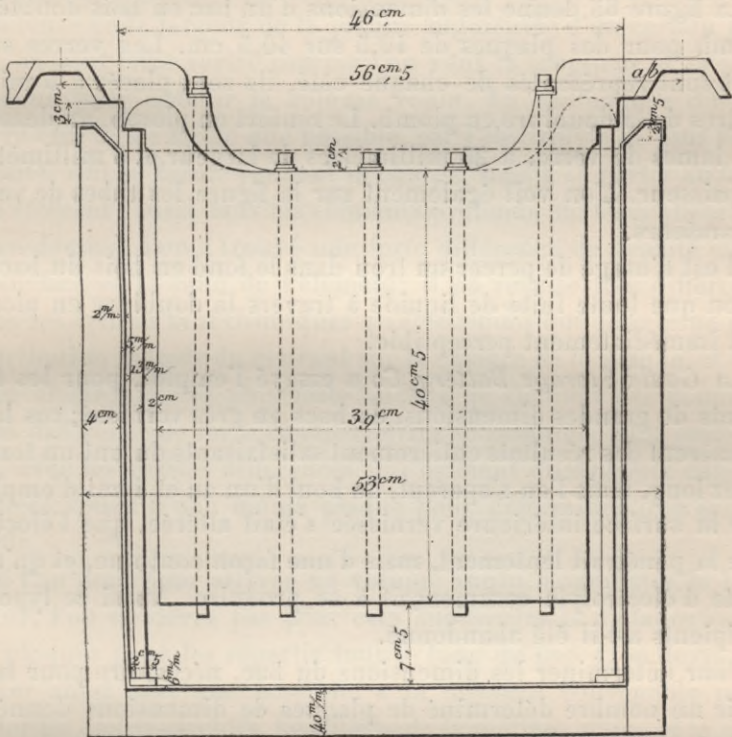


Fig. 63.

ou tout autre composé analogue, de telle sorte que les pores soient complètement remplis et qu'ils ne puissent absorber l'acide qui pourrait venir au contact du bois.

Les bois de la cuve devront être taillés en queue d'aronde, et le tout solidement assemblé.

Lorsqu'on emploie des bacs en bois doublés de plomb, les plaques sont toujours suspendues au moyen de queues qui sont coulées ou soudées à la partie supérieure de la plaque. Ces queues reposent de chaque côté du bac, sur des lames de verre qui dépassent

le rebord supérieur du bac. Comme tout le poids des plaques repose sur ces verres support, il faudra placer en dessous des lames de verre une bande de plomb de renforcement, sans quoi le plomb mince de la cuve pourrait être endommagé. L'épaisseur des lames support varie de 3 à 8 millimètres suivant les dimensions de l'élément.

La figure 65 donne les dimensions d'un bac en bois doublé de plomb pour des plaques de 40,5 sur 40,5 cm. Les verres support sont représentés de chaque côté, ils sont placés à 5 millimètres de la doublure en plomb. Le renfort en plomb, en dessous des lames de verre, a 25 millimètres de largeur et 6 millimètres d'épaisseur. L'on voit également sur la figure les tubes de verre séparateurs.

Il est d'usage de percer un trou dans le fond en bois du bac de façon que toute fuite de liquide à travers la doublure en plomb soit immédiatement perceptible.

La *Gould Storage Battery Co* a essayé l'emploi, pour les éléments de grandes dimensions, de bacs en grès vernissés; ces bacs donnèrent des résultats entièrement satisfaisants durant un temps assez long, mais l'on s'aperçut, au bout d'un an et demi d'emploi, que la surface intérieure vernissée s'était altérée, que l'électrolyte la pénétrait lentement, mais d'une façon continue, et qu'une perte d'électrolyte commençait à se produire. Aussi ce type de récipients a-t-il été abandonné.

Pour déterminer les dimensions du bac, nécessaire pour contenir un nombre déterminé de plaques de dimensions données, il faut connaître le volume effectif des plaques, des enveloppes, (s'il en est employé), et des séparateurs. Il faut connaître également le volume de l'électrolyte.

Il est pratiquement impossible de déterminer les trois premiers volumes, car il y a de nombreux pores dont on ne peut apprécier les dimensions. L'auteur préfère plonger toutes les plaques, positives et négatives, ainsi que les séparateurs, dans un bac de dimensions connues et en partie rempli d'eau, l'on observe après une demi-heure d'immersion la variation du niveau de l'eau, et l'on en déduit le volume cherché.

Ce volume, ajouté au volume de l'électrolyte que l'on aura

déterminé au moyen du poids et de la densité préalablement fixés, donnera le volume du bac. Une seule dimension des bacs est fixe, c'est la largeur; elle ne peut varier beaucoup, surtout dans le cas où les plaques sont supportées par le haut au moyen de queues reposant sur des verres support qui ressortent en dehors de la cuve. La largeur intérieure ne peut, dans ce cas, être très différente de la largeur de la plaque augmentée d'un certain jeu.

L'on peut faire varier comme l'on veut la longueur et la profondeur pour obtenir le volume voulu. La profondeur du bac devra être aussi faible que possible, car l'électrolyte de plus forte densité, qui se forme pendant la charge, tend à se porter au fond de l'élément; aussi dans les éléments profonds (de 50 centimètres et au-dessus), l'on a trouvé une forte différence de densité entre la surface et le fond de l'élément; il en résulte une différence dans les actions tant chimiques qu'électriques qui détermine une distribution inégale du courant sur la surface de la plaque, et une force électromotrice plus forte au bas qu'au haut des plaques; cette différence de force électromotrice se combine, dans certains cas, avec les petites différences qui existent quelquefois dans la matière active d'une même plaque pour déterminer une action locale.

Si l'on doit, pour arriver au volume voulu, augmenter la longueur, l'on ne devra pas pour cela augmenter la distance entre les plaques pour les répartir tout le long du bac. L'on devra les placer aussi près que possible, à la distance convenable pour éviter les courts-circuits, l'écaillage de la matière active et le gondement; dans le cas où la longueur devra être plus grande que celle nécessaire pour contenir les plaques, l'on devra laisser un espace libre à chaque extrémité du bac. Toutefois ceci est rarement nécessaire, les espaces entre les plaques et sur les côtés, ainsi que l'espace au fond du bac, donnent en général une place suffisante pour l'électrolyte qui est nécessaire.

## CHAPITRE XXI

### ASSEMBLAGE ET INSTALLATION

Lorsqu'on assemblera les plaques, ou que l'on fera les joints des doublures des bacs, l'on emploiera toujours la soudure autogène. L'opération consiste à soumettre les parties à unir à une haute température, de telle sorte que le plomb soit fondu, ce qui fait que les deux parties se trouvent réunies ensemble par coulée.

La soudure autogène s'effectue en pratique au moyen du chalumeau oxhydrique; il se compose simplement d'un petit tube de cuivre ou de bronze d'environ 5 millimètres de diamètre extérieur et 3 millimètres de diamètre intérieur. L'une des extrémités est recouverte d'un chapeau portant une ouverture de 0,4 à 0,8 mm., l'autre extrémité est recouverte d'une toile métallique.

L'extrémité du tube portant le chapeau est en général recourbée de manière à former un angle de 30°, ceci pour faciliter l'application de la flamme dans les différents genres de travaux.

L'extrémité recouverte de toile métallique est introduite dans un tube de caoutchouc qui amènera le mélange d'hydrogène et d'oxygène au chalumeau. La toile métallique a pour but d'éviter les retours de flamme dans les réservoirs de gaz. Un robinet d'arrêt, placé sur la canalisation en caoutchouc permet de régler la force de la flamme.

Le tube de caoutchouc va du chalumeau à une fourche sur laquelle sont branchés deux autres tubes également en caoutchouc; l'un est relié au réservoir à hydrogène, l'autre au réservoir à oxygène ou à air. Des robinets d'arrêt sont également placés sur ces deux branchements de façon à pouvoir faire varier les proportions du mélange. Les tubes de caoutchouc ont environ 6 millimètres de diamètre intérieur.

L'on obtient l'hydrogène par l'action de l'acide sulfurique sur le zinc. La figure 66 représente l'appareil pour la production de ce gaz.

A et B sont des réservoirs à gaz sous pression, A est à environ 1,20 m. au-dessus de B. Un tuyau de plomb, *c*, part du bac A pour

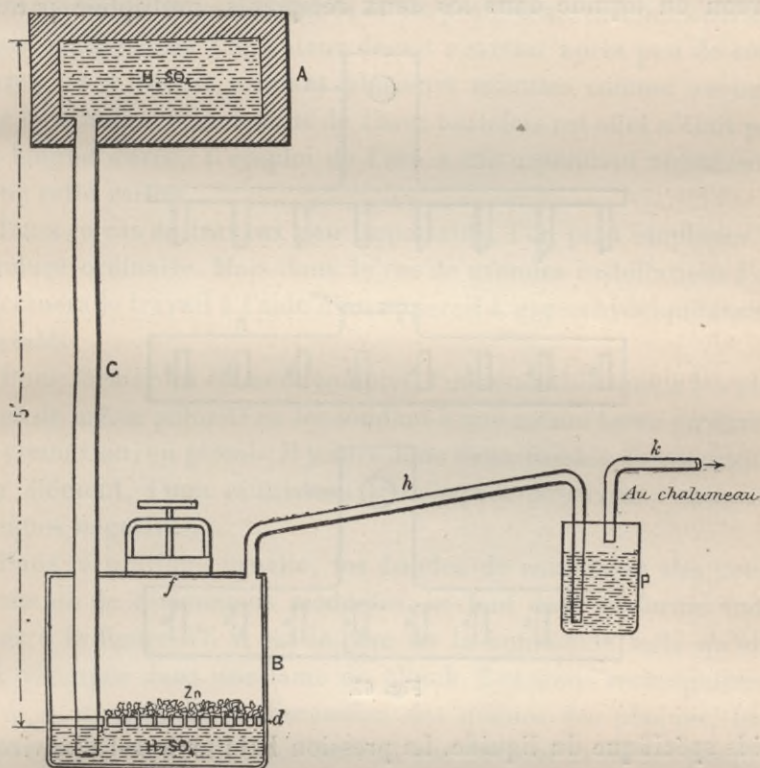


Fig. 66.

pénétrer dans le bac B et s'arrêter vers le fond de ce bac; *d* est une cloison perforée, ou un faux fond, sur lequel l'on place des petits morceaux ou des rognures de zinc; l'on introduit le zinc en ouvrant l'autoclave *f*. L'on verse l'acide sulfurique dans B, et l'on ferme l'ouverture *f*. L'hydrogène dégagé se comprime dans B; lorsque la pression a atteint une certaine valeur, elle refoule l'acide par le tube *c* dans le bac A, et le zinc étant mis à découvert, le dégagement de gaz cesse.

Si l'on retire de l'hydrogène par le tuyau *h*, la pression en B

tombera, une certaine quantité d'acide redescendra de A et recouvrira le zinc, et il en résultera le dégagement d'une nouvelle quantité de gaz. Le générateur est donc entièrement automatique et la pression reste toujours constante; cette pression est égale à celle d'une colonne d'eau ayant pour hauteur la différence de niveau du liquide dans les deux récipients, multipliée par le

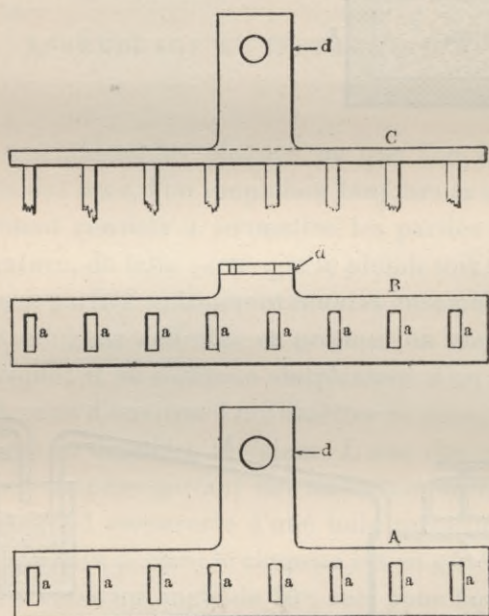


Fig. 67.

poids spécifique du liquide. La pression habituelle est d'environ 210 grammes par centimètre carré.

Les gaz passent du générateur dans le vase P, au moyen du tuyau *h*; P est un vase rempli d'eau, les gaz doivent toujours barboter dans l'eau avant de se rendre au chalumeau par le tuyau K. P sert en même temps à purifier le gaz et à éviter les retours de flamme du chalumeau au générateur. L'on obtient l'oxygène nécessaire à la combustion en accumulant de l'air sous pression dans un réservoir; l'on emploie pour cela une pompe commandée automatiquement.

L'on a proposé d'employer l'arc électrique pour la soudure du plomb, l'auteur a fait, il y a un certain temps, quelques essais



dans cette voie, mais, bien que les résultats fussent satisfaisants, ils ne valaient pas ceux obtenus au moyen du chalumeau, parce que la chaleur est trop localisée. Mais la plus grande difficulté rencontrée dans l'emploi de l'arc, et qui le rend totalement impraticable, c'est l'action qu'il exerce sur les yeux de l'ouvrier. L'on a essayé des verres fumés et des protecteurs de toutes sortes, mais malgré cela l'opérateur devait s'arrêter après peu de soudures, et il restait pendant plusieurs minutes comme aveuglé par la lumière éblouissante de l'arc; toutefois cet effet n'était pas de longue durée. L'emploi de l'arc a été cependant abandonné pour cette raison.

Dans le cas de travaux peu importants, l'on peut employer la soudure ordinaire. Mais dans le cas de grandes installations l'on effectuera le travail à l'aide d'un appareil à gaz oxyhydrique transportable.

Pour former un élément complet, l'on assemble toutes les plaques de même polarité en les soudant à une même barre ou bande de connexion, en plomb; il y aura donc deux bandes de connexion par élément, l'une réunissant les plaques positives, l'autre les plaques négatives.

Dans la pratique usuelle, les bandes de connexion des petits éléments de dimensions modérées, se font dans la forme indiquée à la figure 67. A est le plan de la connexion telle qu'elle est découpée dans une lame de plomb. Les trous rectangulaires *a, a, a, a*, sont de la dimension des queues des plaques, leur espacement est égal à l'écartement que devront avoir les plaques de même polarité.

La queue *d*, est repliée à angle droit sur la bande de connexion ainsi qu'il est indiqué en B et en C. L'on voit en C les extrémités des queues des plaques insérées dans les trous. Les queues des plaques sont ensuite solidement reliées à la bande par soudure, pour constituer une électrode complète. L'on place ensuite dans un bac un faisceau positif et un faisceau négatif, les plaques sont maintenues à l'écartement convenable par les bandes de connexion, et l'on placera des séparateurs d'un modèle quelconque pour les empêcher de venir se toucher. Les éléments sont reliés entre eux en soudant ensemble les extrémités *dd, dd*, ou bien au

moyen de boulons. La figure 68 représente un petit élément à trois plaques ayant des connexions avec queues de jonction.

Pour les éléments de capacité moyenne (soit de 350 ampères-heure et au-dessus) deux queues de jonction seront nécessaires pour conduire le courant.

Lorsque l'on emploie des connexions à boulons, les écrous sont

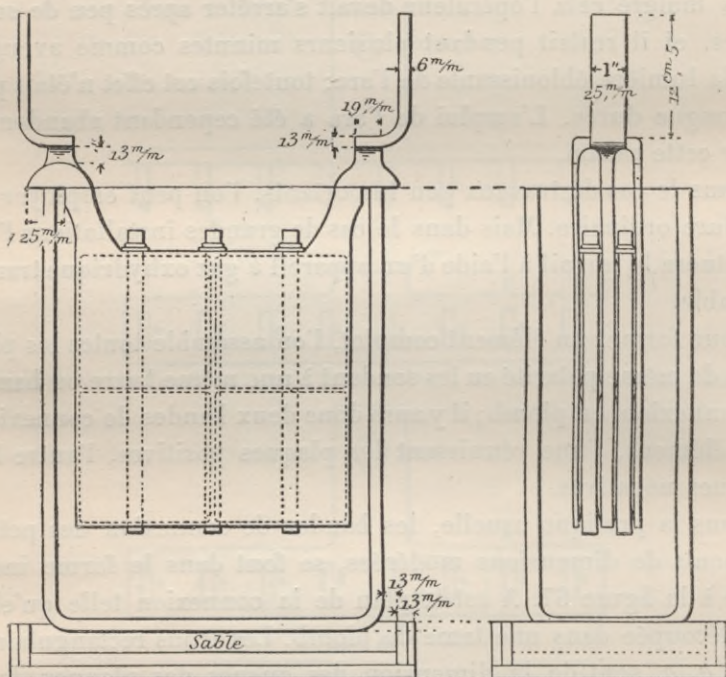


Fig. 68.

faits en bronze ou en fer et recouverts de plomb, les tiges sont en fer ou en bronze, mais ne sont pas recouvertes de plomb, parce qu'elles se trouvent protégées aux extrémités par les écrous et au milieu par les queues qu'elles traversent.

Il faut noter ici que tout ouvrage métallique au voisinage des éléments doit être recouvert de plomb. Tout métal situé dans la salle de la batterie, et qui pourrait être atteint par les vapeurs acides, devra être recouvert d'une couche de peinture résistant aux acides. Lorsque les connexions sont faites avec des boulons, il faut les inspecter chaque mois pendant les deux ou trois pre-

miers mois; en effet le plomb doux des queues et des écrous tend à s'aplatir sous l'action de la pression, et il peut se faire que les joints, qui avaient été serrés, prennent du jeu au bout d'un certain temps.

Dans les éléments de plus grande dimension, les connexions avec queues de jonction et les éléments tout assemblés sont trop lourds pour être maniés, l'assemblage est alors fait, ainsi qu'il est indiqué dans les figures 65, 69 et 70. La figure 69 donne le plan

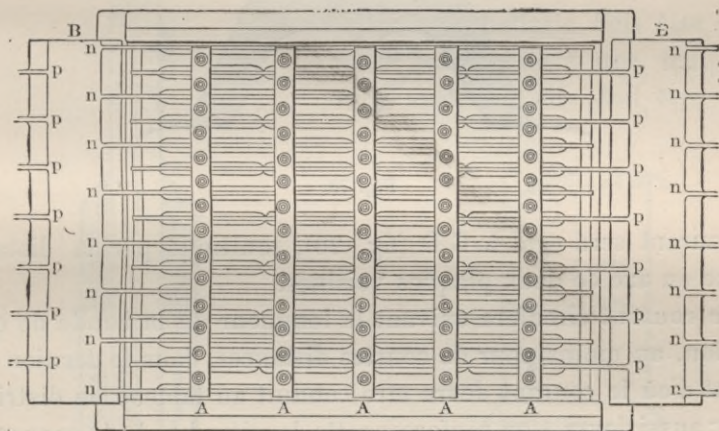


Fig. 69.

de la disposition de l'élément et des connexions. En *p, p, p, p* sont les plaques positives et en *n, n, n, n* les plaques négatives; *B, B* sont les bandes de connexion dont la section est représentée dans la figure 70. Ainsi qu'on le voit dans la figure 65, les queues de connexion des plaques s'avancent au-dessus du bord du bac et viennent se placer contre le côté de la bande de connexion. L'on met d'abord en place les bacs, puis l'on introduit les plaques que l'on espace convenablement au moyen des baguettes ou des tubes séparateurs, après quoi l'on met en place les bandes de connexion auxquelles l'on soude fortement les queues des plaques. Les éléments sont ainsi reliés en série et le chemin que parcourt le courant pour aller d'un élément au suivant est très court. Quelques constructeurs ont installé des éléments dont les bacs sont placés tout près les uns des autres, et dont chaque positive est reliée directement à une négative de l'élément voisin.

Il n'est pas nécessaire que les bandes de connexion aient une grande section, car la distance que parcourt le courant est courte; il chemine pratiquement de plaque à plaque. Puisque le courant parcourt la bande de connexion perpendiculairement et non suivant la longueur, la section disponible par plaque pour conduire

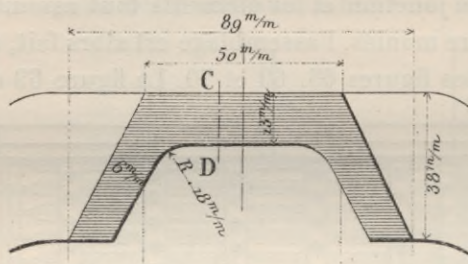


Fig. 70.

le courant sera égal à C D (fig. 70), multiplié par la distance d'axe en axe de deux plaques voisines.

Le courant circulera suivant la longueur de la bande de connexion, au moins pour de courtes distances, dans le dernier élément d'où le courant devra être conduit au tableau de distribution; aussi devra-t-on renforcer cette dernière bande de connexion

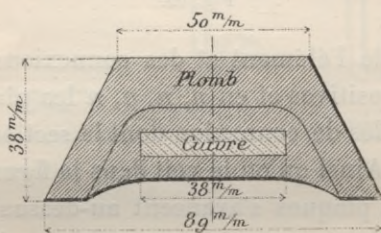


Fig. 71.

ainsi que le montre la figure 71, afin de lui donner la conductibilité nécessaire. L'on place une barre de cuivre dans la gouttière formée par la bande de connexion, puis l'on coule du plomb tout autour, la conductibilité est ainsi accrue. Dans certains cas, la barre de cuivre est placée dans un moule et la bande de connexion directement coulée autour.

Les connexions extrêmes sont munies de prises de courant renforcées; ces prises de courant sont en cuivre et sont reliées aux

barres de cuivre de renforcement des bandes de connexion extrêmes. Les figures 72, 73 et 74 montrent une des méthodes pour faire ces jonctions. L'extrémité du câble est boulonnée à la connexion ou barre de cuivre verticale. Dans bien des cas, cette barre de cuivre est brasée sur la barre de renforcement, ce qui évite de faire le joint.

La pièce dans laquelle est installée une batterie doit être toujours maintenue à une température modérée, elle doit être bien

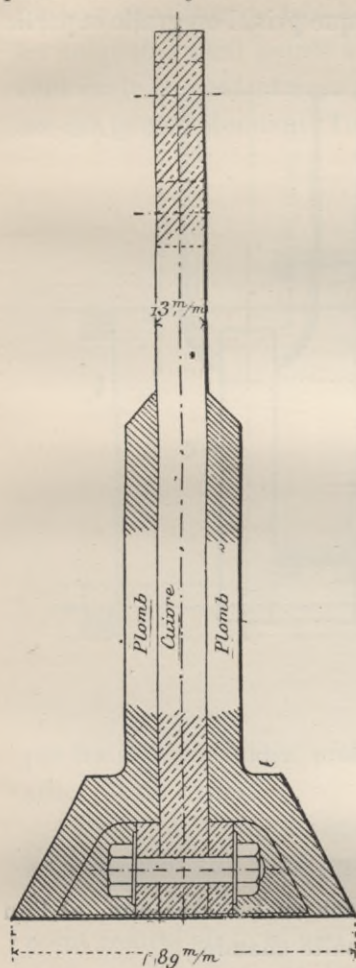


Fig. 72.

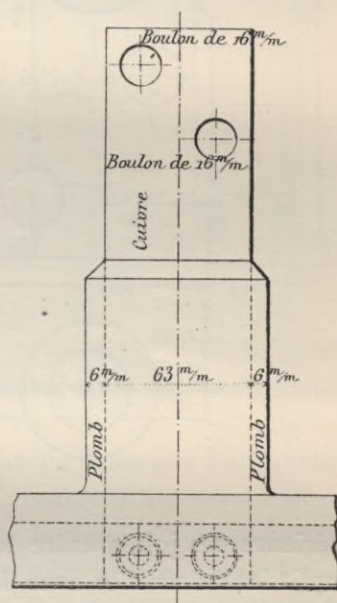


Fig. 73.

ventilée et facilement accessible, le sol doit être briqueté ou recouvert d'une couche d'asphalte. Les sols en ciment ne conviennent pas, car l'acide sulfurique dissout les meilleurs ciments; il les décompose et amène finalement leur désagrégation.

L'asphalte constitue le meilleur sol, et si l'on en met une couche mince, — de deux centimètres d'épaisseur environ, — sur des

briques, du béton ou du ciment, cela ne sera pas dispendieux. L'on obtient un sol très propre, mais coûteux, en employant des briques ou des carreaux vitrifiés que l'on cimenté les uns contre les autres. Lorsque le ciment est presque pris, l'on gratte la partie

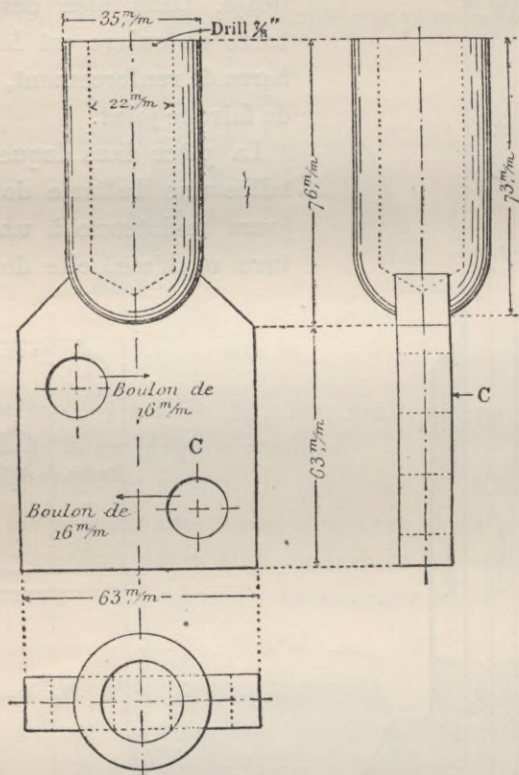


Fig. 74.

supérieure des joints entre les briques ou les carreaux, et l'on remplit les intervalles avec de l'asphalte chaude.

Nous devons faire observer ici que la meilleure qualité d'asphalte, exempte de goudron et de poix, est la seule qui convienne et qui résiste bien à l'acide. Si l'on emploie des planchers en bois l'on devra placer sous chaque rangée d'éléments des cuvettes étanches en plomb mince.

La salle de la batterie devra être bien ventilée, le passage allant de la pièce à l'air extérieur ne devra jamais être obstrué. Un petit ventilateur électrique placé dans l'ouverture de venti-

lation servira à entretenir la circulation de l'air. Tous les tuyaux ou conduites destinés à évacuer les gaz de la salle de la batterie devront être en matière résistant à l'acide ou aux vapeurs acides. Le bois constitue de très bonnes conduites, ainsi que la tôle de fer soigneusement peinte à l'asphalte. Les gaz évacués ne doivent venir en contact avec aucun ouvrage en fer ou en acier, car ces gaz le corroderaient. Toutefois le fer fondu n'est pas attaqué

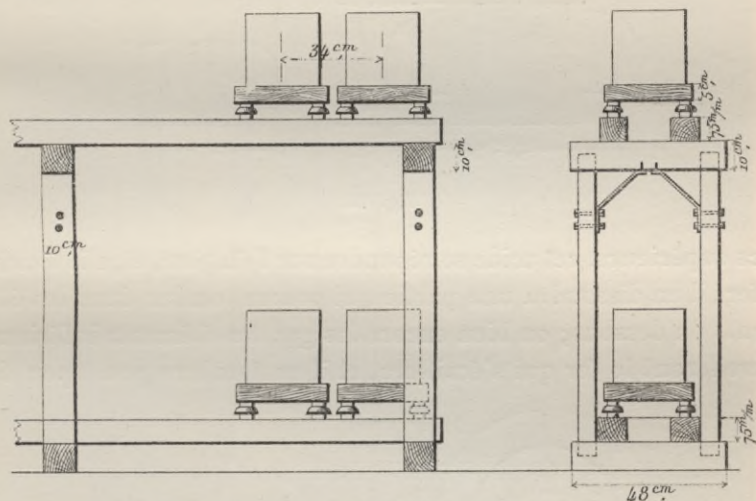


Fig. 75.

par les vapeurs acides, probablement à cause de son enveloppe de silice et de carbone.

La salle doit être aménagée de telle sorte que les liquides qui se répandent sur le sol puissent s'écouler. En général l'on donne au sol une légère pente venant de toutes les directions vers un point central où se trouve une ouverture communiquant avec un drain ou avec un égout; le trou est recouvert d'une grille en fonte. Les étagères sont constituées par de solides châssis ou des chantiers en bois, sur lesquels reposent les éléments; elles sont généralement établies pour recevoir deux étages d'éléments superposés.

La figure 75 indique une forme générale de construction robuste et simple. Les dimensions varient évidemment avec l'importance des éléments. La méthode pour construire ce chantier, ainsi que

ses proportions générales se voient aisément sur la figure 75. Lorsque l'on construit un chantier de batterie, l'on doit se rappeler que les poids à supporter sont considérables et que le chantier doit être établi en conséquence.

L'on emploie quelquefois des attaches en fer, mais ceci n'est pas recommandable, car lorsqu'il se produira des fuites d'acide ou des projections d'acide dues à l'ébullition des gaz, dans les

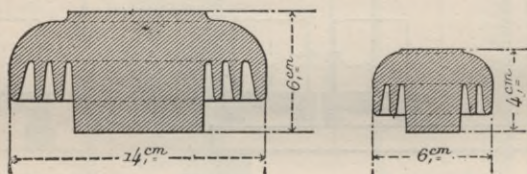


Fig. 76.

bacs supérieurs, cet acide se répandra sur l'étagère, et, s'il touche le fer, il en dissoudra une partie qui pourra tomber dans les éléments du dessous; ou bien encore les gaz des éléments inférieurs corroderont le fer qui s'écaillera, et il en tombera peu à peu des

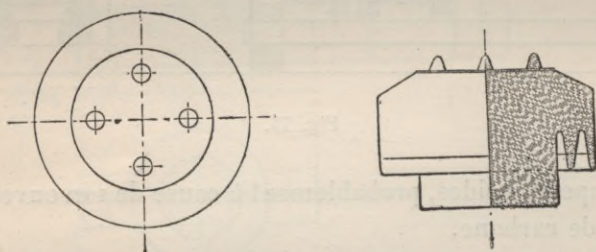


Fig. 77.

particules dans les éléments de la rangée inférieure. C'est pour ces raisons que l'on n'emploie jamais de chantiers en fer.

Si l'on emploie du fer dans la construction, il devra être recouvert d'une forte couche d'asphalte, ou de tout autre enduit équivalent.

Les éléments doivent être individuellement bien isolés afin d'éviter les pertes; il est difficile de maintenir un haut degré d'isolement, car l'électrolyte, qui est bon conducteur, est souvent projeté hors des bacs lors du dégagement gazeux.

La méthode ordinaire consiste à faire reposer l'élément sur



quatre isolateurs triple-cloche placés aux quatre coins du bac.

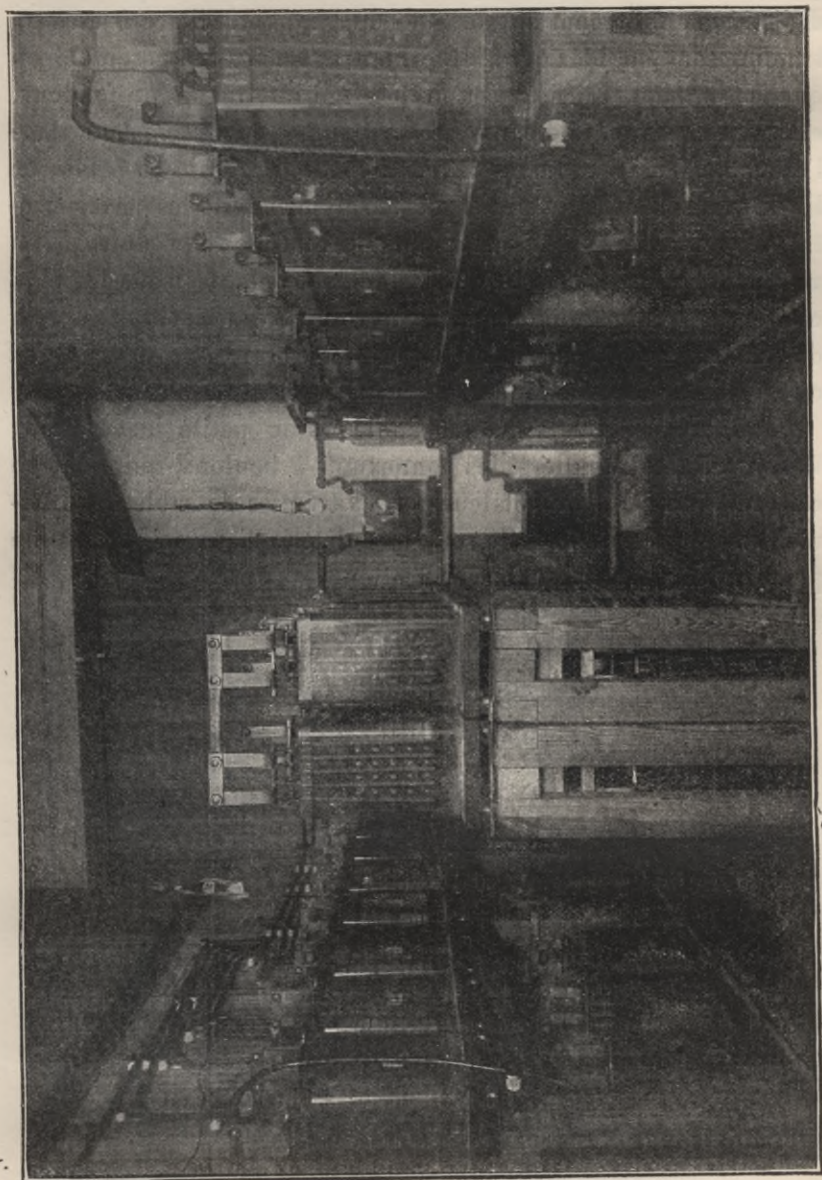


Fig. 78.

Les figures 76 et 77 donnent les types des isolateurs généralement employés.

L'on emploie des trémies de sable avec les bacs en verre, pour

éviter que l'électrolyte qui aurait pu fuir ou être projeté par les gaz ne se répande, et aussi pour donner une répartition uniforme du poids de l'élément sur le fond du bac. Ces caisses basses ou trémies sont en bois paraffiné, bien approprié et assemblé en queue d'aronde. Elles ont environ 4 centimètres de profondeur, elles sont remplies de sable, et c'est sur ce sable que l'on place l'élément. Les isolateurs sont placés sous la trémie de sable. Le lit de sable absorbe les pertes d'électrolyte et évite les pertes électriques qui, autrement ne manqueraient pas de se produire. L'on voit dans la figure 68 les trémies de sable placées sous les bacs en verre. L'on n'emploie pas de trémies avec les bacs en bois doublé de plomb, l'on monte des isolateurs sous ces éléments et on les place directement sur les chantiers ou sur le sol.

La figure 78 est la photographie d'une petite installation; l'on y voit, les chantiers, les connexions à boulons, qui, dans ce cas sont doubles, les isolateurs et les trémies de sable. Les éléments sont groupés de telle sorte que chacun d'eux soit accessible pour les essais ou pour la vérification.

---

## CHAPITRE XXII

### ESSAIS

Lorsqu'on fait des essais d'accumulateurs, l'on doit déterminer ce qui suit :

- 1° Poids de l'élément complet.
  - 2° Poids des électrodes.
  - 3° Poids de l'électrolyte.
  - 4° Dimensions du bac.
  - 5° Dimensions des électrodes.
  - 6° Courant de charge normal, et maximum.
  - 7° Courant de décharge normal, et maximum.
  - 8° Capacités à faible régime, à régime normal, et à régime rapide.
  - 9° Variation de la capacité avec la température.
  - 10° Variation du voltage avec la température.
  - 11° Résistance intérieure ohmique.
  - 12° Résistance intérieure virtuelle.
  - 13° Variation du poids spécifique de l'électrolyte.
  - 14° Perte de charge due aux actions locales dans la batterie.
- Tous ces points sont déterminés expérimentalement, l'on en déduit les résultats suivants :
- 15° Régimes de charge et de décharge par décimètre carré de surface de plaques positives.
  - 16° Régimes de charge et de décharge par kilogramme de plaques.
  - 17° Régimes de charge et de décharge par kilogramme d'élément complet.
  - 18° Capacité par kilogramme d'élément complet.
  - 19° Capacité par kilogramme de plaques.
  - 20° Coefficients de température de l'élément.

21° Courbes de charge et de décharge.

22° Rendements aux différents régimes de charge et de décharge et aux différentes températures.

23° Relation entre la densité de l'électrolyte et le nombre d'ampères-heure débités.

24° De tout ce qui précède l'on déduira la valeur commerciale de l'élément en essai, et l'on déterminera si oui ou non ses caractéristiques

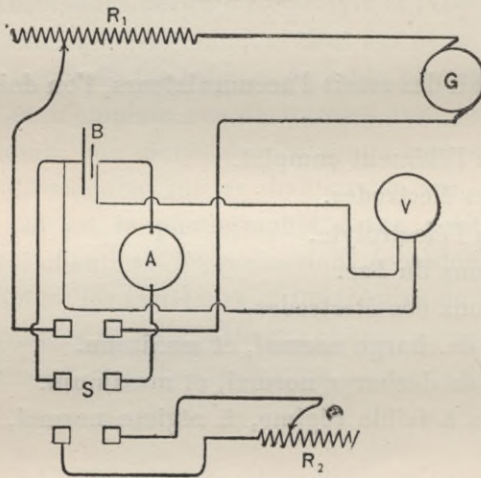


Fig. 79.

téristiques pourront convenir pour le service qu'il aura à assurer. S'il en est ainsi, l'on fera l'essai suivant :

25° Essai de durée. Cet essai est fait le dernier parce qu'il réclame beaucoup de temps; l'on ne devra l'entreprendre qu'après que tous les autres points auront été établis.

Nous allons maintenant examiner en détail ces différents essais :

1° Le poids de l'élément se détermine de la manière ordinaire.

2° Pour trouver le poids des électrodes, l'on décharge en partie l'élément, soit d'environ un cinquième de sa capacité, après lui avoir donné une forte charge qui ait réduit tout le sulfate, puis l'on retire les électrodes que l'on sèche avec du papier buvard et que l'on pèse. Il ne faudra pas maintenir les plaques négatives hors du liquide plus longtemps qu'il ne sera nécessaire.

3° Le poids de l'électrolyte sera égal à (1) moins (2), moins le poids du bac.

4° et 5° se déterminent par des mesures ordinaires; l'on prendra les dimensions des électrodes au moment où on les sortira du bac pour les peser. 4° doit comprendre toutes les dimensions des séparateurs, la distance du bord inférieur des plaques au fond du bac, l'espace libre entre les plaques, ainsi que sur les côtés, au fond et aux extrémités du bac, la hauteur du bord du bac au-dessus du bord supérieur des plaques; 5° devra comprendre la surface des plaques proprement dites, la section des parties conductrices de la plaque et la section des queues de connexion, ces deux dernières serviront à vérifier si les densités de courant restent dans les limites de la bonne pratique, de 20 à 23 ampères par centimètre carré. Après avoir déterminé de 1 à 5 inclus, l'on connectera la batterie pour faire les autres essais. La figure 79 donne le schéma usuel de montage pour ces essais.

G est la source de courant à potentiel constant pour la charge.  $R_1$  est une résistance en série avec cette source. B est l'élément à essayer; A un ampèremètre à deux directions; V un voltmètre pour bas voltages; S un commutateur bipolaire à deux directions; et  $R_2$  une résistance variable reliée aux deux bornes inférieures du commutateur.

$R_1$  sert à régler le courant de charge qui passe dans la batterie lorsque S est fermé vers le haut. Pour la décharge, l'on ferme l'interrupteur vers le bas et l'on règle l'intensité du courant à la valeur voulue au moyen de  $R_2$ . Le voltmètre V devra être connecté d'une façon permanente aux bornes de l'élément, l'on fera les lectures au cadmium avec un instrument séparé. Toutefois si l'on n'a qu'un voltmètre, l'on peut faire des lectures de temps en temps en plaçant les contacts contre les queues de plomb des

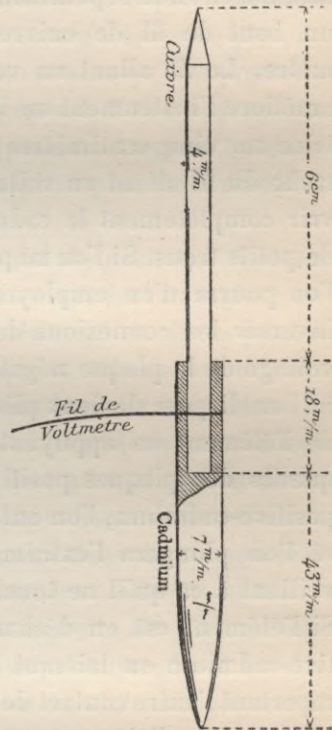


Fig. 80.

plaques. Les contacts devront être décapés et pointus et être appuyés fortement contre les queues des plaques de façon à former un bon contact.

La figure 80 indique une bonne disposition des pièces de contact pour faire des lectures au cadmium. Dans un morceau de cadmium d'environ sept millimètres de diamètre, est vissé ou enfoncé un bout de fil de cuivre dur d'environ 4 millimètres de diamètre. Le fil allant au voltmètre est fixé vers le milieu. L'on améliore l'instrument en le recouvrant d'une enveloppe protectrice sur cinq centimètres environ de chaque côté du point d'attache du fil allant au voltmètre, il est bon également de recouvrir complètement le cadmium d'un tube de caoutchouc percé de petits trous. Si l'on ne peut avoir deux morceaux de cadmium, l'on pourra n'en employer qu'un, mais dans ce cas l'on devra inverser les connexions du voltmètre pour faire les lectures de voltage de la plaque négative lorsque la batterie sera en charge. Si l'on dispose de deux pièces de contact, l'on prendra le voltage de l'élément en appuyant les deux pointes de cuivre sur les queues des plaques positive et négative. Pour faire la lecture positive-cadmium, l'on enlèvera le contact de la plaque négative et l'on plongera l'extrémité de cadmium dans l'électrolyte en veillant à ce qu'il ne touche ni aux plaques ni aux connexions. Si l'élément est en décharge, l'on pourra faire la lecture négative-cadmium en laissant le cadmium dans l'électrolyte et en reportant l'autre contact de la plaque positive sur la négative. Si, au contraire, l'élément est en charge, l'on devra enlever le cadmium qui se trouve dans le liquide et appuyer la pointe du cuivre de cette pièce de contact sur la queue de la négative; le contact avec la positive sera enlevé et son extrémité de cadmium sera plongée dans l'électrolyte.

6° Les régimes de charge sont généralement donnés par les constructeurs, mais en l'absence de leurs instructions l'on pourra les déterminer approximativement par le calcul en prenant comme régime normal 0,6 ampère par décimètre carré de surface de plaque positive. L'on peut contrôler ceci par quelques essais, en déterminant le temps qui s'écoule entre le commencement et la fin de la charge, la fin de charge est rendue évidente par la brusque

élévation du voltage qui monte à 2,5 volts, et par le violent dégagement gazeux qui se manifeste alors et que l'on appelle « l'ébullition ». En général, l'on prend comme régime normal le régime en huit heures dans les stations d'éclairage, et le régime en quatre heures dans les stations de traction.

Le régime maximum de charge est celui pour lequel l'élément absorbera de l'énergie sans que sa température s'élève de plus de 14° au-dessus de la température ambiante et sans qu'il se produise des dégagements gazeux excessifs. En général, l'on trouvera que ces conditions ne permettent pas de dépasser le régime en deux heures, même si l'on peut atteindre un régime plus élevé au début de la charge.

7° L'on devra prendre le régime normal de décharge égal au régime normal de charge, celui-ci sera en général le régime en huit heures. Le régime maximum de décharge ne devra jamais dépasser le régime en une heure, bien que certains constructeurs de plaques Planté prétendent que leurs éléments supportent le régime en trente minutes pourvu qu'on ne leur demande pas leur capacité entière. Après avoir déterminé de 4 à 7 inclus, l'on devra soumettre la batterie à une série de cycles de charge et de décharge aux régimes normaux, de façon à la mettre dans de bonnes conditions de fonctionnement avant d'exécuter les essais suivants.

8° L'on devra d'abord déterminer la capacité au régime normal. L'on chargera au régime normal jusqu'à atteindre 2,5 volts par élément et jusqu'à ce qu'il se produise un violent dégagement gazeux. L'on notera la densité et la température pendant la charge à des intervalles d'environ vingt à trente minutes. L'on fera des lectures de voltage toutes les trois minutes environ pendant le premier quart d'heure, puis toutes les six minutes jusqu'à ce que le voltage devienne stationnaire; il suffira ensuite de faire des lectures toutes les vingt ou trente minutes jusqu'au moment où le voltage se mettra à croître rapidement, les lectures devront alors être faites toutes les six minutes environ. La compulsion des résultats sera beaucoup facilitée si l'on fait les lectures à des intervalles de 3, 6, 12, 15, ou 30 minutes, parce que ce sont des fractions décimales de l'heure; ce sont respectivement 0,05, 0,1, 0,2, 0,25 et 0,5 d'une heure.

Lorsque la batterie sera complètement chargée on la mettra en décharge en maintenant le courant constant pendant toute la durée de la décharge. L'on notera comme précédemment la densité de l'acide, la température et le voltage; les lectures de voltage seront faites à de courts intervalles au début et vers la fin de la décharge, et à des intervalles plus longs au moment où la chute de voltage est lente. L'on obtiendra la capacité en ampères-heure en multipliant l'intensité constante du courant par le nombre d'heures qu'il aura fallu pour que le voltage tombe à 1,80 volt. En multipliant ce résultat par le voltage moyen de la décharge, l'on obtiendra la capacité en watts-heure.

L'on devra maintenir la température aussi constante que possible, à une valeur comprise entre 20° et 24° C.

L'on fera des lectures au cadmium au commencement et à la fin de la charge (cette dernière lecture devra être faite avant que l'on ait coupé le courant); l'on en fera également aussitôt après avoir mis la batterie en décharge, et à la fin de la décharge, avant de couper le courant; l'on fera aussi, à l'occasion, des lectures pendant le cours de la charge et de la décharge. Si, lorsque le voltage de l'élément en charge atteint 2,5 volts, le voltage négative-cadmium est inférieur à 0,45, l'on ne devra pas considérer l'élément comme complètement chargé; l'on devra continuer le charge jusqu'à ce que le voltage négative-cadmium ait atteint au moins cette valeur.

Si, à la décharge, le voltage négative-cadmium atteint 0,25 volt avant que le voltage de l'élément soit tombé à 1,80, l'on devra considérer la décharge comme terminée. Si ce fait se présentait à plusieurs décharges, ceci indiquerait qu'il se produit une action locale ou que la négative manque de capacité.

Après avoir trouvé la capacité au régime normal, l'on fera des décharges aux régimes en 1, 2, 3, 4 et 6 heures, et l'on déterminera la capacité à ces différents régimes. L'on devra faire des lectures plus fréquentes lorsqu'on fera des décharges à des régimes élevés.

9° La meilleure méthode commerciale pour déterminer les variations de la capacité avec la température sera de porter la température de la salle à la valeur voulue et de laisser reposer la



batterie jusqu'à ce qu'elle ait atteint cette température. A la charge, la température de la batterie tendra à monter, mais en réduisant fortement le régime vers la fin de la charge, la température de l'élément redescendra pratiquement à sa valeur initiale si le sulfate est complètement réduit.

L'on devra protéger l'élément contre le rayonnement au moyen d'un écran ou d'une caisse de façon à maintenir sa température constante dans les limites du possible.

Si l'on désire faire un essai plus exact, l'on placera l'élément dans une caisse ou dans un bac rempli d'eau. Sur le côté de la caisse et au-dessous du niveau de l'eau arrivera une conduite de vapeur qui permettra de porter l'eau à la température que l'on voudra au-dessus de la température ambiante et par conséquent d'élever la température de l'élément.

Avec du soin l'on pourra, en réglant l'admission de vapeur, maintenir la température constante pendant la charge et la décharge.

10° L'on observera les variations du voltage avec la température en même temps et dans les mêmes conditions que les variations de capacité.

11° Il est très difficile de déterminer exactement la résistance intérieure ohmique, parce qu'elle est très faible comparative-ment à celle des instruments de mesure du commerce, et aussi parce qu'elle est elle-même variable. L'on a proposé un grand nombre de méthodes pour la mesurer, nous donnerons ici trois d'entre elles. Toutefois elles exigent toutes beaucoup de soin pour donner des résultats exacts. L'on devra répéter les observations un grand nombre de fois, et dans des conditions variées.

La méthode de SHELTON, décrite par le D<sup>r</sup> Samuel Sheldon, est l'une des plus simples, elle n'exige comme appareillage qu'un récepteur téléphonique, un pont à fil, et une résistance auxiliaire non inductive ayant une valeur connue.

Le schéma du montage de l'expérience est représenté dans la figure 81. E est une source de courant alternatif, B l'élément en essai, X la résistance de valeur connue, et S le pont à fil. R est une résistance destinée à régler l'intensité du courant. L'on envoie dans le circuit de la batterie et de la résistance X un cou-

rant alternatif de valeur constante, égal à environ deux fois la valeur du courant normal de charge. Le voltage entre les extrémités du pont à fil est égal à la chute de  $f$  à  $g$ .

L'on fera une première lecture en plaçant la borne  $t$  du récepteur téléphonique en  $a$  (c'est-à-dire au point de départ des conducteurs sur la connexion de l'élément), l'on promènera l'autre borne  $p$  le long du pont et l'on déterminera le point pour lequel

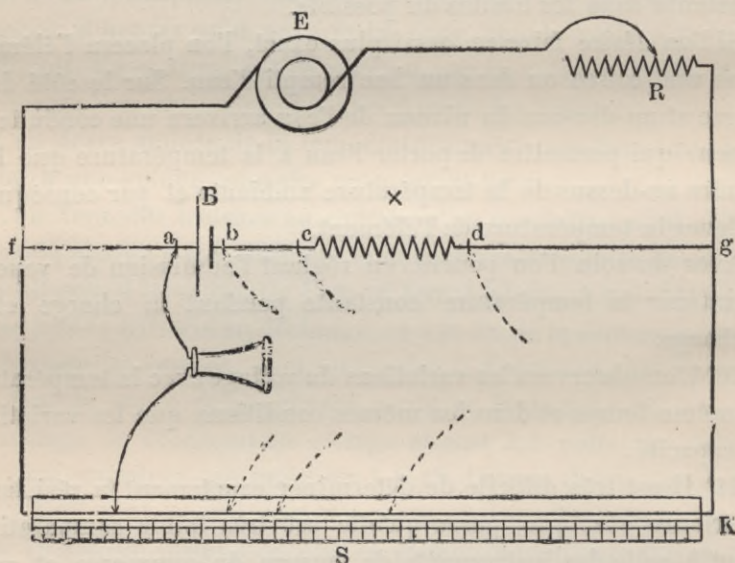


Fig. 81.

les sons émis par le récepteur sont le plus faibles. Ce point du pont sera alors au même potentiel que le point  $a$ . L'on fera de même des lectures au pont pour les points  $b$ ,  $c$  et  $d$ .

La chute de  $a$  à  $b$  est due à la résistance ohmique de l'élément, elle est proportionnelle à la différence des deux lectures correspondant à  $a$  et à  $b$  sur le pont, de même la chute dans  $X$  est proportionnelle à la différence des deux lectures en  $d$  et en  $c$  sur le pont. Il découle évidemment de ceci que :

$$X : r :: (d - c) : (b - a). \quad (10)$$

d'où l'on déduit :

$$r = \frac{X(b - a)}{d - c}. \quad (11)$$

Il n'est pas nécessaire de mesurer l'intensité du courant qui parcourt le circuit, ni de connaître les valeurs absolues de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  en volts. Il suffira pour écrire la proportion, de lire les longueurs interceptées entre le curseur  $p$  et l'extrémité  $h$ . Si les longueurs sont mesurées à partir de l'extrémité K, la formule devient :

$$r = \frac{X(a-b)}{c-d}. \quad (12)$$

Il est préférable que  $X$  soit faible, de telle sorte que la chute dans le pont soit également faible, et que la chute dans  $a b$  donne une longueur appréciable sur le pont. Il est également nécessaire que le fil du pont soit homogène, et qu'il ait une résistance égale par unité de longueur sur toute sa longueur.

**Méthode du condensateur.** — L'appareillage nécessaire pour faire l'essai par cette méthode, et le schéma des connexions sont

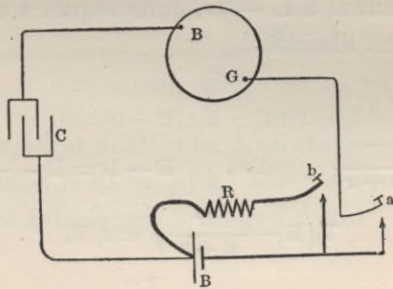


Fig. 82.

indiqués dans la figure 82. C est un condensateur, BG un galvanomètre balistique,  $a$  et  $b$  des clefs, B l'élément à essayer ; R est une résistance connue qui doit être assez faible pour pouvoir être traversée par le courant normal de l'élément lorsqu'elle est connectée aux bornes de celui-ci. Si l'on abaisse la clef  $a$ , le condensateur reçoit une charge proportionnelle à la force électromotrice de l'élément et l'aiguille du galvanomètre reçoit une impulsion correspondant à cette charge. Si l'on abaisse  $b$ , tout en maintenant la clef  $a$  fermée, la différence de potentiel aux bornes de la batterie diminuera ; cette chute sera due au passage du courant dans le circuit formé par l'élément et la résistance R.

Il se produira une décharge partielle du condensateur qui déterminera une impulsion de l'aiguille du galvanomètre en sens inverse.

Si l'on appelle  $T$ , la première déviation observée, et  $t$ , la seconde  $T - t = t_1$  sera l'impulsion que l'on aurait observée si l'on avait abaissé d'abord  $b$ , et ensuite  $a$ , le condensateur n'étant pas chargé. Après avoir effectué les deux premières lectures, l'on déchargera le condensateur en le mettant en court circuit, l'on refera les connexions comme précédemment, l'on abaissera  $b$ , puis  $a$ , et l'on comparera la valeur obtenue par lecture directe à la valeur calculée  $T - t$ . Si elles ne concordent pas, l'on devra recommencer les observations jusqu'à ce que l'on obtienne des résultats sensiblement égaux.

La résistance de la batterie sera  $r = \frac{R(T - t_1)}{t_1}$ . Le calcul est le suivant :

$T$  est proportionnel à la force électromotrice  $E$  de l'élément.

$t_1$  est proportionnel à  $E - Ir$ , dans lequel  $I$  est le courant qui circule quand  $b$  est abaissé.

alors :

$$T : t_1 :: E : (E - Ir). \quad (13)$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{d'où} \quad E - Ir = E - \frac{Er}{R + r}$$

$$T \left( E - \frac{Er}{R + r} \right) = t_1 E,$$

$$t_1 = T - \frac{Tr}{R + r}$$

$$Rt_1 + rt_1 = RT + rT - rT.$$

$$rt_1 = R(T - t_1).$$

$$r = \frac{R(T - t_1)}{t_1}. \quad (14)$$

**Méthode de Remington.** — Le schéma des connexions pour cette méthode est indiqué dans la figure 83.

Les trois résistances  $R_1, R_2, R_3$  et l'élément à essayer forment les quatre branches d'un pont de Wheatstone. Dans la même branche que  $R_1$  est monté un élément donnant une force électromotrice en opposition avec celle de l'élément  $B$ .  $G$  est un galvanomètre, — de préférence un d'Arsonval sensible; —  $S$  est un

interrupteur ou une clef.  $R_1$ , devra avoir environ 10 ohms et  $R_3$  environ 0,1 ohm.

Lorsqu'on fera les connexions, l'on observera une légère déviation due à la petite différence entre les forces électromotrices des deux éléments en opposition. En fermant l'interrupteur S l'on

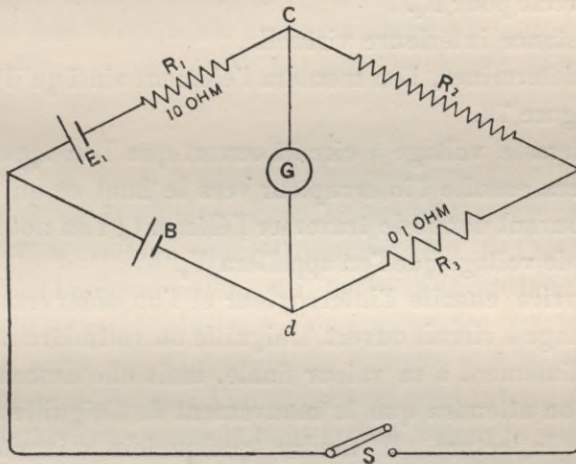


Fig. 83.

observera une déviation différente. L'on devra régler  $R_3$  de telle sorte que la déviation reste la même que S soit ouvert ou fermé. Alors la résistance intérieure de B sera :

$$r = \frac{R_1 R_3}{R_2}. \quad (15)$$

ceci en négligeant la résistance de E, laquelle n'est pas appréciable comparativement à  $R_1$ .

Les effets de polarisation déterminent certains changements dans la déviation, leur élimination demandera des manipulations plus délicates.

S'il se produit des effets de polarisation dans l'élément en essai lorsque l'interrupteur S est fermé, il passera un courant de  $c$  à  $d$  dû à la diminution de force électromotrice de l'élément et il se produira une déviation correspondante dans le galvanomètre. Une diminution de  $R_2$  tend à faire passer le courant de  $d$  à  $c$ , et à produire une déviation du galvanomètre dans le sens correspondant. Donc, l'on devra diminuer graduellement  $R_2$  jusqu'à ce

que l'on observe une impulsion dans cette dernière direction. Cette impulsion sera suivie immédiatement d'un mouvement dans la direction opposée, due à la polarisation de l'élément. L'on devra augmenter graduellement  $R_2$  jusqu'à ce qu'on atteigne le point où cette impulsion disparaît, l'on aura obtenu ainsi la valeur correcte pour  $R_2$ .

12° Résistance intérieure virtuelle.

Pour la déterminer, l'on montera l'élément ainsi qu'il est indiqué à la figure 79.

L'on notera le voltage à circuit ouvert que l'on appellera  $V_1$ . L'on fermera ensuite l'interrupteur vers le haut ce qui permettra à un courant donné de traverser l'élément; l'on notera l'augmentation de voltage que l'on appellera  $V_2$ .

L'on ouvrira ensuite l'interrupteur et l'on observera de nouveau le voltage à circuit ouvert. L'aiguille du voltmètre n'arrivera pas immédiatement à sa valeur finale, mais elle descendra lentement. L'on attendra que le mouvement de l'aiguille ait cessé pour faire la lecture. Il faudra quelquefois soixante-quinze secondes; cette dernière lecture devra redonner le voltage  $V_1$ . L'on refermera à nouveau l'interrupteur en envoyant dans l'élément le même courant que précédemment, et l'on notera le voltage que l'on appellera  $V_3$ . Puis au moyen de la résistance réglable l'on augmentera l'intensité du courant traversant l'élément; l'on observera de nouveau le voltage que l'on appellera  $V_4$ .

L'on déduit de la première mesure :

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_1}. \quad (16)$$

$I_1$  étant l'intensité du courant en ampères.

La seconde observation donne :

$$R = \frac{V_4 - V_3}{I_2 - I_1}. \quad (17)$$

où  $I_2$  est la nouvelle valeur du courant.

L'on prendra ensuite de nouveau le voltage à circuit ouvert, puis l'on fermera l'interrupteur vers le bas de telle sorte que

l'élément soit mis en décharge. La résistance virtuelle sera dans ce cas :

$$R = \frac{V_1 - V_5}{I_3}. \quad (18)$$

où  $V_1$  est le voltage à circuit ouvert,  $V_5$  le voltage à la décharge, et  $I_3$  l'intensité du courant de décharge.

Si l'on répète l'expérience en augmentant l'intensité du courant de décharge comme on l'a fait pour la charge, la résistance devient :

$$R = \frac{V_5 - V_6}{I_4 - I_3}. \quad (19)$$

dans lequel  $V_5$  est le voltage avant l'augmentation du courant de décharge,  $V_6$  le voltage après l'augmentation,  $I_3$  l'intensité du courant avant l'augmentation, et  $I_4$  après l'augmentation. Si l'on veut pousser les essais plus loin, l'on ajustera les résistances  $R$  et  $R_1$  de telle sorte que l'intensité du courant soit la même à la charge et à la décharge ; l'on appellera cette intensité  $I_0$ . L'on fermera l'interrupteur vers le haut et l'on notera le voltage pendant le passage du courant de charge ; l'on appellera ce voltage  $V_0$ . Ensuite l'on abaissera rapidement l'interrupteur vers le bas de façon à mettre l'élément en décharge, on lira alors le voltage que nous désignerons par  $V$ .

Alors :

$$R = \frac{V_0 - V}{2 I_0} \quad (20)$$

L'on devra effectuer ce dernier essai pour différentes valeurs du courant et pour différents états de charge de la batterie. Finalement l'on aura la valeur de  $R$  en prenant la moyenne des valeurs trouvées dans ces différents essais. Ces valeurs ne présenteront pas de grandes différences pour un même état de charge de la batterie, mais elles différeront quelque peu pour des états de charge différents.

13° L'on observe de préférence les variations de densité au moyen d'un densimètre plat que l'on plonge dans le liquide de l'élément. Toutefois si l'on ne peut pas se procurer un densimètre plat, l'on enlèvera une certaine quantité d'électrolyte du bac au moyen d'une poire en caoutchouc ou d'une seringue, on

le mettra dans un grand tube à essai dans lequel l'on plongera un densimètre.

L'électrolyte prélevé sera ensuite reversé dans le bac. Il faudra toujours avoir soin d'agiter le liquide avant d'y placer le densimètre ou avant d'en prélever dans l'élément, de façon que la densité observée soit celle de toute la masse du liquide.

14° Pour déterminer la perte de charge de l'élément au repos, il faudra le charger jusqu'à 2,5 volts, puis le décharger jusqu'à 1,80 volt en notant la capacité, la température, le voltage et la densité de l'acide. L'on chargera ensuite de nouveau jusqu'à 2,5 volts, puis on laissera l'élément au repos pendant quarante-huit heures. On l'amènera ensuite à la température du premier essai, et on le déchargera jusqu'à 1,80. L'on répétera cet essai en laissant l'élément au repos pendant soixante, puis pendant cent vingt heures. La perte sera évidemment égale à la différence entre la capacité obtenue immédiatement après la charge et celle obtenue après les périodes de repos.

L'élément devra être soigneusement isolé de façon que la perte de charge soit une indication de la valeur des actions locales. Des lectures au cadmium faites pendant la décharge indiqueront laquelle des deux plaques a subi le plus de pertes et par conséquent a subi le plus d'actions locales.

Les valeurs spécifiées dans les paragraphes allant du n° 15 au n° 19 se déduiront facilement des résultats déjà obtenus. Lorsque l'on fait des essais comparatifs de capacité au kilo pour différentes batteries, il devra y avoir le même nombre de plaques dans tous les éléments. Si un élément avait plus de plaques que les autres, il aurait un avantage marqué dans un tel essai ; en effet, la négative extrême pèse presque, sinon exactement, le même poids, que les autres négatives, bien qu'elle ne fournisse qu'environ la moitié de la capacité des négatives milieu, elle tend donc à augmenter le poids de l'élément sans fournir une augmentation de capacité correspondante. Moins le nombre de plaques sera grand, et plus sera considérable l'augmentation de poids par unité de capacité due à cette cause. Des essais comparatifs pour toutes les batteries ne seront donc équitables que si tous les éléments contiennent le même nombre de plaques.



Un essai de capacité n'a de la valeur que si l'on spécifie la température à laquelle il a été effectué, et, les essais comparatifs doivent tous être faits à la même température.

20° Le coefficient de température est un coefficient par lequel il faut multiplier la capacité à une température donnée pour avoir l'augmentation de capacité pour une élévation de la température de un degré; ceci s'exprime algébriquement par la formule :

$$Ct_2 = Ct_1 + jCt_1 \quad (21)$$

où  $Ct_1$  est la capacité à une température donnée,  $j$  le coefficient de température, et  $Ct_2$  la capacité à une température plus élevée de un degré.

Si l'on connaît la capacité à différentes températures, l'on en déduira le coefficient de température  $j$  ainsi qu'il suit : l'on a par définition,

$$Ct_2 = Ct_1 + Ct_1(t_2 - t_1) \times j \quad (22)$$

où  $Ct_1$  est la capacité à une température donnée  $t_1$ ;  $Ct_2$  la capacité à une température plus élevée  $t_2$ , et  $j$  le coefficient de température cherché.

L'on en déduit :

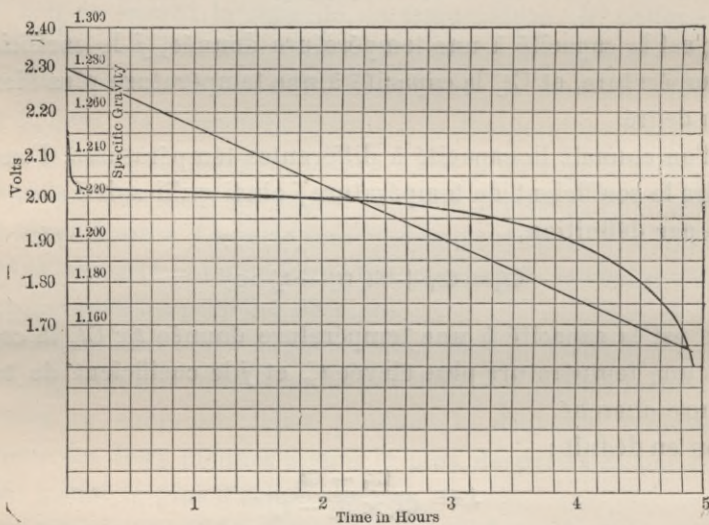
$$j = \frac{Ct_2 - Ct_1}{Ct_1 \times (t_2 - t_1)} \quad (23)$$

Si l'on calcule le facteur  $j$  pour différents intervalles de l'échelle des températures l'on verra qu'il varie légèrement; ce facteur sera plus grand pour un intervalle allant d'une température basse à une température légèrement plus élevée que pour un intervalle allant d'une forte température à une température encore plus élevée. En d'autres termes la variation de capacité par degré centigrade n'est pas une fonction linéaire, mais elle est variable; elle décroît lorsque la température augmente. Toutefois le facteur  $j$  peut être considéré comme constant dans l'intervalle de 10° à 26° C.; les températures que l'on rencontre usuellement sont toujours comprises dans cet intervalle. De plus ce coefficient sera différent pour chaque régime de décharge, les plus forts coefficients correspondront aux régimes les plus élevés.

21° Les courbes de charge et de décharge se tracent de la ma-

nière habituelle; on les déduit des lectures de voltage faites au cours des différents essais. Ces courbes permettront de se rendre compte de la marche et du fonctionnement général de la batterie, ainsi que des différents changements qui se produisent au cours de la charge et de la décharge.

22° Les rendements à des régimes normaux se déduisent des observations faites à la charge et à la décharge, et du rapport entre l'énergie fournie à la batterie, et celle qu'elle a restituée.



Time in hours = temps en heures. — Specific gravity = poids spécifique.

Fig. 84.

Toutefois les rendements aux régimes de décharge élevés doivent être l'objet d'essais spéciaux, consistant en une série de cycles de charges, et de décharges rapides.

L'on commencera l'essai en partant de la batterie complètement chargée; à la fin de l'essai, elle sera ramenée au même état après avoir fait un nombre égal de charges et de décharges. Le rendement sera égal à la somme des quantités d'énergie débitées par la batterie pendant les différentes décharges divisées par la somme des quantités d'énergie qui lui ont été fournies à la charge.

23° La relation entre la densité de l'électrolyte et le nombre d'ampères-heure débités se déduit facilement des données de la

décharge et des lectures correspondantes faites au densimètre. En général, la courbe des variations de densité se trace sur la même feuille que les courbes de voltage, et, si celles-ci sont tracées pour un courant de charge ou de décharge constant, l'on pourra lire directement la densité pour un nombre quelconque d'ampères-heure débités. La figure 84 donne un exemple d'une courbe de poids spécifiques combinée avec la courbe de voltage. Le régime de décharge est de 16 ampères. Au commencement de la décharge, la densité est de 1,280 ; à la fin de la première heure, soit après un débit de 16 ampères-heure, la densité est de 1,253 ; à la fin de la seconde heure, ou après un débit de 32 ampères-heure, elle est de 1,226, et ainsi de suite ; à la fin de la décharge, la valeur finale est de 1,148.

La connaissance de cette variation de densité est utile, car elle donne une indication de l'état de charge des éléments lorsqu'une batterie a été partiellement déchargée, pourvu que ces éléments soient en bon état. Si à un moment donné l'on trouve une densité franchement inférieure à ce qu'elle devrait être d'après les essais faits sur les éléments en bon état, cela prouvera que l'on a dépassé la capacité de l'élément, soit par suite de pertes, soit par suite de décharges intérieures. La formation de sulfate qui en résulte fait décroître la densité. Donc, si l'on connaît l'échelle des variations de densité, elle donnera des indications utiles sur l'état des éléments. L'accroissement de la densité indique simplement qu'il y a de l'évaporation.

24° Si l'on connaît préalablement les desiderata auxquels doit satisfaire une batterie pour pouvoir assurer un service donné, et si l'on a en main toutes les données précédentes, il suffira d'un examen attentif pour savoir si la batterie conviendra pour le service auquel elle est destinée.

25° L'on ne peut déterminer la durée d'une batterie que par un usage continu pendant une longue période de temps, — peut-être durant des années. — Toutefois il est possible d'avoir une idée suffisamment correcte à ce sujet en soumettant un élément à 150 cycles de charge et de décharge, de six heures chacun ; les demi-cycles (charge ou décharge), étant faits au régime en trois heures. Ceci exige 900 heures, ou environ trente-huit jours de fon-

tionnement continu, et un changement de connexions de charge à décharge ou vice versa toutes les trois heures. S'il fallait effectuer cette manœuvre à la main, et faire surveiller continuellement l'opération, il faudrait

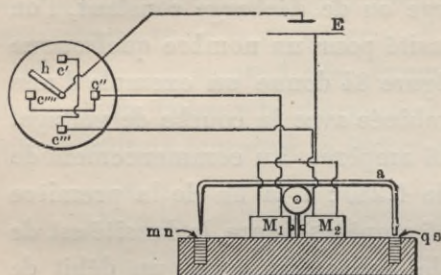


Fig. 85.

employé à tour de rôle deux ou trois opérateurs, ce serait coûteux et fastidieux. Un appareil automatique fort simple suffit à effectuer ce travail, il n'exige que quelques minutes de vérification chaque jour.

Cet appareil se compose d'un commutateur bipolaire à deux directions commandé par un mouvement d'horlogerie, il comprend une pendule ordinaire, deux électro-aimants, et un arbre oscillant portant des contacts qui plongent dans le mercure. La figure 85 indique la disposition générale et les connexions du commutateur à commande automatique horaire. Le cadran et les aiguilles de la pendule ont été enlevés et l'on y a substitué une plaque de fibre. L'on a vissé sur cette plaque quatre contacts *c, c, c, c*, isolés les uns des autres et également espacés à 90° autour du cercle. On les fixe à la place des vis d'assemblage afin d'obtenir plus de précision. L'on

remplace l'aiguille des heures par une pièce de contact en cuivre à la fois légère et solide, qui devra pouvoir former un contact ferme et franc, sans être dur, sur les plots *c, c, c, c*. Une brosse de fils fins ne conviendra pas, car elle ne donnera pas un point de contact défini.

$M_1$  et  $M_2$  sont de petits électro-aimants ayant une résistance d'environ deux ohms et commandés par un élément *E*. *mn* et *qs*

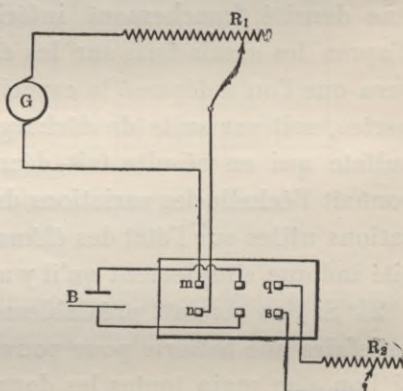


Fig. 86.

sont des godets de mercure qui constituent les plots d'un commutateur bipolaire à deux directions dont le plan est donné dans la figure 86. Cette figure indique également le schéma des connexions de l'élément à essayer.  $G$  est une source de courant,  $R_1$  et  $R_2$  des résistances réglables :  $B$  l'élément à essayer, et  $S$  le commutateur à deux directions.

Une bonne méthode pour faire les godets de mercure consistera à percer des trous d'environ 2,5 cm. de profondeur dans une planche de 4 centimètres d'épaisseur, ainsi qu'il est indiqué dans la figure 85.

Le commutateur oscillant se compose de deux forts morceaux de fil de cuivre  $a$  (fig. 87) fixés par leur milieu au petit arbre  $d$ , et isolés de ce dernier. Cet arbre est placé sur des supports appropriés, il porte à sa partie inférieure une armature de fer qui oscille entre les deux électros  $M_1$  et  $M_2$ . Il est évident que si  $M_1$  est excité, l'armature sera attirée vers la gauche, l'arbre tournera légèrement, et les contacts s'établiront en  $q$  et  $s$ , tandis qu'ils seront ouverts en  $m$  et  $n$ . Si  $M_2$  est excité, l'opération inverse aura lieu.

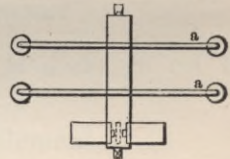


Fig. 87.

Si nous nous reportons maintenant à la figure 85, nous verrons que l'élément de commande  $E$ , qui sert à exciter les électros  $M_1$  et  $M_2$  et qui peut être constitué par un élément primaire ou secondaire quelconque, est connecté de telle sorte, sur les plots de contact et sur la manette, que, lorsque la manette touche  $c'$  et  $c'''$ ,  $M_1$  est excité et lorsque la manette touche  $c''$  et  $c''''$ ,  $M_2$  se trouve excité.

L'on réglera les contacts de telle sorte que le temps qui s'écoule entre le passage d'un contact au suivant soit exactement de trois heures. L'on établira ensuite les connexions ainsi qu'il est indiqué.

L'on réglera  $R_1$  et  $R_2$  de telle sorte que le courant qui les traverse, lorsqu'on ferme les circuits de charge ou de décharge, soit celui correspondant au régime en trois heures, et alors l'on sera prêt à commencer l'essai. Par précaution il sera bon de monter sur l'arbre  $d$  un compteur de tours, qui indiquera le nombre de cycles auxquels a été soumis l'élément.

Si, à la fin de la 150<sup>e</sup> décharge, l'élément est encore en bon état, l'on pourra le considérer comme ayant une bonne durée. L'apparence des plaques indiquera si oui ou non elles peuvent supporter le travail qu'on en a promis, ou si elles peuvent en supporter davantage.

---

## APPENDICE A LA PREMIÈRE PARTIE

---

### TABLEAU DES ÉQUIVALENTS DE L'ÉNERGIE

Si l'on suppose que le voltage moyen à la décharge est de 1,94 volt par élément, l'on aura :

379 ampères-heure = 1 cheval-heure par élément.

516 — — = 1 kilowatt —

1 — — = 0,0026 H. P. heure.

— — = 0,0205 kilowatt-heure.

1 watt-heure = 0,001358 cheval-heure.

— = 367 kilogrammètres.

— = 3600 joules.

### PLOMB

Conductibilité = 7 p. 100 de celle du cuivre (approximativement).

Résistivité = 14 fois celle du cuivre.

Densité de courant que l'on peut admettre : 10 à 13 ampères par centimètre carré.

### TABLEAU DES VOLTAGES DANS UN BAIN D'ACIDE SULFURIQUE DE POIDS SPÉCIFIQUE, 1,200

Plomb	électro-positif et peroxyde de plomb,	1,46.
Plomb spongieux	— — —	2,00.
— —	— — —	plomb.
— —	— — —	antimoine. 0,52.
Plomb antimonieux	— — —	peroxyde de plomb. 1,4.
— —	— — —	antimoine. 0,22.

## DÉPÔT DU PLOMB

Le poids de plomb déposé par le courant électrique, par centimètre carré de surface de cathode est égal à  $3,847 \times \frac{I \times T}{S}$  grammes. Dans cette formule :

I = courant en ampères.

T = temps en heures.

S = surface de la cathode en centimètres carrés.

Le poids total du plomb déposé est égal à  $3,847 \times I \times T$ , soit 3,847 grammes par ampère-heure.

## DIVERS

Le poids en grammes d'un volume donné d'une substance quelconque est égal à ce volume multiplié par le poids spécifique ou par la densité. L'on déterminera ainsi le poids d'un volume donné d'électrolyte.

L'augmentation de volume du plomb transformé en  $PbO^2$  est de 40 p. 100.

L'augmentation de surface du plomb transformé en  $PbO^2$  est de 25,3 p. 100.

L'augmentation de longueur du plomb transformé en  $PbO^2$  est de 11,9 p. 100.

## TABLEAU DES POIDS SPÉCIFIQUES

Plomb métallique, 11,4.

Plomb spongieux, 8,2.

Peroxyde de plomb, 6,8 à 9,4.

Litharge, 9,4.

Minium, 9,4.

Antimoine, 6,7.



## DEUXIÈME PARTIE

### APPAREILLAGE AUXILIAIRE. — APPLICATIONS

---

#### CHAPITRE XXIII

##### EMPLOI DES BATTERIES

Les batteries d'accumulateurs sont employées principalement dans les stations centrales et dans les stations de distribution d'énergie pour : 1° emmagasiner l'énergie électrique ; 2° régulariser la charge de la station ; 3° régulariser le voltage de la station ; 4° compenser la perte dans les feeders ; 5° comme secours en cas d'accident aux machines ; 6° comme égalisatrices dans les distributions à trois fils ; 7° enfin les batteries peuvent être destinées à remplir en même temps plusieurs ou même tous les différents emplois que nous venons de citer.

1° L'on sait que la charge d'une station électrique d'éclairage, de quelque nature qu'elle soit, diffère de celle d'une filature ou de toute autre manufacture en ce qu'elle varie dans les vingt-quatre heures d'un minimum à un maximum. Elle diffère également en ce que dans le cas d'une filature, la consommation de charbon et le prix de revient du cheval-heure sont beaucoup moindres, une telle installation n'étant pas soumise aux fluctuations de charge qui affectent les stations centrales. Lorsque l'on fait une installation, l'on doit chercher de quelle manière l'on supportera la charge maximum qui ne dure en général que peu de temps. L'on examinera s'il est préférable d'installer suffisamment de machines et de chaudières pour pouvoir supporter cette charge ; (l'on devra alors en supprimer un certain nombre pendant vingt heures sur vingt-quatre) ; ou s'il vaut mieux installer une batterie pour faire

la pointe. Dans ce dernier cas, l'on devra déterminer la portion de la pointe que devra fournir la batterie.

L'on mettra la batterie en charge lorsque la charge du réseau sera faible, on la mettra en décharge au moment de la forte charge du réseau; elle égalisera ainsi la charge des machines génératrices et par conséquent améliorera leur rendement, en même temps qu'elle fournira la puissance nécessaire pour le moment de la charge maximum.

Mais d'autre part les pertes de rendement dues à l'emploi d'une batterie peuvent compenser tous ces avantages.

Donc l'intérêt qu'il y aura à employer une batterie, et, ce point étant établi, le rapport de la capacité de la batterie à celle de l'équipement de la station dépendront :

- a) De la nature de l'équipement de la station ;
- b) Du prix du charbon ;
- c) Du prix de la main-d'œuvre ;
- d) De la nature du service ;
- e) Des variations de la charge ;
- f) Du prix de la batterie.

Le prix de la main-d'œuvre n'entrera en considération que dans le cas où la batterie sera suffisamment puissante pour que l'on puisse éteindre une partie ou même toutes les chaudières pendant une assez longue partie de la durée de l'éclairage. L'on pourra en effet durant ce temps se passer d'une partie ou même de tout le personnel. Ce cas se présente souvent dans des installations isolées qui n'ont à supporter qu'une charge très faible pendant la nuit.

La nature de l'équipement générateur permettra de déterminer la consommation de charbon pour un débit journalier donné et variant dans de larges limites ; elle permettra aussi de déterminer la différence qu'il y aurait eu dans la consommation de charbon si le même nombre de chevaux-heure avait été produit à puissance constante. Le prix de la tonne de charbon permettra de déterminer le bénéfice réalisé par une marche à charge constante.

La nature du service à effectuer doit entrer en considération en dehors de la question d'économie. Pour certains services la bat-

terie devient une nécessité, toute considération financière mise à part. Nous citerons par exemple le cas d'une génératrice alimentant en même temps un circuit d'éclairage et des monte-charges. Sans batterie, les variations de la lumière au moment du démarrage d'un monte-charge sont intolérables. Une batterie supportera les variations de la charge et évitera ainsi cet inconvénient. Toutefois ce cas appartient plutôt au paragraphe relatif à la régulation de voltage qu'à celui des batteries-réservoir. L'on détermine d'après la courbe des variations de la charge, la consommation de charbon, ainsi que la capacité de la batterie et de son survolteur. Le prix d'installation de la batterie, c'est-à-dire la différence entre le prix total de l'installation avec et sans batterie indiquera l'augmentation du capital nécessaire et par conséquent l'augmentation des intérêts et des frais d'amortissement qui en résultent. Cette quantité est souvent négative, c'est-à-dire que le prix de l'équipement avec batterie est souvent moindre que le prix de l'installation de génératrices suffisamment puissantes pour pouvoir supporter la charge maximum de la station.

2° *Régulation de la charge.* — La fonction d'une batterie employée comme régulatrice est d'empêcher les fluctuations de la charge sur la génératrice. La génératrice débitera un courant constant tandis que la charge du circuit qu'elle alimente aura des fluctuations rapides au-dessus et au-dessous de son débit propre. Les différences seront absorbées ou fournies par la batterie, c'est-à-dire que la batterie reçoit du courant lorsque la charge sur le circuit extérieur est inférieure à la puissance normale de la génératrice, et elle se met en décharge lorsque la demande est supérieure à la puissance normale de la génératrice. Le régime de charge et de décharge est donc égal, à chaque instant, à la différence entre le courant débité par la génératrice et le courant qui circule dans le circuit extérieur.

Le fonctionnement des machines à vapeur est défectueux lorsqu'il se produit de rapides fluctuations de la charge, la rapidité des variations donne des à-coups dans les machines et les fausse, ce qui augmente l'usure et entraîne à de plus fréquentes réparations. L'installation d'une batterie sur une distribution de ce

genre entraîne une diminution notable dans la dépense en charbon, améliore la marche générale de l'installation, diminue l'entretien, et en outre, dans bien des cas, entraîne la suppression d'une ou de plusieurs machines. Ainsi qu'on l'a vu, le rendement d'une batterie qui passe alternativement, à de courts intervalles, de la charge à la décharge est très élevé, c'est précisément ce qui se produit dans le cas qui nous occupe ; de plus, la quantité d'énergie qui passe dans les batteries est très faible en comparaison de la puissance totale de l'installation, les pertes dans la batterie étant proportionnellement faibles, le rendement électrique ne se trouve pas sensiblement diminué, tandis que le rendement général de l'installation est considérablement accru. Il est évident que l'on pourra employer en même temps la batterie à absorber les fluctuations momentanées, et à supporter la pointe lorsque la moyenne du débit augmentera.

3° *Régulation du voltage.* — La régulation du voltage s'obtient par la régulation du débit des machines de la station. Certains services exigent la régulation du voltage, bien que la régulation du débit en elle-même ne soit pas nécessaire.

4° *Compensation de la perte dans les feeders.* — Lorsque l'on installe des batteries à l'extrémité de longs feeders dont la charge est soumise à des fluctuations rapides et violentes, et dont la chute de voltage ne doit pas excéder une certaine valeur, l'on fait une forte économie de cuivre, qui, dans bien des cas, dépasse le coût de la batterie.

Sans la batterie, la section du feeder doit être suffisante pour pouvoir supporter le courant maximum sans que la chute de voltage dépasse la limite prescrite, tandis qu'avec la batterie la section du feeder devra être seulement suffisante pour pouvoir supporter le courant moyen. Dans ce cas, le rapport entre le courant moyen et le courant maximum indiquera si l'emploi d'une batterie présente de l'intérêt. Ici aussi, la batterie a pour effet d'égaliser les fluctuations instantanées de la charge à la station et sur les génératrices, elle peut également fournir partiellement la pointe.

5° *Sécurité en cas d'accident.* — Dans certains cas la batterie sert uniquement de secours en cas d'accident. Par exemple lorsqu'elle est mise en parallèle sur les barres d'excitation dans une grande station de distribution de force par courants alternatifs. Dans ce cas, une excitatrice venant à manquer provoquerait l'arrêt de l'usine, la présence d'une petite batterie maintenue chargée évitera un tel accident; elle ne travaillera pas et ne sera pas une source de revenus, mais la sécurité qu'elle procure en justifie la dépense.

Toutefois, en règle générale, les batteries sont installées en même temps pour absorber les fluctuations, pour supporter les pointes, et comme secours en cas d'arrêt. Une batterie est capable de remplir en même temps toutes ces fonctions.

6° *Batteries fonctionnant comme égalisatrices dans une distribution à trois fils alimentée par des génératrices de 240 volts.* — Lorsqu'une batterie sert d'égalisatrice, elle est connectée sur les deux fils extrêmes; le fil neutre est relié au centre de la batterie. Lorsque les ponts ne seront pas équilibrés, l'une des demi-batteries recevra de la charge et l'autre sera en décharge.

7° Il y a beaucoup de combinaisons différentes de toutes les fonctions importantes que peuvent remplir les batteries; nous expliquerons clairement dans la suite les plus importantes d'entre elles par des exemples.

---

## CHAPITRE XXIV

### ÉLÉMENTS DE RÉDUCTION

Le voltage aux bornes d'une batterie d'accumulateurs est variable, il diffère suivant son état de charge, et suivant le sens du courant qui la traverse; l'on doit prendre des dispositions spéciales pour compenser ces variations et maintenir un voltage constant aux bornes de la ligne qu'alimente la batterie.

Pour arriver à ce résultat, l'on peut employer :

1° Des résistances variables;

2° Des éléments de réduction;

3° Des éléments en opposition;

4° Des survolteurs;

5° Une combinaison des méthodes précédentes.

Reportons-nous à la figure 88, MM' sont les barres de distribution; AC la batterie; 1, 2, 3, 4 et 5 des plots reliés chacun à l'un des éléments de réduction; L est une manette de contact mobile reliée à la barre de distribution M. Lorsqu'une batterie est complètement chargée, le voltage au début de la décharge est d'environ 2,08 volts par élément, et, si MM' est un circuit à 110 volts, le nombre d'éléments devra donc être alors de  $\frac{110}{2,08} = 53$ .

Mais vers la fin de la décharge, l'on n'a plus que 1,80 volt par élément en circuit; le nombre d'éléments devra donc être alors de  $\frac{110}{1,8} = 61$ . Il est, par conséquent, nécessaire de faire varier graduellement le nombre d'éléments en circuit de 53 à 61 du commencement à la fin de la décharge. L'installation comportera 61 éléments et huit d'entre eux seront des éléments de réduction dont les bornes seront reliées aux différents plots du réducteur. Les réducteurs sont étudiés en détails dans les chapitres xxvii et xxviii.

Les plots du réducteur doivent avoir une section suffisante pour pouvoir supporter le courant de décharge maximum, car au

cours de la manœuvre de la manette pendant la décharge chacun d'eux sera traversé pendant un certain temps et successivement par le courant total de décharge.

Comme les éléments de réduction ne sont mis que graduellement en circuit à la décharge, il n'est évidemment pas nécessaire qu'ils aient une capacité égale à celle des éléments formant le corps de la batterie. Théoriquement la dimension de ces éléments devrait aller en diminuant, le dernier élément de réduction serait alors le plus petit, tandis que l'élément relié à l'autre extrémité du

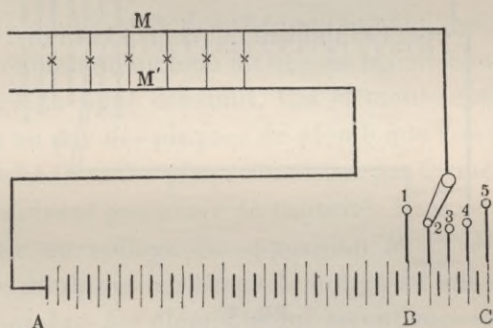


Fig. 88.

réducteur aurait la même capacité que les éléments du corps de batterie. Toutefois, en pratique, tous les éléments d'une même batterie sont semblables, et, dans le cas de diminution de capacité ou d'accident à un élément, l'on peut lui substituer un élément de réduction dont il vient alors prendre la place; sa capacité est alors en général suffisante pour pouvoir assurer le service comme élément de réduction.

Lorsque l'on charge l'élément de réduction extrême, c'est-à-dire celui qui a été mis en décharge en dernier lieu, sa charge est rapidement terminée puisqu'il a fourni fort peu de courant. Il faudra alors enlever cet élément chargé du circuit en amenant la manette du réducteur sur le plot suivant. Lorsque l'élément suivant sera complètement chargé, on l'enlèvera également du circuit par une nouvelle manœuvre du réducteur et l'on continuera de la même manière jusqu'à ce que tous les éléments de réduction aient été supprimés du circuit. Les éléments du corps de batterie restent continuellement en charge pendant la charge

des éléments de réduction. Il faut prendre grand soin de supprimer les éléments de réduction à mesure qu'ils sont chargés, sans quoi ils se trouveraient soumis à des surcharges qui pourraient être suffisamment importantes pour les détériorer.

La figure 89 représente un type d'installation où la capacité des éléments de réduction devra être supérieure à celle des éléments du corps de batterie. L'on doit pouvoir faire varier le voltage

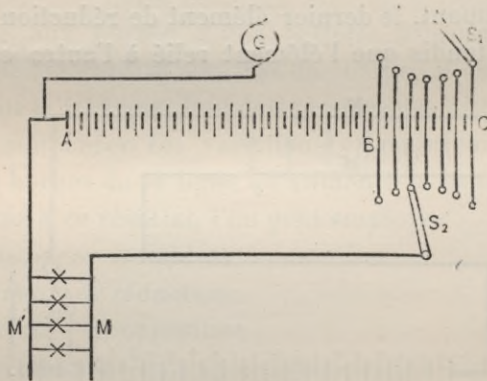


Fig. 89.

de la génératrice au-dessus de celui du circuit d'utilisation  $MM'$ .  $AB$  représente le corps de batterie et  $BC$  les éléments de réduction. En  $S_1$  et  $S_2$  sont les réducteurs.

Le voltage maximum de la génératrice doit être suffisant pour pouvoir charger tous les éléments de la batterie en série; lorsque l'on charge la batterie, la manette  $S_1$  est ramenée vers  $B$  et supprime progressivement les éléments de réduction. L'on place alors la manette  $S_2$  sur le plot donnant le nombre d'éléments nécessaire pour avoir le voltage voulu aux barres de distribution  $MM'$ .

Il est évident que le courant qui circule dans  $AB$  est le courant de charge, tandis que le courant qui traverse les éléments de réduction compris entre les deux manettes  $S_1$  et  $S_2$ , est égal au courant qui passe dans  $AB$ , plus le courant utilisé dans la distribution. Par conséquent, dans ce cas, les éléments de réduction devront être suffisamment grands pour pouvoir supporter le courant total que débite la machine. Le nombre d'éléments de réduction est le même dans tous les cas, il est d'environ 13,5 p. 100 du nombre total des éléments de la batterie.



## CHAPITRE XXV

### ÉLÉMENTS EN OPPOSITION

L'on emploie quelquefois des éléments en opposition au lieu d'éléments de réduction, ou bien au lieu de résistances pour maintenir le voltage de ligne constant. Ces éléments sont constitués par des grilles ou par des plaques de plomb que l'on plonge dans l'électrolyte ordinaire. Ces plaques ne sont pas formées ni empâtées, elles ne doivent pas avoir de capacité. Leur seule fonction sera de fournir un voltage en opposition avec le courant de décharge et de diminuer le voltage de la ligne d'une quantité qui dépendra du nombre des éléments qui seront mis en opposition avec la force électromotrice de la batterie. Lorsque le voltage de la batterie diminue, l'on supprime les éléments en opposition et le voltage de la ligne reste invariable.

Il faudra le même nombre d'éléments pour la batterie que s'il était fait usage d'éléments de réduction, c'est-à-dire que le nombre d'éléments devra être de  $\frac{E}{1,8}$  où E est le voltage de l'installation.

Il faudra le même nombre d'éléments en opposition qu'il aurait fallu d'éléments de réduction si l'on en avait employé, c'est-à-dire 13,5 p. 100 du nombre total d'éléments de la batterie. Les éléments en opposition devront être connectés à un commutateur multiple comme les éléments de réduction. L'on voit, par conséquent, que les éléments en opposition ne diminuent en aucune façon l'installation; leur emploi ajoute au contraire 13,5 p. 100 d'éléments d'un type différent de ceux généralement employés, ils compliquent ainsi l'installation dont le coût est, en outre, augmenté du prix de ces éléments. Aussi ces éléments sont-ils rarement employés, et il serait d'une mauvaise pratique d'adopter ce système, si ce n'est dans les installations où l'on ne peut sur-

veiller la charge de la batterie. Le seul avantage de ce système est que tous les éléments de la batterie travaillent uniformément à la charge et à la décharge, tandis que dans le cas des éléments de réduction, ceux-ci ne fournissent jamais leur capacité entière et ils risquent d'être fortement surchargés, si l'on ne surveille pas la charge, et si l'on ne manœuvre pas le réducteur à mesure que les éléments sont chargés.

De fait, en pratique, les éléments de réduction sont presque toujours en meilleur état que les éléments du corps de batterie et il ne faut pas une grande attention pour éviter les surcharges nuisibles. Aussi, à de rares exceptions près, les éléments en opposition n'ont-ils pas place jusqu'à présent dans la pratique des accumulateurs.

---

## CHAPITRE XXVI

### RÉSISTANCES

L'on emploie souvent des résistances pour la régulation du voltage, dans les petites installations pour lesquelles l'on recherche surtout la simplicité et le bon marché, et où la question de rendement est de moindre importance.

Ces résistances peuvent avoir une forme quelconque et peuvent être constituées avec toute matière offrant de la résistance au passage du courant. L'on emploie le plus généralement du fer ou du maillechort, bien que l'on puisse aussi employer des lames de charbon empilées, et que les résistances ainsi constituées soient peu coûteuses, peu volumineuses et facilement réglables.

L'on pourra trouver dans différents ouvrages des données sur les résistances métalliques, aussi n'en parlerons-nous pas ici.

Il ne sera pas inutile que nous donnions ici une description détaillée des résistances en charbon. L'on peut leur donner la forme représentée dans la figure 90. La résistance représentée dans cette figure est constituée par des lames de charbon de 6 millimètres d'épaisseur et ayant une surface de 25 centimètres carrés, empilées les unes sur les autres de façon à former un prisme de charbon de 56 centimètres de hauteur et contenant 88 plaques. La plaque inférieure est fixée au support en fer et est solidement reliée au conducteur allant à l'une des bornes. La plaque supérieure est reliée à l'autre borne. Les deux bornes sont fixées sur la plaque de fer qui forme la partie supérieure du châssis.

Les lames de fer à la base et au sommet sont assemblées au moyen de quatre tiges de fer qui traversent les quatre coins de ces plaques. Les parties inférieures de ces tiges sont filetées et munies d'écrous. Ces tiges passent à travers de longs tubes en

porcelaine; elles constituent ainsi un châssis qui sert à guider et à maintenir en place les lames de charbon. Les tubes de porcelaine sont destinés à l'isolement des tiges, ils constituent en même temps les pièces d'écartement entre lesquelles les lames de fer supérieure et inférieure sont fortement serrées au moyen des écrous dont sont munies les tiges de fer.

Les tiges sont, de plus, isolées dans la traversée des deux plaques de fer, de façon que le courant ne puisse aller d'une extrémité à l'autre de la pile qu'en traversant les lames de charbon.

La plaque de fer supérieure est traversée en son milieu par une vis de réglage; cette vis porte à son extrémité une lame de fer plate qui vient faire serrage sur la lame de charbon supérieure. L'on règle au moyen de cette vis la pression entre les lames de charbon, ce qui permet de faire varier à volonté la résistance.

La pile de charbon que représente la figure et dont nous avons donné les dimensions, peut supporter 25 ampères sous une résistance minimum de deux ohms et dissiper, par conséquent, 1 250 watts.

Si l'intensité du courant est trop élevée, il pourra se produire des étincelles de plaque à plaque.



Fig. 90.

## CHAPITRE XXVII

### RÉDUCTEURS

Lorsque l'on emploie pour la régulation des éléments de réduction, l'on installe un commutateur spécial que l'on appelle réducteur. Le but de cet appareil est d'ajouter des éléments ou d'en retrancher du circuit lorsque cela est nécessaire, de façon à maintenir un voltage constant sur la ligne. Ces commutateurs se composent en général d'un nombre de plots égal au nombre des éléments de réduction plus un et d'une manette de contact mobile. Chaque élément de réduction est relié à l'un des plots de contact; les connexions sont faites dans un ordre régulier, de telle sorte que les éléments voisins soient reliés aux plots de contact voisins. La figure 91 donne le schéma des connexions, il est évident que lorsque la manette avance vers la gauche l'on ajoute graduellement des éléments au circuit.

Le réducteur est plus compliqué qu'un commutateur ordinaire parce que l'on doit éviter de couper le circuit en passant d'un plot au suivant et aussi de mettre un élément en court-circuit. Reportons-nous à la figure 91, nous voyons que si l'extrémité A de la manette K quitte le contact 1 avant d'atteindre 2, le circuit de lumière sera coupé. Si, d'autre part, elle atteint 2 avant d'avoir quitté 1, l'élément n° 1 sera mis en court-circuit.

Il y a trois méthodes pour éviter ce court-circuit lorsque la manette frotte à la fois sur deux contacts voisins. Ces méthodes consistent à :

- 1° Avoir une manette à deux frotteurs reliés par une résistance;
- 2° Avoir deux contacts reliés par une résistance sur chaque connexion d'élément de réduction;
- 3° Interposer dans le circuit des éléments en opposition.

La première de ces méthodes est la plus universellement employée, elle convient pour tous les cas. La figure 92 en indique le principe. 1, 2 et 3 sont des plots reliés aux éléments de réduction. A est le frotteur mobile principal; B est un frotteur auxi-

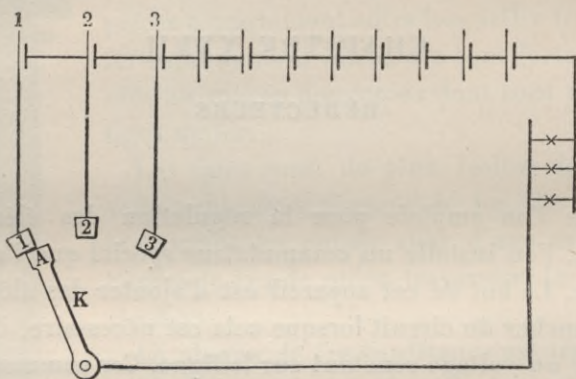


Fig. 91.

liaire fixé à A par l'intermédiaire d'une pièce isolante C, et R est une résistance reliant A à B. La manette est représentée au moment où elle passe du plot 1 au plot 2. A n'a pas quitté 1; B est sur 2

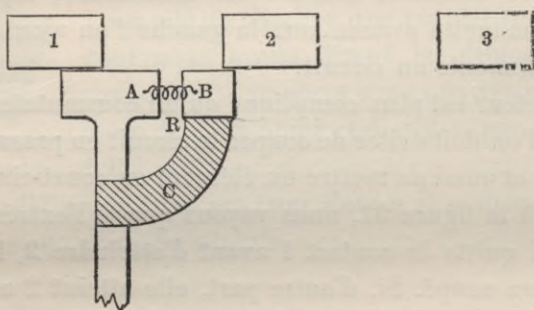


Fig. 92.

et, par conséquent, le circuit ne sera pas coupé. Le courant venant de 2 traverse R pour passer dans le circuit extérieur; R est une résistance assez faible pour ne pas provoquer une chute sensible dans le circuit extérieur, et suffisante pourtant pour que l'élément ne soit pas mis en court-circuit et ne subisse pas une décharge exagérée; ceci est possible, car si la résistance est faible

le voltage de court-circuit est également faible, puisque c'est le voltage d'un seul élément, c'est-à-dire deux volts.

La figure 93 représente l'un des dispositifs de la méthode employant un contact double pour chaque connexion avec une résistance intercalée entre les deux contacts. *a, a, a, a* sont les câbles principaux reliés à leurs plots respectifs; *b, b, b, b* sont des connexions auxiliaires reliés aux plots auxiliaires, ce sont des résistances métalliques — généralement en fer — qui s'opposent suffisamment au passage du courant pour que les courts-circuits soient évités. Par le fait la résistance peut être placée

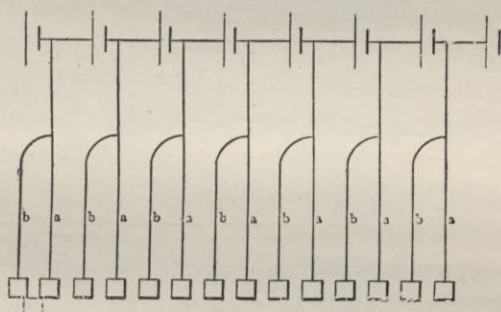


Fig. 93.

n'importe où et connectée d'une façon quelconque, pourvu qu'elle soit interposée dans le circuit au moment où l'on met deux plots voisins en court-circuit.

Les réducteurs de petites dimensions sont en général circulaires, c'est-à-dire que les plots sont placés autour d'un axe ou d'un pivot central autour duquel tourne la manette.

La figure 93 bis donne l'élévation et la coupe d'un réducteur de ce genre pour 11 éléments et pouvant supporter un courant normal de 300 ampères. Les bords des pièces de contact ont une direction radiale, elles sont séparées par une distance de 3 centimètres. Les bornes d'arrivée des câbles aux plots sont indiquées derrière le tableau.

Les espaces libres entre les touches sont comblés avec de petites lames de fibre soigneusement ajustées, de telle sorte que la surface de contact de plot à plot soit unie et douce.

En dessous de la manette A, se trouve un frotteur à lame

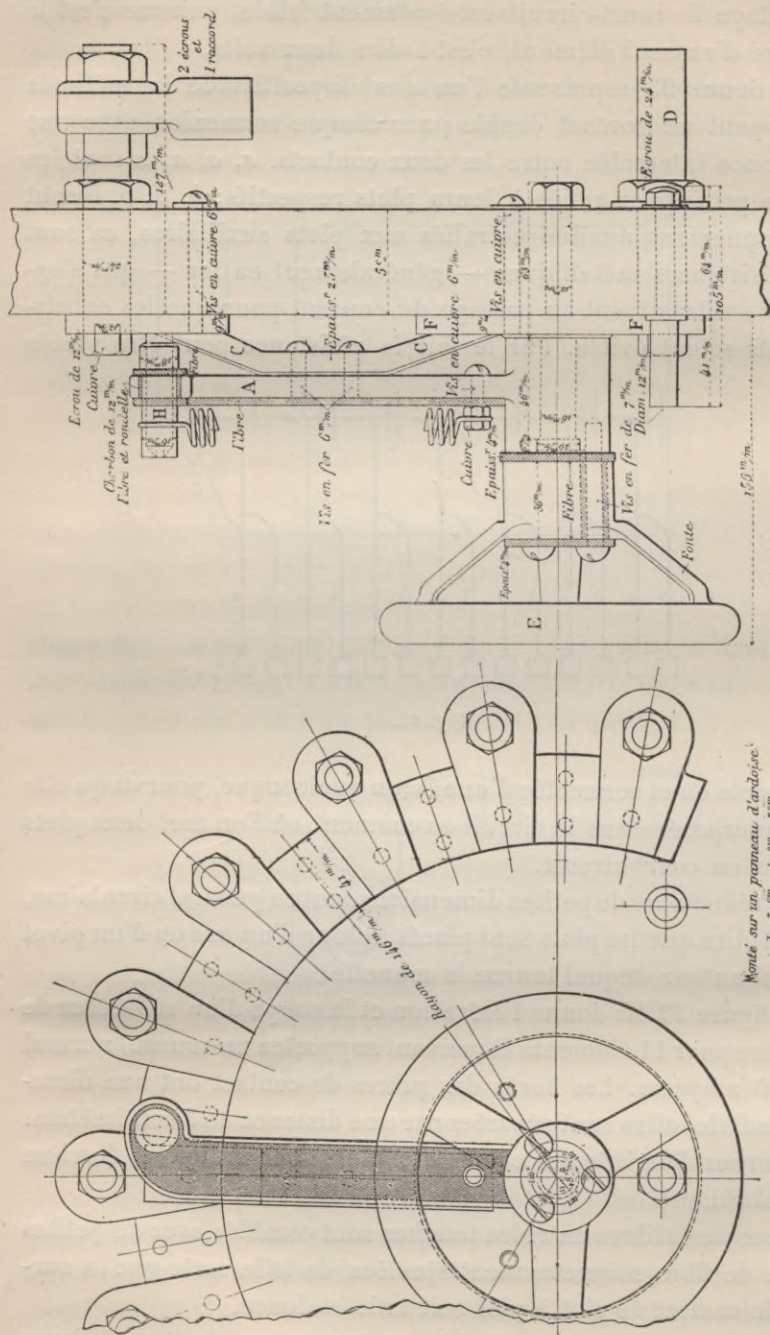


Fig. 93 bis.



double C; l'extrémité de ce frotteur la plus éloignée du centre se déplace sur la voie circulaire formée par les plots de contact et la fibre lorsque l'on manœuvre à la main la roue E; l'on peut donc placer cette extrémité sur l'un quelconque des plots.

L'extrémité du frotteur la plus rapprochée du centre appuie sur un plateau circulaire en cuivre F, lequel est relié à une borne D.

Comme le contact mobile relie la bague F à l'un quelconque

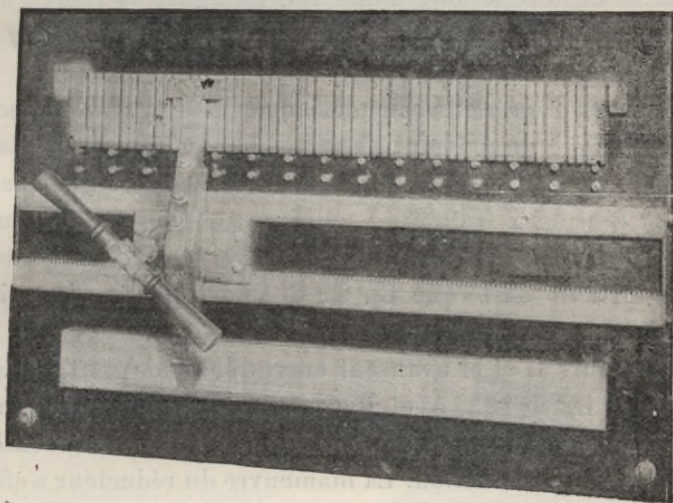


Fig. 94.

des plots, l'on pourra relier l'un quelconque des éléments de réduction à la borne D.

Le contact auxiliaire qui évite l'interruption du courant lorsqu'on passe d'un plot au suivant, est représenté en H; il se compose d'un cylindre de charbon de 15 millimètres de diamètre fixé dans un trou à l'extrémité de la manette A.

Comme on le voit, ce trou est percé dans un renfort de la manette de contact et, par conséquent, avance en avant ou en arrière de la pièce principale de contact C, suivant que l'on fait tourner la roue E dans un sens ou dans l'autre. Le trou est garni de fibre (voir la section) et le contact en charbon est, par conséquent, isolé de la manette et du contact mobile principal. La manette et, par conséquent le contact mobile principal est

reliée au contact en charbon par l'intermédiaire d'une résistance en maillechort.

Notons ici que les densités de courant normales sont de 9 à 11 ampères par décimètre carré pour les frotteurs ordinaires et de 35 à 40 ampères par centimètre carré pour les contacts à lames. L'on emploie presque exclusivement ce dernier type pour les réducteurs de 300 ampères et au-dessus.

Les réducteurs pour les fortes intensités sont rectilignes et le frotteur se déplace le long d'une vis. La figure 94 représente un réducteur de ce type construit par l'*Electric Storage Battery Company*.

La figure 95 représente schématiquement le type de réducteurs où l'on emploie un élément en opposition au lieu de résistances. L'on voit qu'il y a deux séries de plots, deux barres de contact A et B et deux frotteurs L et M. Les éléments de réduction sont reliés directement à  $C_1, C_2, C_3$  et à  $C'_1, C'_2, C'_3$ . Les plots sont espacés de telle sorte que  $C_2, C_3, C_4$  soient placés vis-à-vis des intervalles entre  $C'_1, C'_2, C'_3$ .

Les curseurs L et M avancent ensemble, mais sont isolés l'un de l'autre; les barres A et B sont également isolées l'une de l'autre. T est la borne d'arrivée du circuit d'utilisation aboutissant aux éléments de réduction. La manœuvre du réducteur s'effectue comme suit :

Dans la position représentée sur la figure,  $C_2$  est relié par le frotteur M à la barre A, et, par conséquent, à T; L est alors placé sur un intervalle et, par conséquent, hors circuit. Lorsque L et M avancent vers la droite, le frotteur L atteint le plot  $C'_3$  qu'il réunit à la barre B avant que M ait quitté C; alors le courant pour gagner le circuit d'utilisation T doit traverser l'élément E qui engendre une force électromotrice de plus de 2 volts; aussi, bien qu'à ce moment les bornes de deux éléments voisins soient reliées à T, leur mise en court-circuit se trouvera évitée par suite de la force contre-électromotrice de E.

En continuant à faire avancer les curseurs, L recouvrira entièrement le plot  $C'_3$  tandis que M sera sur un intervalle; tout le courant passera alors par E, et bien qu'on ait ajouté un élément au circuit, il ne se produira aucune élévation de voltage, parce

que la force contre-électromotrice de E neutralisera le voltage de l'élément ajouté. Les curseurs L et M avançant toujours,

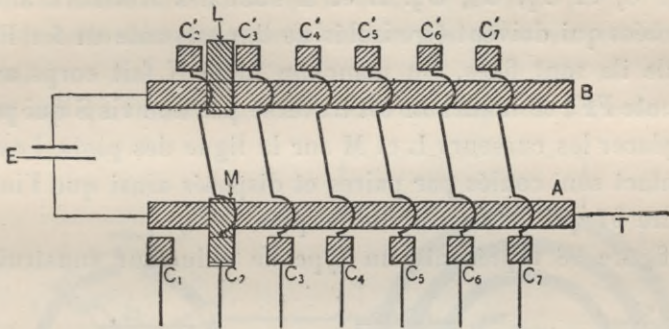


Fig. 95.

M atteindra  $C_3$ , et à partir de ce moment le voltage de la distribution sera accru. Enfin lorsque M arrivera à sa position finale sur  $C_3$ , le curseur L sera sur un intervalle.

Il est évident que l'on pourrait également mettre une résistance entre A et B, à la place de l'élément E pour éviter la mise en court-circuit des éléments de réduction.

L'on peut modifier ce réducteur de bien des manières tout en en maintenant le principe; par exemple, l'on peut placer  $C_1, C_2, C_3$ , juste en face ou en dessous de  $C'_1, C'_2, C'_3$  et décaler un des curseurs par rapport à l'autre d'une longueur égale à la moitié du pas d'espace des plots.

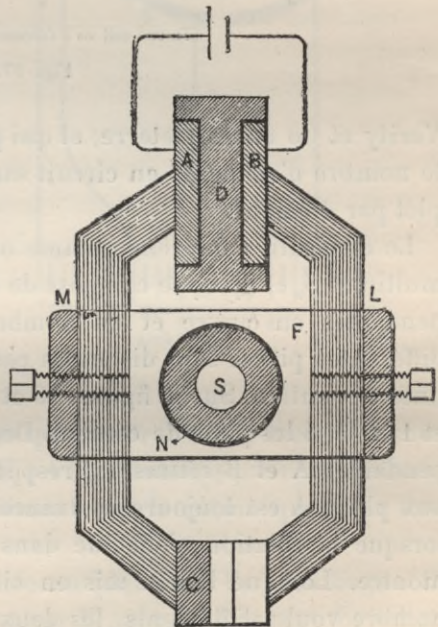
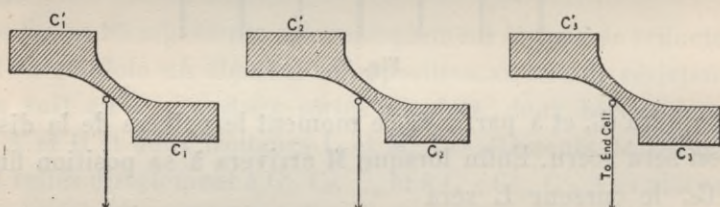


Fig. 96.

La figure 96 indique comment l'on construit en général ces réducteurs dans la pratique. Les barres de contact A et B sont

montées de part et d'autre d'une barre longitudinale D et isolées les unes des autres. En dessous ou en face se trouvent les contacts  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C'_1$ ,  $C'_2$ ,  $C'_3$ . L et M sont des frotteurs à lames recourbées qui doivent être isolés de la charpente en fer FF sur laquelle ils sont fixés. Un manchon fileté N fait corps avec la charpente FF; ce manchon est traversé par une vis S qui permet de déplacer les curseurs L et M sur la ligne des plots. Les plots de contact sont coulés par paires et disposés ainsi que l'indique la figure 97 qui les représente en plan.

La figure 98 représente un type de réducteur construit par



To end cell = à l'élément de réduction.

Fig. 97.

Verity et Co en Angleterre, et qui permet de changer un par un le nombre d'éléments en circuit sans qu'il soit besoin d'avoir un plot par élément.

Le dispositif comprend comme on le voit deux commutateurs multiples  $S_1$  et  $S_2$ .  $S_1$  se compose de deux bagues de contact indépendantes en cuivre et du nombre de plots nécessaires; ces différentes pièces sont disposées concentriquement et isolées les unes des autres. Sur la figure, 10 et 11 sont les bagues de contact et 1, 2, 3, 4 les plots de contact. Deux manettes de contact indépendantes A et B réunissent respectivement les bagues 10 et 11 aux plots. A est toujours en avance sur B d'une quantité donnée lorsque la rotation s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre. Lorsque l'on a mis en circuit ou retiré du circuit le nombre voulu d'éléments, les deux manettes doivent se trouver arrêtées sur le même plot.

Entre chaque plot et le suivant se trouve connecté comme on le voit un groupe de quatre éléments. Donc en passant d'un plot au suivant l'on ajoute ou l'on retranche quatre éléments du cir-

cuit.  $S_2$  se compose de quatre plots de contact et d'une manette mobile C portant à son extrémité un frotteur double avec une résistance intercalée ainsi qu'elle a été décrite plus haut. Le centre de cette manette est relié à l'un des pôles du circuit d'utilisation.

L'on voit qu'en plus des éléments du corps de batterie et des

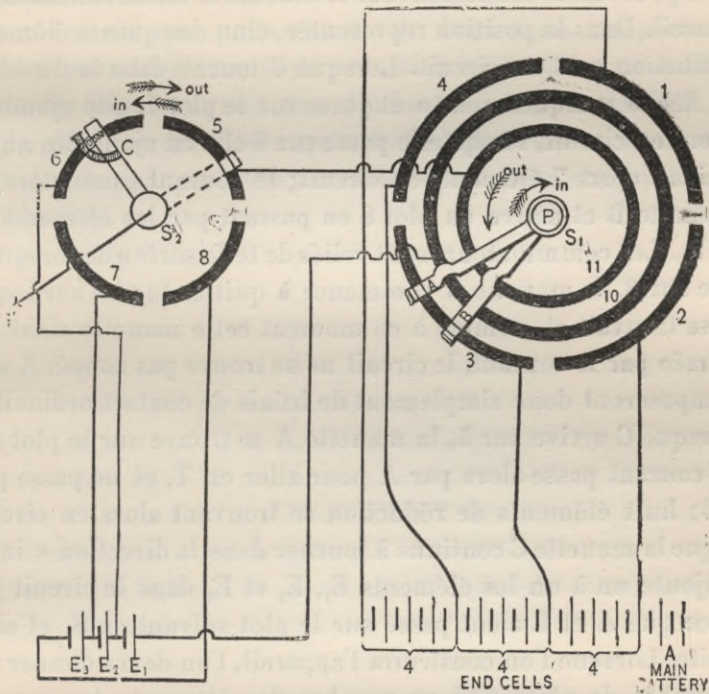


Fig. 98.

éléments de réduction groupés par quatre, il y a trois éléments de réduction additionnels  $E_1$ ,  $E_2$ , et  $E_3$ . Toutefois pour une batterie donnée, le nombre total d'éléments est le même que dans tout autre mode de régulation.

La bague 11 de  $S_1$  est reliée au plot 5 de  $S_2$  et la bague 10 est reliée au plot 6 en passant par  $E_1$ , c'est-à-dire que  $E_1$  est en série avec 11 et le plot 6.  $E_2$  est en série avec 6 et 7 et  $E_3$  avec 7 et 8.

A B et C sont reliés entre eux de telle sorte que A et B avancent d'un plot sur  $S_1$  lorsque C fait une révolution complète. Les com-

mutateurs  $S_1$  et  $S_2$  pourront être construits séparément et reliés ensuite par des engrenages, ou bien les plots de  $S_2$  pourront être concentriques à ceux de  $S_1$ , la manette C devra alors tourner autour du pivot P, mais elle devra être isolée électriquement de A et de B. Ce type de réducteur peut également être construit rectiligne.

L'on peut suivre facilement sur le schéma le fonctionnement de l'appareil. Dans la position représentée, cinq des quinze éléments de réduction sont en circuit. Lorsque C tourne dans la direction de la flèche marquée « in » et passe sur le plot 7, elle ajoute un élément en circuit, lorsqu'elle passe sur 8 elle en ajoute un autre, ce qui fait alors 7 éléments en circuit; le courant passe alors par la manette B et arrive au plot 8 en passant par les éléments  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$ . Les commutateurs sont reliés de telle sorte que lorsque C arrive sur 8, la manette A commence à quitter le plot sur lequel elle se trouvait et, comme à ce moment cette manette n'est pas traversée par le courant, le circuit ne se trouve pas coupé. A et B se composeront donc simplement de balais de contact ordinaires.

Lorsque C arrive sur 5, la manette A se trouve sur le plot n° 4 et le courant passe alors par A pour aller en T, et ne passe plus par B; huit éléments de réduction se trouvent alors en circuit. Lorsque la manette C continue à tourner dans la direction « in. », elle ajoute un à un les éléments  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  dans le circuit jusqu'à ce que A et B aient passé sur le plot suivant de  $S_1$  et ainsi de suite. Lorsque l'on construira l'appareil, l'on devra donner à  $S_2$  un nombre de plots égal au nombre des éléments des groupes connectés aux plots de  $S_1$ . Le nombre total d'éléments de réduction sera égal au nombre de plots de  $S_1$  multiplié par le nombre de plots de  $S_2$  moins un. Ce réducteur est très économique dans le cas de batteries installées sur des distributions à voltage élevé nécessitant un grand nombre d'éléments de réduction, ou dans le cas de fortes intensités; mais les types ordinaires de réducteurs reviendront à meilleur compte pour un petit nombre d'éléments de réduction, ou pour de faibles intensités.

L'une des principales économies — et même la plus grande — consiste dans la diminution du nombre des conducteurs allant des éléments au réducteur. Les réducteurs ne peuvent pas être

installés dans les locaux des batteries, parce que le cuivre est attaqué par les vapeurs acides, de plus, chaque élément de réduction doit être relié au réducteur par un conducteur capable de supporter le courant maximum qu'aura à fournir la batterie; le prix de ces câbles et de leur installation est quelquefois très élevé, il peut atteindre jusqu'à 15 p. 100 du prix total de l'installation.

Le réducteur que nous venons de décrire ne comporte que 8 câbles pour 15 éléments de réduction ou 9 câbles pour 19 éléments de réduction, soit une diminution de près de 50 p. 100 sur la dépense de cuivre qu'entraînerait l'emploi du système ordinaire, lequel comporte un câble séparé pour chaque élément de réduction.

## CHAPITRE XXVIII

### RÉDUCTEURS AUTOMATIQUES

Les réducteurs décrits précédemment se manœuvrent à la main, et exigent une certaine attention de la part de l'électricien qui conduit la station.

L'on construit des réducteurs qui sont actionnés par des moteurs dont la commande s'effectue au moyen d'un interrupteur ou d'un bouton de contact placé sur le tableau ; ces types de réducteurs donnent actuellement toute satisfaction. Ils évitent la manœuvre à la main de l'appareil.

En Amérique, ces appareils sont commandés par un petit interrupteur à deux directions que le surveillant ferme dans l'une ou l'autre direction, suivant le sens dans lequel il veut faire avancer le frotteur ; l'on met ensuite l'appareil en mouvement au moyen d'un bouton de contact. Toutefois en Europe, dans beaucoup d'installations, l'interrupteur de commande est manœuvré par un relai, lequel est actionné par un voltmètre à contact quelconque, par exemple un ressort commandé par un solénoïde. Ces appareils sont donc complètement automatiques. Ils sont toutefois un peu plus compliqués que les autres, et l'arrêt ou le non fonctionnement du contact ou du relai risquent de causer un préjudice à la batterie. Aussi ces appareils n'ont-ils jamais été employés en Amérique ; l'on emploie presque universellement les réducteurs semi-automatiques, c'est-à-dire dont l'interrupteur de commande est manœuvré à la main.

Le fait que le frotteur doit avancer chaque fois d'une distance définie rend la construction d'un réducteur automatique beaucoup plus compliquée qu'on ne le suppose tout d'abord. Si l'on fait fonctionner l'appareil et que le moteur qui entraîne la manette



s'arrête trop tôt ou trop tard, celle-ci se trouvera arrêtée dans une position intermédiaire, et pontera les deux plots voisins. Aussi un réducteur automatique doit être construit de telle sorte qu'il avance d'une distance bien définie, égale au pas d'espace-ment des plots, dès que l'on a agi sur l'interrupteur ou sur le

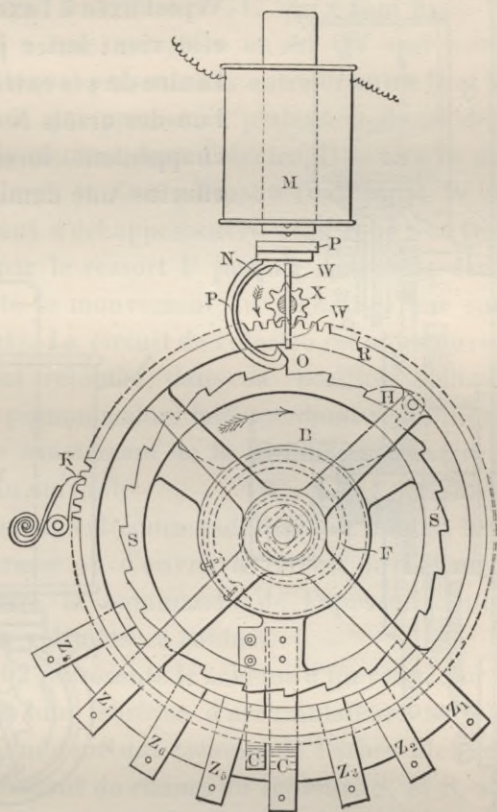


Fig. 99.

bouton de contact, et cela même si l'on ouvre cet interrupteur avant la fin de l'opération.

Les figures 99, 100 et 101 représentent le réducteur automatique le plus simple. La figure 99 en est une vue de face. La figure 100 est la coupe verticale, et la figure 101 est une vue séparée du solénoïde à échappement qui commande la manœuvre du réducteur. Dans ces figures  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ , etc., représentent les plots de contact et  $C$  et  $C_1$  les deux frotteurs lesquels sont reliés

par une résistance qui n'est pas indiquée sur la figure. K est un déclat maintenu au moyen d'un ressort dans les dents de la roue R. Cette roue engrène sur un pignon X lequel ne peut tourner que si l'échappement N, P, O, est attiré vers le haut ou vers le bas. La barre plate W W<sub>1</sub> est fixée à l'axe du pignon, elle vient buter par l'une ou l'autre de ses extrémité contre l'un des arrêts N ou O de l'échappement lorsque l'arbre effectue une demi-révolution.

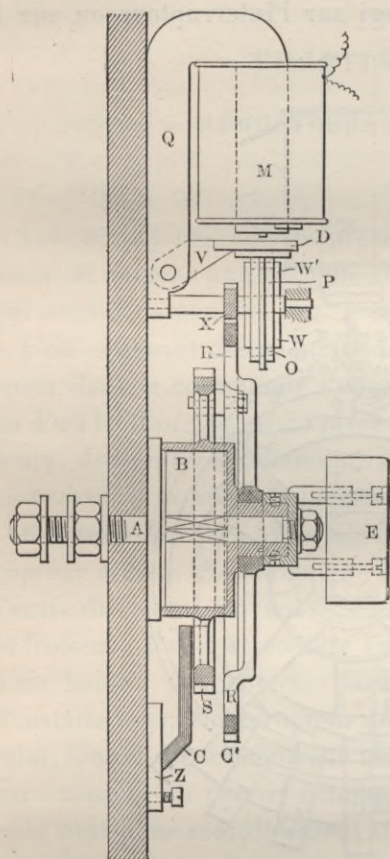


Fig. 100.

La barre plate W W<sub>1</sub> est fixée à l'axe du pignon, elle vient buter par l'une ou l'autre de ses extrémité contre l'un des arrêts N ou O de l'échappement lorsque l'arbre effectue une demi-révolution.

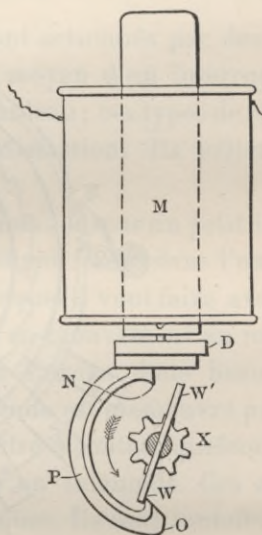


Fig. 101.

Sur le même arbre que R mais dans un plan différent, est montée une roue à rochet S, dont la partie centrale est constituée par une boîte cylindrique plate B (voy. fig. 100). Dans cette boîte cylindrique se trouve placé un ressort en spirale F, semblable à un fort ressort de pendule ; l'une des extrémités de ce ressort est fixée à la boîte cylindrique, et l'autre à la partie carrée de l'axe A autour duquel tournent les deux roues. Il est évident que si l'on fait faire plusieurs tours en arrière à la roue S,

au moyen de la roue de manœuvre E, laquelle est fixée sur S, le ressort se trouvera bandé, et tendra à faire tourner S dans le sens indiqué par la flèche. Le dé clic H fixé sur R, bute dans les rochets de S, et toute impulsion donnée à S dans le sens des aiguilles d'une montre se trouve transmise à R et met en mouvement ce pignon ainsi que les frotteurs C C<sub>1</sub> qui y sont fixés.

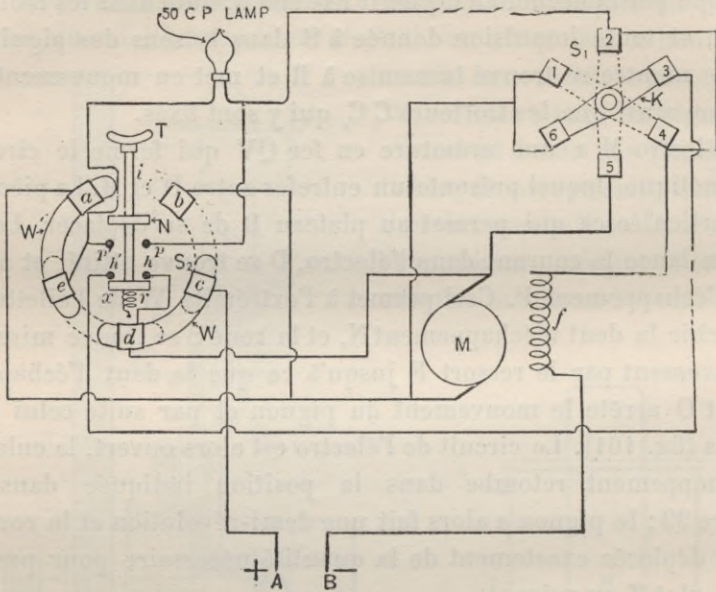
L'électro M a une armature en fer QV qui ferme le circuit magnétique, lequel présente un entrefer entre D et M. La pièce V est articulée ce qui permet au plateau D de se déplacer. Lorsqu'on lance le courant dans l'électro, D se trouve attiré, et avec lui l'échappement P. Ceci permet à l'extrémité W de l'ailette de franchir la dent d'échappement N, et la roue S se trouve mise en mouvement par le ressort F jusqu'à ce que la dent d'échappement O arrête le mouvement du pignon et par suite celui des roues (fig. 101). Le circuit de l'électro est alors ouvert, la culasse d'échappement retombe dans la position indiquée dans la figure 99 ; le pignon a alors fait une demi-révolution et la roue R s'est déplacée exactement de la quantité nécessaire pour passer d'un plot Z au suivant.

Le mouvement est commandé par un bouton à poussoir qui permet de fermer ou d'ouvrir le circuit de l'électro. L'on peut toutefois rendre la commande de l'appareil automatique en employant un voltmètre à contact.

La figure 102 représente le schéma d'un réducteur automatique construit par une fabrique d'accumulateurs américaine. M est l'armature du moteur qui commande l'arbre fileté du réducteur, *f* est l'enroulement de champ du moteur, S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> sont des commutateurs de forme spéciale, T est un bouton à poussoir ; lorsque l'on appuie sur ce bouton l'on fait avancer la tige *i* et les pièces N et *x* qui sont montées sur cette tige ; *pp*<sub>1</sub> et *hh*<sub>1</sub> sont deux paires de plots de contact qui sont reliés entre eux respectivement par N et par *x*, *r* est un ressort qui tend à repousser la tige et le bouton à poussoir, et qui maintient normalement la pièce *x* sur *h* et *h*<sub>1</sub>.

S<sub>2</sub> se compose de cinq plots de contact *a*, *b*, *c*, *d*, et *e*, disposés suivant un cercle. W et W<sub>1</sub> sont des frotteurs de contact recourbés suivant un arc de cercle. Ces frotteurs sont reliés à une manette et peuvent être déplacés de façon à connecter ensemble

différents plots. Dans la position indiquée par les lignes en traits pleins, les frotteurs relient *a* à *e* et *c* à *d*. Si l'on fait tourner la



50 CP lamp = lampe de 50 bougies.

Fig. 102.

manette qui n'a pas été représentée pour ne pas compliquer la

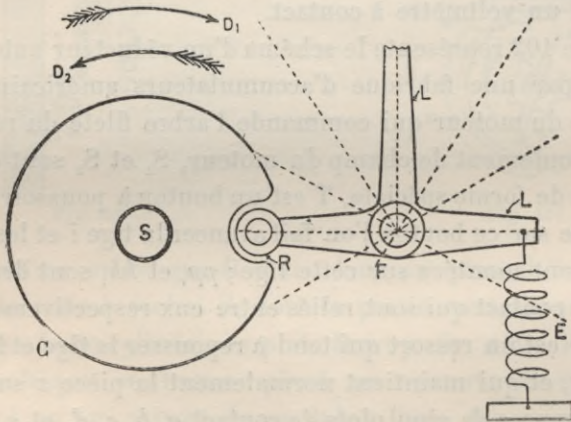


Fig. 103.

figure, l'on pourra amener les frotteurs dans la position indiquée par les lignes pointillées, et relier *d* à *e* et *b* à *c*. En général

le bouton à poussoir est monté au centre de la manette et fait saillie en avant de celle-ci.

$S_1$  se compose de six plots de contact 1, 2, 3, 4, 5 et 6, disposés suivant un cercle. L'on peut relier deux à deux les plots 1, 4, 2, 5, 3, 6, en manœuvrant la manette K qui peut tourner autour du pivot central ainsi que l'indique la figure. Normalement la manette est dans la position indiquée par les traits pleins et relie 1 à 4. Dès que le moteur se met à tourner elle prend l'une des positions indiquées en traits pointillés, ce mouvement s'effectue automatiquement de la façon que nous allons décrire. A et B sont les bornes d'arrivée du courant pour la manœuvre du réducteur.

M et  $S_1$  sont auprès du réducteur, tandis que T et  $S_2$  sont sur le tableau. Lorsque les frotteurs de  $S_2$  sont placés dans la position indiquée en traits pleins, l'on peut faire tourner le moteur dans le sens des aiguilles d'une montre en appuyant sur le bouton T. Le courant circule toujours dans l'enroulement de champ  $f$  du moteur, il parcourt en effet le circuit A,  $c$ ,  $d$ ,  $h$ ,  $h_1$ , 3, 6,  $a$ ,  $e$ ,  $p_1$ , traverse la lampe (destinée à réduire l'intensité du courant de champ), puis va de 2, à 4, à  $f$  et à B. En appuyant sur T, l'on ouvre le circuit en  $hh_1$  et l'on relie  $p$  et  $p_1$ . Le courant parcourt alors le circuit fermé A,  $c$ ,  $d$ , M,  $a$ ,  $e$ ,  $p_1$ ,  $p$ , 2, 4,  $f$ , B. C'est-à-dire que la lampe formant résistance se trouve supprimée, et que le courant traverse en série le champ et l'armature du moteur. Le champ est alors puissant et le moteur démarre. La manette K tourne immédiatement et relie 1 à 4. Si l'on continue alors à appuyer sur le bouton, l'on aura le même circuit fermé que précédemment, l'on aura de plus un second circuit allant de A à  $c$ , à  $d$ , à M, à 1, à 4, à  $f$ , à B. Si l'on supprime la pression sur le bouton, le ressort  $r$  le ramènera à sa position normale, le circuit principal parcouru par le courant, et que nous venons d'indiquer en dernier lieu restera inchangé, seul le circuit auxiliaire passant par les contacts du bouton à poussoir se trouvera alors ouvert. Le moteur continuera donc à tourner après qu'il aura démarré, que l'on maintienne ou non l'appui sur le bouton.

Lorsque le frotteur du réducteur a parcouru une distance telle qu'il ait passé d'un plot au suivant, la manette K revient à sa

position normale, reliant 3 à 6, et si l'on a cessé l'appui sur le bouton avant que ce point ne soit atteint, les connexions sont alors telles que l'enroulement de champ du moteur est traversé par un courant passant par la lampe, de plus l'armature du moteur se trouve mise en court-circuit sur le circuit M, 2, 3,  $h_1$ ,  $h$ ,  $d$ , M. Cette mise en court-circuit dans un champ magnétique, détermine un freinage instantané qui arrête le moteur ainsi que le frotteur du réducteur exactement dans la position voulue.

Si le réducteur doit se mouvoir en sens inverse, le moteur devra tourner également en sens inverse. L'on tournera alors la manette de  $S_2$  de telle sorte que  $W_1$  relie  $e$  et  $d$ , et que  $W$  relie  $b$  et  $c$ . Lorsque l'on appuiera sur le bouton, le moteur tournera en sens inverse de celui dans lequel il tournait auparavant. Dès le démarrage,  $K$  tournera et reliera 2 à 5, et les connexions seront les mêmes que précédemment, excepté que la polarité aux bornes de l'armature se trouvera inversée, ainsi qu'on le verra en suivant la marche du courant.

La figure 103 représente le mécanisme qui actionne la manette  $K$ .  $S$  est l'arbre fileté du réducteur et  $c$  est une came plate commandée par cet arbre.  $L$ ,  $L$  est un levier en forme de T dont le point d'appui est comme on le voit en  $F$ .  $E$  est un ressort qui tend à maintenir  $L$  dans sa position normale indiquée en traits pleins sur la figure.  $R$  est un petit rouleau situé à l'une des extrémités de  $L$ , et qui vient se placer dans le retrait de la came lorsque celle-ci a fait une révolution complète. La partie supérieure de  $L$  est reliée à la manette  $K$ .

La came est reliée de telle sorte à l'arbre fileté  $S$  qu'elle fait une révolution complète lorsque le frotteur de contact a parcouru la distance d'un plot au suivant.

Au démarrage du moteur, la partie supérieure du levier  $L$  est poussée vers la droite ou vers la gauche, suivant le sens de rotation, et communique un déplacement correspondant à la manette  $K$ . Après une révolution complète,  $R$  est remis en position dans l'encoche par le ressort  $E$ ,  $K$  est ramené dans sa position normale de mise en court-circuit de l'armature, et le mouvement de rotation se trouve arrêté instantanément.

Le dispositif du D<sup>r</sup> Paul Meyer qui est un type différent, donne

d'excellents résultats ; il est représenté dans les figures 104, 105,

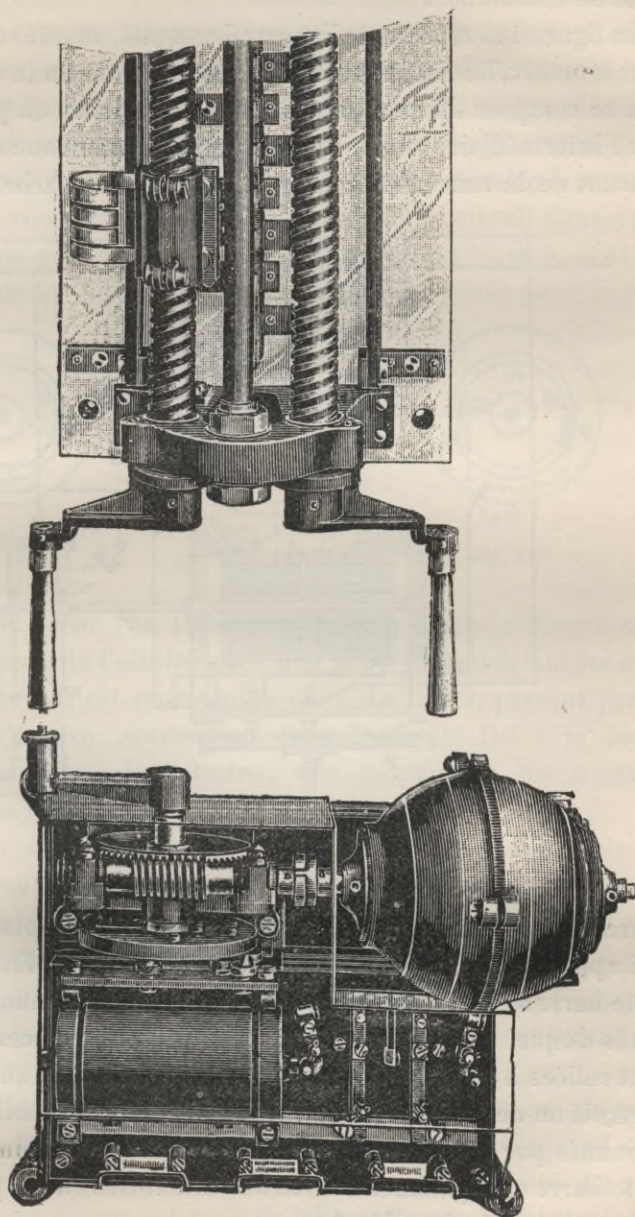


Fig 101.

106, 107 et 108 ; il peut s'adapter sur tous les types de réduc-

teurs manœuvrés à la main au moyen d'une manivelle ou d'une roue de commande.

La figure 104 représente l'appareil complet, monté sur un réducteur à manivelle disposé verticalement. Comme on le voit, l'appareil se compose d'une manivelle que fait tourner un petit moteur par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'une roue dentée. Au-dessous de la roue d'engrenage et sur le même arbre que celle-

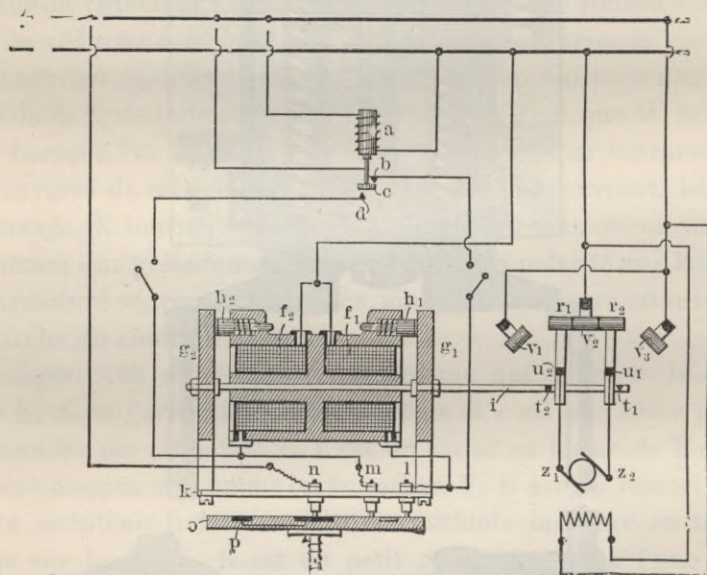


Fig. 105.

ci, se trouve fixé un disque. En dessous du disque se trouve une barre rectiligne sur laquelle sont montés trois plots de contact qui appuient sur la surface inférieure du disque. En dessous de cette barre se trouve un solénoïde ou un électro-aimant aux extrémités duquel sont placées deux armatures en fer ; ces armatures sont reliées à la barre de contact et lui servent de support. L'on aperçoit au-dessous du moteur d'autres contacts mobiles qui sont actionnés par la barre rectiligne placée en dessous du solénoïde ; cette barre est également reliée aux armatures en fer placées aux deux extrémités du solénoïde.

Le schéma des connexions est indiqué dans la figure 105 ; *a* est le voltmètre, ou l'appareil de contrôle du potentiel qui peut avoir



la forme soit d'un solénoïde, soit de tout autre instrument, pourvu qu'il soit sensible à des variations de voltage de 2 p. 100. Cet appareil est branché directement sur la ligne ainsi qu'il est indiqué, il commande la pièce de contact *c* qui ne doit toucher ni *b* ni *d* lorsque le voltage de ligne est normal. Si le voltage de ligne augmente, *c* vient en contact avec *b*, et ferme le circuit dans l'enroulement de droite  $f_1$  de l'électro; si au contraire le voltage de ligne diminue, *c* vient en contact avec *d* et ferme le circuit dans l'enroulement de gauche  $f_2$  de l'électro. Les plaques  $g_1$  et  $g_2$  sont les armatures de fer de l'électro dont nous avons parlé dans la des-

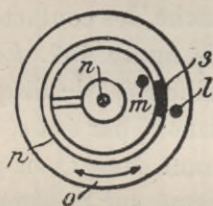


Fig. 106.

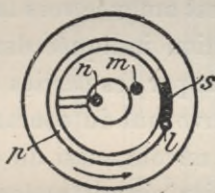


Fig. 107.

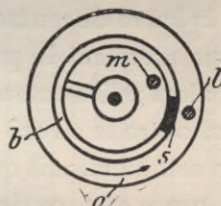


Fig. 108.

cription de la figure 104. Dans le schéma, le disque est représenté en *o* en dessous de l'électro ainsi que la barre supportant les contacts *l*, *m*, *n*, qui est représentée en *k*. La tige *i*, passant par le centre de l'électro, correspond dans la figure 104 à la barre placée au-dessous de l'électro; elle commande les contacts mobiles  $r_1$  et  $r_2$ .

Le disque *o* doit être en fibre ou en bois dur, sa face utile est représentée dans les figures 106, 107 et 108. Dans ce disque est creusée une rainure circulaire dans laquelle est encastrée une bague plate en cuivre. Cette bague n'est pas fermée, l'on en a enlevé un petit segment que l'on a remplacé par du bois dur, de la fibre, ou toute autre matière isolante; cette discontinuité de la bague est représentée en noir sur les figures.

A la surface du grand disque se trouve aussi noyé un petit disque plat en cuivre. L'anneau et le petit disque de cuivre sont reliés par une barre de connexion ainsi qu'il est indiqué. La surface entière du disque est unie de telle sorte que les contacts qui appuient sur lui puissent se déplacer à sa surface et qu'il puisse tourner en dessous de ces contacts.

Cet appareil fonctionne comme il suit :

Si le voltage s'élève au-dessus du voltage normal, le contact du voltmètre sera attiré, il reliera  $c$  à  $b$  et fera passer le courant dans l'enroulement  $f_1$  de l'électro ; la partie droite de l'électro se trouvera ainsi excitée, et attirera l'armature en fer placée à sa droite. Cette armature se déplacera vers la gauche et entraînera dans son mouvement la barre  $k$  et la tige  $i$  qui commande les contacts,  $r_1$  et  $r_2$ . Au moment où se produit le contact en  $c$ , le disque et les contacts du disque sont dans la position indiquée dans la figure 106, tous les contacts sont isolés les uns des autres. Lorsque la barre de contact est amenée vers la gauche, les contacts du disque prennent la position indiquée dans la figure 107.  $l$  et  $n$  sont alors reliés ensemble par les parties conductrices du disque ; alors, outre le circuit envoyant du courant dans  $f_1$  par  $b$  et  $c$ , l'on a un second circuit qui envoie aussi du courant dans  $f_1$  en passant par  $n$  et  $l$ , ce dernier circuit restera fermé sur  $f_1$  quelque position que prennent les contacts du voltmètre. Le mouvement vers la gauche de l'armature entraîne dans la même direction le contact  $r_1$  jusqu'à ce qu'il atteigne  $v_1$ . Pendant ce mouvement  $r_2$  ne quitte pas le contact  $v_2$ . Le moteur se trouve alors connecté de telle sorte qu'il fasse tourner la vis sans fin et le disque dans le sens indiqué par la flèche dans la figure 107. Cette rotation continuera jusqu'à ce que le disque ait effectué une révolution complète, ce qui aura permis au frotteur du réducteur de passer d'un plot sur le suivant. Lorsque cette révolution est terminée, la pièce isolante  $s$  passe sous le contact  $l$  et détermine l'ouverture du circuit  $f_1$  de l'électro, celui-ci n'étant plus excité, le ressort  $h_1$  repousse l'armature  $g$  dans sa position normale. La rotation du moteur devra cesser au moment où la rotation du disque continuant, le contact  $l$  quittera la pièce isolante  $S$ , et cela même si la barre de contact est ramenée vers la gauche. Ce point d'arrêt est réglé exactement au moyen d'un frein électrique qui consiste simplement en la mise en court-circuit de l'armature du moteur, cette mise en court-circuit de l'armature se produit lorsque le contact  $r_1$  atteint la pièce  $v_2$  qui est déjà en contact avec  $r_2$ .

L'on voit que les trois contacts  $l$ ,  $m$  et  $n$  ne sont pas en ligne droite, les contacts  $l$  et  $m$  sont décalés l'un par rapport à l'autre

de la longueur de la pièce isolante. Si le voltage de la ligne décroît, *c* et *d* viennent en contact;  $f_2$  se trouvant excité, tous les

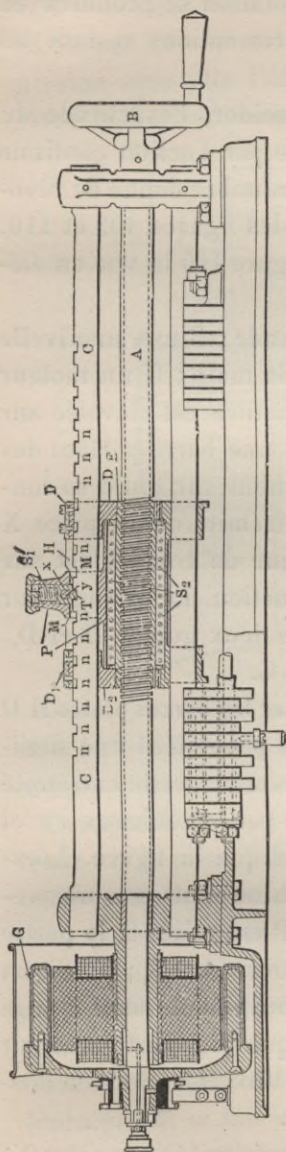


Fig. 109.

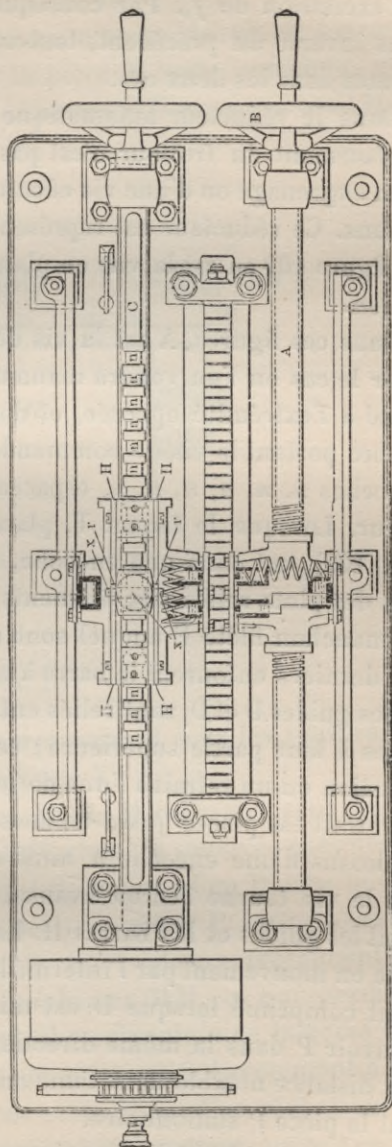


Fig. 110.

contacts avancent vers la droite, et le circuit se trouve fermé sur  $f_2$  par *m* et *n* le premier de ces points se trouvant alors en contact avec la bague de cuivre. De plus  $r_2$  vient en contact

avec  $v_3$  et l'armature du moteur se trouve connectée sur les barres, de telle sorte qu'il tourne en sens inverse de celui correspondant à l'excitation de  $f_1$ . Par conséquent la rotation se produira en sens inverse du précédent, toutes les autres actions restant les mêmes dans les deux cas.

Dans le réducteur automatique de Shneider, l'exactitude du déplacement du frotteur n'est pas obtenue par l'action continue d'un engrenage ou d'une vis effectuant un nombre donné de révolutions. Ce réducteur est représenté dans les figures 109 et 110. La figure 109 en est la vue en plan, et la figure 110 la vue en élévation.

Dans ces figures, A est la vis de commande ; B une manivelle pour le cas où l'on voudra manœuvrer à la main ; G un moteur placé à l'extrémité opposée, et dont l'armature est clavetée sur l'arbre portant la vis de commande ; C est une barre portant des encoches  $n, n, n, n, n, n$ , espacées également sur toute sa longueur. Lorsque le taquet T, placé à l'extrémité de la pièce X (fig. 109), est dans une encoche, le frotteur de contact est sur l'un des plots reliés aux éléments de réduction. La vis agit sur un manchon fileté E auquel sont reliés les deux guides D et D<sub>1</sub>. Ces derniers entourent la barre à encoches C.

Les guides D et D<sub>1</sub> sont reliés entre eux par les barres plates H H fixées à leur partie supérieure ; ces barres présentent une dénivellation ou un retrait à l'une de leurs extrémités, cette extrémité en retrait est placée juste en dessous des petits rouleaux  $r r$  et au-dessus d'une encoche  $n$  ainsi que l'indique la figure. Lorsque la vis tourne l'écrou avance, et entraîne dans son mouvement les guides et les barres H. La pièce P est reliée à la partie mise en mouvement par l'intermédiaire d'un ressort S<sub>2</sub> ; ce ressort étant comprimé lorsque D est mis en mouvement, tend à faire mouvoir P dans la même direction, quoique D puisse parcourir une distance notable dans l'une ou l'autre direction, tout en laissant la pièce P stationnaire.

Le taquet ou le déclie T, qui constitue l'extrémité de la pièce X, et qui s'engage dans l'encoche C, maintient P en position et l'empêche de se mouvoir. X est maintenu constamment pressé contre la barre à encoches C par le petit ressort S<sub>1</sub>.

X est traversé par un petit axe  $y$  portant à ses extrémités les petits rouleaux  $rr$ .

Ce réducteur fonctionne comme il suit :

Lorsque l'on met le moteur en marche, la vis A tourne et entraîne avec elle l'écrou D; la pièce P reste immobile, et le ressort  $S_2$  se trouve comprimé. Comme HH avancent avec D, les

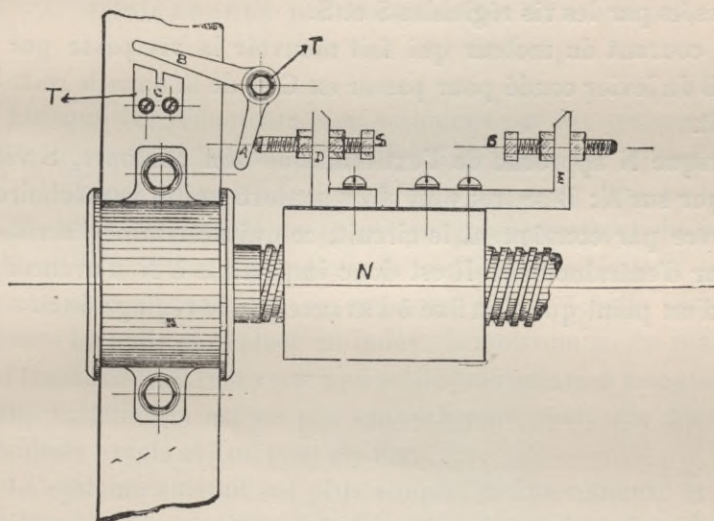


Fig. 111.

extrémités biseautés de ces barres passent sous les rouleaux  $rr$ , et les soulèvent en même temps que Y.

Lorsque l'un ou l'autre des points M est arrivé sous les rouleaux  $rr$ , la pièce X se trouve suffisamment soulevée pour dégager le déclit T; le ressort comprimé  $S_2$  pousse alors P dans la direction du déplacement de E et de D, la pièce P rattrape alors le retard qu'elle avait sur E et D, les rouleaux reprennent leur place dans la dénivellation des barres HH, ce qui permet au déclit T de pénétrer dans l'encoche suivante  $n$  de la barre C. Le frotteur de contact du réducteur étant relié directement à P, le déplacement se fait exactement et sûrement d'un plot au suivant.

L'on peut, soit mettre en marche le moteur au moyen d'un interrupteur à main, soit rendre l'appareil complètement automatique en employant un voltmètre à contact ou un solénoïde pour fermer ou pour ouvrir le circuit du moteur.

Tous les réducteurs automatiques doivent être munis d'un dispositif de sécurité quelconque destiné à éviter le coinçage de l'écrou balladeur lorsque celui-ci est arrivé au bout de sa course à chaque extrémité de la vis. La figure 444 donne une forme de dispositif à employer. N est l'écrou balladeur qui se déplace le long de la vis. Sur cet écrou sont fixées les pièces D et E qui sont traversées par les vis réglables S et S.

Le courant du moteur qui fait mouvoir la vis passe par le bras B du levier coudé pour passer en C et de là dans le reste du circuit.

Lorsque N approche de l'extrémité de son parcours, S vient appuyer sur A ; B se trouvant alors soulevé quitte la mâchoire C et ouvre par conséquent le circuit, ce qui détermine l'arrêt du moteur d'entraînement. Il est donc impossible à N d'avancer au delà d'un point que l'on fixe à l'avance par le réglage de S.

---

## CHAPITRE XXIX

### INDICATEURS D'ÉLÉMENTS DE RÉDUCTION

Lorsque les réducteurs sont actionnés par des moteurs, il est utile de savoir si le frotteur est arrivé en plein sur le plot voulu, et s'il n'a pas avancé trop loin. L'on a construit dans ce but des indicateurs d'éléments de réduction qui permettent de voir au tableau la position du frotteur de contact. L'indicateur le plus communément employé se compose d'une échelle rectiligne devant laquelle se déplace un index; le mouvement du réducteur est transmis à cet index par une petite transmission à engrenages. Cette installation est un peu encombrante, mais elle donne des résultats exacts et l'on peut s'y fier.

Le système suivant est plus simple, moins coûteux, et donne également des résultats satisfaisants; il consiste dans l'emploi d'une roue dentée montée sur le réducteur, et sur laquelle passe une chaîne; cette chaîne passe également sur une roue dentée placée sur l'indicateur. La chaîne n'est pas continue de la roue du réducteur à la roue de l'indicateur, il y a seulement deux bouts de chaîne qui sont reliés entre eux par du câble d'acier de 5 millimètres, lequel est guidé dans la direction voulue au moyen de petites poulies. Des tendeurs sont placés sur les deux portions de câble, de sorte que l'on peut régler exactement la position de l'index par rapport à la position du contact mobile du réducteur.

L'indicateur construit par A. S. Hubbart, et dont le schéma est donné dans la figure 112, fonctionne électriquement. G est la génératrice, 12, 12<sup>1</sup> deux petites glissières; 13, 13, 13<sup>1</sup>, 13<sup>1</sup> sont des barres de contact; 11 et 11<sup>1</sup> sont deux frotteurs isolés l'un de l'autre. 1 et 3 sont des anneaux de fer recouverts d'un enroulement et connectés ainsi qu'il est indiqué. L'anneau 3 est monté sur pivot et ne possède que deux arrivées de courant qui sont reliées

à deux balais. Il est évident que si l'on envoie du courant dans l'enroulement par les balais, il se formera deux pôles magnétiques opposés aux points d'entrée et de sortie du courant. L'anneau 4 est fixe ; il possède également un enroulement sur lequel sont dis-

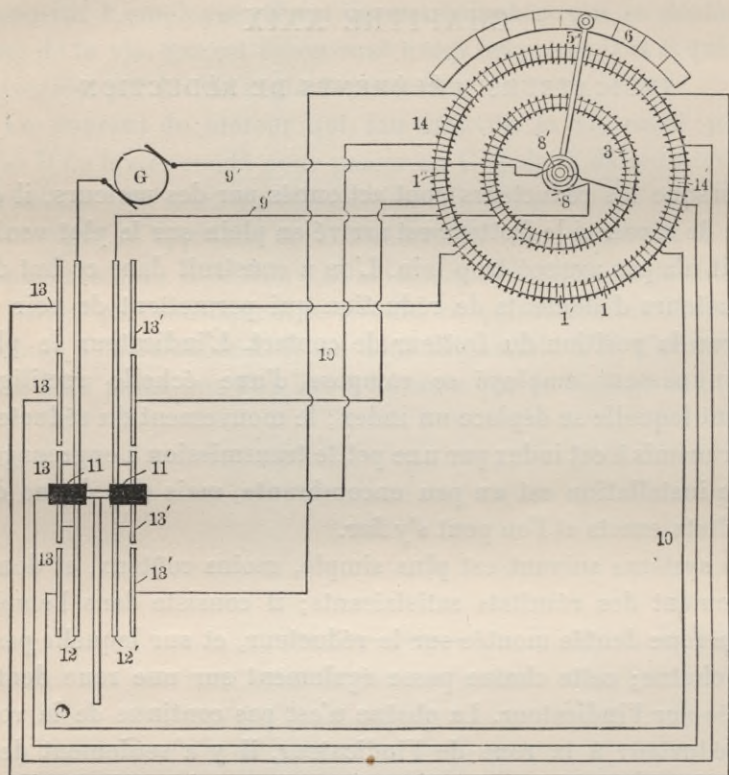


Fig. 112.

posées des prises de courant à de certains intervalles. Ces prises de courant sont reliées aux contacts 13, 13, 13<sup>1</sup>, 13<sup>1</sup>, les contacts placés vis-à-vis les uns des autres sont reliés aux points diamétralement opposés de l'enroulement.

La distance angulaire des prises de courant est égale au déplacement angulaire de l'index lorsqu'il passe d'une division à la suivante. Les deux frotteurs 11 et 11<sup>1</sup> sont reliés à la partie mobile du réducteur et avancent avec le contact mobile.

Dans la position représentée sur la figure, le courant passe de G à 11 et de là à 13 et à 14<sup>1</sup>; en ce point le courant se divise



pour passer moitié d'un côté de l'enroulement, moitié de l'autre, il sort finalement de l'anneau par la borne opposée 14; il passe ensuite de 13<sup>1</sup> à 12<sup>1</sup>, puis arrive au point 8, passe dans l'enroulement 3, et revient à G par 8<sup>1</sup>. Sur l'anneau 3 est fixé l'index 5 qui se déplace devant l'échelle 6. L'anneau 3 étant mobile il se placera toujours dans une position telle que son axe polaire coïncide avec l'axe polaire de l'anneau 1, or l'axe polaire de ce dernier anneau varie chaque fois que les contacts 13 et 13<sup>1</sup> se déplacent. Par conséquent cet appareil, que l'on peut placer à une distance quelconque du réducteur, indiquera le numéro du plot de contact sur lequel est placé le frotteur et, par suite, le nombre d'éléments de réduction en circuit.

Cet appareil est peu encombrant et consomme une quantité insignifiante de courant.

## CHAPITRE XXX

### CABLES DE RÉDUCTION

Les conducteurs reliant la batterie au tableau, ou reliant les éléments de réduction au réducteur doivent avoir une section suffisante pour que la densité du courant ne dépasse pas 150 ampères par centimètre carré, lorsque la batterie est en décharge à son régime maximum.

Lorsque la capacité de la batterie est faible, l'on relie les éléments de réduction au réducteur au moyen de fils de cuivre isolés ou de câbles en torons; l'on fait en sorte que ces conducteurs soient le plus courts possible.

Dans bien des cas, le fil ou le câble isolé est simplement amené sur isolateurs de la batterie au réducteur qui se trouve placé hors de la salle de la batterie. Toutefois lorsque l'on emploie ce procédé, l'isolement se trouvera bientôt amoindri par l'action destructive des vapeurs acides; lorsque l'isolant est détérioré, le conducteur en cuivre se trouve lui-même exposé à l'action des vapeurs acides. Pour éviter cet inconvénient, lorsque les conducteurs sont de petite dimension, on les place dans des moulures que l'on peint avec une peinture inattaquable, telle que de l'asphaltine noire. Une méthode meilleure et qui peut s'appliquer à des conducteurs de forte section, consiste à employer des tuyaux en fer; ceux-ci constituent une protection efficace et permanente pour le câble.

Lorsque l'on emploie ces tuyaux, il est préférable d'avoir une canalisation séparée pour chaque conducteur. Chaque sortie de conduite se trouve placée directement au-dessus d'un élément de réduction, là où le câble quitte la boîte de sortie; l'ouverture de la conduite en fer est munie d'un bouchon en caoutchouc mou

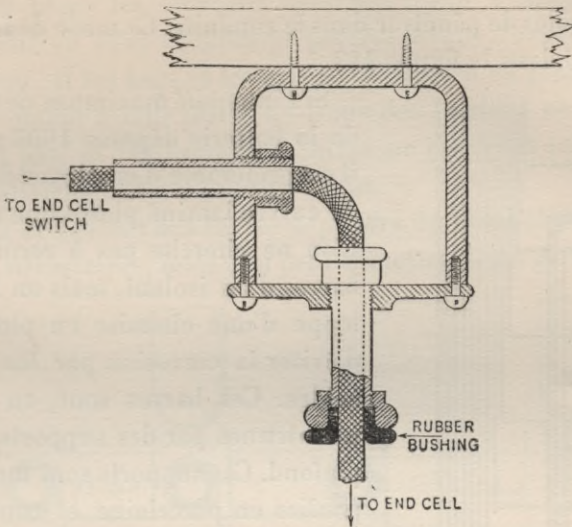


Fig. 113.

To end cell switch = au réducteur. — To end cell = à l'élément de réduction.  
 Rubber bushing = bouchon en caoutchouc

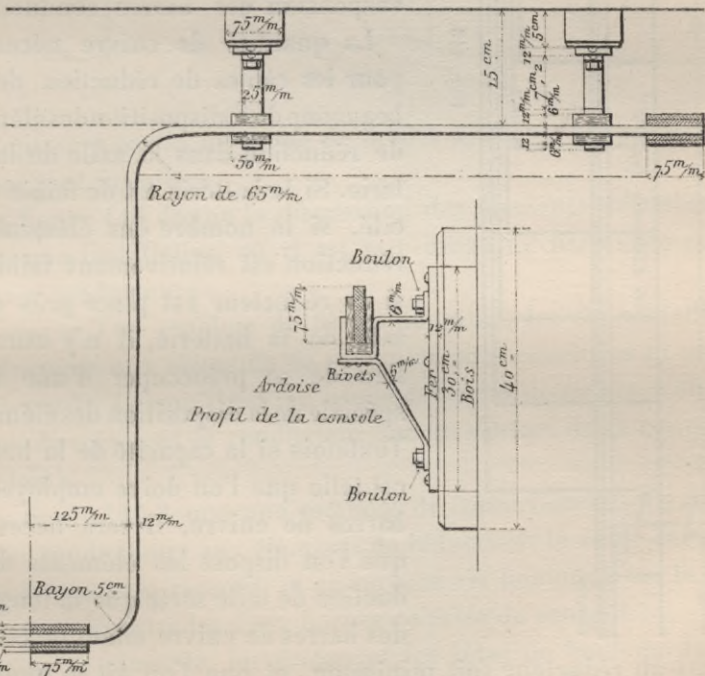


Fig. 114.

qui, par compression, forme fermeture hermétique et empêche les

vapeurs acides de pénétrer dans la conduite. Ce mode de fermeture est indiqué dans la figure 113.

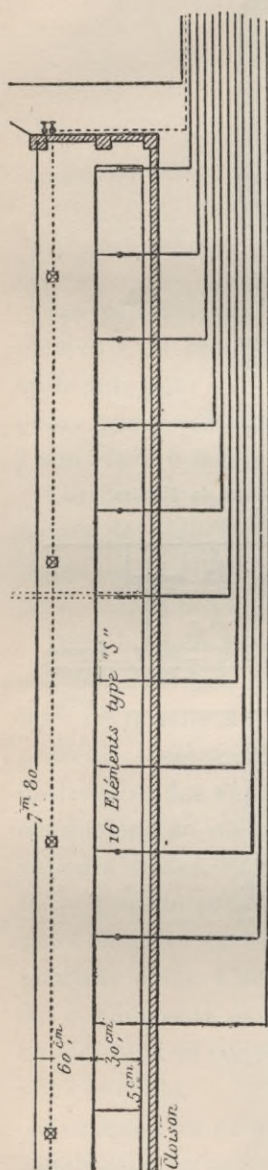


Fig. 115.

Si l'intensité maximum de décharge de la batterie dépasse 1000 ampères, il est préférable d'employer des barres de cuivre laminé plutôt que du câble. L'on ne cherche pas à recouvrir ces barres d'un isolant, mais on les enveloppe d'une chemise en plomb afin d'éviter la corrosion par les vapeurs acides. Ces barres sont, en général, maintenues par des supports fixés au plafond. Ces supports sont montés sur poulies en porcelaine et constituent, par conséquent, des supports isolants. La figure 114 indique la méthode de suspension des barres conductrices.

La quantité de cuivre nécessaire pour les câbles de réduction dépend beaucoup de la disposition des éléments de réduction dans la salle de la batterie. Si la batterie est de faible capacité, si le nombre des éléments de réduction est relativement faible, et si le réducteur est placé près de la salle de la batterie, il n'y aura pas lieu de se préoccuper d'une façon spéciale de la disposition des éléments. Toutefois si la capacité de la batterie est telle que l'on doive employer des barres de cuivre, il sera nécessaire que l'on dispose les éléments de réduction de telle sorte que la longueur des barres de cuivre allant de ces éléments

au réducteur soit minimum, et que l'on ait le moins de joints possible dans les conducteurs.

Lorsque l'on emploie des barres comme conducteurs, il faut

mettre en place les éléments avec beaucoup d'exactitude. Les barres sont en effet coudées et percées avant l'expédition, par conséquent, si les bacs et les prises de courant en plomb ne sont pas exactement à leur place, les trous des boulons ne se correspondront pas, et les barres de cuivre ne pourront pas être placées parallèlement les unes aux autres.

Le prix de revient des barres dépendra du nombre de coudes et de trous nécessaires, mais l'on peut admettre qu'en général le prix

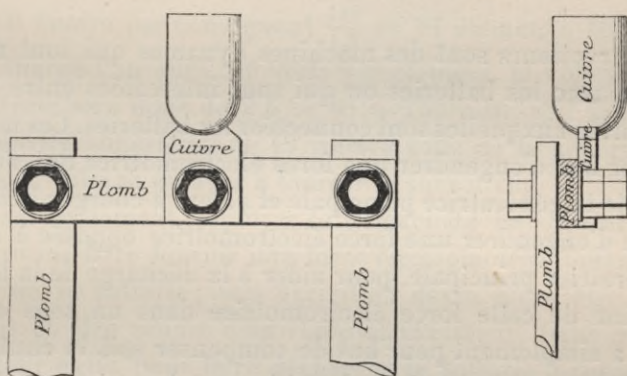


Fig. 116.

ne dépassera pas la moyenne de 3,60 à 4,60 par kilogramme de barres tout installées.

La figure 115 donne la disposition des éléments de réduction dans une installation où il est fait usage de barres de cuivre comme conducteurs.

Lorsque l'on emploie du fil ou du câble, les connexions des conducteurs aux éléments de réduction sont effectuées au moyen de raccords. Lorsqu'il est fait usage de barres de cuivre, l'on boulonne directement le conducteur sur un renfort de la connexion en plomb.

La figure 116 donne une méthode de connexion des fils ou des câbles conducteurs aux éléments de réduction; le câble est soudé dans la cosse du raccord, et ce raccord est boulonné sur la barre transversale entre les deux bornes de prise de courant.

Tous les raccords, les écrous et les têtes de boulons doivent être recouverts d'une enveloppe de plomb.

## CHAPITRE XXXI

### SURVOLTEUR SHUNT ET SURVOLTEUR SÉRIE

Les survolteurs sont des machines dynamos qui sont montées en série avec les batteries ou qui sont intercalées entre la ligne et les barres auxquelles sont connectées les batteries. Ces machines ont pour but d'engendrer une force électromotrice qui s'ajoutera à celle de la génératrice principale et aidera à charger la batterie, ou bien d'engendrer une force électromotrice opposée à celle de la génératrice principale, pour aider à la décharge de la batterie. L'addition de cette force électromotrice dans un sens ou dans l'autre a simplement pour but de compenser soit la chute due à la résistance intérieure de la batterie ou à la résistance des connexions, soit les variations de voltage de la batterie aux différents états de charge et de décharge, soit encore de compenser les deux à la fois.

Les variations de force électromotrice du survolteur destinées à faire varier la chute de tension ou l'état de charge de la batterie, peuvent être obtenues soit à la main, soit automatiquement. L'on distinguera les survolteurs à auto-excitation et les survolteurs à excitation séparée. La première catégorie comprendra les survolteurs shunt, série, compound, différentiels et à courant constant; ce dernier type est un survolteur différentiel que l'on désigne sous le nom de « survolteur à courant constant », parce qu'il ne laisse passer à travers son armature qu'un courant (approximativement) constant. Tous les survolteurs automatiques sont des machines à courant constant dans ce sens qu'ils sont destinés à limiter le débit de la génératrice à une valeur constante, et ceci, bien que le courant qui traverse le survolteur soit très variable; exception faite toutefois pour les machines désignées sous le nom de survolteurs à courant constant.

Le survolteur shunt s'emploie pour augmenter le voltage de la génératrice pour la charge de la batterie lorsque celle-ci doit ensuite débiter en parallèle avec la génératrice, ou supporter à elle seule toute la charge.

Considérons le cas d'un circuit à 110 volts dans lequel une batterie doit fournir le courant total pour l'éclairage ou fonctionner en parallèle avec la génératrice au moment de la forte charge. A la fin de la décharge le voltage sera de 1,8 volts par élément, il faudra par conséquent  $\frac{110}{1,8} = 61$  éléments. Mais à la fin de la charge l'on aura 2,6 volts par élément, le voltage total de la batterie sera donc de  $2,6 \times 61 = 159$  volts, soit une force électro-motrice supérieure de 49 volts à celle de la génératrice, ce sera là le voltage qu'aura à fournir le survolteur.

L'on peut également employer cette machine en sens inverse, c'est-à-dire lui faire fournir une force électromotrice aidant à la décharge de la batterie; son excitation devra alors être prise aux barres et être munie d'un rhéostat inverseur. Dans ce cas, le survolteur agira pour faire décharger la batterie lorsque l'on changera le sens du courant magnétisant. Lorsque l'on adopte ce système il n'est pas besoin d'éléments de réduction, mais le survolteur devra tourner pendant toute la durée de la décharge. Avec un survolteur réversible il suffira de 56 éléments sur un circuit à 110 volts. Le voltage de fin de charge sera de  $56 \times 2,6 = 146$  volts, soit 36 volts au-dessus du voltage de la génératrice. Le voltage minimum à la décharge sera de  $1,8 \times 56 = 100$  volts, soit de 10 volts inférieur à celui de la ligne. Par conséquent, le survolteur devra fournir au maximum 36 volts, il sera appelé à ajouter 10 volts au voltage de la batterie vers la fin de la décharge. Dans ce cas le voltage du survolteur est égal seulement aux  $\frac{36}{49}$  ou aux trois quarts du voltage nécessaire dans le cas précédent; il y aura cinq éléments de moins dans la batterie, et il n'y aura ni réducteur ni câbles de réduction.

Toutefois le survolteur sera dans ce cas beaucoup plus important que si l'on ne l'employait que pour la charge; en effet, l'intensité du courant de décharge est toujours beaucoup plus grande que celle du courant de charge, et l'armature devra être de dimen-

sions suffisantes pour pouvoir supporter le courant maximum de la batterie.

La figure 117 donne le schéma usuel des connexions d'un survolteur non réversible employé pour la charge d'une batterie.

G est la génératrice, B le survolteur,  $S_1$  et  $S_2$  des interrupteurs bipolaires,  $S_3$  un interrupteur unipolaire à deux directions et  $S_4$  la manette du réducteur.

Pour la charge,  $S_1$  et  $S_2$  sont fermés;  $S_3$  est fermé vers le bas et  $S_4$  est placé sur le cinquième plot, c'est-à-dire sur le plot

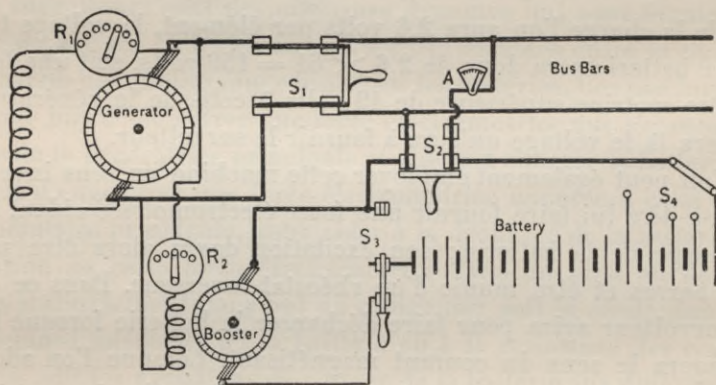


Fig. 117.

Generator = génératrice. — Bus bars = barres de distribution. — Booster = Survolteur.

extrême. Une partie du courant de la génératrice ira à la ligne, et l'autre partie à la batterie en passant par le survolteur. L'on règle le courant de charge au moyen du rhéostat R qui permet de faire varier la force électromotrice du survolteur.

Pour mettre la batterie en décharge, l'on amènera la manette du réducteur sur le premier plot, après avoir ouvert l'interrupteur  $S_2$ , l'on refermera ensuite cet interrupteur, puis l'on fermera l'interrupteur  $S_3$  vers le haut. La batterie se trouvera alors en parallèle avec la génératrice et tous les éléments de réduction seront hors circuit. Lorsque la force électromotrice de la batterie diminuera l'on ajoutera des éléments au circuit en manœuvrant la manette du réducteur  $S_4$ ; lorsque l'interrupteur  $S_1$  est ouvert la batterie se trouve seule en service sur le circuit d'utilisation.

Dans le cas d'un survolteur réversible, l'enroulement de champ



du survolteur est connecté aux barres, les éléments de réduction sont supprimés ainsi que le réducteur. La puissance du survolteur varie avec le voltage de l'installation et avec l'intensité maximum du courant qui devra le traverser. Si le maximum ne dure que quelques minutes, on le considérera comme une surcharge et l'on construira la machine pour une charge normale inférieure à celle correspondant au maximum.

Le voltage maximum sera égal à  $2,75 \times N$ , où  $N$  est le nombre d'éléments en série. Le voltage de 2,75 est quelquefois nécessaire lorsque l'on donne une surcharge à la batterie.

L'on donne rarement au moteur du survolteur une puissance égale à la puissance en K.W. du survolteur. En effet le survolteur ne fournissant jamais simultanément son voltage et son intensité maximum, l'on n'atteindra jamais sa puissance maximum, et il n'est nullement nécessaire d'avoir un moteur pouvant fournir cette puissance.

Si le survolteur est réversible, l'effort le plus considérable qu'il aura à fournir se présentera lorsque la batterie débitera à son régime maximum et qu'elle aura atteint la limite inférieure de voltage. Supposons, par exemple, que le régime normal de charge soit de 50 ampères, et que la batterie composée de 56 éléments soit connectée sur un circuit à 110 volts; la puissance à fournir à la charge sera maximum lorsque le voltage sera de 2,6 volts par élément. A ce moment le voltage du survolteur sera de  $2,6 \times 56 - 110 = 36$  volts. Si l'on suppose que le courant de surcharge soit la moitié du courant normal, la puissance en watts que devra fournir le survolteur sera :

$$W = 36 \times \frac{50}{2} = 900.$$

La puissance du moteur en chevaux sera :

$$\frac{0,900 \times 1,36}{0,75} = 1,63 \text{ chevaux.}$$

en supposant que le rendement du survolteur soit de 0,75.

Toutefois si le régime maximum de décharge est de 180 ampères, et si le voltage de la batterie descend à 1,80 volts par élément, le survolteur devra fournir  $110 - 56 \times 1,8 = 10$  volts. La

puissance du moteur devra être alors de :

$$\frac{10 \times 0,180 \times 1,36}{0,75} = 3,26 \text{ chevaux.}$$

La puissance du survolteur sera alors de  $36 \times 180 = 6,5$  kilowatts, à moins que l'intensité maximum ne soit atteinte que pendant un temps très court, auquel cas le survolteur pourra être un peu diminué. Si le survolteur n'est employé qu'à la charge, il y aura 61 éléments en série et le voltage maximum

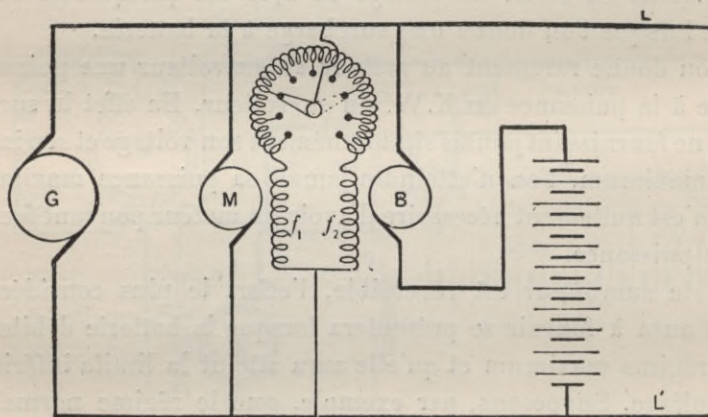


Fig. 118.

du survolteur à la charge sera de 49 volts. Sa puissance devra être alors de  $49 \times 50 = 2,45$  kilowatts.

Les données précédentes nous montrent l'augmentation des dimensions du survolteur et de son moteur dans le cas d'un survolteur réversible. Toutefois l'augmentation trouvée n'est exacte que pour les conditions particulières données.

La figure 118 donne une méthode de connexion du survolteur shunt et de son moteur, qui est souvent employée en Allemagne.

G est la génératrice, L et L' les barres de distribution, M est le moteur d'entraînement du survolteur et B le survolteur.  $f_1$  et  $f_2$  sont les enroulements de champ respectifs du moteur et du survolteur, ils sont montés en parallèle sur les barres L et L' par l'intermédiaire du rhéostat R ainsi qu'il est indiqué sur la figure. Lorsque l'on déplace la manette du rhéostat sur les plots de contact, l'intensité augmente dans l'un des enroulements tandis

qu'elle décroît dans l'autre. Donc, dans la position représentée sur la figure, l'excitation du moteur est forte tandis que celle du survolteur est faible; la force électromotrice du survolteur sera alors faible puisqu'il sera faiblement excité et que le moteur tournera lentement par suite de sa forte excitation. L'inverse a lieu lorsque la manette est dans la position représentée en pointillé.  $f_1$  est alors faible et  $f_2$  puissant, le moteur tournera à grande vitesse et le survolteur aura une forte excitation, le survolteur aura donc dans ce cas une force électromotrice élevée. Cette disposition ne semble présenter aucun avantage sur les méthodes ordinaires d'entraînement des survolteurs au moyen de moteurs, et dans lesquelles l'on insère des rhéostats séparés dans les circuits d'excitation des deux machines.

Le brevet de H.-W. Léonard, du 2 septembre 1890, revendique également l'emploi, comme survolteurs, de machines excitées en série. Les connexions à la batterie sont les mêmes que celles du survolteur shunt, c'est-à-dire que la machine et la batterie sont reliées en série et connectées aux barres. Lorsque la batterie n'est traversée par aucun courant de charge ou de décharge, le survolteur est au voltage zéro.

Si le voltage de la ligne croît par suite d'une diminution de la charge, et si la batterie se trouve traversée par un courant de charge, le survolteur prendra une force électromotrice tendant à accroître l'intensité du courant de charge. L'action inverse se produira lorsque la batterie se mettra en décharge. Le survolteur série constitue donc un compoundage de la batterie, il tend à maintenir un voltage constant sur la ligne quelle que soit la charge. Il faut, pour qu'il puisse fonctionner, que le voltage de la génératrice augmente lorsque la charge diminue, et qu'il diminue lorsque la charge augmente; ce survolteur ne peut donc être employé qu'avec une dynamo shunt ou son équivalent comme source d'énergie. Ce système n'est applicable que dans les distributions de force. Le fonctionnement est analogue à celui que l'on obtient par l'emploi des « batteries volant » sans survolteur. Il n'est pas employé parce que d'autres types de survolteurs donnent, dans les mêmes conditions, des résultats meilleurs.

Toutefois, l'on doit noter que les survolteurs série sont auto-

matiques et qu'ils règlent leur force électromotrice de façon à produire les régimes de charge et de décharge voulus lorsque la charge extérieure varie; ils tendent de plus à maintenir sur la ligne une force électromotrice constante pour toutes les conditions de charge du circuit.

## CHAPITRE XXXII

### SURVOLTEUR COMPOUND

Le survolteur compound est employé dans les installations de tramways, et dans les stations centrales de distribution, ayant à supporter des fluctuations de charge considérables ; dans de tels systèmes de distribution les batteries sont destinées à éviter des chutes de voltage trop considérables dans les feeders, et à venir en aide à la station centrale, en évitant aux machines les à-coups brusques provenant des variations momentanées de la charge. Ce système est représenté schématiquement dans la figure 119. G est la génératrice, E la batterie, B l'armature du survolteur, F l'excitation série, *f* l'excitation shunt, R le rhéostat de l'excitation shunt, M et M des moteurs, et S un commutateur à deux directions au moyen duquel l'excitation shunt peut être ajoutée ou retranchée de l'excitation série. Ce survolteur fonctionne comme il suit :

Dans les conditions normales de fonctionnement le champ dû à l'enroulement shunt crée une force électromotrice de même sens que la force électromotrice de la batterie, et tend à la mettre en décharge. Appelons  $E_o$  la force électromotrice de la génératrice,  $V$  la force électromotrice du survolteur, et  $E_a$  la force électromotrice de la batterie. Lorsque la batterie ne sera traversée par aucun courant de charge ou de décharge, l'on aura :

$$E_o - V = E_a \quad (24)$$

Dans ce cas le courant fourni par la génératrice est égal à la charge du circuit extérieur. Si la charge augmente  $E_o$  diminue, et  $E_a + V$  devient supérieur à  $E_o$ , ce qui permet à la batterie de se mettre en décharge. Le courant de décharge passant par l'enroulement série produit une force électromotrice, qui lui est pro-

portionnelle, et qui s'ajoute à celle de l'enroulement shunt; ceci détermine une augmentation de  $V$  ainsi que de  $Ea + V$ , et active par conséquent la décharge de la batterie. La batterie venant ainsi en aide à la génératrice, la charge de cette dernière décroît, et son voltage remonte jusqu'à atteindre sa valeur normale.

Si la charge du circuit extérieur tombe au-dessous de la normale,  $Eo$  augmentera et la batterie se mettra en charge. Dans ce cas la force magnétomotrice de l'enroulement série sera en oppo-

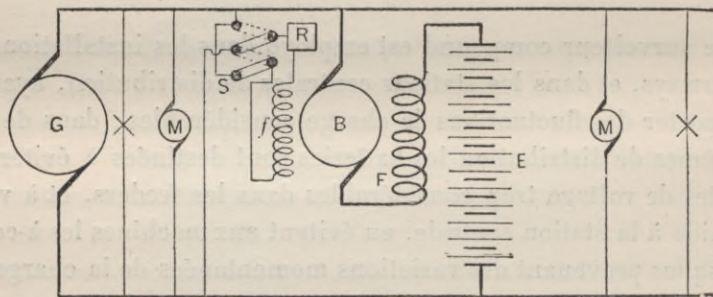


Fig. 119.

sition avec celle de l'enroulement shunt, et  $V$  diminuera. L'on a alors  $Eo > Ea + V$ , et l'intensité du courant de charge augmente jusqu'à ce que  $Eo$  commence à décroître pour retomber à sa valeur normale. En réalité il n'y aura plus, exactement, que des tendances à des variations, celles-ci étant arrêtées dès leur début.

Pour déterminer les dimensions et les enroulements du survolteur il est nécessaire d'avoir une courbe des variations de la charge. Dans le cas d'une installation nouvelle l'on construira une courbe de charge approximative au moyen des données que l'on aura sur des installations similaires à celle projetée; l'exactitude de la courbe ainsi déterminée sera suffisante pour qu'elle puisse servir de base au calcul du survolteur.

L'armature et l'enroulement série devront pouvoir supporter le courant de décharge maximum de la batterie; c'est-à-dire  $I_x - I_o$ , où :

$I_o$  = courant débité par la génératrice;

$I_x$  = courant fourni dans le circuit extérieur.

Posons de plus :

$I_a$  = charge normale du circuit extérieur, c'est-à-dire charge moyenne.

$E_m$  = voltage de la génératrice à circuit ouvert ;

$E_a$  = voltage de la batterie à un état quelconque de charge (voltage à circuit ouvert) ;

$E_n$  = voltage normal de la batterie ;

$h$  = constante par laquelle il faut multiplier l'intensité du courant débité par la génératrice pour obtenir la chute de force électromotrice de cette génératrice ;

$R$  = résistance intérieure virtuelle de la batterie ;

$k$  = voltage engendré dans l'armature par ampère tour de l'enroulement de champ ;

$N$  = nombre d'éléments en série =  $\frac{E_a}{2}$

L'enroulement série compense la chute de voltage due à la résistance du circuit de la batterie. Donc l'on aura :

$$T. k. I. = R. I. \quad \text{et} \quad T = \frac{R}{k} \quad (25)$$

$I$  étant le courant traversant la batterie dans un sens ou dans l'autre. Cette équation suppose que la caractéristique du survolteur est une ligne droite. Le facteur  $k$  suppose en effet une perméabilité constante.

Lorsque  $I_o = I_x$  la batterie n'est traversée par aucun courant soit de charge soit de décharge, et l'on a :

$$E_m - I_o. h. - V = E_a. \quad (26)$$

Le survolteur faisant agir la batterie comme si elle n'avait pas de résistance, les seuls facteurs entrant dans la détermination de  $I_o$  sont  $V$ ,  $E_a$ ,  $E_m$ , et  $h$ , et l'on a :

$$I_o = \frac{E_m - V - E_a}{h} \quad (27)$$

Tous ces facteurs sont des constantes, et, par conséquent  $I_o$  est constant pour une valeur donnée de  $E_a$ , quelle que soit la charge, pourvu que l'enroulement shunt soit connecté aux barres, et fournisse une force magnétomotrice constante.

Si l'enroulement shunt était connecté aux bornes de la batterie, l'équation (27) deviendrait :

$$I_0 = \frac{E_m - \frac{V E_a}{E_n} + I_x \frac{RV}{E_n} - E_a}{h + \frac{RV}{E_n}}. \quad (28)$$

Ceci nous indique que le courant débité par la génératrice variera avec la charge si  $f$  est connecté aux bornes de la batterie. Toutefois le facteur  $\frac{RV}{E_n}$  est en général très petit en comparaison des autres quantités.

Plus l'on prendra  $V$  petit, plus la valeur de  $E_a$  sera voisine de  $E_m - I_0 h$  et plus l'on réduira les dimensions du survolteur. Si l'on augmente la valeur de  $V$ , l'on augmentera l'importance du survolteur, mais le nombre des éléments de la batterie sera diminué.

En général la valeur de  $V$  devra être très faible lorsque la batterie sera à son voltage normal, cette valeur variera de 0 à 5 volts. Toutefois l'enroulement shunt doit être capable de produire une force électromotrice suffisante pour que l'égalité (26) soit encore satisfaite lorsque  $E_a$  a atteint sa valeur minimum, et aussi pour satisfaire à l'égalité :

$$E_m - I_0 h + V = E_a. \quad (29)$$

Lorsque  $E_a$  a atteint sa valeur maximum et que l'on a renversé le sens de l'excitation, le survolteur ajoute sa force électromotrice à celle de la génératrice, l'on a alors  $E_a \text{ max.} = 1,45 \times E_a$ , donc  $V \text{ max.}$  doit être égal à  $0,45 \times E_a - V$  lorsque  $f$  est connecté aux barres, et à  $\frac{0,45 E_a}{1,45} - V$  lorsque  $f$  est connecté aux bornes de la batterie. Pour  $E_a \text{ min.}$  l'on a  $V \text{ max.} = 0,4 \times E_a + V$  lorsque  $f$  est connecté aux barres, et  $= \frac{0,4 \times E_a}{0,9} + V$  lorsque  $f$  est connecté aux bornes de la batterie.

Ces données et l'égalité (29) permettent de déterminer l'enroulement shunt ainsi que la dimension et la résistance du rhéostat. Ce dernier devra permettre de faire varier la force électromotrice due à l'enroulement shunt de 0 à sa valeur maximum, et la variation obtenue en passant d'une touche à la suivante ne devra pas être supérieure à 2 volts.



L'on déterminera la puissance du moteur en prenant le produit maximum du voltage par l'intensité lue au même instant. Ce produit sera maximum lorsque la batterie aura atteint son voltage minimum et qu'elle déchargera à son régime maximum.

Si l'on prend comme voltage minimum 1,8 volts par élément, l'on aura  $Ea \text{ min.} = \frac{Ea \times 1,8}{2} = 0,9 Ea$ . Lorsqu'à ce voltage la batterie fournira  $I \text{ max.}$  le voltage du survolteur sera  $= 0,1 \times Ea + (I \text{ max. } Tk) + V$ .

Watts  $= I \text{ max.} (0,1 \times Ea + I \text{ max. } Tk + V) =$  puissance du moteur du survolteur.

Ce type de survolteur peut également être établi de telle sorte qu'en marche normale, la force électromotrice due à l'enroulement shunt soit en opposition avec la force électromotrice de la batterie; l'on aura dans ce cas :

$$Em - Ioh = Ea - V. \quad (30)$$

Le nombre des éléments de la batterie devra être alors plus considérable que lorsque les connections de l'enroulement shunt sont faites en sens inverse.

L'on peut facilement déduire la relation pour ce cas entre les différentes quantités des équations données plus haut, en effectuant les changements de signes convenables. L'on obtient dans ce cas :

$$I_o = \frac{Em + \frac{VEa}{En} - I_x \left( \frac{RV}{En} \right) - Ea}{h - \frac{RV}{En}}. \quad (31)$$

L'équation montre qu'avec ce montage, la charge de la génératrice varie en sens inverse de la charge extérieure. Cette disposition mettrait donc une trop forte charge sur la batterie au moment où la charge du réseau serait maximum.

Nous donnerons un exemple concret pour faire mieux comprendre ce qui précède, nous supposons :

$$Em = 500 \text{ volts.}$$

$$V = 10 \text{ volts.}$$

$$h = 0,15.$$

$$I_o = 100 \text{ ampères normalement.}$$

$I_x = 400$  ampères au maximum.

$R = 0,2$  ohms.

$k = 0,02$  volts.

$E_a = 500 - (100 \times 0,15) - 10 = 475$  volts.

$T = \frac{0,2}{0,02} = 10$  tours.

$N = \frac{475}{2} = 238$  éléments.

Pour des valeurs quelconques, données de  $E_a$  et de  $V$ ,  $I_o$  restera invariable quelles que soient les variations de  $I_x$ .

Si  $E_a$  varie, et si l'on ne modifie pas  $V$  pour compenser cette variation,  $I_o$  variera, mais restera indépendant de la charge extérieure.

Si  $E_a + V = E_m$ ,  $I_o$  sera réduit à zéro, et la batterie supportera toute la charge extérieure.

$I_o$  sera maximum lorsque  $E_a$  sera minimum si  $V$  reste constant.

$$I_o (\text{maximum}) = \frac{500 - 10 - 427,5}{0,15} = 416 \text{ ampères.}$$

En fait ceci est une intensité anormale qui ne se présentera que dans des cas extraordinaires, car  $E_a$  ne pourra jamais tomber à 427,5 volts sans une manipulation du rhéostat qui permette à la batterie de prendre une partie de la charge.

Pour calculer  $I_o$ , lorsque l'enroulement shunt est connecté aux bornes de la batterie, l'on fera les substitutions convenables dans l'équation (28). Dans l'exemple proposé l'on aura  $I_x = 0$

$$I_o = \frac{500 - 475 - 10}{0,15 + \frac{0,2 \times 10}{475}} = 97,4 \text{ ampères.}$$

Pour  $I_x = 100$ , l'on aura  $I_o = 100$  ampères; et pour  $I_x = 400$ ,  $I_o = 108$  ampères. La régulation sera meilleure avec l'enroulement shunt connecté aux barres.

Si  $E_a$  augmente, et si l'on n'inverse pas  $V$ , la batterie tendra à prendre toute la charge du circuit extérieur. Il pourra donc se présenter des conditions dans lesquelles  $I_o$  tombera à 50 ampères, tandis que  $I_x$  montera à 400 ampères. L'armature et l'enroulement série du survolteur devront donc pouvoir supporter une intensité de 350 ampères pendant, par exemple, dix minutes.

Le voltage le plus élevé que devra pouvoir fournir l'enroulement shunt sera le plus grand de deux maxima ; l'un de ces maxima aura lieu lorsque  $Ea$  sera maximum, et que l'excitation shunt sera inversée afin d'éviter la mise en décharge de la batterie ; l'autre aura lieu lorsque  $Ea$  sera minimum.

$$V_1 \text{ max. pour } Ea \text{ max.} = 475 \times 0,15 - 10 = 61,25 \text{ volts.}$$

$$V_2 \text{ max. pour } Ea \text{ min.} = 0,1 \times 475 - 10 = 57,5 \text{ volts.}$$

L'enroulement shunt devra donc pouvoir produire 62 volts lorsque l'on supprimera toute la résistance du circuit d'excitation. Le voltage du survolteur sera maximum lorsque  $Ea$  aura atteint son minimum et que  $Ix$  sera maximum, ce voltage sera alors égal à  $(V_2 \text{ max.} + I \text{ max.} \times Tk)$ , où  $I \text{ max.} = Ix \text{ max.} - I_0$ , ceci nous donne  $57,5 + 0,2(400 - 100) = 117,5$  volts. La puissance maximum du groupe survolteur devra donc être de  $117,5 \times 300 = 35,25$  kilowatts.

Comme le maximum n'est atteint que très rarement, et pendant des durées très courtes, il suffira d'avoir un survolteur ayant 70 p. 100 de la puissance calculée, dans le cas présent un survolteur de 25 kilowatts sera donc suffisant.

Si nous supposons au survolteur un rendement de 90 p. 100, le moteur devra avoir une puissance en chevaux de  $\frac{25}{0,736 \times 0,90} = 37,2$  H. P.

La figure 119 montre que la charge peut être prise sur la ligne, soit entre le survolteur et la station centrale, soit entre le survolteur et l'extrémité de la ligne. L'on peut donc, dans une installation de traction, placer le survolteur et la batterie à l'extrémité d'un feeder, au point où la chute de voltage est la plus élevée. La batterie peut également venir en aide à la station au moment du maximum de charge, l'on devra manœuvrer alors le rhéostat pour compenser la chute de  $Ea$ .

Le fonctionnement de ce système étant basé sur les variations de force électromotrice de la génératrice avec la charge, cette génératrice devra être une machine shunt ou son équivalent.

Lorsqu'une installation fonctionne avec des dynamos compound, et que l'on veut y installer ce système de batterie et de survolteur, il faut faire quelques changements aux génératrices. Si l'on

supprimait entièrement l'enroulement série, la dynamo ne fournirait pas la force électromotrice voulue à la charge normale. Pour faire usage de la machine et des enroulements existants, l'on a recours au dispositif de la figure 120.

Dans ce schéma, G est la génératrice,  $f$  et F ses enroulements shunt et série, E une batterie à bas voltage — en général un ou deux éléments — et R une résistance variable montée en série avec l'excitation série. La batterie est montée en parallèle avec

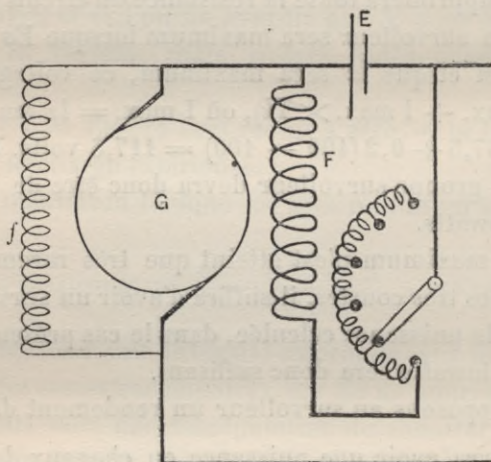


Fig. 120.

l'enroulement série et la résistance R ainsi que le montre la figure. Lorsque la charge de la génératrice est normale, la chute dans  $F + R$  est égale à la force électromotrice de la batterie. Si la charge de la génératrice augmente  $(F + R) I_0$  sera supérieur à la force électromotrice de la batterie, et le courant se divisera ; une partie du courant passera dans la batterie, et il ne passera dans  $F + R$  que le courant normal. Si la charge décroît, et si la force électromotrice de la batterie devient supérieure à  $(F + R) I_0$ , la batterie entrera en décharge et enverra le courant normal dans  $F + R$ . La variation de  $I_0$  sera faible étant donné l'action régulatrice de la batterie principale et du survolteur de ligne.

Comme avec ce dispositif, l'excitation de la génératrice est la somme d'une excitation constante et d'une excitation variant en

sens inverse de la charge, sa caractéristique sera semblable à celle d'une machine shunt.

Des descriptions qui précèdent l'on pourra conclure que le survolteur compound est automatique dans certaines limites de charge de la batterie. Toute variation importante dans le voltage de la batterie sera suivie d'une variation correspondante dans le débit de la génératrice, à moins que l'on ait manœuvré le rhéostat de façon à ramener  $Ea + V$  à sa valeur normale.

Bien que théoriquement les variations du courant débité par la génératrice soient faibles pour une variation donnée de la charge, il y aura toujours un à-coup brusque, momentané, sur la génératrice, lorsque la charge augmentera, sa durée sera égale au retard de magnétisation des inducteurs du survolteur. Les lampes montées sur un circuit dont la charge est variable vascilleront. Sous ce rapport le survolteur compound ne donne pas des résultats aussi satisfaisants que le survolteur à courant constant ; dans ce dernier, en effet, tout le courant de la génératrice passe dans l'enroulement série, qui, par sa self-induction, empêche les à-coups subits de courant, et donne au champ du survolteur le temps de modifier sa magnétisation de la quantité voulue.

Le système de survolteur compound, et le dispositif décrit pour l'emploi des génératrices compound avec ce survolteur, font l'objet du brevet n° 625.099 pris le 16 mai 1899 par J.-B. Entz. Ce brevet revendique aussi l'emploi d'un survolteur série sans enroulement shunt, ce dernier fut déjà breveté par H. Ward Léonard sous le n° 435.700 le 2 septembre 1890.

Comme les survolteurs doivent fonctionner à de fortes intensités et à bas voltage, les collecteurs et les surfaces de contact des balais devront être souvent beaucoup plus importants que dans les dynamos ordinaires. L'on fait usage quelquefois de collecteurs doubles pour pouvoir employer des segments de collecteurs ordinaires, pour ramener la longueur des porte-balais aux dimensions usuelles, et pour maintenir la vitesse périphérique du collecteur dans les limites de la bonne pratique. Ces collecteurs sont alors placés de part et d'autre de l'armature, et sont reliés en parallèle ou en série suivant les besoins.

Ce dispositif permet de réduire les dimensions du survolteur.

En effet le voltage maximum est en général déterminé par la force électromotrice de la batterie amenée au bouillonnement, c'est-à-dire surchargée. Mais pour les surcharges, l'on n'a besoin que d'une faible intensité, l'on pourra donc dans un tel cas connecter les deux commutateurs en série, il suffira donc d'un voltage maximum plus faible et par conséquent d'un survolteur moins important. De plus, un survolteur à deux collecteurs aura un rendement sensiblement meilleur. Le rendement d'un survolteur qui tra-

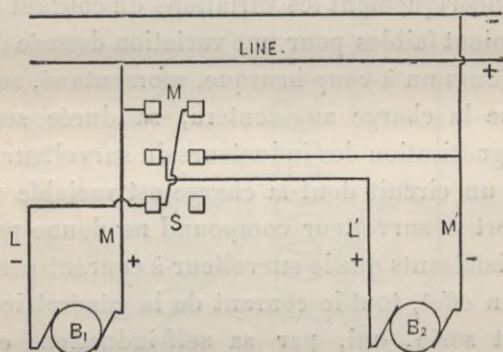


Fig. 121.

vaille à des charges très variables serait très faible si le voltage de la machine ne variait pas également ; ceci fait que le rendement aux différentes charges est sensiblement le même que celui d'une dynamo série. Comme les pertes dans le fer sont les pertes principales dans les petites machines de ce type, il faut diminuer l'importance de ces machines autant que possible et l'on arrive à ce résultat par l'emploi d'un double enroulement et de deux collecteurs.

Les balais seront connectés à un commutateur double à deux directions, qui, lorsqu'il sera fermé dans un sens mettra les deux circuits en parallèle, et les mettra en série lorsqu'il sera fermé en sens inverse. La figure 121 donne le schéma des connexions ; L, M, sont les deux barres allant à l'un des collecteurs, et L', M' sont les deux barres allant à l'autre.

Le courant va dans tous les cas à la batterie par M et M'. Le diagramme montre clairement que lorsque le commutateur est fermé vers le haut, les deux circuits sont mis en parallèle, et qu'ils sont mis en série lorsque le commutateur est fermé vers le bas.

## CHAPITRE XXXIII

### SURVOLTEUR DIFFÉRENTIEL

Le survolteur différentiel est employé dans les installations de tramways et de distribution de force où les variations de charge sont subites et violentes. Il y a plusieurs variétés de ce genre de survolteur, et l'on a breveté beaucoup de dispositifs différents pour faire varier la force électromotrice de la machine. Quelques-uns de ces brevets semblent être identiques et font douter de l'efficacité de l'office des brevets américains.

Le premier brevet de survolteur automatique fut pris par C.-O. Mailloux en juin 1890 sous le n° 430-868. Ce brevet décrit le système de survolteur représenté schématiquement dans la figure 122; il revendique en même temps, comme une modification du même brevet, un survolteur différentiel.

Dans le brevet original, la batterie E est montée en série avec l'armature du survolteur B; l'ensemble est connecté aux barres L et L'; G étant la source de courant. Tout le courant fourni à la ligne traverse l'enroulement série S du survolteur. Il est évident que dans les limites de la saturation, la force électromotrice du survolteur variera proportionnellement à la charge sur le circuit extérieur. Cette force électromotrice est en opposition avec celle de la génératrice et tend à faire décharger la batterie. Lorsque la charge sur le circuit extérieur sera faible, la force électromotrice du survolteur sera basse; la force électromotrice de la génératrice sera alors supérieure à la somme des forces électromotrices de la batterie et du survolteur, et la batterie se mettra en charge. Lorsque la charge sera normale, l'enroulement série produira une force électromotrice qui, ajoutée à la force électromotrice de la batterie, fera équilibre à la force électromo-

trice de la génératrice, et la batterie ne sera traversée par aucun courant de charge ou de décharge. Enfin lorsque la charge sur le circuit extérieur sera supérieure à la normale, la force électro-

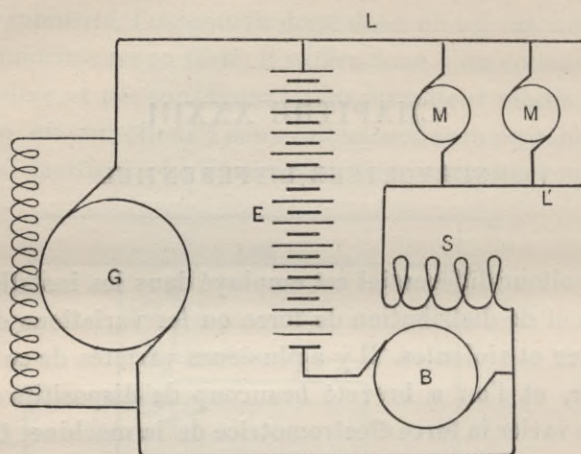


Fig. 122.

motrice du survolteur augmentera, et la batterie sera mise en décharge à un régime proportionnel à la charge extérieure.

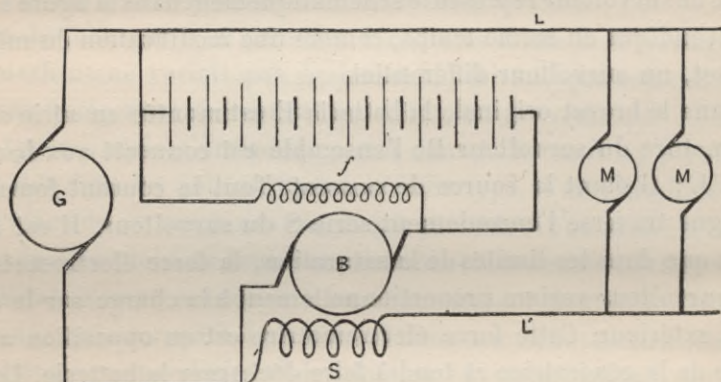


Fig. 123.

Le survolteur différentiel décrit dans le même brevet est représenté dans la figure 123. Dans ce survolteur l'enroulement shunt  $f$  est en opposition avec l'enroulement série  $S$ , et tend à produire une force électromotrice de même sens que celle de la génératrice, c'est-à-dire qu'il tend à envoyer du courant dans la



batterie. Lorsque la charge sur le circuit extérieur est normale, les enroulements shunt et série se font équilibre, la force électromotrice du survolteur est nulle, et la batterie ne fournit ni ne reçoit de courant. A forte charge l'action de l'enroulement série est prédominante, et la force électromotrice du survolteur agit dans un sens tel qu'elle tend à faire décharger la batterie. Lorsque la charge est inférieure à la normale, l'action de l'enroulement shunt prédomine ; la force électromotrice du survolteur

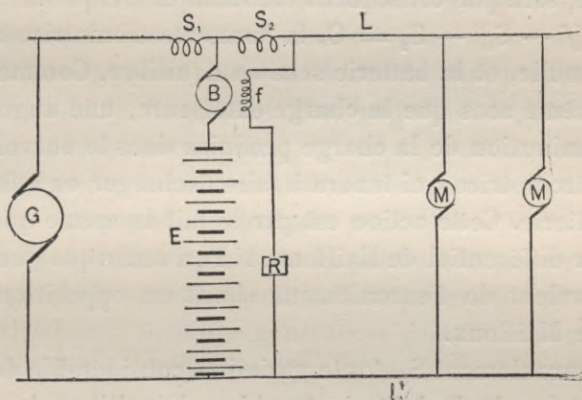


Fig. 124.

s'ajoute alors à celle de la génératrice, et la batterie est mise en charge.

Le brevet pris le 31 août 1897 par Meredith et Hunt sous le n° 589-186 semble se rapporter à un survolteur en tous points identique à celui breveté par Mailloux en 1890.

Le survolteur différentiel le plus communément employé est une modification de celui de Mailloux qui fut breveté le 16 mai 1899 par J.-B. Entz sous le n° 625-098. Ce système est représenté dans la figure 124.

G est la génératrice, B l'armature du survolteur, E la batterie, *f* l'enroulement shunt du survolteur qui est connecté aux barres,  $S_1$  et  $S_2$  les enroulements série,  $L L'$  les barres, et  $M M$  la charge extérieure.

Comme on le voit  $S_1$  est en série avec la génératrice, et est traversé par tout le courant fourni par cette génératrice.  $S_2$  est traversé par tout le courant fourni au circuit extérieur ; celui-ci

est à chaque instant égal à la somme algébrique des courants de la génératrice et de la batterie, si l'on prend comme positifs les courants fournis par la génératrice et débités par la batterie, et comme négatif le courant reçu par la batterie.

$S_1$  et  $S_2$  agissent ensemble pour produire une force électromotrice opposée à celle produite par l'enroulement shunt. Comme le but de ce système est de maintenir une charge constante sur la génératrice, l'on peut considérer  $S_1$  comme constant. Le champ dû à  $f - S_1$  sera par conséquent constant. Si lorsque la charge est normale  $(f - S_1) - S_2 = 0$ , la force électromotrice du survolteur sera nulle, et la batterie sera en équilibre. Comme  $S_2$  varie dans le même sens que la charge extérieure, une augmentation ou une diminution de la charge produira dans le survolteur une force électromotrice qui tendra à faire décharger ou à faire charger la batterie. Cette action est par le fait la même que dans le survolteur différentiel de Mailloux, si l'on remarque que  $(f - S_1)$  est l'équivalent de l'enroulement shunt en opposition du survolteur de Mailloux.

Sans l'enroulement  $S_1$ , toute variation considérable de la force électromotrice de la batterie troublera l'équilibre du système; l'emploi de cet enroulement compensateur se trouve donc justifié. En effet, si la force électromotrice de la batterie est inférieure à la normale, elle ne se mettra pas en décharge assez rapidement pour empêcher des fluctuations de la charge sur la génératrice, à moins que la force électromotrice du survolteur ne soit accrue; la génératrice aura alors à fournir un courant supérieur à celui correspondant à sa charge normale. Si le courant traversant  $S_1$  a une intensité supérieure à la normale  $(f - S_1)$  diminuera, et l'action opposée de  $S_2$  prédominera davantage, elle augmentera donc la force électromotrice du survolteur tendant à faire décharger la batterie, et la charge de la génératrice sera ramenée à sa valeur normale. Si la force électromotrice de la batterie a une valeur supérieure à la normale, l'action inverse aura lieu; la tendance qu'aura la batterie à se décharger trop rapidement sera diminuée, et la génératrice pourra reprendre sa part de la charge. La force électromotrice du survolteur aura en effet diminué, par suite de la diminution de la charge de la généra-

trice et, par conséquent, de l'intensité du courant dans  $S_1$ .

Ce système est entièrement automatique. Toutefois l'on peut faire varier la force du champ  $f$  au moyen du rhéostat  $R$  pour compenser les variations de force électromotrice de la batterie. Ce système est adopté dans les installations distribuant en même temps la lumière et la force ; le circuit de lumière est alors branché aux barres  $L L^1$ , entre le survolteur et la génératrice, là où les fluctuations de charge ne se font pas sentir.

La charge variable doit être connectée aux barres au delà des enroulements du survolteur.

L'on doit se rappeler que dans le cas du survolteur compound, la distribution de force peut être branchée de part et d'autre des connexions du survolteur.

Dans le cas du survolteur différentiel comme dans le cas du survolteur compound, la batterie peut être utilisée aussi bien pour aider la génératrice à faire la pointe que pour absorber les fluctuations de la charge. Ce survolteur pourra fonctionner d'une façon satisfaisante avec une génératrice compound comme source de courant. Pour calculer les dimensions et les enroulements du survolteur il est nécessaire d'opérer analytiquement comme suit :

Lorsque la charge du réseau et le voltage de la batterie sont normaux, il ne doit y avoir ni charge ni décharge, et le voltage du survolteur doit être nul. Supposons que le voltage maximum de la batterie soit de  $2, 3 N$ ,  $N$  étant le nombre d'éléments en série. Soit  $2 N$  le voltage normal. Le voltage dû à l'enroulement shunt ne devra pas être inférieur à  $(2, 3. N - 2. N) = 0, 3. N$ .

Soit :

$E_m$  = voltage de la génératrice à circuit ouvert.

$E_a$  = voltage de la batterie.

$V$  = force électromotrice du survolteur due à l'enroulement shunt.

$I_0$  = courant fourni par la génératrice.

$I_x$  = intensité du courant dans le circuit extérieur.

$R$  = résistance du circuit de la batterie y compris l'armature du survolteur.

$t_1$  = nombre de tours de l'enroulement  $S_1$ .

$t_2$  = nombre de tours de l'enroulement  $S_2$ .

$K$  = nombre de volts produits par ampère-tour de l'enroulement de champ du survolteur.

$h$  = chute de voltage de la génératrice par ampère de débit.

Si l'on suppose tout d'abord que  $I_0$  est l'intensité moyenne fournie par la génératrice, l'on aura  $Em - I_0 \cdot h = E_0 =$  voltage normal de l'ensemble survolteur plus batterie. Si la génératrice est compoundée de telle sorte qu'elle donne une force électromotrice constante, l'on aura  $h = 0$ . Si la génératrice est hypercompound,  $h$  sera négatif, et l'on aura  $E_0 = Em + I_0 \cdot h$ .

Pour que le voltage du survolteur soit nul lorsque  $I_x$  est égal au courant moyen de la génératrice, il faudra que l'on ait :

$$I_0 (t_1 + t_2) K = V \text{ d'où } t_1 + t_2 = \frac{V}{I_0 K}. \quad (32)$$

Lorsque la charge augmente, le voltage dû à l'enroulement série doit surpasser  $V$  d'une quantité égale à la chute due à la résistance intérieure de la batterie, l'on doit donc avoir :

$$K (I_0 t_1 + I_x t_2) = V + R (I_x - I_0). \quad (33)$$

le courant fourni par la batterie étant égal à  $I_x - I_0$ . Comme  $I_0$  doit rester constant, l'augmentation de force magnétomotrice due à l'enroulement série devra être fournie par l'enroulement  $S_2$ . Donc l'on aura :

$$K t_2 (I_x - I_0) = R (I_x - I_0), \text{ ou bien } t_2 = \frac{R}{K}. \quad (34)$$

Ces équations permettront de déterminer les trois enroulements d'excitation du survolteur. L'emploi du facteur  $K$  suppose une perméabilité constante et une caractéristique rectiligne. Ceci sera suffisamment exact pour les besoins de la pratique. Si l'enroulement shunt est connecté aux bornes de la batterie, le voltage dû à cet enroulement variera avec  $Ea$ ,  $V$  deviendra donc :

$$\frac{VEa - VRI_x + VRI_0}{En} \quad (35)$$

où  $En$  est le voltage normal de la batterie.

Lorsque l'enroulement shunt sera connecté aux barres, l'on aura pour l'équation des forces électromotrices

$$I_0 \cdot t_1 \cdot K + I_x \cdot t_2 \cdot K - V - Em + Ea + RI_0 - RI_x + I_0 \cdot h = 0. \quad (36)$$

Mais  $t_2 K = R$ , (équation 34). Donc,

$$I_0 = \frac{V + E_m - E_a}{t_1 K + R + h} \quad (37)$$

Ceci montre que  $I_0$  est constant pour une valeur donnée de  $E_a$  quelles que soient les variations de la charge.

Toutefois si l'enroulement shunt était connecté aux bornes de la batterie, l'équation (36) deviendrait :

$$I_0 t_1 K + I_x t_2 K - \frac{V E_a}{E_n} + \frac{V R I_x}{E_n} - \frac{V R I_0}{E_n} + I_0 h - E_m + E_a + R I_0 - R I_x = 0 \quad (38)$$

d'où :

$$I_0 = \frac{E_m + \frac{V E_a}{E_n} - E_a - I_x \frac{V R}{E_n}}{t_1 K + R - \frac{V R}{E_n} + h} \quad (39)$$

Pour une valeur donnée de  $E_a$  tous les termes entrant dans cette équation sont constants, excepté  $I_x$ , ceci nous montre que  $I_0$  variera avec  $I_x$ . Toutefois le facteur  $\frac{V R}{E_n}$  est petit. Lorsque le voltage de la batterie est normal, l'on a  $E_n = E_a = E_m$ , alors :

$$I_0 = \frac{V - I_x \frac{V R}{E_a}}{t_1 K + R - \frac{V R}{E_a} + h} \quad (40)$$

Considérons maintenant l'exemple concret d'une installation de tramways ayant les caractéristiques suivantes :

$$E_m = 500 \text{ volts} = 2N ;$$

$$N = \frac{500}{2} = 250 \text{ éléments} ;$$

$$E_a = 500 \text{ volts} ;$$

$$V = 0,3N = 250 \times 0,3 = 75 \text{ volts, nous prendrons } 76 ;$$

$$I_0 = 100 \text{ ampères en moyenne} ;$$

$$I_x = 400 \text{ ampères maximum} ;$$

$$R = 0,2 \text{ ohms} ;$$

$$K = 0,02 \text{ volts par ampère-tour} ;$$

$$h = 0, \text{ c'est-à-dire } E_m = E_0 ;$$

En supposant le voltage de la batterie normal, l'on aura :

$$t_1 + t_2 = \frac{76}{100 + 0,02} = 38 \text{ tours.}$$

$$t_2 = \frac{0,2}{0,02} = 10 \text{ tours, donc } t_1 = 28 \text{ tours.}$$

Comme en pratique l'excitation shunt est connectée aux barres,  $V$  est pratiquement constant. Donc lorsque  $Ea$  aura sa valeur normale,  $I_0$  ne variera pas quelle que soit la charge. Si le voltage de la ligne varie d'une façon appréciable, l'on devra employer l'équation (40), dans laquelle l'on remplacera les variations de la batterie par les variations de la ligne.

$I_0$  sera maximum lorsque  $Ea$  sera minimum, l'on aura alors :

$$I_0 = \frac{500 + 76 - 475}{0,56 \times 0,2} = 132,9 \text{ ampères.}$$

$I_0$  sera minimum lorsque  $Ea$  sera maximum. L'on aura alors :

$$I_0 = \frac{500 + 76 - 573}{0,76} = 1,3 \text{ ampère.}$$

$t_1$  devra donc être suffisant pour pouvoir supporter un courant de 133 ampères;  $t_2$  et l'armature doivent pouvoir supporter 400 — 1,3 soit pratiquement 400 ampères. Ces valeurs extrêmes ne sont atteintes que lorsque l'on emploie la batterie comme réservoir en même temps que comme régulatrice.

Lorsque la batterie est employée uniquement comme régulatrice, son voltage ne varie que fort peu, et il ne sera pas nécessaire d'avoir un survolteur aussi important que celui obtenu par les calculs qui précèdent. En veillant suffisamment à la manœuvre du rhéostat, l'on pourra éviter que  $I_0$  atteigne la valeur maximum calculée; toutefois l'on ne pourra augmenter la valeur du minimum qu'en augmentant  $V$ , c'est-à-dire en augmentant la puissance du survolteur.

Si l'on adopte pour l'excitation shunt un voltage plus faible en marche normale, que celui fixé précédemment; voltage que l'on obtiendra par l'emploi d'un rhéostat d'excitation,  $t_1$  sera diminué. La régulation sera la même que celle donnée précédemment lorsque  $Ea$  aura sa valeur normale, mais elle sera moins bonne lorsque  $Ea$  variera. Pour que la régulation soit bonne lorsque  $Ea$  varie,  $t_1$  doit avoir une valeur assez grande; ce qui exige une valeur élevée pour  $V$ .

Donc le voltage dû à l'enroulement shunt en marche normale devra être la pleine valeur de  $V$  ou  $V \text{ max.} = 0,3, N$ . En augmentant  $V$  l'on améliorera la régulation, mais l'on augmen-

tera les dimensions du survolteur ; l'importance du survolteur variera donc avec la régulation que l'on voudra obtenir.

L'on installe généralement ce survolteur avec un interrupteur permettant de mettre en court-circuit les enroulements  $S_1$  et  $S_2$ , l'on peut alors faire agir l'enroulement shunt seul lorsque l'on veut charger rapidement la batterie. Dans le cas que nous venons d'étudier la puissance du survolteur serait de  $400 \times 76 = 30,4$  kilowatts en ne considérant que le voltage dû à l'enroulement shunt.

Les enroulements série sont toujours en opposition avec l'enroulement shunt, et ils n'ajoutent rien à la puissance nécessaire au survolteur. Toutefois les pièces polaires de la machine devront être assez importantes pour pouvoir recevoir ces enroulements. Comme le survolteur travaillera rarement à sa puissance maximum, et que cela ne durera que pendant de courts instants, il suffira de construire une machine ayant 70 p. 100 de la puissance calculée soit, dans le cas présent, une machine de 22 kilowatts.

Lorsque l'on aura  $V = 76$  avec  $Ea = 475$  — ce qui se présentera lorsque la batterie aura été déchargée jusqu'à son voltage minimum et que l'on n'aura pas veillé à la manœuvre du rhéostat — le voltage du survolteur pour la charge extérieure maximum sera  $28 \times 0,02 \times 133 + 400 \times 10 \times 0,02 - 76 = 78,48$  volts, et le survolteur sera traversé par  $\frac{475 + 78,5 - 500}{0,2} = 267$  ampères.

Le produit, soit 19,9 kw. sera le produit maximum des volts par les ampères lus au même instant, et déterminera la puissance du moteur nécessaire pour entraîner le survolteur, si celui-ci n'est employé que pour la régulation. Si l'on suppose que le survolteur a un rendement de 80 p. 100, il faudra un moteur de  $\frac{19,9 \times 1,36}{0,80} = 33,8$  H. P.

Revenons aux enroulements  $S_1$  et  $S_2$ , il est évident que s'ils sont traversés respectivement par un pourcentage donné du courant débité par la génératrice et du courant fourni au circuit extérieur, ils produiront une magnétisation proportionnelle à ces courants aussi bien que s'ils étaient traversés par les courants totaux, le survolteur fonctionnera donc de la même façon s'il

est monté suivant le schéma de la figure 125. En pratique l'on shunt fortement ces deux enroulements de sorte qu'ils ne sont traversés que par une faible partie des courants principaux. Lorsque l'on emploie des shunts, le nombre de tours de  $S_1$  et de  $S_2$  est égal au nombre de tours calculé par les formules 32 et 34 multiplié par le rapport entre les courants totaux et les courants

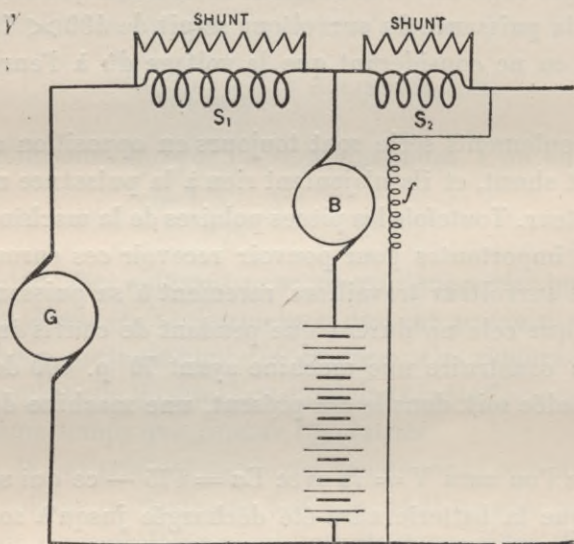


Fig. 125.

traversant ces enroulements. Donc, si 90 p. 100 du courant total passe par les shunts, et 10 p. 100 par les enroulements,  $t_1$  et  $t_2$  devront avoir 10 fois la valeur calculée par les équations 32 et 34, et la section du fil sera 10 fois moindre que précédemment. Le volume des bobines et le poids du cuivre resteront pratiquement les mêmes dans les deux cas.

L'on monte quelquefois l'enroulement  $S_1$  entre la barre égalisatrice et la barre positive, ainsi que le montre la figure 126, lorsque l'installation comporte des génératrices compound. Dans ce cas l'enroulement donne encore une force électromotrice proportionnelle au courant débité par la génératrice, bien qu'il ne soit pas monté en série avec celle-ci. Il est nécessaire pour calculer le nombre de tours de  $S_1$ , de connaître la chute de voltage dans les enroulements série des génératrices, ou, ce qui revient



au même, la différence de potentiel entre la barre égalisatrice et la barre positive, pour la charge normale. L'on calcule alors le nombre de tours de  $S_1$  comme ceux d'un enroulement shunt devant produire dans l'armature une force électromotrice donnée avec un voltage défini à ses bornes.

Ce mode d'enroulement réduit la section du fil nécessaire pour l'enroulement, mais si l'on compare le volume et le poids du cuivre au volume et au poids nécessaires dans le cas du montage régulier en série, l'on verra qu'ils ne sont en rien diminués.

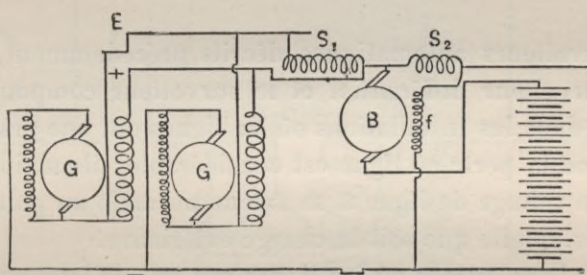


Fig. 126.

Les à-coups subis par la génératrice lorsque la charge augmente sont beaucoup moindres avec le survolteur différentiel qu'avec le survolteur compound, ceci est dû à la self-induction de  $S_1$  et de  $S_2$  qui sont traversés par tout le courant allant au circuit extérieur, dans le cas où l'on ne fait pas emploi de shunts, et où le montage est effectué comme l'indique la figure 124. Lorsque le survolteur est monté comme l'indique la figure 126, la réactance de l'enroulement  $S_2$  s'oppose seule aux à-coups de charge sur la génératrice.

Comme  $S_2$  a en général une inductance beaucoup inférieure à  $S_1$ , le survolteur fonctionnera d'une façon beaucoup plus satisfaisante, dans les installations où il se produit des fluctuations rapides de la charge, lorsque  $S_1$  sera monté en série sur le circuit des génératrices.

## CHAPITRE XXXIV

### SURVOLTEUR A COURANT CONSTANT

Les survolteurs automatiques décrits précédemment, c'est-à-dire le survolteur différentiel et le survolteur compound, sont employés dans les installations où les lignes ont une grande longueur et où la perte en ligne est considérable ; ils maintiennent en effet le voltage de ligne à sa valeur normale au point où ils sont placés, quelle que soit la charge extérieure.

Dans les installations où les lignes ont peu de longueur, et où la perte en ligne est faible, il est souvent utile qu'il y ait une baisse du voltage lorsqu'il se produit une forte surcharge sur le circuit ; la surcharge se produit en effet au moment où il y a des démarrages de moteurs, lesquels déterminent une demande violente de courant ; or si la force électromotrice est diminuée, les moteurs démarreront plus facilement et l'augmentation de l'intensité en ligne due aux démarrages sera diminuée.

Ces conditions prévalent dans les installations comportant des ascenseurs, des presses à imprimer, ou tout autre genre de moteurs ayant des démarrages et des arrêts fréquents. Le survolteur à courant constant convient mieux pour de telles installations, on l'emploie même maintenant quelquefois dans les installations de tramways ou autres du même genre, au lieu des survolteurs compound ou différentiel. Il n'existe que deux survolteurs de ce type, l'un fut inventé par J.-B. Entz, et l'autre par l'Auteur.

Le schéma de la figure 127 représente le dispositif de J. B. Entz breveté le 16 mai 1899 sous le n° 625.100.

Sur la figure, G est la génératrice, B l'armature du survolteur, E la batterie, S l'enroulement série, *f* l'enroulement shunt,

Si l'interrupteur permettant de mettre en court circuit l'enroulement série, R un rhéostat, X, X, X, une charge sans fluctuations pour laquelle un voltage constant est nécessaire, M, M la charge variable, et L, L les barres de distribution.

Il faut remarquer que tout le courant fourni au circuit des moteurs passe par l'enroulement série et par l'armature du survolteur, et qu'il n'y aura jamais de retour de courant sur le survolteur; il faut remarquer de plus que le voltage du circuit des

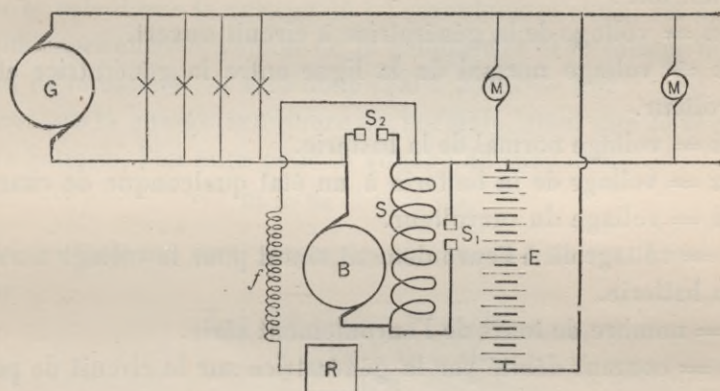


Fig. 127.

moteurs est supérieur à celui du circuit d'éclairage d'une quantité égale au voltage du survolteur.

L'enroulement shunt crée une force électromotrice de même sens que la force électromotrice de la génératrice. L'enroulement série est en opposition avec les forces électromotrices de l'enroulement shunt et de la génératrice.

Si la charge augmente sur le circuit de puissance, le courant fourni par la génératrice, et passant par le survolteur tendra à augmenter pour satisfaire cette demande. Mais cette augmentation de l'intensité aura pour effet de diminuer dans la même proportion la force électromotrice du survolteur; la force électromotrice due à l'ensemble de la génératrice et du survolteur variera donc en raison inverse de la demande de courant sur le circuit de puissance; donc dans quelque état que se trouve la batterie — jusqu'au point de pleine charge — la génératrice débitera un courant constant sur ce circuit.

Dans les installations où la batterie sert uniquement de régulatrice et où les ampères-heures débités ou reçus par la batterie ne diffèrent pas sensiblement, le survolteur n'a à supporter que le courant moyen, et non pas les fluctuations maxima comme dans le cas des survolteurs compound ou différentiel. La puissance de la machine et de son moteur devra donc être beaucoup moindre que dans les cas où l'on emploie les autres systèmes.

Nous donnons dans ce qui suit le calcul du survolteur différentiel, soit :

$E_m$  = voltage de la génératrice à circuit ouvert.

$E_o$  = voltage normal de la ligne entre la génératrice et le survolteur.

$E_a$  = voltage normal de la batterie.

$E_x$  = voltage de la batterie à un état quelconque de charge.

$E_b$  = voltage du survolteur.

$V$  = voltage dû à l'enroulement shunt pour le voltage normal de la batterie.

$t$  = nombre de tours de l'enroulement série.

$I_o$  = courant débité par la génératrice sur le circuit de puissance.

$I_x$  = courant total débité sur le circuit extérieur.

$R$  = résistance du circuit de la batterie (résistance virtuelle).

$r$  = résistance de l'armature et de l'enroulement série du survolteur.

$K$  = nombre de volts produits par ampère-tour d'excitation du survolteur.

$N$  = nombre d'éléments montés en série.

$h$  = chute de voltage de la génératrice par ampère de débit.

Le voltage minimum de la batterie devra être égal au voltage de la génératrice, car il sera souvent utile de pouvoir connecter la batterie sur le circuit de la génératrice en fermant l'interrupteur  $S_2$ ; la batterie pourra ainsi alimenter le circuit de lumière pendant un certain temps, lorsque la génératrice aura été arrêtée et déconnectée du circuit.

L'on devra donc avoir :

$$N = \frac{E_o}{1,8}.$$

L'on devra prévoir pour la batterie un certain nombre d'éléments de réduction; l'on ajoutera ces éléments au circuit à mesure que le voltage diminuera lorsque la batterie débitera sur le circuit d'éclairage et fonctionnera uniquement en réservoir; cette manœuvre se fera au moyen d'un réducteur. Nous expliquerons plus loin ce dispositif.

Le voltage maximum de la batterie en charge, et par conséquent le voltage maximum aux barres du circuit de puissance sera de 2,5 N. Le voltage moyen sera de 2 N. Nous supposons pour le calcul que le voltage dû à l'enroulement shunt est égal à la différence entre le voltage de la génératrice et le voltage maximum de la batterie, il sera donc égal à 2,5 N — Eo.

Lorsque la charge extérieure est normale, ainsi que le voltage de la batterie, l'on aura pour le voltage du survolteur

$$Eb = Ea - Eo + rIo. \quad (41)$$

et la batterie ne sera traversée par aucun courant. L'on aura donc

$$V - tIoK = Ea - Eo + rIo. \quad (42)$$

d'où 
$$t = \frac{V - Ea + Eo - rIo}{Io K}, \quad (43)$$

Ceci suppose que la perméabilité est constante. Connaissant V, Ea, Eo, K, r, ainsi que la charge moyenne Io, t se trouve déterminé. Si l'on se rappelle que le voltage dû à l'enroulement shunt variera dans le même sens que le voltage de la batterie aux bornes de laquelle il est connecté; la force électromotrice due à cet enroulement, pour un voltage quelconque aux bornes de la batterie sera

$$\frac{VEx - VRIx + VRIo}{Ea}.$$

L'on aura pour une charge extérieure et pour un voltage de batterie quelconques, l'équation des voltages suivante :

$$\frac{VEx - VRIx + VRIo}{Ea} - Io t K - Ior - Ioh + Eo - Ex = R (Io - Ix), \quad (44)$$

d'où 
$$Io = \frac{Eo + \frac{VEx}{Ea} - Ex + Ix \left( R - \frac{VR}{Ea} \right)}{t K + r + R - \frac{VR}{Ea} + h}. \quad (45)$$

Comme pour un état donné mais quelconque de charge de la batterie, tous les facteurs de l'équation (45) sont constants excepté  $I_x$ , la charge de la génératrice variera avec la charge extérieure. Il est évident que plus l'on prendra  $V$  grand et meilleure sera la régulation.

Si l'enroulement shunt est connecté aux barres du côté de la génératrice,  $V$  sera constant et l'équation (44) deviendra

$$V - I_0 h - I_0 t K - I_0 r + E_0 - E_x = R I_0 - R I_x. \quad (46)$$

et alors

$$I_0 = \frac{E_0 + V - E + I_x R}{tK + r + R + h}. \quad (47)$$

Ceci nous montre que la régulation est meilleure lorsque l'enroulement shunt est connecté aux bornes de la batterie.

L'exemple suivant fera mieux comprendre la méthode de calcul :

Supposons une distribution à deux fils et 125 volts fournissant le courant à un circuit d'éclairage et à des ascenseurs électriques ; soit

$$I_0 \text{ moyen} = 50 \text{ ampères.}$$

$$I_x \text{ maximum} = 300 \text{ ampères.}$$

$$r = 0,2 \text{ ohms.}$$

$$R = 0,2 \text{ ohms.}$$

$$K = 0,02.$$

$$E_0 = 125 \text{ volts.}$$

$$h = 0.$$

$$N = \frac{125}{1,8} = 69,6 \text{ soit } 70.$$

$E_a = N \times 2 = 140 \text{ volts} = \text{voltage moyen aux barres de distribution de la force.}$

$$E_a \text{ max.} = 2,5 \times 70 = 175 \text{ volts.}$$

$$E_a \text{ min.} = 70 \times 1,8 = 126 \text{ volts.}$$

Ecart de voltage qu'auront à supporter les moteurs = 49 volts.

Supposons que  $V = 100 \text{ volts.}$

$$\text{Alors } t = \frac{100 + 125 - 140 - 0,2 \times 50}{50 \times 0,02} = 75 \text{ tours.}$$

supposons  $I_x = 0$ , alors

$$I_0 = \frac{100 + 125 - 140}{75 \times 0,02 + 0,2 + 0,2 - \frac{100 \times 0,2}{140}} = 48,4 \text{ ampères.}$$

Pour  $I_x = 50$  ampères

$$I_o = \frac{85 + 50 \left( 0,2 - \frac{0,2 \times 100}{140} \right)}{1,756} = 50 \text{ ampères.}$$

Enfin pour  $I_x = 300$  ampères,  $I_o = 57,8$  ampères.

Le débit minimum de la génératrice aura lieu lorsque la batterie sera à son voltage maximum et que l'on aura  $I_x = 0$

$$\text{Alors } I_o = \frac{100 + 125 - 175}{1,756} = 28,5 \text{ ampères.}$$

$I_o$  sera maximum lorsque  $E_a$  sera minimum et que l'on aura  $I_x = 300$ .

alors

$$I_o = \frac{100 + 125 - 126 + 300 (0,0572)}{1,756} = 65,8 \text{ ampères.}$$

En veillant à la manœuvre du rhéostat, l'on évitera que  $I_o$  atteigne une valeur aussi élevée.

Si  $V$  était égal à 50 volts,  $I_o$  atteindrait 42,2 ampères pour  $I_x = 0$  et 88,5 ampères pour  $I_x = 300$  ampères, et pour  $E_a$  normal. Avec  $E_a = 126$  volts et  $I_x = 300$ , l'on aurait  $I_o = 105,4$  ampères.

La valeur de  $V$  dépendra donc de la régulation que l'on désire. Plus  $V$  sera élevé et meilleure sera la régulation, mais la puissance de la machine augmentera avec l'augmentation de  $V$ .

L'intensité du courant débité par la génératrice varie avec  $E_a$ , mais comme ce dernier terme ne varie que graduellement, ceci ne produira aucune fluctuation brusque dans le débit. Si la batterie n'est employée que pour la régulation, sa force électromotrice ne variera que fort peu, mais si on l'emploie en réservoir aux moments où la charge est peu considérable, ou bien pour aider la génératrice à faire la pointe,  $E_a$  variera de 2,5 N à 1,8 N, et il sera bon alors de régler au moyen d'un rhéostat.

La puissance que devra avoir le survolteur dans l'exemple cité plus haut, sera égale au produit du voltage maximum fourni par l'excitation shunt, par l'intensité maximum traversant l'armature.  $V$  pourra satisfaire à tous les besoins de la charge s'il est suffisamment grand pour que l'on puisse envoyer dans la batterie

10 p. 100 du courant moyen lorsque  $Ea$  est maximum. Dans le cas considéré  $I_0 \text{ max.} = 68,5$  ampères, et  $V = 100$  volts. Le survolteur sera donc une machine de 6,85 kw. ; il suffira de construire une machine ayant 70 p. 100 de la puissance calculée, soit une machine de 5 kilowatts.

L'on déterminera la puissance du moteur en prenant le pro-

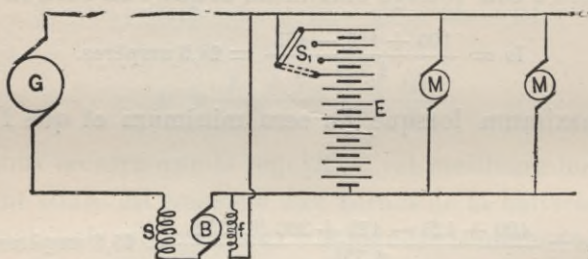


Fig. 128.

duit maximum des volts par les ampères fournis par le survolteur et lus au même instant.

Ce maximum a lieu lorsque l'on a mis l'enroulement série en court-circuit en fermant l'interrupteur  $S_1$  (voy. fig. 127), et que  $Ea$  est maximum, la batterie étant en charge. Si ce courant de charge est de 50 ampères,  $Ea$  étant égal à 175 volts ; le voltage du survolteur sera égal à  $Ea - E_0 = 50$ . La puissance nécessaire au moteur sera donc de  $\frac{2,5}{0,80} = 3,1$  kw., 0,80 étant le rendement présumé du survolteur à pleine charge. Les éléments de réduction dont nous avons parlé plus haut devront être disposés ainsi que l'indiquent les figures 128 ou 129. Dans la figure 128 le courant ira de L à L' en passant par tous les éléments, lorsque la manette du réducteur sera dans la position indiquée en traits pleins sur la figure. Lorsque la génératrice est arrêtée, et que la batterie est employée seule comme source de courant, l'on manœuvre la manette du réducteur de façon à mettre en série le nombre d'éléments nécessaires pour obtenir le voltage normal aux barres de distribution du côté de la génératrice.

Avec ce dispositif, il est évident que le voltage variera sur le circuit des moteurs de 1,8 N à 2,5 N. Le dispositif de la figure 129



sera meilleur. Dans celui-ci, la batterie, sauf les éléments de réduction, est connectée aux barres du circuit des moteurs. Les éléments de réduction sont reliés à la ligne allant à la génératrice par l'intermédiaire du réducteur S.

Le voltage aux barres de distribution de force sera dans ce cas plus faible que dans le cas de la figure 128, il restera supérieur au voltage du côté de la génératrice, mais la différence entre les

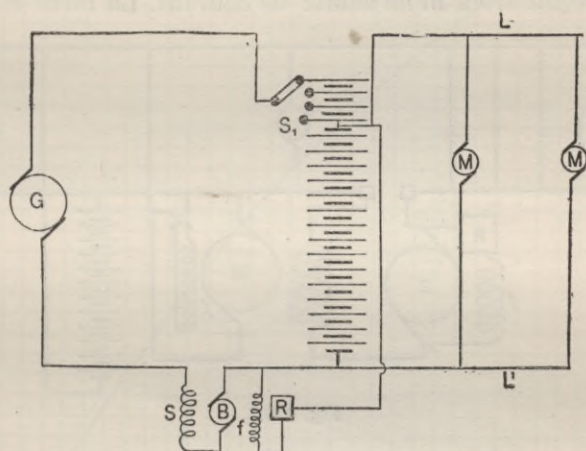


Fig. 129.

deux aura diminué. Les fluctuations maxima seront moindres, parce que le nombre d'éléments en série sera diminué.

L'auteur a breveté un autre type de survolteur à courant constant le 1<sup>er</sup> mai 1900 sous le n° 648.874, pour le compte de la *National Battery Company*. Ce survolteur diffère des précédents en ce que les variations de voltage sont obtenues par des variations de la vitesse. Il est représenté schématiquement dans la figure 130. G est la génératrice, B le survolteur et M le moteur qui l'entraîne. Le survolteur est une machine shunt ainsi que l'indique la figure. Le moteur est un moteur compound dont l'armature est connectée aux bornes de la batterie, et dont l'excitation shunt est connectée aux barres.

Le courant passe de la génératrice au survolteur qui relève la force électromotrice, puis dans un enroulement série du moteur, et va ensuite à la ligne de distribution de la force. La batterie est

connectée sur la ligne de distribution de la force ainsi qu'il est indiqué. L'action de l'enroulement série du moteur s'ajoute à celle de l'enroulement shunt. Ce système fonctionne comme il suit :

Lorsque les conditions de la charge sont normales ainsi que le voltage de la batterie, le voltage génératrice plus survolteur est tel que la génératrice débite exactement le courant normal, la batterie ne reçoit alors ni ne débite de courant. La force électromo-

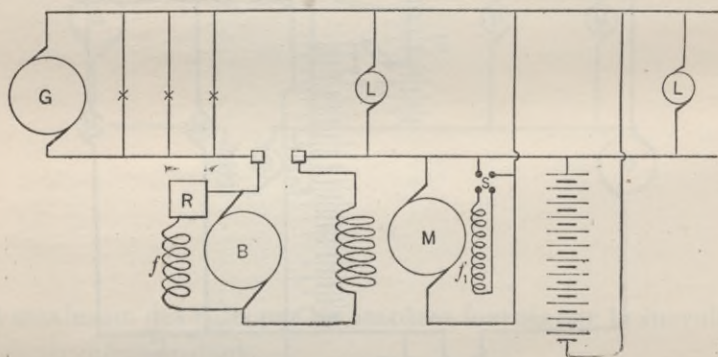


Fig. 430.

trice du survolteur dépend de la vitesse de rotation de l'armature B, et cette vitesse varie avec l'excitation du moteur M.

Si la charge augmente sur le circuit extérieur, l'intensité du courant traversant le survolteur tendra à augmenter. Le voltage du survolteur diminuera par suite de l'augmentation de la réaction d'induit, et par suite de la diminution de vitesse du moteur, c'est-à-dire de l'armature du survolteur. La diminution de vitesse est produite en même temps par l'augmentation du couple résistant du survolteur, et par l'augmentation de l'excitation du moteur.

Le survolteur et le moteur devront être tous deux établis pour travailler à une faible induction, de telle sorte que la force magnétomotrice puisse varier. /

En pratique l'on n'emploie l'enroulement shunt que pour le démarrage du moteur. Lorsqu'il a atteint sa vitesse, et que le survolteur est traversé par le courant, l'on supprime l'excitation shunt, et le champ est produit en entier par l'enroulement série,

Comme le courant traversant le survolteur et l'enroulement série est approximativement constant, le moteur fonctionnera pratiquement comme un moteur shunt.

Tous les changements qui se produisent sont dépendants les uns des autres, et bien que le système soit simple en lui-même,

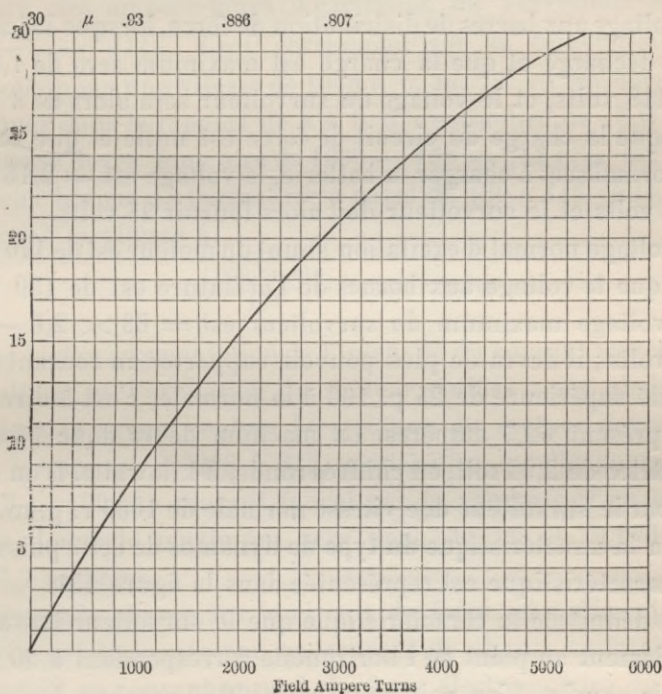


Fig. 131.

Field Ampere Turns = Ampères-tours d'excitation.

les calculs sont assez compliqués, l'on ne peut les présenter sous la forme d'équations générales parce que l'on doit tenir compte de la caractéristique du survolteur. Le meilleur moyen pour exposer la méthode de calcul de ce survolteur sera de prendre un exemple concret.

Supposons une installation où la force électromotrice de la génératrice est de 110 volts.

Courant moyen sur le circuit de force = 50 ampères.

Courant minimum sur le circuit de force = 0.

Courant maximum sur le circuit de force 250 ampères.

Voltage du survolteur pour la charge normale 20 volts.

Le voltage normal aux barres de distribution de force sera de  $110 + 20 = 130$  volts.

Le nombre des éléments connectés aux barres devra être de  $\frac{130}{2,05} = 63$ .

Le voltage aux barres de distribution de force, lorsque la batterie est en décharge et que la charge est maximum sera de  $1,88 \times 63 = 118$  volts, et le voltage du survolteur sera alors de 8 volts.

Lorsque la charge du circuit de force est nulle et que le courant normal sert à charger la batterie, le voltage est  $= 2,15 \times 63 = 135$  volts et le survolteur doit alors fournir 25 volts.

Le voltage normal d'excitation shunt du moteur est de 110 volts, tandis que le voltage aux bornes de l'armature est de 130 volts.

Le voltage maximum du survolteur est  $= 63 \times 2,6 = 110 = 47$  volts ; il devra de plus pouvoir supporter un courant d'une intensité supérieure de 25 p. 100 à la normale, c'est-à-dire dans le cas présent 62,5 ampères. La machine devra donc être une génératrice de 2,93 soit, en chiffres ronds, 3 kilowatts. L'on adoptera pour le survolteur une vitesse normale de 1000 r. p. m. L'on prendra la caractéristique du type de dynamos de cette puissance. Cette caractéristique est représentée dans la figure 131.

L'on déduit de la caractéristique que le survolteur travaillera normalement au point où l'horizontale correspondant à 20 volts, coupe la courbe. L'on voit qu'il faudra 2860 ampères-tours dans l'excitation du survolteur.

L'on pourra rendre l'intensité du courant magnétisant aussi faible qu'on le voudra en enroulant suffisamment de cuivre. Dans la bonne pratique l'on prend 2 p. 100 du courant total maximum.  $0,02 \times 62,5 = 1,25$  ampères d'excitation pour la charge normale.  $\frac{2860}{1,25} = 2280$  tours d'excitation shunt sur le survolteur. Le moteur recevra un enroulement shunt suffisant pour démarrer et pour atteindre la vitesse de 1000 r. p. m. Il sera du même type de machines que la génératrice. Supposons qu'il faille 3000 ampères-tours pour obtenir la vitesse demandée de 1000 r. p. m. Alors, comme après le démarrage, toute l'excitation sera fournie par l'enroulement série, le nombre de tours de l'enroulement

série sera de  $\frac{3000}{50} = 60$ . Si nous admettons 5 ampères dans l'excitation shunt pour le démarrage, l'excitation shunt comportera  $\frac{3000}{5} = 600$  tours.

Au moment de la demande maximum de courant, la force électromotrice du survolteur doit tomber à 8 volts. A 8 volts le nombre des ampère-tours d'excitation du survolteur sera de  $\frac{2860 \times 8}{20} = 1144$ . Ceci correspond sur la caractéristique à 9,5 volts pour une vitesse de 1000 r. p. m. La vitesse devra donc diminuer dans le rapport de 8 à 9,5, c'est-à-dire de 15,8 p. 100. La vitesse devra donc être de  $1000 - 158 = 842$  r. p. m. Le voltage aux bornes de l'armature a passé de 130 à 118 volts, ce qui a ramené la vitesse à

$$\frac{1000 \times 118}{130} = 908 \text{ r. p. m.}$$

Une légère augmentation de l'intensité du courant traversant le survolteur et l'excitation du moteur, suffira pour abaisser la vitesse à la valeur voulue. L'excitation du moteur devra varier dans le rapport de 908 à 842, c'est-à-dire qu'elle devra varier de 7,3 p. 100. Le courant fourni par la génératrice au moment de la demande maximum sera donc de  $50 + 0,073 \times 50 = 53,7$  ampères.

Lorsque la charge sur le circuit de force est nulle, et que la batterie est traversée par un courant de charge approximativement égal au courant normal, la force électromotrice du survolteur est de 25 volts, et le nombre d'ampères-tours d'excitation =  $\frac{25 \times 2860}{20} = 3575$ . Ceci correspond sur la caractéristique à 23,5 volts pour une vitesse de 1000 r. p. m. La vitesse devra donc augmenter dans le rapport de 23,5 à 25, soit de 6,4 p. 100; la vitesse devra donc atteindre 1064 r. p. m. La variation de vitesse du moteur due à la variation du voltage aux barres de distribution de la force est de  $\frac{1000 \times 135}{130} = 1040$ . L'intensité du courant traversant le survolteur et l'excitation du moteur devra donc diminuer dans le rapport de 1040 à 1064, soit de 2,12 p. 100. Le courant minimum sera donc égal à  $50 - 2,12 \text{ p. } 100 = 48,9$  ampères.

La charge sur la génératrice variera donc de 49 à 53,7 ampères, pour une variation de zéro à 250 ampères sur le circuit de force.

## CHAPITRE XXXV

### SURVOLTEUR A EXCITATION SÉPARÉE

Le brevet n° 651.664, pris le 12 juin 1900 par A. S. Hubbard, décrit un survolteur à excitation séparée, dont le dispositif est représenté dans la figure 132. G est la génératrice, E la batterie, B l'armature du survolteur montée en série avec la batterie, l'ensemble des deux étant relié aux barres L et L'. M est l'armature d'une « génératrice de force contre-électromotrice » montée en série avec l'enroulement shunt du survolteur, l'ensemble des deux étant également relié aux barres L L'. Un rhéostat R est intercalé dans ce circuit.

S est l'excitation de la génératrice de force contre-électromotrice, cet enroulement est traversé par un courant proportionnel à la charge totale du circuit extérieur. La proportion du courant traversant cet enroulement peut être modifiée au moyen d'un shunt réglable  $r$  monté en parallèle avec S. Ce survolteur fonctionne comme il suit :

La force électromotrice du survolteur sera en opposition ou dans le même sens que celle de la génératrice, suivant que la force électromotrice de M sera supérieure ou inférieure à celle de la ligne. La force électromotrice de la génératrice en opposition s'oppose au passage du courant dans l'enroulement shunt  $f$  du survolteur. La force électromotrice de la génératrice en opposition varie avec la charge sur le circuit extérieur, et fait par conséquent varier la force électromotrice du survolteur avec la charge extérieure.

Lorsque la charge sur le circuit extérieur est normale, les forces électromotrices de la génératrice et de la batterie se font équilibre, et la batterie ne reçoit ni ne fournit de courant. Le voltage de M étant égal et opposé au voltage de la ligne,  $f$  n'est traversé

par aucun courant, et le survolteur ne donne de force électromotrice ni dans un sens ni dans l'autre.

Si la charge augmente le voltage de M surpassera celui de la ligne, et le courant passera dans un sens tel qu'il provoquera la décharge de la batterie. Une diminution de la charge sur le circuit extérieur déterminera une diminution de la force électromotrice de M, le voltage de la ligne étant alors prépondérant, le courant traversera  $f$  dans un sens tel qu'il provoquera la mise en charge

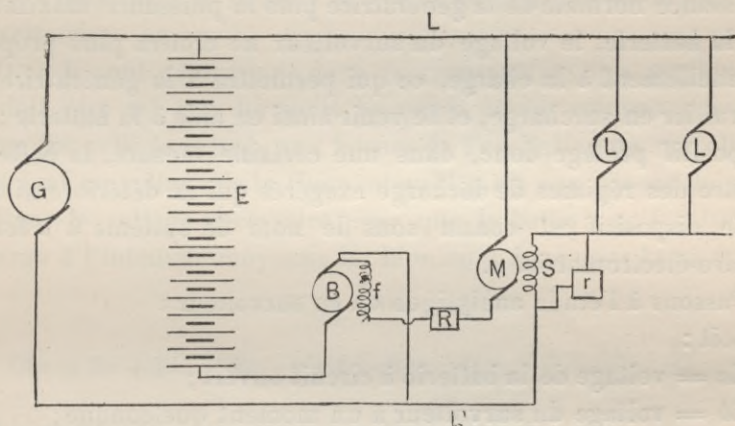


Fig. 132.

de la batterie; la force électromotrice du survolteur s'ajoutera alors en effet à la force électromotrice de la génératrice.

L'on peut également faire en sorte que la force électromotrice du survolteur s'ajoute à la force électromotrice de la génératrice, et que, lorsque la charge est normale, la force électromotrice de la batterie soit égale à la force électromotrice de la génératrice plus la force électromotrice du survolteur. Dans ce cas le voltage de la ligne sera toujours supérieur à celui de M, et le courant de ligne traversera toujours M et  $f$ . Lorsqu'une forte charge traversera S, le voltage de M augmentera, l'intensité du courant traversant  $f$  sera moindre, et par conséquent le voltage du survolteur sera diminué. Ceci permettra à la batterie de se mettre en décharge et de venir en aide à la génératrice. Inversement, lorsque la charge sera inférieure à la normale, la force électromotrice de M, en opposition avec le voltage de ligne, sera diminuée, et le vol-

tage du survolteur augmentera ; il en résultera que la batterie se mettra en charge. Toutefois en pratique, l'on adopte le dispositif décrit en premier lieu, c'est-à-dire que l'on donne au survolteur un voltage nul lorsque la charge est normale.

A la décharge le débit de la batterie est proportionnel à l'excès de charge du réseau dans les limites de saturation des inducteurs de  $M$ , ce système a été établi dans le but de limiter la décharge de la batterie ; dans le cas où la demande du réseau excédera la puissance normale de la génératrice plus la puissance maximum de la batterie, le voltage du survolteur ne croîtra plus proportionnellement à la charge, ce qui permettra à la génératrice de travailler en surcharge, et de venir ainsi en aide à la batterie ; ce dispositif protège donc, dans une certaine mesure, la batterie contre des régimes de décharge exagérés qui la détérioreraient.

Ce dispositif est connu sous le nom de système à « force contre-électromotrice ».

Passons à l'étude analytique de ce survolteur :

Soit :

$E_a$  = voltage de la batterie à circuit ouvert ;

$E_b$  = voltage du survolteur à un moment quelconque ;

$E_o$  = voltage de la génératrice à circuit ouvert ;

$h$  = chute de voltage de la génératrice par ampère de débit ;

$I_o$  = ampères débités par la génératrice au régime normal ;

$I_x$  = ampères fournis au circuit extérieur ;

$R$  = résistance virtuelle de la batterie et du circuit du survolteur ;

$K$  = nombre de volts engendrés dans l'armature de l'excitatrice par ampère-tour d'excitation ;

$Q$  = nombre de volts engendrés dans l'armature du survolteur par volt aux bornes de son excitation ;

$T$  = nombre de spires sur les inducteurs de l'excitatrice.

La batterie est mise en charge ou en décharge par les variations de force électromotrice du survolteur, et ces charges ou ces décharges sont proportionnelles à la différence en plus ou en moins de  $I_x$  sur  $I_o$ . Les variations de force électromotrice du survolteur dues aux variations de  $I_x$  devront donc être équivalentes au produit de (l'intensité du courant résultant traversant la bat-



terie) par (la résistance intérieure virtuelle de la batterie plus celle du survolteur et de son circuit); l'on devra donc avoir :

$$QTK (Ix - Io) = R (Ix - Io). \quad (48)$$

ou bien  $R = QTK$

d'où :

$$T = \frac{R}{QK}. \quad (49)$$

Ceci détermine le nombre de spires de l'enroulement série de l'excitatrice.

$Q$  et  $K$  sont déterminés dans la construction des machines;  $Q$  doit être tel que lorsqu'il ne passe aucun courant dans la ligne ( $I_x = 0$ ) le voltage aux bornes de l'excitation du survolteur soit égal au voltage de la ligne, et qu'il y ait aux bornes du survolteur le voltage nécessaire pour que la batterie soit mise en charge à l'intensité moyenne  $I_o$ . L'on aura donc pour  $I_x = 0$ .

$$E_b = E_a + RI_o - E_o. \quad (50)$$

$$QE_o = E_a + RI_o - E_o \quad \text{c'est-à-dire} \quad Q = \frac{E_a + RI_o - E_o}{E_o}. \quad (51)$$

L'équation générale des forces électromotrices sera :

$$E_o - I_o h = E_a - R (I_x - I_o) + E_b. \quad (52)$$

Le signe de  $E_b$  étant négatif pour la charge et positif pour la décharge ( $I_x - I_o$ ) est le courant qui traverse la batterie; c'est un courant de décharge lorsque la somme algébrique est positive, et c'est un courant de charge lorsque cette somme est négative. L'on a de plus :

$$E_b = (E_o - I_o h - I_x TK) \times Q. \quad (53)$$

La quantité entre parenthèses représentant le voltage aux bornes de  $f$ .

Substituons dans l'équation (52) la valeur de  $E_b$  donnée par l'équation (53).

$$E_o - I_o h = E_a - R (I_x - I_o) + Q (E_o - I_o h - I_x T.K.). \quad (54)$$

d'où :

$$I_o = \frac{E_o (1 + Q) - E_a + I_x (R - TKQ)}{h (1 + Q) + R} \quad (55)$$

ceci pour  $E_b$  négatif. Toutefois comme  $R = TKQ$ , l'équation devient finalement :

$$I_o = \frac{E_o (1 + Q) - E_a}{R + h (1 + Q)}. \quad (56)$$

Lorsque la génératrice fournit un voltage constant,  $h = 0$ , et l'équation devient :

$$I_o = \frac{E_o (1 + Q) - E_a}{R}. \quad (57)$$

Ces équations montrent que si les caractéristiques de l'excitatrice et du survolteur sont des lignes droites,  $I_o$  sera constant et indépendant de  $I_x$ , pour un état de charge donné de la batterie. Si le survolteur est en opposition avec la batterie, et si le voltage de l'excitatrice est toujours inférieur à celui de la ligne, l'ensemble des deux caractéristiques formera pratiquement une ligne droite ; en effet, lorsque la magnétisation de  $M$  augmentera, celle de  $B$  diminuera, et les deux variations de perméabilités se contrebalanceront approximativement.

Il est évident que ce survolteur pourrait fonctionner également avec l'excitatrice branchée directement aux bornes de l'excitation  $f$  ; l'on emploie quelquefois cette disposition, l'excitatrice est alors pourvue d'une excitation différentielle branchée aux bornes de la batterie.

Nous donnons dans ce qui suit un exemple concret de calcul de ce type de survolteur :

Supposons :

$E_o = 110$  volts ;

$E_a = 110$  volts ;

$I_o = 330$  ampères ;

$I_x \text{ max.} = 730$  ampères ;

$R = 0,03$  ohms ;

$K = 0,015$  ;

$N = \text{nombre d'éléments en série} = \frac{110}{2,05} = 54$  éléments.

Alors :

$$Q = \frac{110 - 110 + 330 \times 0,03}{110} = 0,09.$$

$$T = \frac{0,03}{0,015 \times 0,09} = 22,2, \text{ soit } 22 \text{ tours.}$$

Le survolteur doit pouvoir fournir un voltage assez élevé pour que l'on puisse surcharger la batterie lorsqu'il n'y a pas de charge sur le circuit extérieur. Ce voltage sera égal à  $54 \times 2,6 - 110 = 31$  volts. L'on devra bobiner la machine pour un voltage un peu plus élevé, soit 35 volts.

Appelons Z le voltage engendré dans l'armature du survolteur par ampère-tour d'excitation, et supposons-le égal à 0,02 dans le cas qui nous occupe. Alors le nombre d'ampères-tours d'excitation à la fin de la charge devra être de  $\frac{35}{0,02} = 1750$ .

Le voltage aux bornes de l'excitation du survolteur sera égal au voltage de la ligne, soit 110 volts, puisque l'excitatrice ne sera pas excitée. Supposons qu'il y ait 1200 tours de fil, l'intensité maximum dans l'excitation sera alors de 1,46 ampères. La résistance de l'enroulement sera donc de  $\frac{110}{1,46} = 75,4$  ohms.

Lorsque la batterie fonctionne comme régulatrice l'on doit réduire le voltage au moyen du rhéostat R monté en série avec l'excitation. L'on désire qu'approximativement tout le courant débité par la génératrice passe dans la batterie lorsque la charge sur le circuit extérieur est nulle. Ceci exige que le voltage du survolteur soit égal à  $110 + (330 \times 0,03) - 110 = 9,9$  volts.

alors :

$$\frac{9,9}{0,02} = 495 \text{ ampères-tours.}$$

$$\frac{495}{1200} = 0,4125 \text{ ampères pour l'excitation du survolteur.}$$

Lorsque  $I_x = 0$  la force contre-électromotrice de l'excitatrice est nulle, et le voltage aux bornes de l'excitation du survolteur est = 110, c'est-à-dire au voltage de la ligne.

$\frac{110}{0,4125} = 267$  ohms, c'est la résistance nécessaire pour que l'intensité du courant d'excitation ait la valeur voulue. Le rhéostat devra donc avoir une résistance de  $267 - 75,4 = 191,6$  ohms. Le survolteur devant fournir 35 volts et  $730 - 330$  ampères, sa puissance sera de 14 kilowatts. Comme la charge maximum ne sera atteinte que pour de rapides fluctuations, il suffira d'un survolteur ayant 70 p. 100 de cette puissance, soit un survolteur de 9,8 ou en chiffres ronds, de 10 kilowatts.

L'excitatrice sera traversée par le courant maximum lorsque le rhéostat sera supprimé du circuit, et qu'il n'y aura pas de charge

sur le circuit extérieur; ce courant maximum sera égal à 1,46 ampères. Le voltage maximum de cette excitatrice devra être tel qu'il provoque la pleine décharge de la batterie lorsque  $I_x = 730$  ampères, et que toute la résistance du rhéostat, soit 191,6 ohms, est en circuit.

Lorsque  $I_x = 730$  ampères, le voltage du survolteur aidant à la décharge devra être égal à  $400 \times 0,03 = 12$  volts. Il faudra sur le survolteur  $\frac{12}{0,02} = 600$  ampères-tours. Comme il y a 1200 tours, le courant d'excitation devra avoir une intensité de 0,5 ampères. La résistance de l'enroulement et du rhéostat de champ est de 267 ohms, ce qui nécessite un voltage de 133,5 volts pour envoyer 0,5 ampères dans le circuit d'excitation. Le voltage de l'excitatrice devra donc surpasser de cette quantité le voltage de ligne.

Le voltage maximum de l'excitatrice sera donc de :

$$135,5 + 110 = 243,5 \text{ volts.}$$

Lorsque  $I_x$  a atteint sa valeur maximum, soit 730 ampères, le voltage de l'excitatrice est de  $730 \times 0,015 \times 22,2 = 243$  volts. L'on devra être, pour produire ce voltage dans le haut de la courbe de magnétisation, de telle sorte que si  $I_x$  augmentait encore, il en résulterait une augmentation de  $I_o$ , le voltage de l'excitatrice n'augmentant plus proportionnellement à  $I_x$ . La génératrice devra par conséquent fournir le courant lorsque la surcharge dépassera la valeur prévue. Le courant maximum dans l'armature étant de 1,46 ampères, la puissance de l'excitatrice sera de  $243 \times 1,46 = 355$  watts.

L'on ne fera passer dans l'enroulement de champ de l'excitatrice qu'une faible partie du courant allant au circuit d'utilisation; la plus grande partie de ce courant passera par le shunt réglable  $r$ . Le nombre de tours sur l'excitatrice sera augmenté proportionnellement à la quantité passant par le shunt, et la section du fil ou du ruban servant à effectuer l'enroulement sera réduite dans le même rapport.

Le produit des volts par les ampères sera maximum lorsque la batterie sera déchargée au régime en une heure, il sera égal à  $12 \times 400 = 4,8$  kw. L'excitatrice fonctionne alors à sa puissance

maximum, soit 355 watts. Si nous admettons des rendements de 80 p. 100 pour le survolteur et de 70 p. 100 pour l'excitatrice, la puissance du moteur d'entraînement devra être de :

$$\left( \frac{0,355}{70} + \frac{4,8}{80} \right) \times 1,36 = 8,9 \text{ H. P.}$$

Comme la charge est très variable, il suffira de 80 p. 100 de la puissance ainsi calculée soit 7,04 ou en chiffres ronds 7 H. P.

En pratique les trois machines sont montées sur le même arbre et sur le même bâti.

Le survolteur décrit par J.-S. Highfield (Angleterre) appartient également à la classe des survolteurs à excitation séparée; il diffère des autres survolteurs précédemment décrits en ce que son fonctionnement est basé sur la variation du voltage aux bornes de la batterie lorsque la charge varie. Ce survolteur ne convient pas pour la régulation avec des machines compound, à moins qu'il ne soit placé suffisamment loin de la station centrale pour que la perte en ligne surpasse l'augmentation de voltage de la génératrice; ceci aurait pour résultat d'amener une diminution du voltage aux bornes de la batterie lorsque la charge augmente; l'on peut encore employer ce système avec des machines compound, en shuntant le circuit d'excitation avec un ou deux éléments, ainsi que cela a été indiqué plus haut, de telle sorte qu'une augmentation de la charge soit toujours accompagnée d'une chute de voltage. Ce type de survolteur convient bien pour le fonctionnement de la batterie en réservoir, il sert alors de régulateur de voltage et remplace les éléments de réduction.

La figure 133 donne le schéma des connexions de ce type de survolteur. G est la génératrice, E l'excitatrice à courant continu, et à excitation shunt, dont l'armature est connectée aux bornes de la batterie par l'intermédiaire de l'enroulement *f*, lequel constitue l'excitation principale du survolteur B. S est une excitation série branchée sur le shunt variable R. Le voltage de l'excitatrice E est égal à la force électromotrice de la batterie lorsque les conditions de charge sont normales, c'est-à-dire lorsque la charge sur le circuit extérieur est égale à la puissance normale de la génératrice.

Lorsque la charge diminue, le voltage de la génératrice augmente et tend à envoyer du courant dans la batterie. Le voltage aux bornes de la batterie surpasse alors le voltage de E, la batterie enverra donc alors du courant dans  $f$  et dans E, et en sens inverse de la force électromotrice de E. L'enroulement  $f$  est fait dans un sens tel que lorsqu'il est traversé par un courant opposé à la force électromotrice de E, il aide la génératrice à charger la batterie, et à un régime déterminé par la différence entre les forces électromotrices de la batterie et de l'excitatrice.

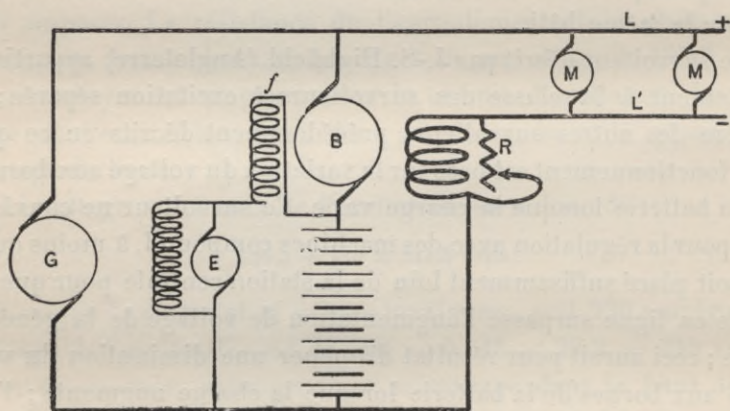


Fig. 133.

Inversement, une augmentation de la charge diminuant la force électromotrice de la génératrice détermine la mise en décharge de la batterie; et comme le voltage aux bornes de la batterie diminue, E envoie du courant dans  $f$ , et B fournit une force électromotrice qui aide à la décharge.

L'enroulement série S est un compoundage traversé par l'ensemble des courants de la génératrice et de la batterie, il augmente le voltage de B lorsque l'intensité du courant de décharge est très élevée. L'entraînement des deux machines auxiliaires peut se faire d'une façon quelconque, mais en général l'on emploie un moteur shunt; les trois bâtis sont montés sur le même socle, et les trois armatures fixées sur le même arbre. Les pièces polaires du survolteur sont feuilletées, et travaillent au-dessous du coude de la courbe de magnétisation, de telle sorte que la caractéristique soit à peu près une ligne droite. Pendant le fonc-

tionnement il arrive des moments où l'armature est traversée par un courant de forte intensité, et où l'excitation est faible ; la réaction d'induit devient alors relativement considérable. L'on met en général quelques tours d'enroulement série sur les inducteurs pour annuler la réaction d'induit. Cet enroulement n'est pas indiqué sur la figure.

La discussion analytique est fort simple. La force électromotrice de B est toujours égale à la chute du voltage de la batterie lorsqu'elle est en décharge, et à l'augmentation de voltage lorsqu'elle est en charge, c'est-à-dire que l'on a :

$$Eb = R (Ix - Io), \quad (53)$$

où  $Eb$  = voltage du survolteur,  $R$  = résistance intérieure virtuelle de la batterie, plus résistance ohmique des connexions et de l'armature du survolteur ;  $Ix$  = courant fourni au circuit extérieur,  $Io$  = courant débité par la génératrice ; la différence algébrique des deux est égale à l'intensité du courant traversant la batterie ; ce sera un courant de décharge lorsque cette quantité sera positive, et un courant de charge lorsqu'elle sera négative.

Soit

$Eo$  = voltage de la génératrice à circuit ouvert.

$En$  = voltage de la batterie à circuit ouvert.

$h$  = chute de voltage de la génératrice par ampère de débit.

$k$  = voltage induit dans le survolteur par ampère-tour d'excitation.

L'on aura alors,

$$Eo - Ioh = En - R (Ix - Io) + Eb. \quad (59)$$

Mais comme  $Eb = R (Ix - Io)$  l'équation devient  $Eo - Ioh = En$ , d'où :

$$Io = \frac{Eo - En}{h}. \quad (60)$$

Ceci nous montre que  $Io$  ne varie que lorsque  $En$  varie, et qu'il est maximum lorsque  $En$  est minimum.

La force électromotrice effective aux bornes de  $f$  est égale à la différence entre le voltage de la batterie à circuit ouvert, et son voltage lorsqu'elle est en charge ou en décharge. Donc le voltage aux bornes de  $f$  sera égal à chaque instant à la variation du vol-

tage de la batterie, ou ce qui revient au même au voltage du survolteur. Par conséquent chaque volt aux bornes de  $f$  devra engendrer un volt dans l'armature du survolteur.

L'on donnera à  $f$  le nombre de tours nécessaires, la section du fil devra être telle que la résistance par spire de fil soit égale à  $k$ . L'on obtient ces résultats ainsi qu'il suit :

$\frac{1}{k} = \frac{SI}{I} =$  ampères-tours d'excitation par volt induit dans l'armature ; dans cette formule,  $S =$  nombre de tours de l'enroulement de champ,  $I =$  intensité du courant d'excitation.

$\frac{SI}{S} =$  ampères d'excitation par volt induit dans l'armature.

Résistance de l'enroulement de champ  $= Rf = \frac{1}{I}$

Résistance d'une spire  $= \frac{1}{SI} = k$ .

Plus le nombre de spires sera élevé et par conséquent plus la résistance de l'enroulement sera considérable, et plus les dimensions de l'excitatrice seront réduites.

Supposons une installation dans laquelle :

$E_o = 125$  volts.

$E_n = 110$  volts.

$h = 0,03$ .

$k = 0,02$ .

$I_o = 500$  ampères.

$I_x \text{ max.} = 2000$  ampères.

$R = 0,01$  ohms.

Le débit maximum de la batterie sera de  $2000 - 500 = 1500$  ampères  $I_o h = 500 \times 0,03 = 15$  volts.

$E_o - I_o h = 110$  volts  $= E_n$ .

Comme le voltage du survolteur doit toujours être égal à  $R(I_x - I_o)$  et en même temps au voltage aux bornes de son excitation, on le prendra égal à la variation de voltage de la batterie à partir de  $E_n$  pour un état quelconque de charge ou de décharge. Donc lorsque  $I_x = 0$  et que l'on désire que  $I_o$  reste constant, le voltage de la batterie augmentera de  $0,01 \times 500 = 5$  volts ; c'est le voltage que devra fournir le survolteur dans le sens de la charge ; c'est-à-dire que le voltage de la batterie surpassera le voltage de ligne de 5 volts lorsqu'elle sera en charge au régime de 500 ampères, et que les éléments seront loin du point des



dégagements gazeux. Inversement lorsqu'il se produira une décharge de 500 ampères, le voltage de la batterie sera inférieur de 5 volts à celui de la ligne, et ces 5 volts devront être fournis par le survolteur dans le sens de la décharge.

Le voltage maximum du survolteur — celui correspondant à la surcharge de la batterie — sera de  $(55 \times 2,6) - (125 - 200 \times 0,03) = 24$  volts, soit 25 volts ; ceci en supposant que le courant maximum qui traverse la batterie l'orsqu'on la surcharge est de 200 ampères.

L'intensité maximum traversant l'armature du survolteur sera égale à 1 500 ampères. La puissance du survolteur sera de  $25 \times 1 500 = 37,7$  K. W. Si le régime maximum n'est que momentané l'on peut réduire cette puissance.

Le moteur d'entraînement travaillera à son maximum de puissance l'orsque le débit atteindra le maximum de 1 500 ampères, et que la batterie sera à son voltage minimum c'est-à-dire à 1,8 volts par élément. Le voltage du survolteur devra alors être de  $110 - 55 \times 1,8 = 11$  volts. Le moteur devra donc avoir une puissance de

$$\frac{11 \times 1500 \times 1,36}{0,80} = 27,9 \text{ H. P.}$$

Le facteur 0,80 étant le rendement présumé du survolteur. Si l'on prend un survolteur de puissance inférieure à la puissance maximum calculée — ainsi que cela sera en pratique —, l'on devra réduire dans les mêmes proportions la puissance du moteur.

La puissance de l'excitatrice sera déterminée par la résistance de l'enroulement d'excitation du survolteur et le voltage normal de la batterie. Si nous supposons que l'excitation du survolteur a une résistance de 4 ohms, le courant traversant l'excitation sera de  $\frac{24}{4} = 6$  ampères lorsque le survolteur aura son voltage maximum. La puissance de l'excitatrice sera donc  $6 \times 110 = 660$  watts. S'il y avait deux fois autant de spires dans l'enroulement d'excitation du survolteur, sa résistance serait doublée, et la puissance de l'excitatrice ne serait plus que de 330 watts.

La figure 134 représente un troisième type de survolteur à exci-

tation séparée breveté par Norman W. Storer sous le n° 695-962.

G est la génératrice, B le survolteur, E une excitatrice ayant des excitations série  $S_1$  et  $S_2$  et une excitation shunt  $f$  branchée sur la ligne et en opposition avec  $S_1$  et  $S_2$ .

T est l'excitation du survolteur alimentée par E. Ainsi qu'on le voit, l'enroulement  $S_1$  de l'excitatrice est en série avec la génératrice et l'enroulement  $S_2$  est en série avec la ligne ; tout le

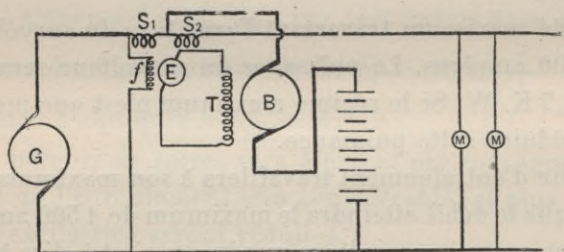


Fig. 134.

dispositif de l'excitatrice est identique au système différentiel de Entz. Toutefois au lieu que l'armature E soit traversée par le courant de la batterie, elle ne sert qu'à fournir le courant à l'excitation T du survolteur B. Le calcul analytique et le fonctionnement sont identiques à ceux indiqués dans le système de Entz ; on doit toutefois introduire un facteur qui représentera les volts produits dans l'amature B par volt fourni aux bornes de son excitation.

Dans tous les survolteurs à excitation séparée, l'excitatrice est en général montée sur le même arbre que le moteur d'entraînement et que le survolteur ; et, comme ceux-ci sont beaucoup plus puissants que l'excitatrice, la vitesse de cette dernière se trouvera très faible pour sa puissance. Les dimensions du bâti de l'excitatrice devront donc être supérieures à celles d'une machine de même puissance tournant à sa vitesse normale.

## CHAPITRE XXXVI

### NOTES SUR LE CHOIX ET SUR LA CONSTRUCTION DES SURVOLTEURS

Lorsque l'on construira des survolteurs automatiques le bâti des inducteurs devra être suffisamment grand pour que ceux-ci travaillent au-dessous du coude de la courbe de magnétisme, ceci si l'on veut avoir une régulation exacte. La même règle s'appliquera à la construction des moteurs d'entraînement, lorsque ceux-ci devront fonctionner sur une ligne alimentée par des génératrices shunt. Sans cette précaution en effet, la régulation des survolteurs ne sera pas bonne, et les moteurs varieront de vitesse avec la charge de la ligne, par suite de la variation du voltage de la ligne. Lorsque le champ du moteur sera faible, la variation du champ, due à la variation de la force électromotrice aux bornes, sera suffisante pour compenser l'action produite sur l'armature. Dans les discussions précédentes l'on a supposé que les caractéristiques étaient des lignes droites ; l'on est parti de là pour établir les équations et pour effectuer les calculs. Toutefois, en fait, la caractéristique n'est jamais une ligne droite, et l'on ne peut jamais obtenir la régulation théorique. *Io* variera toujours légèrement avec la charge extérieure. Cette variation sera moins considérable dans les survolteurs à excitation séparée, pour lesquels une des machines travaille au voisinage du point de saturation tandis que l'autre est à zéro ; les courbes se font alors compensation, et leur résultante donne une caractéristique pratiquement rectiligne.

La variation sera au contraire plus considérable dans les installations où l'excitatrice et le survolteur ont leur magnétisme qui croît simultanément. Dans ce cas les courbures des deux caractéristiques s'ajoutent, et la résultante s'écarte plus de la

ligne droite, que l'une ou l'autre des caractéristiques prises séparément. Toutefois tous les systèmes que nous avons décrits fonctionnent bien, et donnent une bonne régulation.

Pour déterminer les enroulements d'excitation l'on prendra sur la caractéristique le point aux environs duquel le survolteur devra le plus souvent travailler, et l'on supposera que ce point est sur une caractéristique rectiligne. Dans les survolteurs réversibles, montés en série avec la batterie, et dont l'excitation passe par zéro, l'on prendra ce point sur la courbe à mi-chemin du zéro.

Dans le cas des survolteurs à courant constant qui ne sont pas montés en série avec la batterie, l'on déterminera ce point en examinant les variations de la charge, et en prenant le régime moyen de fonctionnement.

Ce que nous venons de dire s'applique au cas où l'on désire une régulation exacte. Toutefois l'on remarquera en général que sur les courbes de charge il se présente, à des intervalles assez éloignés, des pointes de charge qui dépassent le régime en une heure de la batterie plus le régime normal de la génératrice ; dans ce cas il vaudra beaucoup mieux surcharger la génératrice pendant quelques instants que de faire supporter la surcharge à la batterie. Le voltage du survolteur ne devra pas alors varier proportionnellement à l'augmentation de la charge extérieure ; le survolteur devra donc être construit de telle sorte qu'il travaille au-dessus du coude de la courbe au moment où la charge sera excessive, et où par conséquent l'intensité du courant d'excitation du survolteur sera élevée.

En pratique l'on mettra un nombre de spires de 10 à 15 p. 100 supérieur à celui calculé, pour l'enroulement d'excitation soumis à un voltage ou à un courant variables ; lorsque la machine sera installée, l'on règlera exactement son fonctionnement en shuntant quelques spires.

Les inducteurs des survolteurs doivent être faits en acier doux ou en fer doux de bonne qualité si l'on veut avoir une bonne régulation. Les survolteurs construits avec des inducteurs et des pièces polaires ayant un fort magnétisme rémanent seront « paresseux ». Ceci s'explique aisément par l'action de l'hystérésis. Reportons-nous à la courbe de la figure 133 qui représente un cycle d'hy-

térésis. Le voltage du survolteur partira du point zéro, et croîtra avec la charge. Lorsque le maximum aura été atteint, et que la charge extérieure diminuera jusqu'à redevenir normale, il restera un certain voltage tendant à faire décharger la batterie; il y aura en effet dans les inducteurs un magnétisme résiduel OC qui engendrera une force électromotrice aidant à la décharge. Le

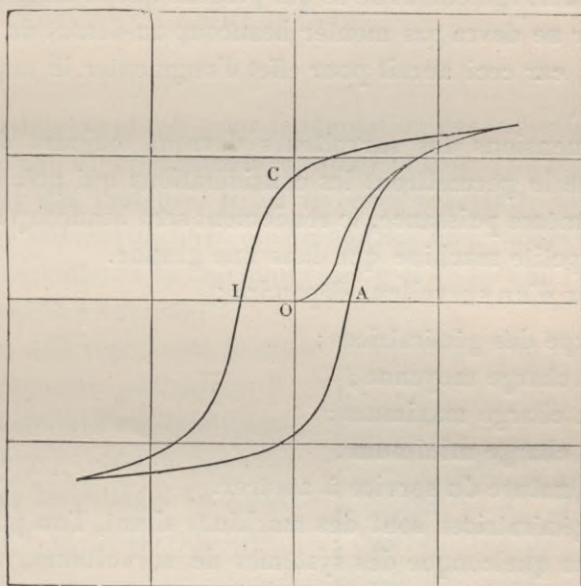


Fig. 135.

voltage du survolteur ne reviendra pas à zéro tant que la charge ne sera pas tombée au-dessous de la normale, et de O à I la batterie continuera à être en décharge, bien que la charge soit inférieure à la normale. Lorsque l'on a atteint le maximum dans la direction inverse, et que la charge augmente de nouveau, il se produit l'action inverse. Lorsque la charge remonte à la valeur normale, la batterie continue à être en charge; et elle continue à se charger de O à A bien que la charge du circuit extérieur soit supérieure à la normale. Cet inconvénient ne se présente pas dans les survolteurs irréversibles, lesquels fonctionnent toujours bien au-dessus du zéro. Ce qui précède ne s'applique qu'aux survolteurs qui sont réversibles, et qui passent continuellement par zéro.

Les constructeurs de machines électriques prétendront toujours que le voltage dû au magnétisme rémanent est très faible, mais il faut bien se rappeler que lorsque le voltage de la ligne et de la batterie est normal, ainsi que la charge, un très faible voltage aux bornes du survolteur provoquera une forte charge ou une forte décharge de la batterie.

L'on déduit également de ce qui précède que le magnétisme du survolteur ne devra pas monter beaucoup au-dessus du coude de la courbe, car ceci aurait pour effet d'augmenter le magnétisme rémanent.

Les dimensions des survolteurs devront toujours être aussi petites que le permettront les considérations qui précèdent, car pour une même puissance, le rendement sera beaucoup supérieur dans une petite machine que dans une grande.

Le choix d'un survolteur dépendra :

- 1° du type des génératrices ;
- 2° de la charge moyenne ;
- 3° de la charge maximum ;
- 4° de la charge minimum ;
- 5° de la nature du service à assurer.

Si les génératrices sont des machines shunt, l'on pourra employer l'un quelconque des systèmes de survolteurs, mais si ce sont des machines compound, certains systèmes ne pourront pas être employés sur les lignes qu'elles alimentent, à moins que le survolteur soit assez loin de la génératrice pour que la perte en ligne soit supérieure à l'action du compoundage, ainsi que nous l'avons montré précédemment.

Dans les installations où la demande maximum du courant est élevée mais ne se produit que par fluctuations, et où d'autre part le débit moyen est faible, le survolteur qui conviendra le mieux sera le survolteur à courant constant, parce qu'il n'aura à supporter que le débit moyen.

Lorsque le débit moyen est considérable, et que l'intensité maximum n'est pas de beaucoup supérieure à la moyenne, l'on emploiera l'un des types de survolteurs montés en série avec la batterie.

---

## CHAPITRE XXXVII

### RHÉOSTATS

Les rhéostats employés pour la régulation des survolteurs sont montés un peu différemment des rhéostats usuels de réglage des dynamos et des moteurs. Il est en effet nécessaire de pouvoir faire varier souvent la force électromotrice aux bornes de l'excitation des survolteurs du maximum à zéro et de zéro au maximum dans la direction opposée.

La figure 136 représente le mode de montage que l'on adopte pour les rhéostats ordinaires. F est l'enroulement d'excitation aux bornes duquel l'on doit pouvoir faire varier le voltage. Le reste de la figure se comprend aisément.

Si l'on place la manette A sur le dernier plot 1, le courant passant dans F sera égal à  $\frac{R + R_1}{E}$  où R = résistance du rhéostat,  $R_1$  = résistance de l'enroulement d'excitation F, et E = voltage aux barres. L'on voit donc clairement qu'avec cette forme de rhéostat, il est impossible de ramener le voltage à zéro, et que même si l'on veut approcher du zéro il faudra une résistance considérable dont le prix sera élevé.

La figure 137 indique le dispositif de montage le plus fréquemment employé pour les rhéostats de survolteurs. Ici l'ensemble du rhéostat est connecté aux barres sur la ligne, le voltage aux bornes de F, pour une position quelconque de la manette A, est

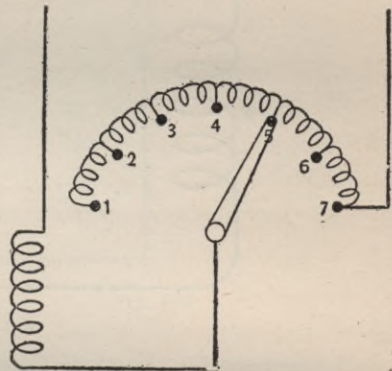


Fig. 136.

égal à la chute de voltage dans les spires comprises dans le circuit; lorsque A est en 4 le voltage aux bornes de F est nul.

L'auteur a inventé récemment une forme de rhéostat qui permet d'obtenir le voltage zéro et qui évite en même temps la perte d'énergie qui se produit continuellement dans le rhéostat

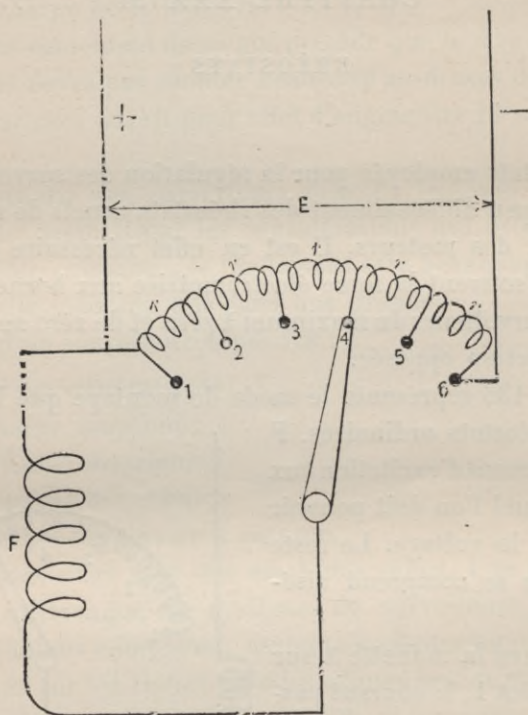


Fig. 137.

décrit précédemment, que le survolteur soit ou non en service.

Ce dispositif est représenté dans la figure 138. Les résistances du rhéostat sont reliées entre elles comme d'ordinaire, mais l'une d'entre elles est supprimée et les deux plots adjacents sont reliés entre eux. C et C<sub>1</sub> sont deux segments de cuivre qui sont reliés entre eux par un frotteur placé en dessous de A.

Lorsque A est dans la position indiquée en traits pleins, le fonctionnement et la disposition sont exactement les mêmes que dans la figure 137, et lorsque A vient sur le plot 1 le voltage aux bornes de F est nul. Lorsque A passe du plot 3 au plot 4, le



rhéostat ne se trouve plus relié directement à la ligne du côté de F, les connexions du rhéostat sont alors identiques à celles de la figure 136. Lorsque l'on passe de 3 à 4, l'intensité du courant allant de 4 à 7 diminue, par suite de l'ouverture du circuit allant de 1 à 3, il s'ensuit que la force électromotrice aux bornes de F est augmentée; il ne sera donc pas nécessaire de placer une résistance entre les plots 3 et 4, puisque en passant de l'un à l'autre le voltage aux bornes de F sera augmenté par suite de l'ouverture du circuit allant de 1 à 3.

S'il faut en même temps pouvoir changer le sens du courant dans les inducteurs du survolteur, et pouvoir faire varier son intensité, l'on peut employer le rhéostat précédemment décrit auquel on ajoutera un inverseur ordinaire; toutefois l'on emploie souvent des rhéostats inverseurs. La figure 139 donne le schéma des connexions du rhéostat inverseur.

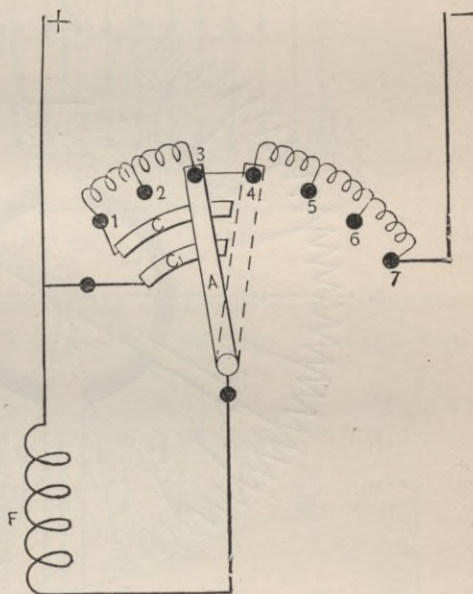


Fig. 138.

C et C<sub>1</sub> sont des segments de cuivre auxquels est connecté l'enroulement d'excitation F; ces segments sont reliés aux différents plots de contact par l'intermédiaire de la manette A. Les deux extrémités de la manette A sont isolées l'une de l'autre, le courant ne peut passer que d'un plot au segment voisin, en traversant la partie conductrice de A.

Un déplacement d'approximativement 90 degrés dans la position de la manette fera varier le voltage aux bornes de F du maximum à zéro; l'on obtiendra le maximum lorsque la manette occupera la position correspondant à la ligne pointillée YY, le zéro correspondra à la position XX. Lorsque l'on dépassera XX le sens du

courant dans  $F$  sera inversé et le maximum inverse sera obtenu lorsque l'on atteindra la position  $ZZ$ .

Ce type de rhéostat demande un certain soin dans la construction, il est coûteux et prend une place considérable sur le tableau.

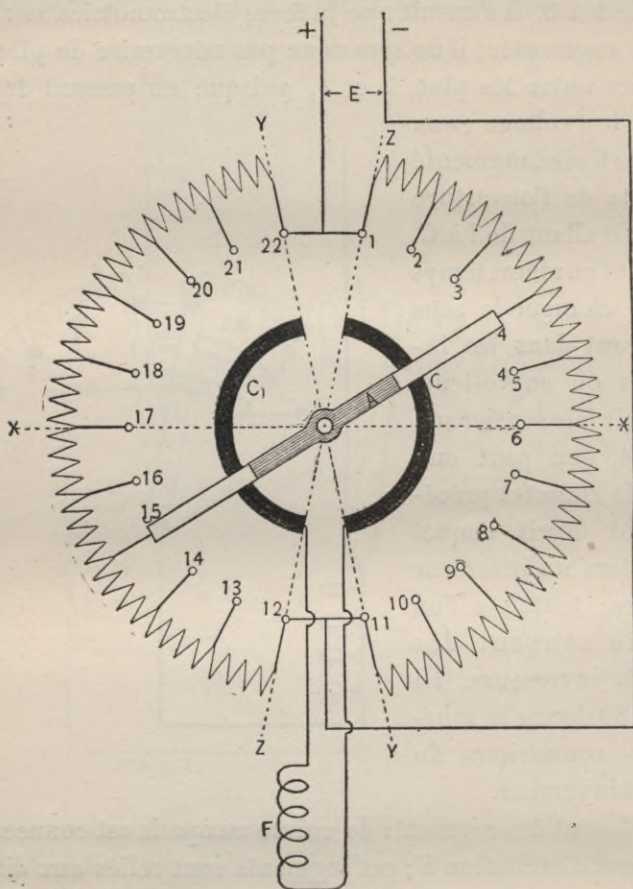


Fig. 139.

Aussi ne l'installe-t-on qu'avec les survolteurs de grande dimension. Les figures 140 et 141 représentent un type moins coûteux et moins volumineux de rhéostat inverseur.

La figure 140 donne un schéma explicatif des connexions.  $C_1$  et  $C_2$  sont des curseurs qui se déplacent respectivement sur les lignes de plots  $b, b, b$  et  $b', b', b'$ .  $F$  est l'excitation du survolteur.

Les résistances  $r, r, r$ , sont montées en série et connectées aux barres.

Lorsque les curseurs  $C_1$  et  $C_2$  seront dans la position indiquée en traits pleins, le voltage aux bornes de l'excitation du survol-

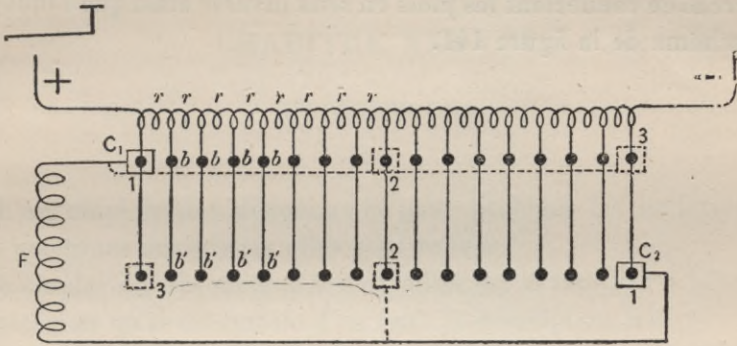


Fig. 140.

teur sera maximum. Les curseurs se déplacent en sens inverse et passent en même temps à la position médiane 2 indiquée en

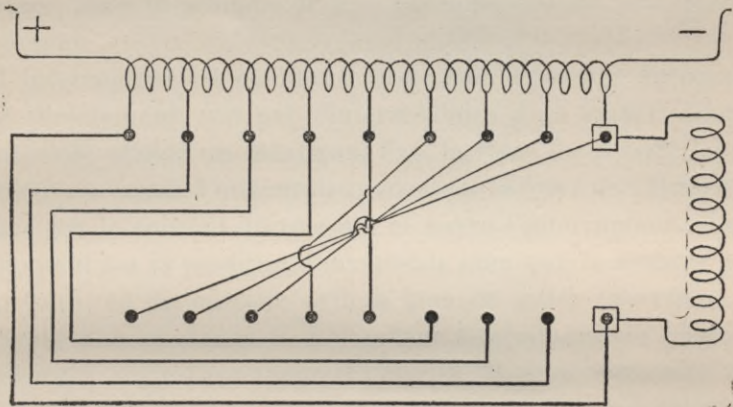


Fig. 141.

pointillé. Il est évident qu'à ce moment le voltage aux bornes de l'excitation du survolteur sera nul. Lorsque les curseurs continueront d'avancer, le sens du courant dans  $F$  sera inversé et il sera maximum pour la position 3, mais en sens inverse que dans la position 4.

En pratique l'on exécute cet appareil au moyen d'un rhéostat

ordinaire et de deux curseurs. Ces curseurs seront identiques aux frotteurs des rhéostats ordinaires, ils seront montés sur le même arbre et commandés par la même manivelle. Les curseurs se déplaceront dans le même sens, l'on obtiendra alors le résultat cherché en connectant les plots en sens inverse ainsi que l'indique le schéma de la figure 141.

---

## CHAPITRE XXXVIII

### DISJONCTEURS

L'on emploie des disjoncteurs pour protéger les batteries et les machines auxquelles elles sont reliées.

L'emploi du disjoncteur à maximum est si familier à tous les ingénieurs qu'il est inutile d'en faire la description ici.

L'on emploie le disjoncteur à minimum pour éviter que la batterie ne soit mise en décharge par suite de l'arrêt de la dynamo qui la charge, ou par suite d'un changement de polarité de la source de courant. L'on construit ce disjoncteur sous différentes formes, mais le principe de tous ces appareils est pratiquement le même.

L'interrupteur est maintenu fermé par le passage du courant, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un loquet. Lorsque l'intensité atteint un minimum fixé, la force du ressort tendant toujours à ouvrir l'interrupteur surpasse la force de l'électro-traversé par le courant décroissant et ouvre l'interrupteur. Comme il ne peut pas se produire d'inversions sans que le courant passe par zéro, ce disjoncteur évitera bien de telles inversions. En général l'on supprime le disjoncteur à minimum du circuit de décharge; si c'est un appareil polarisé, il sera nécessaire de le supprimer de ce circuit, car il ne laissera pas passer le courant de décharge. Si ce n'est pas un appareil polarisé, il pourra fonctionner à la décharge, mais, au début, l'on devra le maintenir fermé à la main, jusqu'à ce que l'intensité du courant ait dépassé la valeur minimum correspondant au déclenchement de l'appareil.

Le disjoncteur à minimum devra nécessairement pouvoir supporter une intensité correspondant au régime maximum de charge de la batterie.

Si on laisse en circuit certains survolteurs, par exemple ceux du type compound, lorsqu'il y a une interruption de courant sur le moteur d'entraînement, le sens de rotation du survolteur sera inversé, il fonctionnera comme un moteur série et sa vitesse augmentera jusqu'à ce qu'il se brise. Aussi lorsque l'on installe des survolteurs de ce genre et que les moteurs sont munis de disjoncteurs à maximum, l'on devra placer sur le circuit du survolteur un interrupteur qui sera commandé soit mécaniquement, soit électriquement par le disjoncteur du moteur, de telle sorte qu'une interruption de courant sur le circuit du moteur détermine instantanément l'ouverture du circuit du survolteur.

Dans la commande mécanique, le disjoncteur du moteur porte un levier qui commande le loquet de l'interrupteur du survolteur; ce levier est disposé de telle sorte que, lorsque le disjoncteur du moteur fonctionne, le levier soulève le crochet de retenue du disjoncteur du survolteur, et détermine ainsi l'ouverture du circuit.

Lorsque la commande est électrique, le disjoncteur du survolteur porte en outre de l'enroulement série ordinaire, un enroulement auxiliaire placé à l'intérieur de l'enroulement série et, par conséquent, autour du plongeur mobile. Cette bobine auxiliaire est connectée aux barres, mais un interrupteur est placé sur son circuit. Cet interrupteur est placé sur le disjoncteur du moteur et disposé de telle sorte qu'il se ferme lorsque le disjoncteur du moteur fonctionne et coupe le circuit du moteur. Le circuit de l'enroulement auxiliaire du disjoncteur du survolteur se trouve alors fermé; le bobinage de cet enroulement est fait de telle sorte que lorsqu'il recevra le voltage des barres, la pièce mobile sera attirée, et soulèvera le loquet; le disjoncteur fonctionnera alors et ouvrira le circuit du survolteur.

---

## CHAPITRE XXXIX

### DISTRIBUTIONS A DEUX FILS

Il y a beaucoup de dispositifs différents permettant de faire remplir aux batteries les diverses fonctions que nous avons décrites dans les chapitres précédents; nous ne pourrons donner ici que les plus importants.

#### *Régulation de feeder et de station.*

Le cas le plus simple est celui dans lequel la batterie est connectée directement sur la ligne et où elle est soumise à ses bornes aux fluctuations de la charge et aux variations du voltage de ligne. Son but sera, dans ce cas, (1) de supporter les fluctuations instantanées, ou bien (2) de fournir la pointe lorsque la charge devient et demeure plus considérable, ou bien enfin (3) de maintenir une chute de voltage constante sur un feeder, c'est-à-dire de maintenir le voltage de ligne dans les limites de la variation de voltage aux bornes de la batterie, ceci quelle que soit la charge sur le circuit extérieur, et avec une section de feeder suffisante uniquement pour supporter le courant moyen de la dynamo, avec la chute de voltage admise.

Les batteries installées de la sorte fonctionnent dans les meilleures conditions possibles; elles fournissent un débit modéré, ont une longue durée, et leur entretien est peu coûteux; mais l'on ne pourra obtenir les régimes maxima de décharge et, par suite, le travail maximum de la batterie, qu'en admettant une perte en ligne considérable. Par exemple, sur un circuit à 500 volts, avec une batterie de 230 éléments, et une chute de 40 volts pour la charge moyenne, le voltage maximum de charge pour une intensité de quelques ampères serait de 500 volts, soit

2,17 volts par élément; le voltage minimum de ligne serait de  $230 \times 1,8 = 415$  volts lorsque la batterie serait en décharge et presque entièrement déchargée; ceci représente une variation 85 volts. Entre 2,5 et 1,8 il y a une variation de 0,7 volts par élément; si l'on doit pousser la charge jusqu'à 2,5 volts par élément sur un circuit à 500 volts, l'on ne pourra monter que 200 éléments en série. La variation totale du voltage de ligne nécessaire pour amener la batterie à ses deux points extrêmes sera de  $200 \times 0,7 = 120$  volts. Dans ce cas la chute moyenne de voltage en ligne devra être de

$$500 - 2 \times 200 = 100 \text{ volts.}$$

Si la batterie sert uniquement de régulatrice pour les fluctuations momentanées, et si son état de charge ne varie pas d'une façon sensible, l'on aura un fonctionnement satisfaisant, et des régimes rapides de charge et de décharge, avec, sur la ligne, une variation d'environ 40 volts de part et d'autre de la normale, soit en tout 80 volts.

L'on déduit de ce qui précède qu'une batterie montée en parallèle à l'extrémité d'un long feeder sera utile pour égaliser les fluctuations, et pour réduire la section des feeders, mais non pour supporter les pointes de longue durée.

La figure 142 donne le schéma des connexions du tableau pour l'installation de ce système de batteries sur un réseau de tramways — c'est le seul service sur lequel l'on puisse admettre une variation suffisante de voltage pour que ce genre de batteries « volant » puisse fonctionner.

$S_1$  et  $S_2$  sont des interrupteurs unipolaires à une direction indépendants. Lorsque l'interrupteur  $S_2$  est ouvert, la batterie ne fait que se charger, et lorsque  $S_1$  est ouvert la batterie se décharge sans recevoir de charge. Le voltmètre et l'ampèremètre ne sont pas nécessaires, bien qu'ils soient cependant utiles; l'ampèremètre devra être à deux directions pour pouvoir indiquer la charge et la décharge. Il est évident que l'on pourra employer ces batteries en parallèle dans les stations centrales, lorsque les machines génératrices seront des dynamos shunt ayant une forte réaction d'induit, ce qui entraînera une forte variation de voltage



aux bornes de ces machines lorsque la charge variera; il faudra nécessairement aussi que ces fortes variations de voltage puissent être admises sur le réseau.

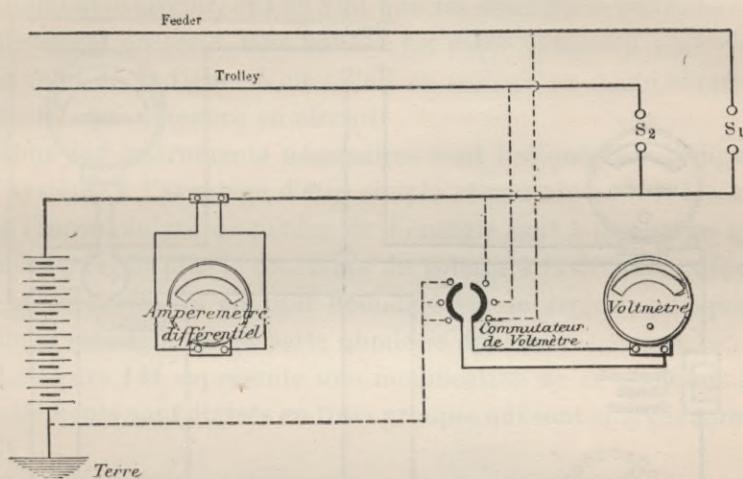


Fig. 142.

Nous donnons dans le chapitre XLIV l'étude complète des batteries placées à l'extrémité de longs feeders de tramways.

#### Batteries réservoir.

Le mode d'emploi le plus simple des batteries réservoir se présentera dans le cas de maisons d'habitation ou de yachts, où, de onze heures du soir à minuit la charge sera suffisamment faible pour pouvoir être supportée entièrement par la batterie, après l'arrêt des machines.

La figure 143 donne un schéma de connexions qui s'adapte à ce genre de service.  $L_1$  et  $L_2$  sont les barres de distribution.  $S_1$  est un interrupteur bipolaire à une direction. B et  $B_1$  représentent la batterie qui est séparée en deux tronçons.  $S_2$  est un interrupteur bipolaire à deux directions connecté ainsi qu'il est indiqué.

Lorsque l'interrupteur  $S_1$  est fermé et que l'interrupteur  $S_2$  est fermé vers la droite, les deux demi-batteries, qui sont en parallèle, sont mises en charge, leur voltage est, en effet, bien au-dessous de celui de la génératrice. Le courant va à l'ampère-

mètre, puis au disjoncteur à maximum et à la résistance, cette dernière sert à régler l'intensité du courant de charge.

De la résistance le courant va directement à la moitié gauche

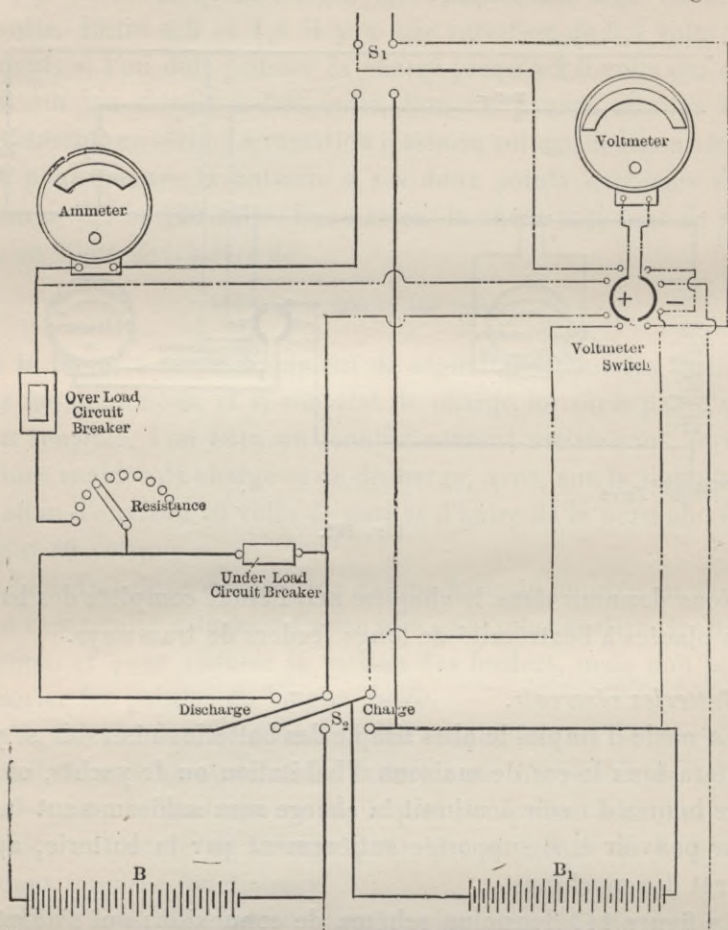


Fig. 143.

Ammeter = Ampèremètre. — Voltmeter = Voltmètre.

Voltmeter switch = commutateur de voltmètre.

Over Load circuit Breaker = disjoncteur à maximum.

Under Load circuit Breaker = disjoncteur à minimum.

de la batterie, il va également à la moitié de droite en passant par la partie supérieure de l'interrupteur  $S_2$ . Au sortir de la batterie de gauche le courant retourne à la ligne en passant par la partie inférieure de l'interrupteur  $S_2$ , tandis que la sortie de la batterie de droite est directement reliée à la ligne.

Lorsque  $S_2$  est fermé vers la gauche l'on est dans la position de décharge; le courant passe alors dans tous les appareils du tableau excepté dans le disjoncteur à minimum. L'on peut suivre facilement le circuit, et l'on voit que les deux demi-batteries sont maintenant en série, leur voltage est donc beaucoup plus élevé que celui de la ligne. L'on réduit ce voltage en manœuvrant le rhéostat, qui demeure en circuit.

Tous les instruments nécessaires sont indiqués sur la figure. Ce système a l'avantage d'être simple et peu coûteux. Il a toutefois l'inconvénient de perdre de l'énergie tant à la charge qu'à la décharge; de plus la constance du voltage à la décharge dépend de la constance du courant demandé sur le circuit, puisque le voltage est réglé par la perte ohmique dans la résistance.

La figure 144 représente une modification de ce système. Ici les éléments sont divisés en trois groupes qui sont chargés comme suit :

Groupes 1 et 2 en série;

Groupes 2 et 3 en série;

Groupes 1 et 3 en série.

L'on charge chaque groupe pendant la moitié du temps nécessaire pour atteindre la charge complète d'un élément au régime adopté.

Tous les éléments déchargent en série.

Cette modification a l'avantage de ne nécessiter qu'une résistance moindre, en série avec le courant de charge. En effet, pendant la charge, il y a les deux tiers des éléments en série, tandis que dans le cas précédent il n'y en a que la moitié.

Le commutateur représenté dans la figure se compose de onze plots de contact, du numéro 1 au numéro 11 inclus, et de trois pièces mobiles A, B et C, portant chacune des frotteurs à leurs deux extrémités. Le groupe I est relié aux plots 1, 2, 6 et 7; le groupe II aux plots 3, 4, 8 et 9; le groupe III aux plots 5, 10 et 11. Les plots 1 et 11 sont également reliés aux barres de distribution. R est la résistance de réglage.

Dans la position représentée, les groupes 1 et 2 sont en charge.

Si nous appelons  $a$  la partie inférieure du segment A, les lignes pointillées indiqueront les différentes positions de  $a$  sur le cercle.

L'on pourra alors déterminer facilement les différentes connexions réalisées pour les diverses positions de  $a$ . L'on voit que dans la position 1 les groupes I et II chargent en série; dans la position 2, les groupes II et III sont en charge; et dans la position 3, les groupes I et III sont en charge; enfin dans la position 4, tous les groupes sont connectés en série pour la décharge.

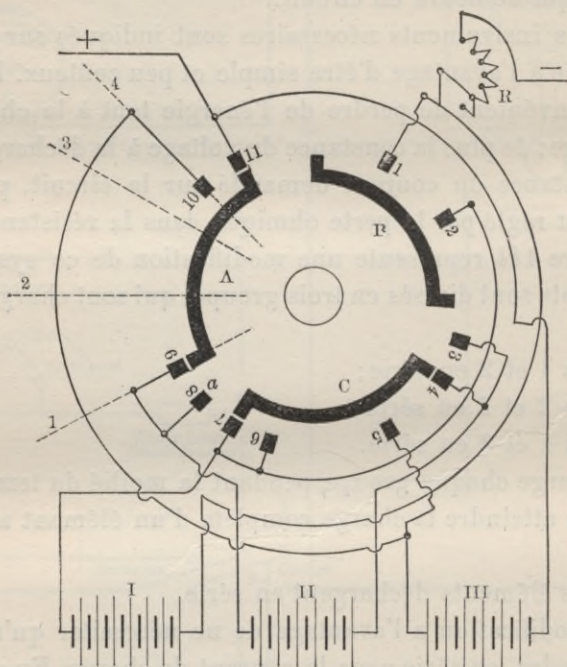


Fig. 144.

Avec ce dispositif, la durée de la charge sera le double de celle nécessaire pour faire la charge au même régime et en une seule série.

L'on ne peut adopter ces modes de groupement des éléments pour la charge que dans les petites installations. Lorsque l'on arrive à des intensités élevées, l'appareillage nécessaire prend une telle importance qu'il sera alors moins dispendieux d'installer un survolteur; l'on aura ainsi des appareils plus maniables; de plus, l'on évitera les pertes dans les résistances et celles-ci seraient inadmissibles avec des intensités élevées.

La figure 145 représente un dispositif qui est presque uni-

versellement employé dans les châteaux et dans les installations particulières, où les génératrices sont actionnées par des moteurs à gaz ou à pétrole et où la batterie est chargée pendant le jour et alimente seule le circuit pendant la nuit.

Ici le voltage maximum de la génératrice devra être de  $N \times 2,6$ , et le voltage de la ligne de  $N \times 1,8$ . Lorsque  $S_1$  est fermé vers

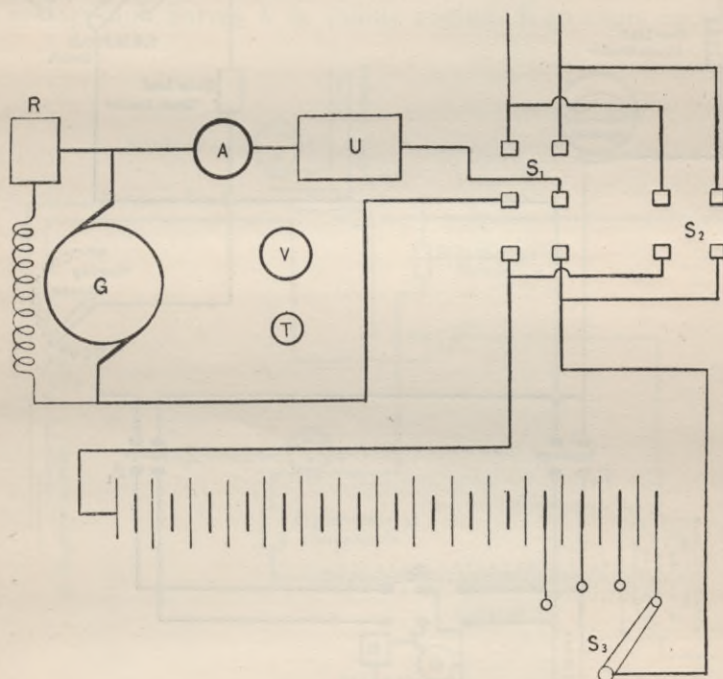


Fig. 145.

le bas et  $S_2$  ouvert, la batterie est connectée pour la charge, l'on règle l'intensité du courant de charge en faisant varier le voltage de la génératrice au moyen du rhéostat d'excitation R.

Lorsque  $S_1$  est ouvert et  $S_2$  fermé, la batterie est en décharge sur la ligne; l'on règle son voltage au moyen du réducteur  $S_3$ .

Lorsque  $S_2$  est fermé et que  $S_1$  est fermé vers le haut, le voltage de la génératrice étant ramené à la valeur du voltage de ligne, la batterie et la génératrice travaillent ensemble en parallèle.

Pendant la charge de la batterie, l'on ne peut fournir du cou-

rant à la ligne qu'à un voltage supérieur au voltage normal. A est un ampèremètre, U un disjoncteur à minimum, V un voltmètre et T un interrupteur de voltmètre à trois directions per-

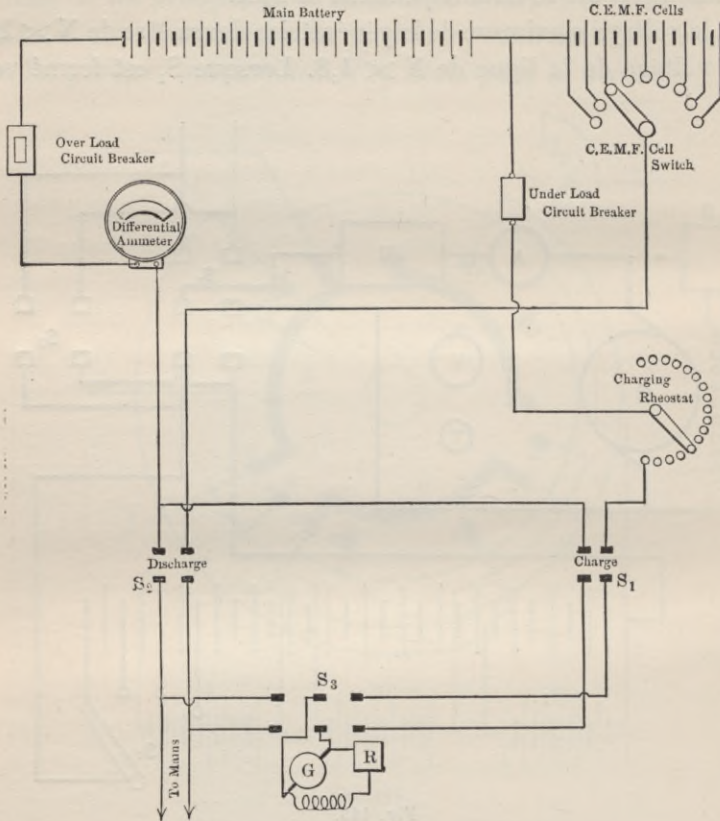


Fig. 146.

Differential Ammeter = ampèremètre à deux directions.  
 Charging rhéostat = rhéostat de charge.  
 Main Battery = corps de batterie.  
 C. E. M. F. Cells = éléments en opposition.  
 Under Load circuit Breaker = disjoncteur à minimum.  
 Over Load circuit Breaker = disjoncteur à maximum.

mettant de prendre le voltage de : (1) la génératrice; (2) la ligne et (3) la batterie.

La figure 146 représente un autre dispositif de charge et de décharge qui a l'avantage de permettre à la batterie de débiter sur la ligne pendant la charge.

Comme on le voit il y a neuf éléments en opposition montés en série avec la batterie. Le courant de charge passe par S<sub>1</sub> et par

la résistance qui sert à le régler. Le voltage de la génératrice est plus élevé que le voltage aux barres de distribution et l'excès de voltage atteint  $0,6N$  volts vers la fin de la charge lorsqu'il y a  $N$  éléments montés en série.

Mais le courant de ligne traverse les éléments en opposition pour aller à  $S_2$  et le voltage en opposition de ces éléments ramène le voltage aux barres à la valeur voulue. L'on règle ce voltage

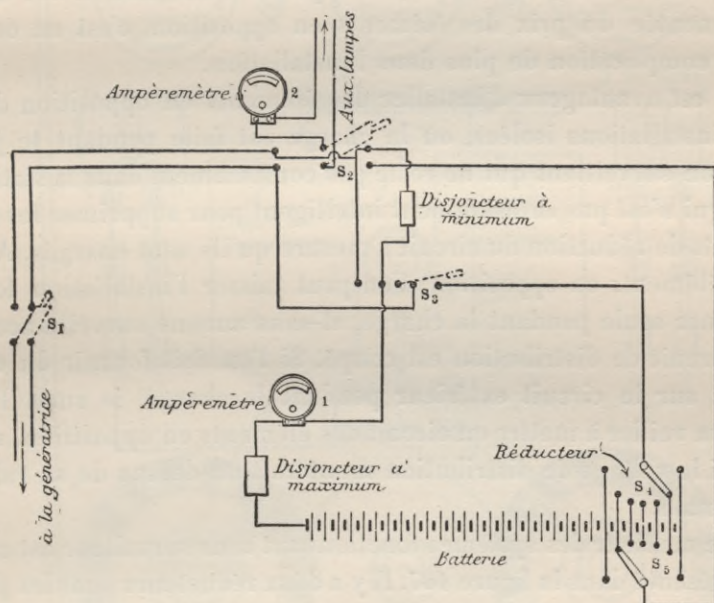


Fig. 147.

en faisant varier le nombre des éléments en opposition intercalés dans le circuit; l'on en ajoute à mesure que le voltage augmente. Le nombre des éléments en opposition nécessaire sera de  $\frac{0,6 \times N}{2} = 0,3N$  où  $N$  est le nombre des éléments de la batterie principale.

Lorsque l'interrupteur bipolaire à deux directions  $S_3$  est fermé vers la droite, la génératrice est reliée à la batterie et à ligne par l'intermédiaire des éléments en opposition. Lorsque cet interrupteur est fermé vers la gauche, la génératrice est reliée directement à la ligne; son voltage doit alors être ramené au voltage de la ligne au moyen du rhéostat  $R$  et la batterie peut décharger en

parallèle avec G pour faire la pointe. Lorsque  $S_3$  est ouvert la batterie supporte seule toute la charge.

Ce système est actuellement abandonné ainsi que tous ceux employant des éléments en opposition. L'on peut obtenir, en effet, de meilleurs résultats en employant un certain nombre d'éléments de la batterie comme éléments de réduction. L'emploi d'éléments en opposition ne diminue pas le nombre d'éléments nécessaires dans la batterie; la dépense d'installation est donc augmentée du prix des éléments en opposition, c'est en outre une complication de plus dans l'installation.

Il est avantageux d'installer des éléments en opposition dans les installations isolées, où la charge est faite pendant le jour par un surveillant qui ne reste pas constamment dans la station, ou qui n'est pas suffisamment intelligent pour supprimer les éléments de réduction du circuit à mesure qu'ils sont chargés. Avec les éléments en opposition, l'on peut laisser l'installation fonctionner seule pendant la charge, et sans aucune surveillance, si le circuit de distribution est coupé. Si l'on doit fournir du courant sur le circuit extérieur pendant la charge, le surveillant devra veiller à mettre en circuit des éléments en opposition, sans quoi le voltage de distribution monterait au-dessus de sa valeur normale.

Le meilleur des systèmes fonctionnant sans survolteur est celui représenté dans la figure 147. Il y a deux réducteurs dont les plots correspondants sont reliés au même élément de réduction ainsi que l'indique la figure.

Le courant va de la génératrice à l'interrupteur  $S_1$ , puis aux bornes de gauche de l'interrupteur double à deux directions  $S_2$ . Lorsque  $S_2$  est fermé vers la gauche, la batterie est entièrement hors circuit. L'une des bornes de la génératrice est constamment reliée à l'extrémité gauche de la batterie par l'intermédiaire d'un disjoncteur à minimum, d'un ampèremètre à deux directions et d'un disjoncteur à maximum. L'autre pôle de la génératrice est relié au réducteur par l'intermédiaire de l'interrupteur unipolaire à deux directions  $S_3$  lorsque celui-ci est fermé vers la droite.

Lorsque l'on met la batterie en charge l'on ferme  $S_2$  et  $S_3$  vers la droite. Le voltage de la génératrice doit surpasser suffisam-



ment le voltage de ligne pour faire passer le courant dans la batterie. Tout le courant de ligne passe dans les éléments de réduction compris entre les plots sur lesquels sont placées les manettes

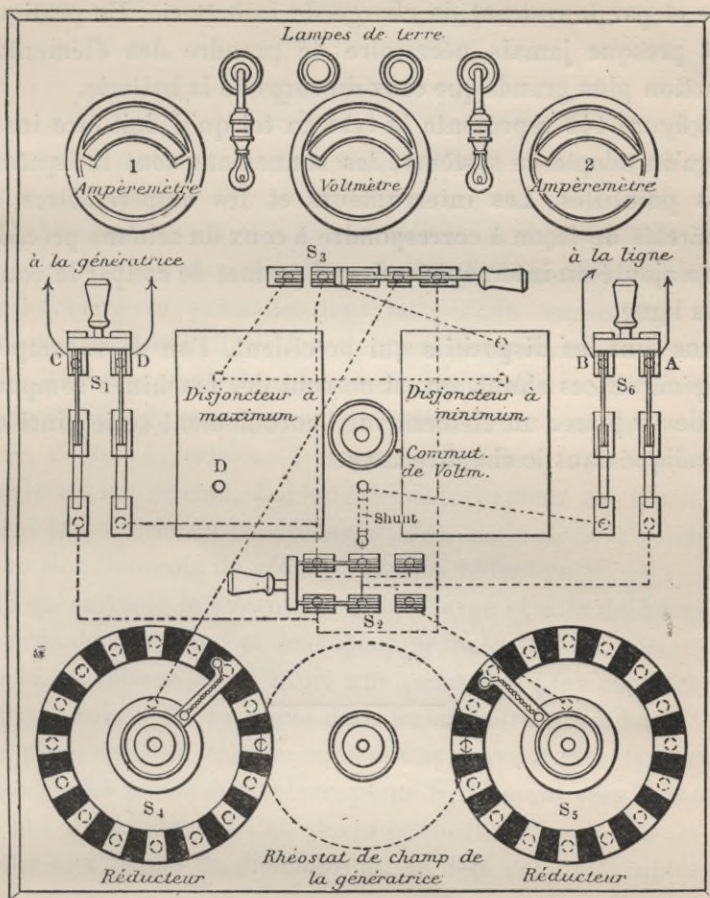


Fig. 148.

des réducteurs  $S_4$  et  $S_5$  et le voltage de ligne est inférieur au voltage de la génératrice d'une quantité égale au voltage des éléments montés en série entre les deux plots. Lorsque  $S_2$  est fermé vers la droite et  $S_3$  vers la gauche, le disjoncteur à minimum est hors circuit et la batterie peut décharger soit en parallèle avec la génératrice, soit seule, si  $S_1$  est ouvert.

Ce dispositif a sur les précédents l'avantage de ne pas néces-

siter l'addition d'éléments en opposition; toutefois, les éléments de réduction doivent, dans ce cas, être suffisamment grands pour pouvoir être traversés en même temps par le courant débité en ligne et par le courant de charge de la batterie. En pratique il n'est presque jamais nécessaire de prendre des éléments de réduction plus grands que ceux du corps de la batterie.

La figure 148 représente le tableau tel qu'il doit être installé lorsqu'on adopte ce système; les connexions sont indiquées en traits pointillés. Les interrupteurs et les ampèremètres sont numérotés de façon à correspondre à ceux du schéma précédent. L'on a ajouté un interrupteur  $S_6$  qui permet de couper le courant sur la ligne.

Dans tous les dispositifs qui précèdent, l'on devra employer des génératrices shunt, ou, si ce sont des machines compound, l'on devra placer un élément sur l'enroulement série ainsi qu'il est indiqué dans le chapitre xxxii.

## CHAPITRE XL

### DISTRIBUTIONS A DEUX FILS AVEC SURVOLTEUR

Le dispositif le plus simple pour l'application des survolteurs aux batteries se présente dans le cas du survolteur shunt employé avec une batterie fonctionnant uniquement en réservoir. La fig. 117 représente le schéma d'une installation de ce genre.

L'excitation du survolteur est prise comme on le voit aux bornes de la génératrice. Lorsque  $S_3$  est fermé vers le bas, la batterie est en charge. Lorsque cet interrupteur est fermé vers le haut la batterie est en décharge ; l'on règle alors le voltage au moyen des éléments de réduction et du réducteur  $S_1$ .

Si l'on emploie le survolteur à la charge et à la décharge, les éléments de réduction et le réducteur ne sont pas nécessaires, mais le survolteur devra avoir une puissance plus considérable, ainsi que cela a été expliqué dans un chapitre précédent.

De plus, dans ce cas les connexions devront être légèrement modifiées. La partie de l'interrupteur  $S_3$  fermant vers le haut ne sera pas nécessaire, et l'on devra connecter l'excitation du survolteur aux barres de distribution, au delà de l'interrupteur  $S_1$ .

En général ce système est moins coûteux à installer, et a un meilleur rendement que les systèmes sans survolteur, à moins toutefois que l'installation soit très petite.

Ceci est évident si l'on se rappelle que lorsqu'on n'emploie pas de survolteur, la génératrice doit pouvoir fournir un voltage plus élevé que celui de la ligne (à moins que les éléments soient disposés pour être chargés en parallèle, et que l'intensité du courant de charge soit réglée au moyen de résistances absorbant de l'énergie). La puissance en kilowatts de la génératrice devra donc être augmentée. Quelquefois ceci nécessite l'emploi d'un

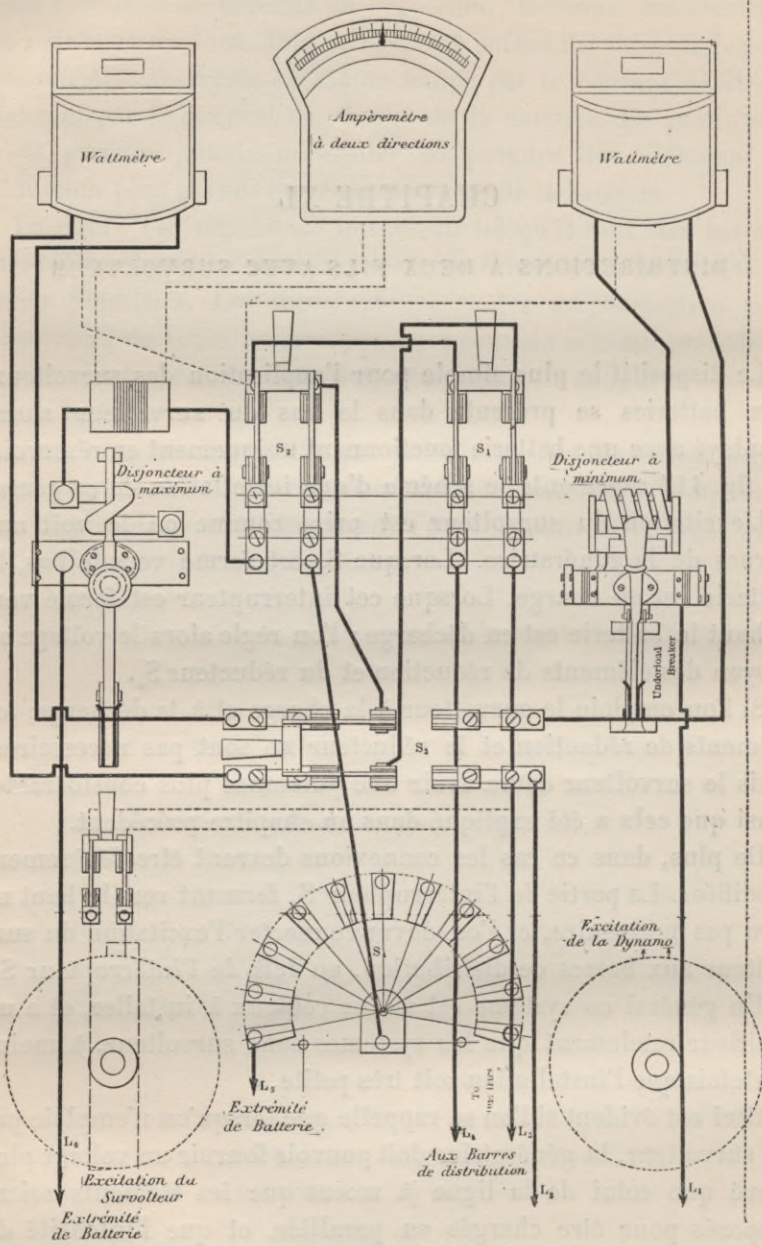


Fig. 148 bis.

bâti du type au-dessus de celui correspondant à la dynamo de

voltage normal ; dans ce cas l'augmentation de prix de la dynamo dépassera de beaucoup le prix du survolteur et de son moteur. De plus, avec un survolteur, l'on économise souvent des interrupteurs, et des conducteurs ; tout cet appareillage coûteux contribue à rendre excessif le prix des installations sans survolteur, en comparaison du prix des installations employant ces machines.

La figure 148 *bis* représente un tableau complet pour ce type d'installations. En plus des instruments figurés sur le schéma, l'on remarquera : des disjoncteurs à maximum et à minimum, des wattmètres et les rhéostats d'excitation du survolteur et de la dynamo ; l'interrupteur  $S_3$  est bipolaire parce qu'il sert en même temps à mettre les wattmètres en circuit. Pour la charge,  $S_3$  devra être fermé vers la droite, le wattmètre, et le disjoncteur à minimum seront ainsi mis en circuit. Pour la décharge, l'on enlève ces appareils du circuit en fermant  $S_3$  vers la gauche ; l'autre wattmètre se trouve ainsi mis en circuit.

Le voltmètre et le commutateur de voltmètre ne sont pas représentés ; les connexions devront être faites de telle sorte que l'on puisse prendre : (1) le voltage aux barres de distribution ; (2) le voltage aux barres augmenté du voltage du survolteur ; (3) le voltage de la batterie. Avant de commencer la charge, l'interrupteur  $S_2$  devra être ouvert,  $S_1$  fermé, et  $S_3$  fermé vers la droite.

L'on amènera alors le survolteur à un voltage tel que le voltage de la ligne augmenté de celui du survolteur soit supérieur de 10 volts environ à celui de la batterie. L'on fermera ensuite  $S_2$ , et l'on règlera l'intensité du courant de charge en augmentant lentement le voltage du survolteur.

La figure 149 représente un autre dispositif dans lequel l'on emploie également un survolteur shunt pour la charge. Dans ce système le voltage de la génératrice est égal à celui de la ligne et l'on règle le nombre des éléments en série connectés sur la ligne au moyen de la manette de droite du réducteur. Le survolteur est connecté d'une part au premier élément de réduction du côté du corps de batterie, et d'autre part à la manette C. L'on pourra faire varier comme l'on voudra le nombre d'éléments de réduction compris entre la manette et le premier élément. La fonction du survolteur sera de charger les éléments de réduction,

le voltage de la ligne étant suffisant pour charger le corps de la batterie. Ce système n'est plus employé dans la pratique ; il n'a jamais été appliqué en Amérique. S'il a été abandonné, c'est à cause de la dépense supplémentaire que nécessite l'emploi d'un réducteur spécial, et aussi parce qu'il ne présente aucun avantage sur le système ordinaire.

*Batteries faisant fonction de réservoirs et de régulatrices, et employant des survolteurs automatiques.* — L'emploi des diffé-

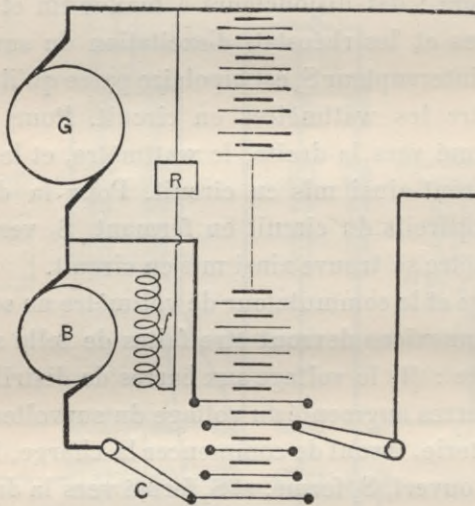


Fig. 149.

rents survolteurs automatiques a été expliqué lors de la description de chacun d'eux ; il n'est donc pas nécessaire de revenir ici en détails sur leurs différents modes d'installation.

La figure 150 donne le schéma des connexions principales, et indique les instruments nécessaires et la disposition du tableau, pour une batterie installée dans une usine de tramways avec un survolteur compound. A est un ampèremètre à deux directions placé sur le circuit de la batterie ; B est un ampèremètre à une seule direction placé sur le circuit de la génératrice, et V est un voltmètre. L'on n'a pas indiqué les connexions du voltmètre et du commutateur de voltmètre pour éviter de rendre la figure confuse. Le commutateur de voltmètre doit comporter trois plots ; le premier donnera le voltage aux bornes de la génératrice, le

second le voltage de la génératrice plus le survolteur, et le troisième le voltage de la batterie.

La figure 151 donne le schéma des connexions pour une installation comportant un survolteur à courant constant, avec les élé-

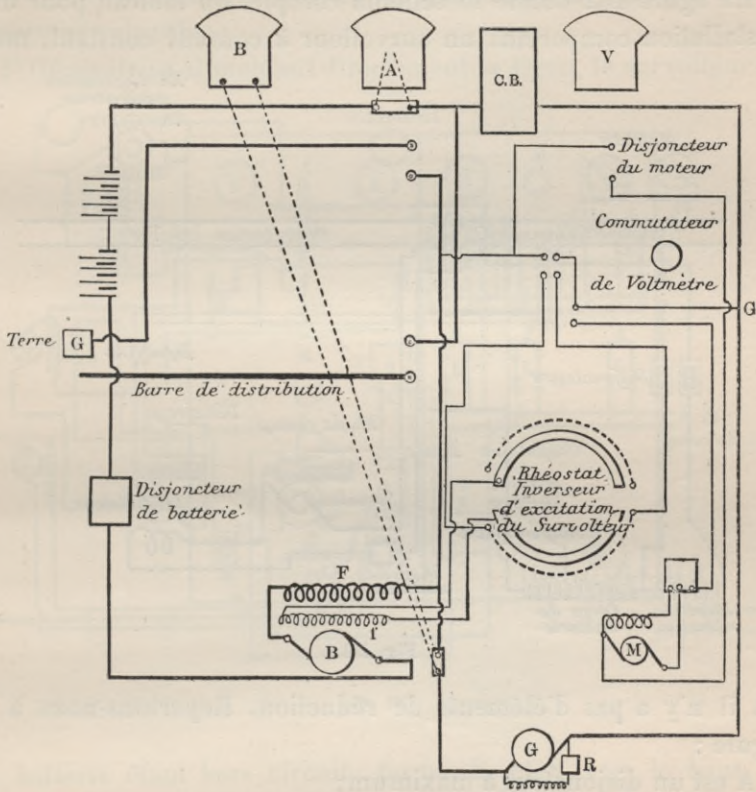


Fig. 150.

ments de réduction connectés aux barres du circuit de lumière. Lorsque l'interrupteur B est fermé, le survolteur est hors circuit, et la batterie décharge en parallèle avec la génératrice ; ou bien la génératrice est arrêtée et la batterie alimente seule les circuits de lumière et de force. Lorsque B est ouvert la batterie supporte les fluctuations du circuit de force tandis que la charge sur la génératrice reste constante. Lorsque l'interrupteur de batterie C est ouvert et que A et B sont fermés, l'éclairage et les moteurs sont sur la génératrice, et la batterie fonctionne en paral-

lèle. L'on ne devra jamais fermer A avant d'avoir ouvert C, sans quoi l'on mettrait les éléments de réduction en court-circuit. A et C devront être solidaires, ou bien l'on devra employer un interrupteur unipolaire à deux directions.

La figure 152 donne le schéma complet du tableau pour une installation comportant un survolteur à courant constant, mais

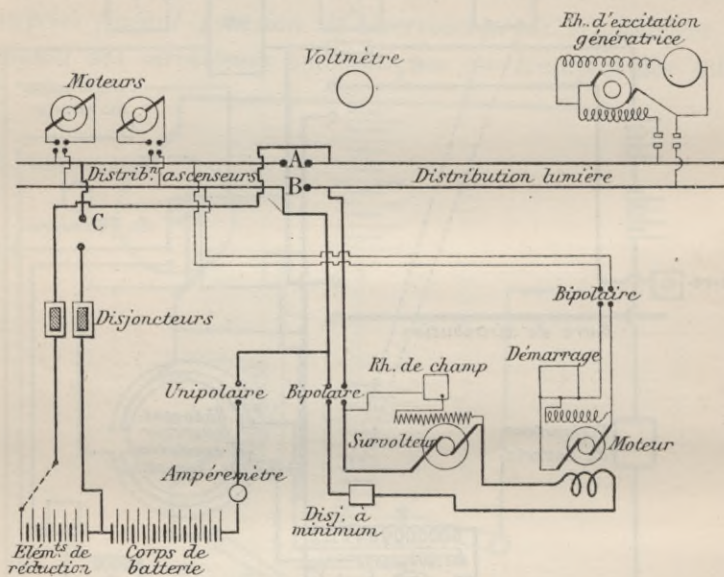


Fig. 151.

où il n'y a pas d'éléments de réduction. Reportons-nous à la figure :

A est un disjoncteur à maximum ;

H est un disjoncteur à minimum ;

G le rhéostat de démarrage du moteur ;

F est l'interrupteur d'excitation du survolteur permettant d'inverser le sens de cette excitation ;

V est l'excitation shunt du survolteur ;

Z est l'excitation série du survolteur, S est l'armature du survolteur, T est le moteur du survolteur, E et R sont respectivement les rhéostats d'excitation shunt du survolteur et de la génératrice. L'on suivra facilement les autres connexions sur la figure.

En marche normale les interrupteurs C et M sont ouverts et les autres sont maintenus fermés. C met en court-circuit l'enrou-



lement série du survolteur, et M met le survolteur complètement hors circuit, en reliant les barres de distribution de la force aux barres d'éclairage.

La figure 153 donne le schéma d'un tableau pour l'emploi du survolteur différentiel. Avec ce système l'on peut faire les combinaisons suivantes :

1° Génératrice alimentant directement la ligne, le survolteur et

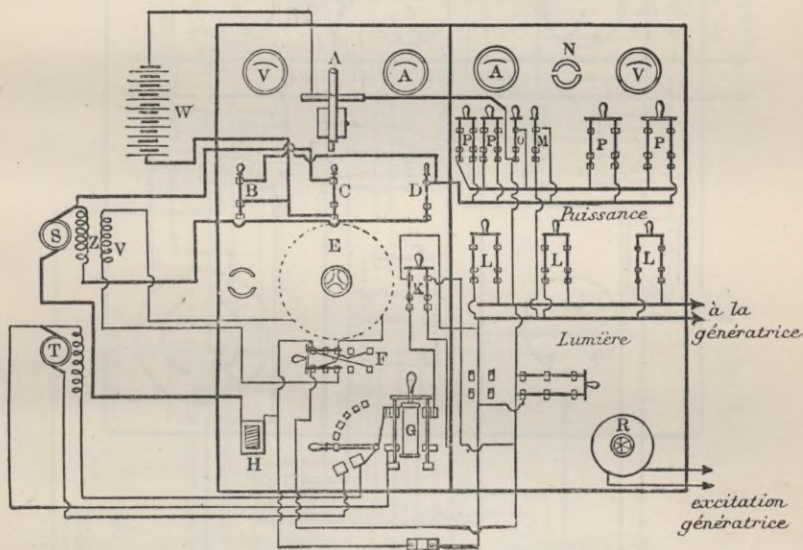


Fig. 152.

la batterie étant hors circuit : fermer  $S_2$  et  $S_3$  vers le haut, et fermer  $S_5$  et  $S_6$ ;

2° Génératrice et batterie en parallèle sur les barres, le survolteur étant hors circuit : laisser les interrupteurs de (1) dans la même position, fermer de plus  $S_1$  vers le haut et fermer  $S_7$ ;

3° Fonctionnement normal. Survolteur mis en série avec la batterie, enroulements série en circuit, batterie et survolteur branchés sur la ligne : fermer les interrupteurs  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  vers le bas, fermer  $S_5$ ,  $S_6$ , et  $S_7$ ;

4° Survolteur en série avec la batterie, enroulements série en court-circuit, batterie en charge seulement : fermer  $S_1$  vers le bas,  $S_2$  et  $S_3$  vers le haut, fermer  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ , et  $S_7$ .

Ce système est approprié au service des tramways. Le schéma du tableau tel qu'il est indiqué sur la figure conviendra pour ce

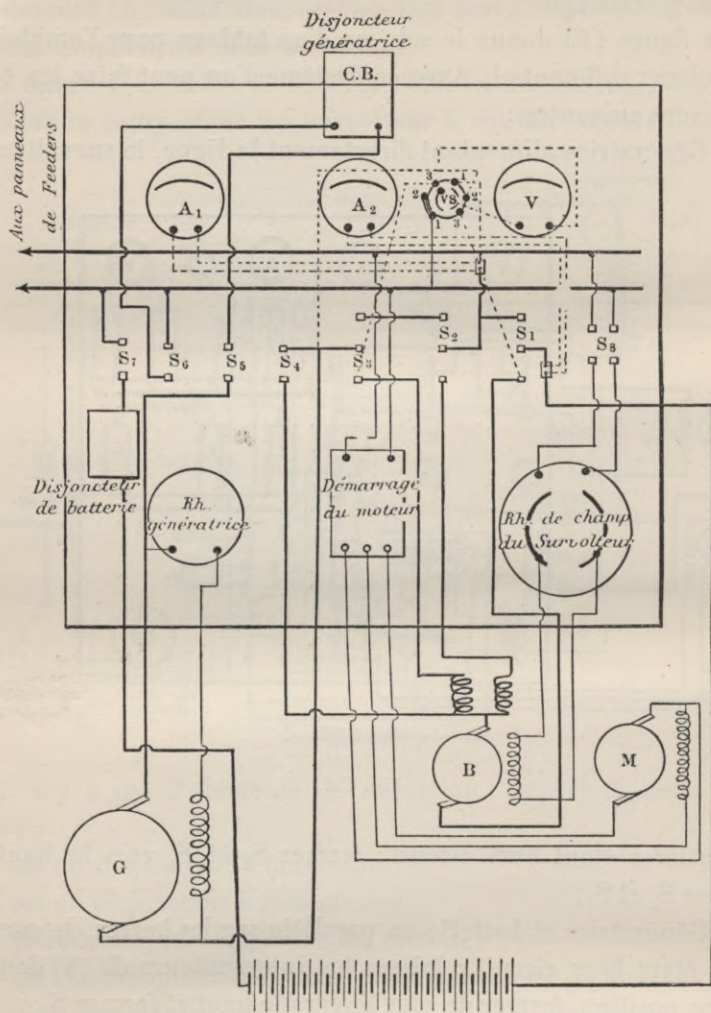


Fig. 153.

genre de service, pourvu que l'on mette la barre négative à la terre, et que l'on relie la barre positive aux panneaux de feeders.

La figure 154 donne le schéma d'installation pour une grande usine génératrice alimentant une distribution de lumière et une distribution de force. L'on doit pouvoir brancher les génératrices

soit sur les barres de lumière soit sur les barres de distribution

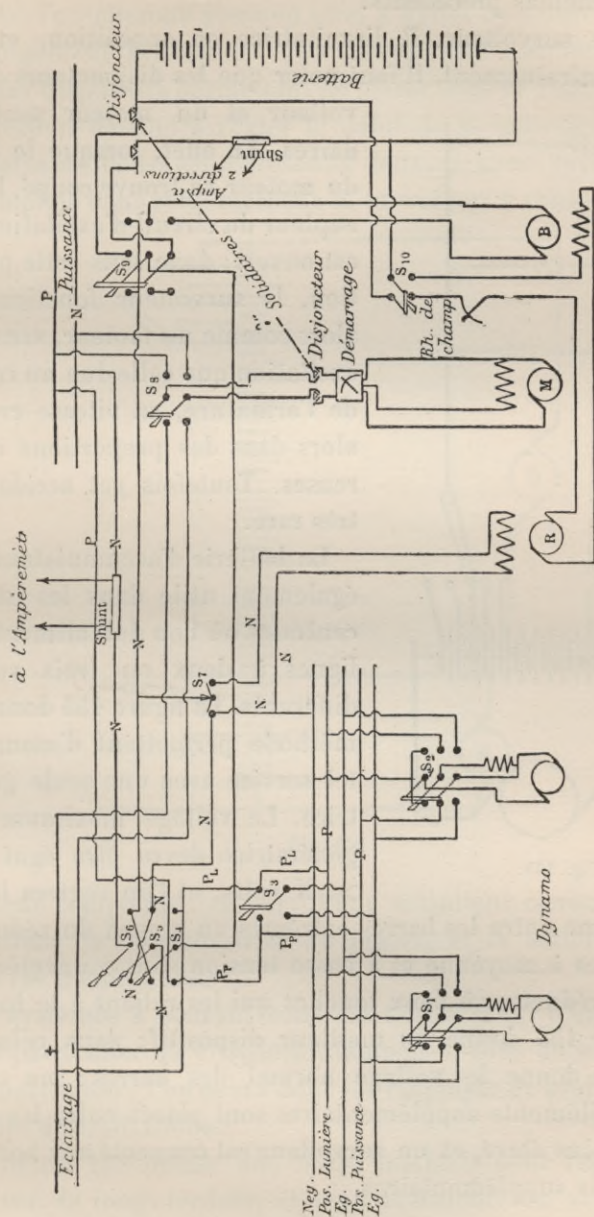


Fig. 154.

de force. Le survolteur employé est le survolteur à excitatrice en opposition. L'on a omis d'indiquer dans ce schéma les instru-

ments de mesure, mais ce seront pratiquement les mêmes que dans les schémas précédents.

B est le survolteur, R l'excitatrice en opposition, et M le moteur d'entraînement. Il faut noter que les disjoncteurs du sur-

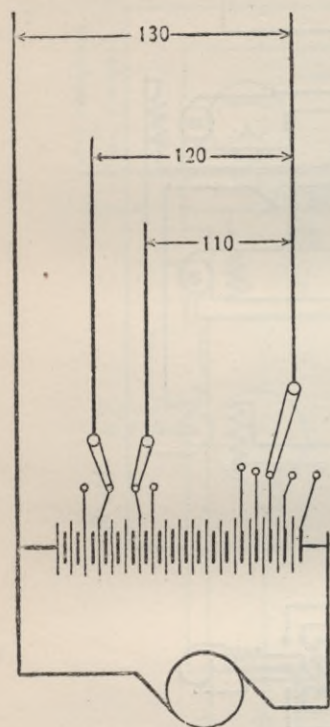


Fig. 155.

volteur et du moteur sont solidaires. En effet, lorsque le circuit du moteur se trouve coupé, l'interrupteur du circuit d'excitation de B est ouvert; donc sans cette précaution, le survolteur fonctionnerait alors comme un moteur, sans autre excitation que celle due au courant de l'armature, sa vitesse croîtrait alors dans des proportions dangereuses. Toutefois cet accident est très rare.

La batterie d'accumulateurs sera également utile dans les stations centrales où l'on doit alimenter des lignes à deux ou trois voltages différents. La figure 155 donne une méthode permettant d'assurer un tel service avec une seule génératrice. Le voltage maximum de la génératrice devra être égal à  $2,6 \times N$  volts, et l'on règlera le voltage

de ligne entre les barres extrêmes au moyen du réducteur.

Les barres à moyenne et à basse tension sont connectées chacune à un réducteur à deux touches qui les relie à la batterie.

La figure 156 donne un meilleur dispositif; dans celui-ci la génératrice donne le voltage normal des barres; un certain nombre d'éléments supplémentaires sont placés entre les barres à voltage plus élevé, et un survolteur est connecté aux bornes de ces éléments supplémentaires.

*Régulation sur de longs feeders.* — Il arrive quelquefois, surtout dans le cas de réseaux de tramways, qu'il est avantageux de

placer la batterie sur la ligne à une certaine distance de la station centrale; l'on cherche alors en effet à éviter de placer en ce point un équipement nécessitant une surveillance continue. Il y a plusieurs dispositifs permettant de placer dans la station centrale le survolteur destiné à régler le débit de la batterie. L'une des meilleures méthodes est représentée dans le schéma de la figure 157. L'on emploie dans cette méthode le survolteur à courant constant

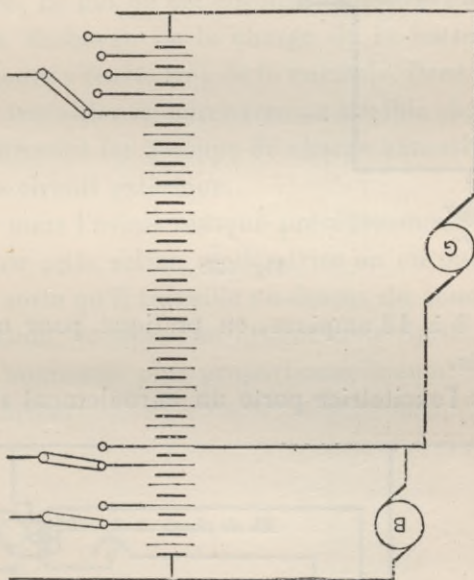


Fig. 156.

à moteur compound: ce survolteur maintient constant le courant allant de la génératrice au feeder, et la batterie supporte toutes les fluctuations.

Les systèmes à courant constant s'appliquent d'eux-mêmes à ce cas particulier de « batteries tampon », sans aucune addition ni complication; l'on devra donc les employer de préférence dans ce genre d'installations.

La figure 158 donne une autre méthode pour régulariser le débit sur de longs feeders, et pour maintenir un voltage pratiquement constant au point où se trouve branchée la batterie.

Le survolteur est une machine à excitation séparée, il est placé dans la sous-station près de la batterie, tandis que l'excita-

trice est placée dans la station centrale. Il n'est besoin d'aucun feeder spécial allant de la station principale à la sous-station ; il y aura seulement les deux fils d'excitation, mais ceux-ci seront de peu d'importance car ils n'auront à supporter qu'une faible

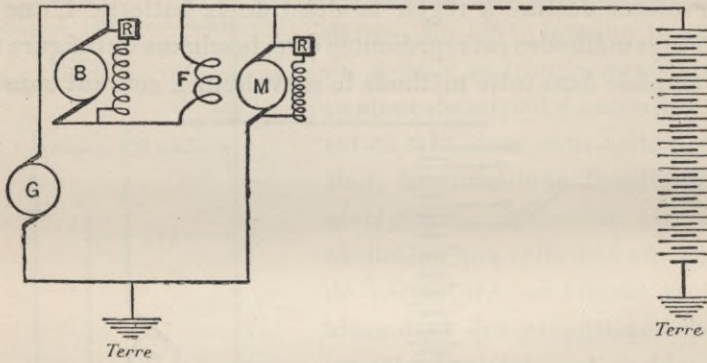


Fig. 157.

intensité : de 8 à 12 ampères, en pratique, pour un survoltteur de 50 kilowatts.

Dans ce cas l'excitatrice porte un enroulement shunt en plus

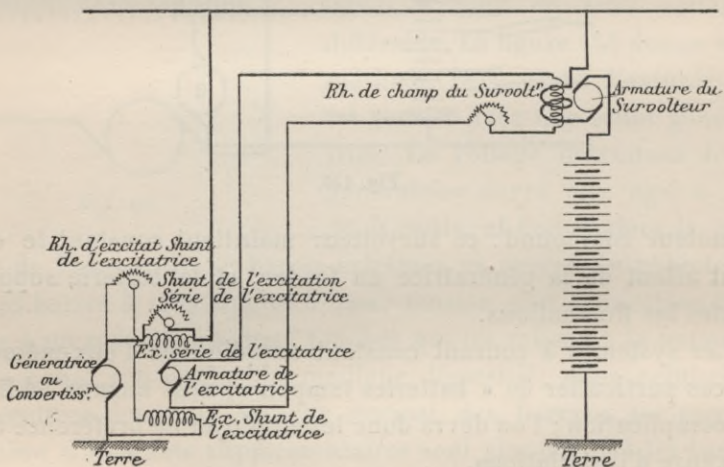


Fig. 158.

de l'enroulement série ordinaire, et ces deux enroulements sont en opposition. Lorsque la charge est normale, ces deux enroulements se font équilibre et l'action résultante est nulle ; cette action varie avec la charge et détermine une variation correspon-

dante dans l'intensité et dans le sens du courant d'excitation du survolteur. Il résulte de ceci que le survolteur aura une force électromotrice de grandeur et de direction telles qu'il fera supporter à la batterie toutes les variations de la charge.

Outre l'excitation séparée, le survolteur porte quelques tours d'excitation série. L'enroulement série produira toujours une force électromotrice en opposition avec celle produite par l'excitation séparée. Le but de cet enroulement série en opposition est de limiter la décharge ou la charge de la batterie lorsque la charge extérieure s'écarte trop de la normale. Dans ce cas la génératrice devra travailler en surcharge ou à faible charge pendant le temps que dureront les à-coups de charge excessive ou de faible charge sur le circuit extérieur.

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, l'on peut également obtenir cette action modératrice en enroulant le survolteur de telle sorte qu'il travaille au-dessus du coude de la courbe de magnétisation; lorsque l'on atteint cette limite, le voltage du survolteur n'augmente plus proportionnellement à la charge sur le circuit extérieur.

---

## CHAPITRE XLI

### DISTRIBUTIONS A TROIS FILS

La figure 159 représente une batterie branchée sur une distribution à trois fils, et servant en même temps d'égalisatrice et de réservoir d'énergie.

Il y a un survolteur à chaque extrémité de la batterie, et la somme algébrique des voltages de la génératrice et des deux survolteurs est toujours égale au voltage de la batterie.

Le type du survolteur dépendra de la nature de la charge sur le circuit extérieur. Si la batterie doit servir de régulatrice sur une charge variable, l'on emploiera l'un des types de survolteurs automatiques qui maintiennent le voltage de ligne constant. Si les survolteurs sont employés uniquement pour la charge, l'on prendra la machine shunt ordinaire. Si les survolteurs sont employés pour la charge et pour la décharge, il ne sera besoin ni d'éléments de réduction ni de réducteurs.

Ainsi qu'on le voit sur la figure, le fil neutre est connecté au point milieu de la batterie, dans quelque sens que soient fermés les interrupteurs  $S_1$  et  $S_2$ . Le point neutre est fixe, et c'est à partir de ce point que l'on devra régler le voltage, indépendamment sur chaque pont, l'on ne devra pas régler le voltage entre les deux fils extrêmes. En fait, lorsque le voltage de chaque pont est correct, le voltage entre les extrêmes est également correct, mais il est évident que le voltage entre les extrêmes peut être normal bien qu'il y ait une inégalité entre les deux ponts.

$S_3$  et  $S_4$  sont des interrupteurs unipolaires à deux directions permettant de connecter la batterie sur la ligne, soit directement, soit avec les survolteurs en série.

$S_1$  et  $S_2$  sont des commutateurs bipolaires à deux directions



dont les connexions sont indiquées sur la figure. Lorsque les interrupteurs  $S_1$  et  $S_2$  sont fermés vers le bas, la moitié gauche de la batterie est branchée sur le pont positif, et la moitié de droite

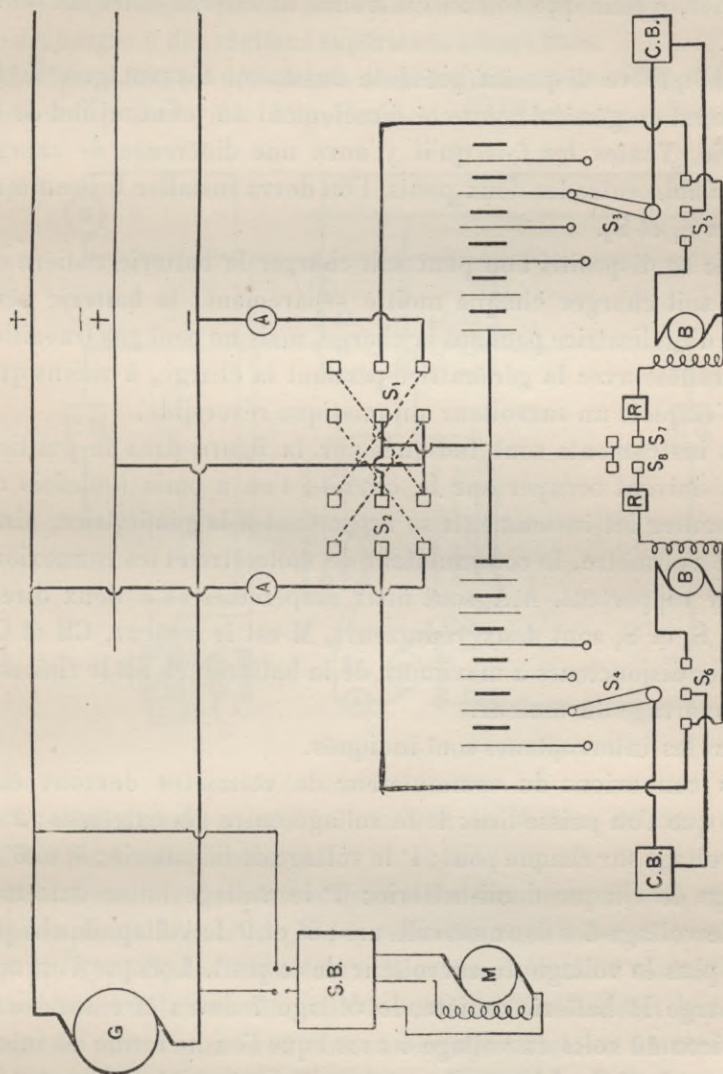


Fig. 159.

est branchée sur le pont négatif. Si la charge sur l'un des ponts est plus forte que sur l'autre, et si par conséquent la demi-batterie correspondante doit fournir un débit plus considérable que sa voisine, l'on devra à un moment donné fermer les interrupt-

teurs  $S_1$  et  $S_2$  vers le haut, ce qui permettra aux deux demi-batteries de travailler chacune à leur tour sur le pont le plus chargé. L'on pourra de cette façon égaliser la décharge des deux demi-batteries, quelle que soit la différence de charge entre les deux ponts.

Bien que ce dispositif présente beaucoup d'avantages, le fil neutre est en général connecté directement au point milieu de la batterie. Toutes les fois qu'il y aura une différence de charge appréciable entre les deux ponts, l'on devra installer les commutateurs  $S_1$  et  $S_2$ .

Avec ce dispositif l'on peut soit charger la batterie entière en série, soit charger chaque moitié séparément; la batterie peut servir d'égalisatrice pendant la charge, mais ne peut pas travailler en parallèle avec la génératrice pendant la charge, à moins que l'on n'emploie un survolteur automatique réversible.

Les instruments sont indiqués sur la figure dans la position qu'ils doivent occuper sur le circuit; l'on a omis toutefois de représenter les instruments se rapportant à la génératrice, ainsi que le voltmètre, le commutateur de voltmètre et les connexions qui s'y rapportent. A, A sont deux ampèremètres à deux directions,  $S_3$  et  $S_4$  sont deux réducteurs, M est le moteur, CB et CB sont les disjoncteurs à maximum de la batterie, et SB le rhéostat de démarrage du moteur.

Tous les interrupteurs sont indiqués.

Les connexions du commutateur de voltmètre devront être telles que l'on puisse lire : 1° le voltage entre fils extrêmes; 2° et 3° le voltage sur chaque pont; 4° le voltage de la batterie; 5° et 6° le voltage de chaque demi-batterie; 7° le voltage entre extrêmes plus le voltage des deux survolteurs; 8° et 9° le voltage de chaque pont, plus le voltage du survolteur de ce pont. Lorsque l'on met en charge la batterie entière, le voltage 7 devra être supérieur d'environ 10 volts au voltage 4 avant que l'on ne ferme les interrupteurs  $S_3$  et  $S_4$ . L'on amènera ensuite l'intensité du courant de charge à sa valeur normale en agissant sur les rhéostats d'excitation des survolteurs. Pendant la charge l'on devra maintenir égales les lectures 8 et 9 au moyen des rhéostats des survolteurs. Lorsque l'on charge chaque demi-batterie séparément, le voltage

ligne plus survolteur devra être supérieur d'environ 5 volts au voltage de la demi-batterie avant de fermer l'interrupteur  $S_5$  ou l'interrupteur  $S_6$ .

Les disjoncteurs placés sur les batteries empêchent celles-ci de se décharger à des régimes supérieurs à ceux fixés.

La figure 160 est un schéma de distribution à trois fils où la batterie doit jouer le rôle d'égalisatrice, et doit en même temps pou-

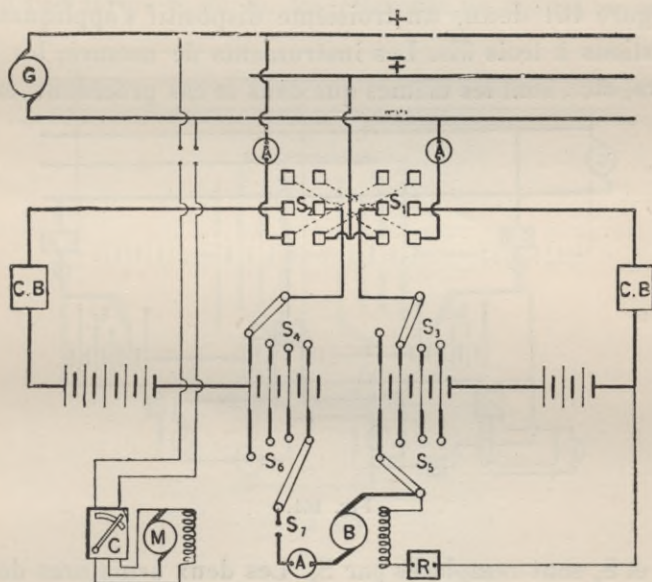


Fig. 160.

voir alimenter le réseau au moment des faibles débits, et supporter les fortes pointes.

A et A sont des ampèremètres à deux directions,  $S_1$  et  $S_2$  sont des interrupteurs bipolaires à deux directions, CB des disjoncteurs,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  et  $S_6$  des réducteurs. R est le rhéostat d'excitation du survolteur, B le survolteur, M le moteur, C le rhéostat de démarrage du moteur, et  $S_7$  et A un interrupteur et un ampèremètre placés sur le circuit du survolteur.  $S_1$  et  $S_2$  permettent de faire passer chacune des deux demi-batteries d'un pont sur l'autre ainsi qu'il a été indiqué dans le cas précédent.

L'on emploie dans ce cas un seul survolteur qui sert à charger les éléments de réduction. Si G est une machine shunt, la bat-

terie supportera en partie les fluctuations sur le circuit extérieur, mais sous ce rapport le système décrit précédemment conviendra mieux. De plus, dans ce cas, la puissance du survolteur devra être égale à la somme des puissances des deux survolteurs employés dans le cas précédent, et il faudra deux réducteurs de plus. Ce système est donc moins recommandable que le système décrit précédemment.

La figure 161 donne un troisième dispositif s'appliquant aux distributions à trois fils. Les instruments de mesure, les interrupteurs, etc., sont les mêmes que dans le cas précédent, excepté

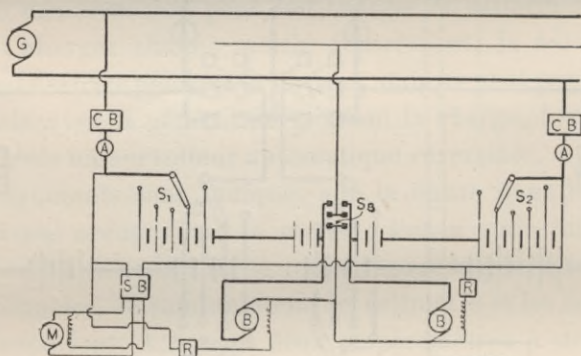


Fig. 161.

que  $S_1$  et  $S_2$  sont remplacés par  $S_3$ . Les deux armatures des survolteurs sont montées en série entre les deux demi-batteries, ainsi que l'indique la figure, et le fil neutre est connecté entre les deux armatures. Cette méthode est excellente et est très usitée.

La figure 162 représente un système à un seul survolteur qui est une modification du schéma de la figure 160. L'on a indiqué seulement le schéma des connexions, l'on n'a représenté ni les instruments, ni le moteur pour donner plus de clarté à la figure. Le moteur est connecté sur les fils extrêmes, et les instruments sont identiques et sont placés de la même façon que dans la figure 160. L'avantage de ce système sur celui de la figure 160 est que l'on peut soit charger indépendamment chaque demi-batterie, soit charger toute la batterie en série.

Lorsque  $S_1$  est fermé sur  $d$ , et  $S_2$  sur  $b$ , le survolteur aide à

charger la demi-batterie de gauche. Lorsque  $S_1$  est fermé sur  $c$  et  $S_2$  sur  $a$ , il aide à la charge de la demi-batterie de droite; enfin lorsque  $S_1$  est sur  $c$  et  $S_2$  sur  $b$ , la batterie entière est en charge et est connectée sur la ligne avec le survolteur en série; lorsque l'on charge séparément chaque demi-batterie, l'on doit veiller à ne jamais fermer  $S_1$  ou  $S_2$  avant que le survolteur n'ait atteint son voltage. Si le survolteur ne donnait pas de voltage lorsque l'on ferme  $S_1$  ou  $S_2$ , les éléments de réduction compris

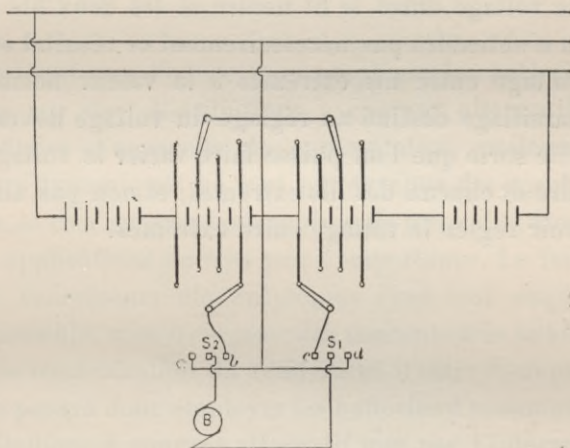


Fig. 162.

entre les deux manettes du réducteur seraient mis en court-circuit.

Tous les dispositifs de batteries employés dans les distributions à deux fils peuvent être appliqués dans les distributions à trois fils; de plus les batteries peuvent toujours alors être employées comme égalisatrices lorsque les génératrices sont connectées sur les fils extrêmes, excepté toutefois dans le cas où les génératrices doivent alimenter des circuits séparés de lumière et de force, et où la batterie doit supporter toutes les fluctuations. Dans ce cas l'on ne peut employer la batterie que pour supporter les fluctuations de la charge, mais elle ne peut en même temps servir d'égalisatrice pour compenser les différences de charge des ponts.

Il n'est pas nécessaire de donner ici d'autres exemples de dispositifs pour des distributions à trois fils; pour toutes les appli-

cations, en effet, l'on calculera le survolteur et l'équipement de batterie comme s'il s'agissait d'une distribution à deux fils ordinaire. L'on doublera ensuite l'équipement, et l'on branchera les deux moitiés montées en série sur les fils extrêmes, en connectant le fil neutre entre les deux. Dans le cas de deux survolteurs, l'on peut presque toujours n'employer qu'un seul moteur pour les actionner. L'on branche toujours ce moteur sur les fils extrêmes. L'on doit également se rappeler que l'on doit maintenir constant le voltage entre le fil neutre et les deux fils extrêmes, et que l'on n'obtiendra pas nécessairement ce résultat en maintenant le voltage entre fils extrêmes à la valeur normale. Donc tout l'appareillage destiné au réglage du voltage devra être disposé de telle sorte que l'on puisse faire varier le voltage entre le point neutre et chacun des fils extrêmes, et non pas simplement pour pouvoir régler le voltage entre extrêmes.

---

## CHAPITRE XLII

### DISTRIBUTIONS A COURANT ALTERNATIF

Il est évident que l'on ne peut employer les batteries d'accumulateurs sur des distributions à courant alternatif que par l'intermédiaire d'appareils de commutation quelconques. Les redresseurs dynamiques ne sont pas devenus des machines commerciales, si ce n'est pour les machines de très petite dimension, et pour les applications de très peu d'importance. Le faible rendement des redresseurs électrolytiques rend leur emploi absolument impossible, si ce n'est pour des courants très faibles, et pour lesquels la considération du rendement n'intervient pas.

L'on ne pourra donc employer les batteries d'accumulateurs sur des distributions à courant alternatif que par l'intermédiaire de commutatrices ou de moteurs générateurs. Dans ce cas, en ce qui concerne l'équipement de la batterie, la source d'énergie sera un collecteur à courant continu, et les applications seront exactement les mêmes que celles données dans les chapitres précédents.

Dans quelques cas, l'on met en marche les convertisseurs au moment de la faible charge pour charger les batteries ; et, au moment de la pointe sur la distribution de courant alternatif, la batterie est mise en décharge sur le convertisseur, et fonctionne comme une source de courant alternatif. L'on ne peut employer dans ce cas les appareils de protection usuels destinés à éviter qu'en cas d'interruption du courant alternatif, la batterie ne fasse fonctionner le convertisseur comme un moteur série, et que sa vitesse n'augmente jusqu'à ce qu'il fasse explosion ; la raison de ceci est que le courant devra tantôt aller au convertisseur, tantôt être fourni par lui. L'on emploiera donc une forme spéciale de disjoncteur qui sera monté en série avec la batterie, et qui sera

maintenu fermé par l'action du courant alternatif agissant sur un loquet. Dans les installations polyphasées, l'on emploiera plutôt dans ce but un petit moteur d'induction dont le rotor aura

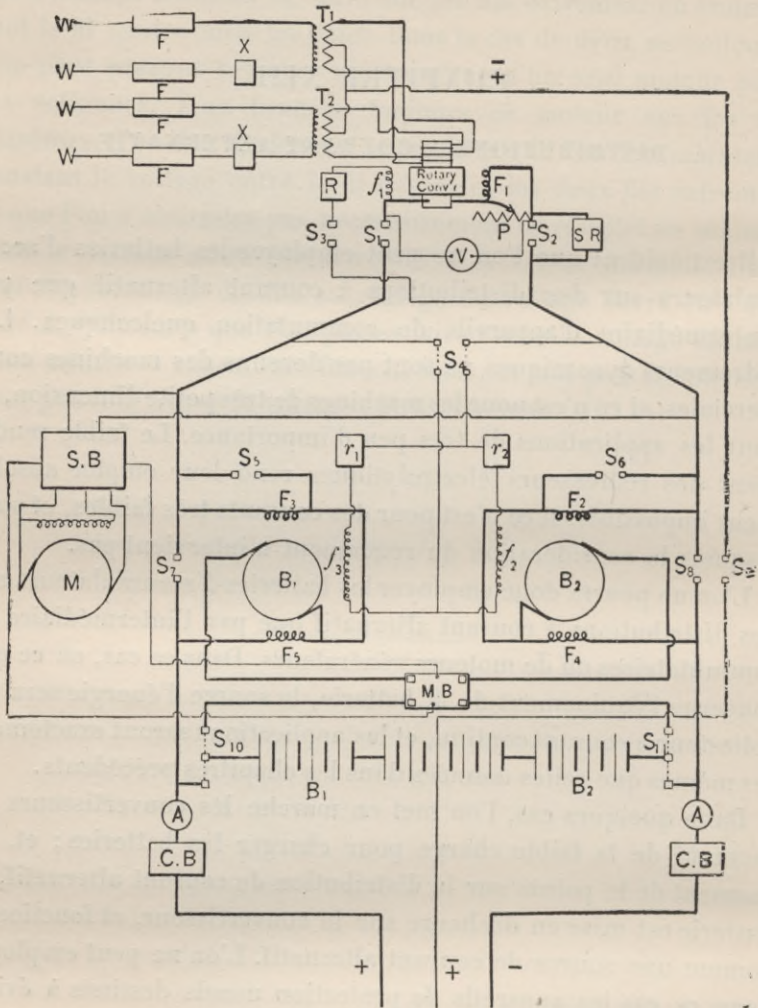


Fig. 163.

Rotary Conv<sup>r</sup> = Convertisseur rotatif.

un diamètre de 5 centimètres environ. Le rotor tendra à tourner, mais sera maintenu par un ressort. Lorsque le courant alternatif traversera le stator, le couple développé dans le rotor surpassera



la force du ressort et maintiendra en place le loquet de fermeture du disjoncteur. Lorsque le courant alternatif sera interrompu, le ressort fera tourner le rotor de quelques degrés en sens inverse, le loquet sera soulevé et le disjoncteur s'ouvrira.

Lorsqu'on construira le petit moteur d'induction il faudra se rappeler que le glissement sera de 100 p. 100.

Toutefois, dans les installations à courant alternatif, les batteries sont surtout employées pour supporter les fluctuations de la charge du côté continu des convertisseurs. Elles maintiennent la charge constante à l'usine génératrice, et permettent l'emploi de convertisseurs à 60 périodes sur des circuits présentant d'énormes fluctuations de charge.

Lorsque la charge sur un convertisseur rotatif varie, il se produit un changement dans la position angulaire de l'armature, son décalage par rapport à la position de marche à vide augmente ou diminue. Des variations subites ou des fluctuations déterminent des variations correspondantes dans la position angulaire de l'armature du convertisseur. Plus la fréquence sera grande, et plus petit sera l'angle entre un pôle et le voisin. Donc dans les convertisseurs à fréquence élevée, la déviation angulaire admissible à partir de la position normale de pleine charge sera excessivement faible, et les variations de la charge extérieure détermineront des oscillations appelées communément « pompage ». La batterie maintient la charge constante sur le convertisseur, et supporte à elle seule toutes les variations, elle empêche donc le « pompage », et tous les troubles qui s'y rapportent.

La figure 163 donne le schéma des connexions et les instruments nécessaires pour une batterie installée sur une distribution à trois fils et destinée à supporter les fluctuations et à fournir la pointe. Cette distribution est alimentée par un convertisseur rotatif branché sur les deux fils extrêmes. Dans ce cas, le fil neutre est branché sur le milieu de la batterie, et en même temps au milieu de l'enroulement secondaire du transformateur, ainsi que l'indique la figure.

w. w. w. w, est l'arrivée des câbles à haute tension d'un transport de force biphasé. Ces câbles traversent les fusibles F. F. F. F.

et les interrupteurs à huile X. X., puis vont aux transformateurs statiques  $T_1, T_2$ .

Les secondaires des transformateurs sont reliés aux bagues du convertisseur ainsi qu'il est indiqué.  $F_1$  est l'enroulement série du convertisseur, son action est réglée par le shunt variable P.  $f_1$  est l'excitation shunt que l'on règle au moyen du rhéostat R. Le voltmètre V est branché sur la ligne, mais en avant des interrupteurs  $S_1$  et  $S_2$ . SR est un rhéostat de démarrage monté en shunt sur  $S_2$ , il sert à mettre en vitesse le convertisseur que l'on met en marche comme un moteur à courant continu alimenté par la batterie.

M et SB sont un moteur et son rhéostat de démarrage ; ce moteur sert à entraîner deux survolteurs différentiels  $B_1$  et  $B_2$ .  $F_3$  et  $F_5$  sont les excitations série du survolteur  $B_1$ .  $f_3$  est l'excitation shunt que l'on règle au moyen du rhéostat  $r_1$ .  $S_5$  est un interrupteur servant à mettre les enroulements série hors circuit lorsqu'il est nécessaire de charger ou de faire bouillonner la batterie. L'interrupteur  $S_7$  permet de mettre le survolteur totalement hors circuit. Lorsque l'interrupteur  $S_{10}$  est fermé vers le haut, la batterie est connectée sur la ligne par l'intermédiaire du survolteur ; lorsque cet interrupteur est fermé vers le bas, la batterie est connectée directement sur la ligne.

Après la batterie, la ligne passe par l'ampèremètre A par le disjoncteur automatique C. B., puis va de là au circuit d'utilisation.

Les connexions de  $B_2$  sont entièrement semblables.

M. B. est un disjoncteur tétrapolaire relié par deux fils fins au rhéostat de démarrage ou au disjoncteur du moteur. Ce disjoncteur est placé sur les circuits des deux survolteurs. Il est connecté à S. B. de telle façon que si le disjoncteur du moteur s'ouvre, M. B. s'ouvrira également. Donc si le circuit du moteur se trouve coupé pour une cause quelconque, il sera impossible à la batterie de faire fonctionner les survolteurs en moteurs série.

## CHAPITRE XLIII

### PRÉDÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ D'UNE BATTERIE

Pour évaluer la capacité que devra avoir une batterie destinée à assurer un service déterminé quelconque, il sera nécessaire de tracer une courbe de charge de vingt-quatre heures donnant la consommation de courant, à chaque instant. L'on déduira de cette courbe, et avec l'aide du facteur « K », les intensités maximum, minimum, et moyenne, le travail qui sera demandé à la batterie, et la capacité qu'elle devra avoir.

Prenons comme exemple la courbe de charge de la figure 164. La ligne en traits discontinus représente le débit des génératrices, et la ligne en traits pleins représente la charge totale de la station. La différence entre les deux est absorbée ou fournie à chaque instant par la batterie. La partie hachurée en diagonale correspond à la charge et la partie doublement hachurée à la décharge.

Les pointes étant espacées de plusieurs heures, elles devront être considérées comme indépendantes, et n'ayant aucun rapport entre elles ; la batterie aura en effet le temps de récupérer les ampères-heure débités pendant la pointe A avant le commencement de la pointe B. Il suffira donc de prendre une batterie capable de fournir la plus grande pointe, c'est-à-dire ici évidemment la pointe B ; il suffira donc de déterminer le nombre d'ampères-heure que la batterie aura à débiter pour fournir cette pointe. Pour rendre la méthode de détermination plus claire l'on a représenté dans la figure 165 la pointe B à une plus grande échelle. Le diagramme est divisé en un certain nombre de bandes par des lignes verticales. La surface de ces bandes, prise à

l'échelle convenable représentera le nombre d'ampères-heure débités pendant le temps indiqué sur la base. Les petites lignes horizontales *s. p. r. d. z.* représentent les régimes moyens de décharge pour les différentes divisions. L'on supposera d'abord à

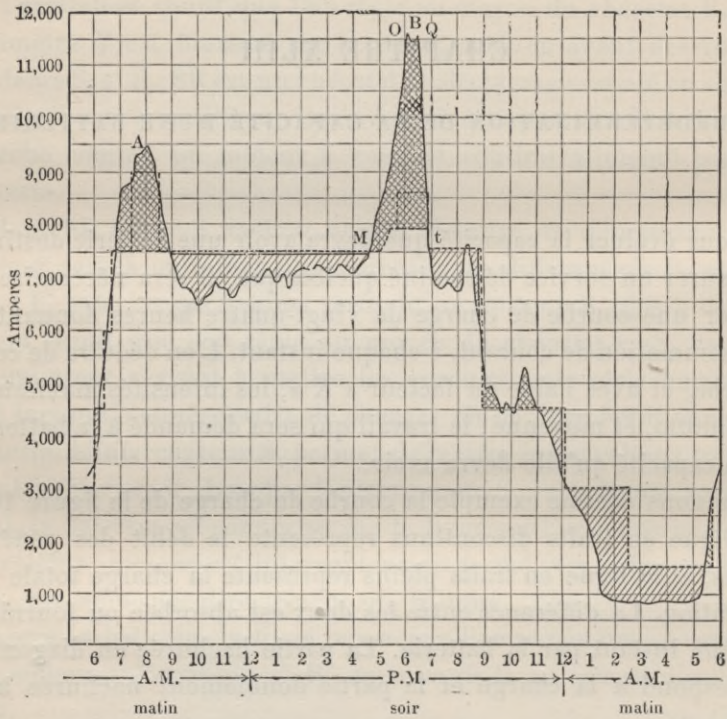


Fig. 164.

la batterie une capacité de 10 p. 100 supérieure à celle correspondant au nombre total d'ampères-heure de la pointe, débités à un régime correspondant à la longueur de la base. Le nombre total d'ampères-heure est de 4 400 et la durée de la décharge de deux heures un quart. Pour le régime en deux heures un quart K est égal approximativement à 1,50.  $4\,400 \times 1,50 = 6\,600$ , c'est approximativement le nombre d'ampères-heure nécessaires pour fournir la pointe. L'on adoptera cette valeur comme première approximation, et l'on se servira de la division par bandes pour déterminer la valeur exacte.

La division n°1 donne 380 ampères-heure au régime de 900 ampères soit environ au régime en sept heures. Donc, pour la première division la capacité de batterie nécessaire, rapportée au régime en huit heures sera de  $380 \times 1,03 = 391,4$ . De même pour la division n° 2, l'on a 560 A.H. au régime de 1 400 ampères; c'est le régime en trois heures trois quarts, et l'on a  $K = 1,25$ ; la capacité rapportée au régime en huit heures sera donc de  $560 \times 1,25 = 700$ . N° 3 = 1 060, régime = 2 700 = régime en une heure trois quarts.  $K = 1,68$ ; ampères-heure =  $1 060 \times 1,68 = 1 780$ .

N° 4 = 2 160 ampères-heure, au régime de 3 600 ampères; ce régime est supérieur au régime en une heure. Ceci n'aurait pas d'inconvénient si cette décharge ne durait que quelques minutes, mais l'on voit sur la base que sa durée sera de trente-six minutes; c'est une durée trop longue pour une décharge à un régime aussi élevé. L'on devra donc prendre pour base une capacité approximative plus élevée. La division n° 5 ne demande qu'une faible

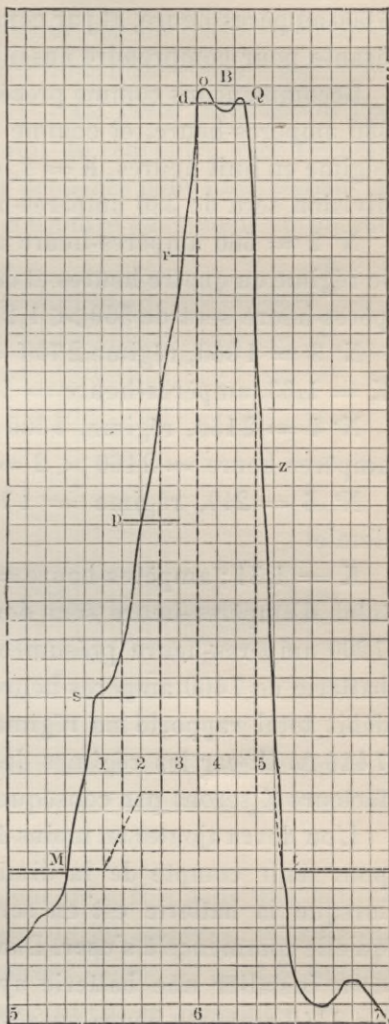


Fig. 165.

capacité. L'on a trouvé pour la somme des divisions 1, 2, et 3 une capacité de 2871 A. H. rapportée au régime en huit heures. Si l'on adopte comme régime maximum le régime en une heure,  $K$  sera égal à 2 pour la division 4, et le nombre d'ampère-heures correspondant à cette division sera de  $2 160 \times 2 = 4 320$ . Ajoutons à ceci les 2871 A. H. déjà trouvés, et nous obtenons 7181, ou

en chiffres ronds 7200 ampères-heure. Les régimes seront moindres pour une batterie de cette capacité que pour une batterie de 6600 ampères-heure, et par conséquent la capacité devra être suffisante pour comprendre aussi la division n° 5.

Recommençons comme précédemment : La division n° 1 donne 380 ampères-heure, et comme le régime de 900 ampères est le régime en huit heures,  $K = 1$ , et la capacité nécessaire pour cette division sera de 380 ampères-heure.

N° 2 = 560 ampères-heure au régime de 1400 ampères, c'est le régime en quatre heures et demie.  $K = 1,2$ , et le nombre d'ampères-heure sera de  $560 \times 1,2 = 672$ .

N° 3 = 1060, régime 2700 = régime en une heure et demie.  $K = 1,63$ . ampères-heure =  $1,63 \times 1060 = 1730$ .

N° 4 = 2160, régime, 3600 = régime en une heure.  $K = 2$ ; ampères-heure =  $2160 \times 2 = 3420$ .

N° 5 = 240, régime = 1700 = régime en trois heures et demie.

$K = 1,31$ ; ampères-heure =  $240 \times 1,31 = 314$ . Le nombre total d'ampères-heure sera donc de 7416. Donc la capacité de 7200 ampères-heure présumée est trop faible, et il faudra une batterie de 7400 ampères-heure. Si l'on adopte cette capacité, le débit total rapporté au régime en huit heures sera inférieur à 7416 A. H. car les régimes de décharge seront moindres, et les facteurs  $K$  seront par conséquent diminués.

L'on devra ajouter au moins 10 p. 100 à la capacité ainsi trouvée pour tenir compte de la diminution de capacité qui se produit lorsque la batterie est en service depuis un certain temps, et qu'elle commence à s'user. Dans le cas qui nous occupe, il faudra donc installer une batterie ayant une capacité de  $7400 + 740 = 8140$  ampères-heure au régime en huit heures.

L'on verra que cette méthode est erronée et ne donne qu'un résultat approximatif le résultat obtenu sera d'autant plus exact que l'on aura subdivisé la courbe de charge en un plus grand nombre de sections.

Les deux courbes de la figure 166 sont destinées à faciliter les calculs. L'échelle verticale de droite se rapporte à la courbe supérieure, et celle de gauche à la courbe inférieure. « D » est

l'intensité de décharge à un régime quelconque, et «  $d$  » est l'intensité du courant de décharge au régime en huit heures. L'on déterminera  $\frac{D}{d}$  et on lira cette valeur sur l'échelle verticale de droite. On suivra l'horizontale ainsi déterminé jusqu'à son intersection avec la courbe marquée  $\frac{D}{d}$ . De cette intersection l'on abaissera une verticale dont le point de rencontre avec l'échelle horizontale donnera la durée de la décharge pour une intensité de  $D$  ampères. Cette ligne verticale rencontre également en un cer-

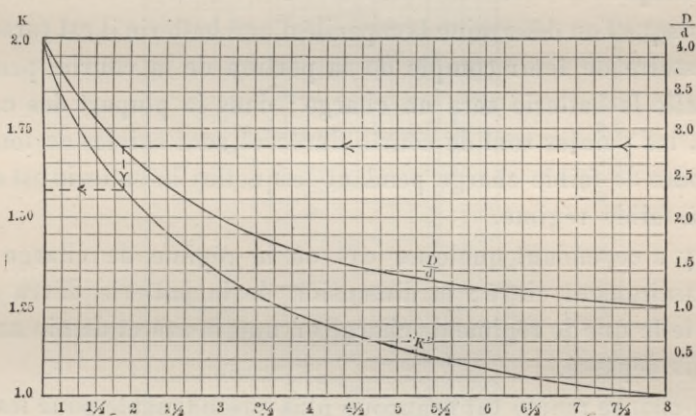


Fig. 166.

tain point la courbe inférieure marquée «  $K$  ». Si l'on mène de ce point une horizontale, sa rencontre avec l'échelle de gauche donnera la valeur de «  $K$  » pour le régime  $D$  donné.

*Exemple.* — Quelle est la valeur de «  $K$  » pour une batterie dont le régime en huit heures est de 30 ampères, et pour une intensité de décharge de 84 ampères ?  $\frac{D}{d} = \frac{84}{30} = 2,8$ . Suivons l'horizontale correspondant à 2,8 jusqu'à sa rencontre avec la courbe  $\frac{D}{d}$  ; menons de ce point une verticale jusqu'à la courbe «  $K$  », puis de nouveau une horizontale jusqu'à l'échelle de gauche ; nous obtenons pour «  $K$  » la valeur 1,56. Nous voyons de plus que le régime de 84 ampères correspond pour cette batterie au régime en une heure cinquante-sept minutes. Si  $\frac{D}{d}$  est supérieur à 4, c'est que le régime de décharge dépasse le régime en une heure ; l'on ne devra donc l'admettre que pour

quelques instants. Ces courbes ne sont qu'approximatives, elles varient en effet quelque peu avec les différents types d'éléments, et les différents modes de fabrication. Elles se rapprochent toutefois de la moyenne que l'on rencontrera dans la pratique.

L'on pourra ne tracer qu'une seule courbe en supprimant l'indication des temps correspondant aux régimes de décharge. L'on placera alors les valeurs de  $\frac{D}{d}$  sur l'échelle horizontale à la place des temps.

Lorsque l'on détermine la capacité d'une batterie il est rarement nécessaire de tenir compte de la portion de la courbe pendant laquelle la batterie sera en charge ; dans la plupart des cas en effet, les pointes sont de courte durée et sont suivies de longues périodes de faible charge pendant lesquelles la batterie est chargée à faible régime.

Il y a cependant quelques cas où le régime de charge sera nécessairement élevé ; la dimension de la batterie devra alors être telle que le régime de charge en une heure et demie ne soit jamais dépassé.

La charge rapide est beaucoup plus préjudiciable pour les éléments que la décharge rapide ; et dans aucun cas il ne faudra dépasser pour les éléments le régime de charge en une heure et demie ; ce régime même n'est pas bon à admettre en pratique, à moins qu'il ne se présente d'une façon continue que pendant vingt minutes au maximum.

Les batteries employées comme régulatrices sont soumises à des régimes de charge et de décharge très élevés, mais la durée de chaque pointe est très courte. Dans de tels cas, la capacité nécessaire, en réservoir, sera relativement faible, et le facteur déterminant du choix de la batterie sera le régime maximum de charge ou de décharge auquel elle sera soumise. L'on devra installer une batterie suffisamment grande pour ne pas dépasser le régime en une heure et demie à la charge, et le régime en une heure à la décharge, sans se préoccuper de la capacité nécessaire pour absorber les variations de la charge.

Considérons par exemple le diagramme de la figure 167 qui représente le débit pendant une heure d'une station de commuta-



trices alimentant un réseau de tramways. Les lectures ont été faites à des intervalles de trente secondes.

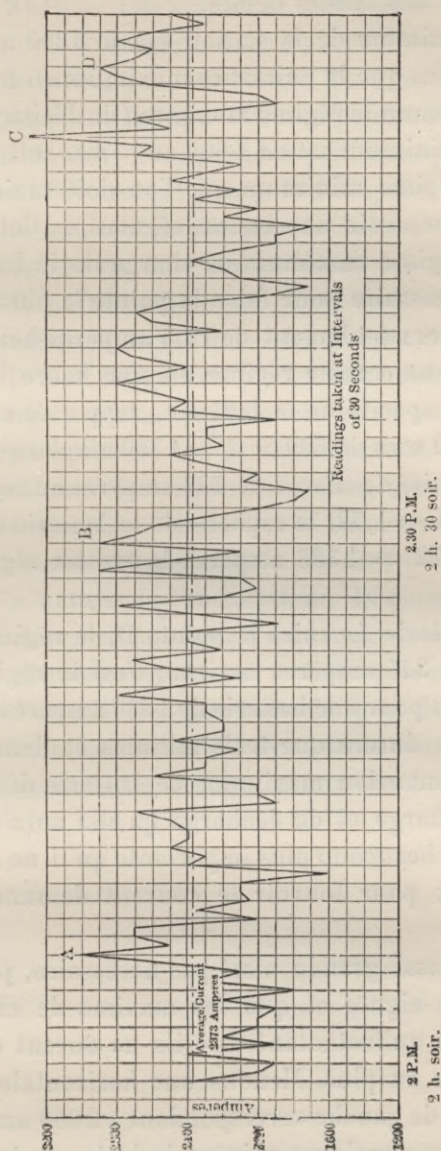


Fig. 167.

Average Current 2373 amperes = courant moyen 2373 ampères.  
Readings taken at intervals of 30 seconds = lectures faites toutes les 30 secondes.

Dans ce cas les commutatrices doivent fournir seulement le courant moyen, plus 10 p. 100 au moment des surcharges, et moins 10 p. 100 aux moments des débits les plus faibles. Le courant

moyen est de 2373 ampères; il sera donc de  $2373 + 237 = 2610$  ampères lors des surcharges, et de  $2373 - 237 = 2136$  ampères au moment des faibles débits.

La charge maximum de la station est de 3300 ampères, soit 690 ampères de plus que la puissance maximum du convertisseur. Cette différence donne le régime maximum de décharge de la batterie. Le débit minimum est de 1600 ampères, soit 536 ampères en dessous du régime minimum que l'on doit maintenir sur le convertisseur pour avoir une bonne régulation. Cette différence nous donne le régime maximum de charge de la batterie.

La capacité nécessaire pour faire la pointe la plus grande, soit ici la pointe D, sera seulement de 17,5 ampères-heure.

Si nous adoptons comme régime en une heure le régime de 690 ampères, la capacité de la batterie, rapportée au régime en huit heures  $K = 2$  sera de  $690 \times 2 = 1380$  ampères-heure.

Pour une intensité de charge de 536 ampères au régime en une heure et demie,  $K = 1,72$ , la capacité de la batterie devra être de  $536 \times 1,5 \times 1,72 = 1385$  ampères-heure au régime en huit heures.

Lorsque la batterie fournira la pointe D, le régime moyen de décharge sera de 375 ampères environ, c'est le régime en deux heures trois quarts pour une batterie de 1380 ampères-heure, mais cette décharge ne durera que trois minutes et demie. Ainsi, si l'on adopte la dimension maximum de batterie déterminée par les régimes de charge et de décharge qu'elle aura à supporter, cette batterie sera beaucoup plus importante qu'il ne serait nécessaire simplement pour fournir le courant demandé dans les pointes.

Une batterie aussi grande n'est pas nécessaire, parce que les pointes sont très aiguës et que les maxima de charge ou de décharge ne sont qu'instantanés — ils ne durent en effet que quelques secondes au plus. Menons une horizontale à partir du point de l'échelle de gauche correspondant à 2800 ampères; cette ligne ne coupera que quelques pointes, la décharge de plus longue durée au-dessus de cette ligne sera celle de la pointe D qui ne durera que quarante-cinq secondes. L'on pourra donc considérer comme suffisante pour tous les besoins de la pratique, une bat-

terie dont le régime en une heure permet d'atteindre la ligne de 2 800 ampères. Le régime de décharge en une heure sera alors de  $2\,800 - 2\,610 = 190$  ampères ; la batterie devra donc avoir une capacité de 380 ampères-heure au régime en huit heures.

Il semble de même que l'on restera dans les limites de la bonne pratique en adoptant la ligne 1 900 ampères comme minimum de charge de la station ; l'on prendra par conséquent la différence entre 2 136 et 1 900, ce qui donne 236 ampères comme régime de charge en une heure et demie pour la batterie. La capacité de la batterie au régime en huit heures devra donc être de  $236 \times 1,5 \times 1,72 = 610$  ampères-heure.

L'on voit, d'après ce qui précède, que le choix de la capacité d'une batterie est en grande partie une affaire de jugement, il nécessitera une certaine expérience, et la connaissance approfondie du sujet à traiter. Les exemples précédents ne sont donnés que pour indiquer les méthodes permettant de déterminer la capacité approximative ; mais l'on se basera en grande partie sur l'expérience acquise pour le choix définitif d'une batterie.

De plus, la nature de l'installation, la perspective d'une augmentation future, et la nature du service sur lequel l'augmentation est probable, auront une grande influence sur les dimensions de la batterie. La question du prix du charbon et de la main-d'œuvre, mise en regard des autres considérations, pourra également amener une différence notable dans l'importance de la batterie.

## CHAPITRE XLIV

### BATTERIES DE LIGNE

Les batteries de ligne sont celles qui sont branchées sur les feeders, ou sur la ligne, à une certaine distance de la génératrice. Le voltage de la ligne varie avec les fluctuations de la charge, et dans bien des cas la batterie est simplement connectée en parallèle sur la ligne ; elle reçoit alors du courant lorsque la charge est faible et le voltage de ligne élevé, et elle se met en décharge aux moments où la demande de courant est élevée ; elle aide ainsi la génératrice et constitue une seconde source de courant au point où le secours est nécessaire. L'on pourra de la sorte maintenir le voltage suffisamment constant sur de longues lignes, sans augmentation de la section des conducteurs, alors que sans batterie, l'on aurait une chute de voltage inadmissible lors des maxima de courant. La batterie tend aussi à maintenir la charge de la station constante, tout au moins en ce qui concerne le feeder sur lequel elle est branchée, elle rend donc le fonctionnement de la station plus économique.

Le fonctionnement des batteries branchées simplement en parallèle dépend entièrement de la variation de la chute de voltage en ligne. Par exemple, si le voltage de l'installation est de 500 volts la résistance de la ligne jusqu'à la batterie de 0,5 ohms, et la charge moyenne de 60 ampères, le voltage aux bornes de la batterie sera de  $500 - (0,5 \times 60) = 470$  volts. Si la force électromotrice de la batterie est de 470 volts, la batterie ne sera traversée par aucun courant soit de charge soit de décharge, lorsque le courant de ligne sera normal.

Si la charge décroît jusqu'à 20 ampères, la perte en ligne ne sera plus que de 10 volts, et le voltage de la ligne aux bornes de

la batterie sera de 490 volts. Ce voltage est de 20 volts supérieur à celui de la batterie, et celle-ci se trouvera par conséquent mise en charge. Inversement, une augmentation de la charge déterminera une augmentation de la perte en ligne, le voltage de celle-ci deviendra donc inférieur à celui de la batterie; la batterie se mettra alors en décharge pour venir en aide à la génératrice, et le régime de décharge sera proportionnel à la charge en ligne, et inversement proportionnel à la distance entre la batterie et le point où se trouve la charge.

La discussion analytique qui suit fera comprendre plus clairement la question :

Soit :

$E_o$  = force électromotrice de la génératrice ;

$E_a$  = force électromotrice de la batterie ;

$I_o$  = courant fourni par la génératrice ;

$I_x$  = courant débité sur le circuit extérieur ;

$r_1$  = résistance totale du circuit, non comprise la résistance de la batterie ;

$r_x$  = résistance du circuit jusqu'au point où se trouve la charge ;

$r_1 - r_x$  = résistance du circuit du point où se trouve la charge, à la batterie ;

$R$  = résistance de la batterie (résistance virtuelle).

Appelons  $I_{av}$  le courant moyen de charge de la batterie lorsque la charge sur le circuit est nulle, l'on aura alors :

$$E_o - (I_{av} \times r_1) = E_a + (I_{av} \times R). \quad (61)$$

ou bien :

$$E_a = E_o - I_{av} (r_1 + R). \quad (62)$$

$E_a$  étant déterminé, le nombre d'éléments que l'on devra monter en série se trouve fixé, il est égal à  $\frac{E_a}{2,05} = N$ .

L'on a entre  $I_x$  et  $I_o$  l'équation :

$$E_o - I_o r_x - (I_o - I_x) \times (r_1 - r_x) = E_a + R (I_o - I_x). \quad (63)$$

dans laquelle  $(I_o - I_x)$  est le courant allant à chaque instant de la génératrice dans la batterie. Lorsque  $(I_o - I_x)$  est négatif (c'est-à-dire lorsque la charge est supérieure au débit de la génératrice), la batterie est mise en décharge.

Si nous résolvons l'équation (63) par rapport à  $I_0$  nous obtenons :

$$I_0 = \frac{E_0 - E_a + I_x (R + r_1 - r_x)}{r_1 + R} . \quad (64)$$

Ceci nous donne le courant débité par la génératrice dans toutes les conditions de charge, ou de voltage de batterie, dans le cas où la génératrice est compoundée de façon à donner une force électromotrice constante.

Si la génératrice est une machine shunt, l'on devra faire intervenir un autre facteur. Prenons par exemple une dynamo shunt donnant 550 volts à vide, et 520 volts pour un débit de 150 ampères, lequel correspond à la pleine charge.

Le voltage maximum est  $E \text{ max.} = 550$ , le voltage pour une charge quelconque sera égal à  $E \text{ max.} - I_0 h$ , où  $h$  est une constante  $h = \frac{E \text{ max.} - E \text{ min.}}{I \text{ max.}}$ .

L'équation 64 devient alors :

$$I_0 = \frac{E \text{ max.} - E_a + I_x (R + r_1 - r_x)}{r_1 + R + h} . \quad (65)$$

Cette formule nous montre que la variation de courant est moindre pour une génératrice shunt que pour une machine compound à potentiel constant, mais que la chute de voltage est alors plus élevée au point de la ligne où se trouve la charge.

Ces formules ne s'appliquent toutefois qu'au cas simple où une charge unique se trouve placée entre la batterie et la station.

En pratique il y aura en général plusieurs voitures, ou autres appareils entre ces deux sources de force électromotrice, et l'on ne pourra plus appliquer les formules ci-dessus. Pour déterminer alors la perte en ligne ainsi que la capacité de la batterie, nous devons examiner le cas général d'une charge répartie tout le long de la ligne, cette ligne étant alimentée par deux sources ayant des forces électromotrices différentes. L'on devra suivre avec attention les calculs qui suivent, car ils s'appliquent à beaucoup de cas de la pratique. Ces calculs s'appliquent également au cas général de la charge répartie en différents points d'une ligne alimentée par deux sources de courant quelconques.

Reportons-nous à la figure 168,  $E_0$  et  $E_a$  sont les deux sources

de force électromotrice, et  $V$  est leur différence; 1, 2, 3, 4, etc., sont les points où sont placés les appareils récepteurs à alimenter, et  $d$  est la distance entre chacun de ces points. L'on a supposé que les appareils récepteurs sont également espacés, et qu'ils exigent chacun la même quantité de courant.

Le courant fourni par la station centrale détermine une chute de voltage sur la ligne à partir de  $E_0$  en allant vers la droite, tandis que à partir de  $E_a$ , le voltage diminue en allant vers la gauche. Il y aura un point pour lequel les deux voltages opposés

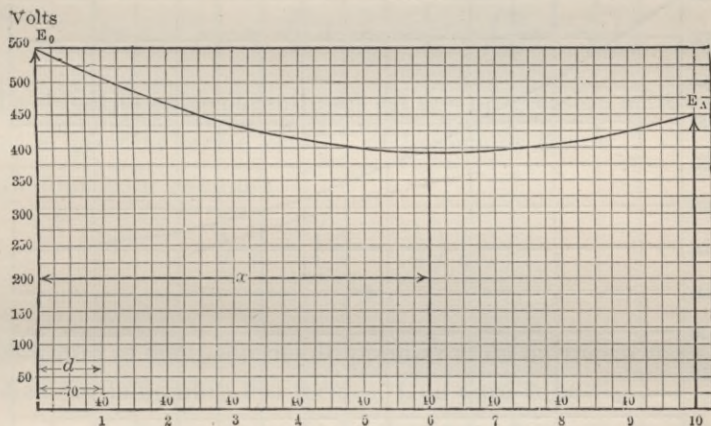


Fig. 168.

seront égaux, et en ce point il ne passera de courant dans la ligne ni dans un sens ni dans l'autre, puisque les forces électromotrices se feront équilibre.

Tous les appareils d'utilisation situés à la gauche de ce point seront alimentés par  $E_0$ , et tous ceux situés à droite seront alimentés par  $E_a$ . Le point d'équilibre sera celui pour lequel l'on aura  $E_0 - D_0 = E_a - D_a$ , en appelant  $D_0$  et  $D_a$  les chutes de voltage respectivement à partir de  $E_0$  et à partir de  $E_a$ .

La chute de voltage en un point quelconque d'une ligne sur laquelle la charge est répartie à des intervalles égaux, est égale à la somme des courants traversant la ligne entre chaque point d'utilisation multipliée par la résistance de la ligne entre l'un de ces points et le suivant.

Dans la figure 169, par exemple, si la demande en chaque point

est de 100 ampères, et si la résistance d'un point au suivant est de 0,2 ohm, la chute de voltage de  $a$  à  $b$  sera égale au courant total circulant dans la ligne entre ces deux points, multiplié par la résistance de  $a$  à  $b$  soit  $500 \times 0,2 = 100$  volts. De  $b$  à  $c$  la chute de voltage sera de  $400 \times 0,2 = 80$  volts; de  $c$  à  $d$   $300 \times 0,2 = 60$  volts; de  $d$  à  $e$   $200 \times 0,2 = 40$  et de  $e$  à  $f$   $100 \times 0,2 = 20$  volts. La chute de voltage de  $a$  à  $f$  sera de  $100 + 80 + 60 + 40 + 20 = 300$  volts. L'on pourrait faire également ce calcul

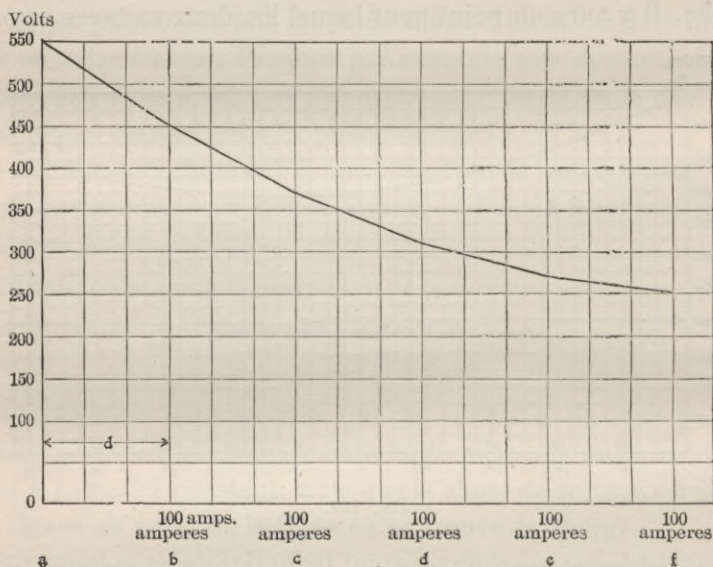


Fig. 169.

en partant du point  $e$ , et en commençant par le produit 100 ampères  $\times 0,2$ , l'on continuerait alors en allant vers la gauche.

Reportons-nous à la figure 168 qui représente une ligne alimentée par deux sources de courant, et appelons  $x$  la distance de  $Eo$  au point où  $Eo - Do = Ea - Da$ . Nous supposons que ce point tombe en un point de la ligne où se trouve l'un des appareils d'utilisation. Dans ce cas, tous les points d'utilisation de droite seront alimentés par  $Ea$ , et tous les points de gauche par  $Eo$ ; mais le point où les potentiels sont égaux sera alimenté en même temps par  $Ea$  et par  $Eo$ , et chacun fournira la moitié du courant demandé.

Soit  $a$  les ampères demandés par chaque appareil d'utilisation,



et soit  $r$  la résistance de la ligne entre chaque point d'utilisation. Si  $x$  tombe par exemple au point 7, la chute de voltage de 7 à  $E_0$  sera de  $\frac{1}{2} ar + \frac{3}{2} ar + \frac{5}{2} ar + \text{etc.}$ , jusqu'à  $\frac{13}{2} ar$ , le coefficient du dernier terme est égal à  $\frac{13}{2}$  ou  $7 - \frac{1}{2}$ ; il sera donc égal, dans le cas général, à  $\frac{x}{d} - \frac{1}{2}$ ,  $\frac{x}{d}$  étant le nombre de divisions comprises dans la longueur  $x$ .

Si donc nous appelons  $D_0$  la chute de voltage de  $E_0$  à  $x$ , la formule donnant  $D_0$  sera :

$$D_0 = ar \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} + \frac{5}{2} + \dots + \left( \frac{x}{d} - \frac{1}{2} \right) \right\}. \quad (66)$$

La quantité entre parenthèses est une progression arithmétique dont le premier terme est  $\frac{1}{2}$ , et le dernier terme  $\frac{x}{d} - \frac{1}{2}$ ; elle aura donc pour somme :

$$\frac{\left\{ \frac{1}{2} + \left( \frac{x}{d} - \frac{1}{2} \right) \right\} \frac{x}{d}}{2}. \quad (67)$$

c'est-à-dire la demi-somme du premier et du dernier termes, multipliée par le nombre des termes. L'on aura donc :

$$D_0 = \frac{ar \left( \frac{x}{d} \right)^2}{2}. \quad (68)$$

Appelons  $L$  la distance entre  $E_0$  et  $E_a$ , la source de courant placée en  $E_a$  alimentera la portion de ligne représentée par  $L - x$ . L'on déterminera par la même méthode que précédemment la chute de voltage entre  $E_a$  et le point  $L - x$ , et l'on aura :

$$D_a = \frac{1}{2} ar \left( \frac{L-x}{d} \right)^2. \quad (69)$$

Mais l'on a :  $D_0 = D_a + V$ , donc :

$$\frac{1}{2} ar \left( \frac{x}{d} \right)^2 = \frac{1}{2} ar \left( \frac{L-x}{d} \right)^2 + V. \quad (70)$$

d'où l'on tire :

$$\frac{x^2}{d^2} = \frac{(L-x)^2}{d^2} + \frac{2V}{ar}$$

$$\begin{aligned}
 x^2 &= (L - x)^2 + \frac{2Vd^2}{ar} \\
 2Lx &= L^2 + \frac{2Vd^2}{ar} \\
 x &= \frac{1}{2} \left( L + \frac{2Vd^2}{arL} \right) \\
 x &= \frac{L}{2} + \frac{Vd^2}{arL}.
 \end{aligned} \tag{71}$$

C'est-à-dire que la source située en  $E_o$  alimentera la ligne jusqu'à une distance égale à la moitié de la distance qui sépare les deux sources de force électromotrice, plus une fraction dont la valeur dépend de la différence entre  $E_o$  et  $E_a$ , de la distance entre chaque section, de l'intensité du courant en chaque point d'utilisation, de la résistance de la ligne d'un point d'utilisation au suivant, et de la distance totale séparant  $E_o$  de  $E_a$ .

Supposons par exemple que l'on ait :

$E_o = 550$  volts ;

$E_a = 450$  volts ;

$L = 10.000$  mètres ;

$d = 1.000$  mètres ;

$a = 40$  ampères ;

Résistance du circuit = 0,02 ohms par 100 mètres.

alors :

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1\,000 \times 0,02}{100} = 0,2 \text{ ohm.} \\
 V &= 550 - 450 = 100. \\
 x &= \frac{10\,000}{2} + \frac{100 \times (1\,000)^2}{0,2 \times 40 \times 10\,000} = 6\,250 \text{ mètres}
 \end{aligned}$$

A partir de  $E_o$  et 3 750 mètres à partir de  $E_a$ .

Ce point ne tombe pas exactement sur un point d'utilisation, il sera à 250 mètres au delà du point 6, et à 750 mètres avant d'arriver au point 7. Il est clairement impossible que le point où les voltages se font équilibre tombe entre deux points d'utilisation, car cela signifierait, soit que deux courants circulent en même temps dans des directions opposées, soit qu'il y a accumulation d'énergie en un certain point de la ligne.

Dans le cas présent, le point fourni par le calcul indique simplement que  $E_a$  fournit une partie du courant demandé au point

d'utilisation n° 6, c'est-à-dire que le point le plus voisin de  $x$  est alimenté à la fois par les deux sources ; le courant fourni par chaque source sera inversement proportionnel aux distances qui séparent le point  $x$  des points 6 et 7.

La distance entre 6 et 7 est de 1 000 mètres, et entre  $x$  et 6 il y a 250 mètres. Donc, des 40 ampères alimentant le point 6, un quart ou 10 ampères seront fournis par  $Ea$ , et 30 ampères par  $Fo$ . L'on voit en calculant la chute de voltage que l'on a avec cette disposition  $Do = Da + V$ . Il est évident que les chutes de voltage seront inférieures à celles calculées puisque entre 6 et 7 la ligne ne sera parcourue que par une faible portion du courant.

Lorsque  $x$  tombe sur l'un des points d'utilisation, chacune des sources fournit la moitié du courant allant à ce point. Lorsque  $x$  tombe au milieu entre deux points d'utilisation, cela indique qu'il ne passera aucun courant dans la ligne entre ces deux points, et la distribution du voltage serait la même si la ligne était coupée entre ces deux points. Si par exemple  $x$  tombait à mi-chemin entre 6 et 7, tout le courant allant aux six premiers points serait fourni par  $Eo$ , tandis que les points 7, 8 et 9 seraient alimentés par  $Ea$ ; de plus le voltage au point 6 serait alors égal au voltage au point 7. Dans ce cas également les chutes de voltage seraient inférieures à celles calculées, car, comme il ne passe aucun courant de 6 à 7, il n'y aurait pas de chute de voltage causée par la résistance de la ligne entre ces deux points.

Nous pouvons maintenant déterminer le courant qu'aura à fournir chaque source.

Le courant fourni par  $Eo$  sera de  $40 \times 5 + 30 = 230$  ampères et le courant fourni par  $Ea$  sera de  $40 \times 3 + 10 = 130$  ampères.

L'intensité totale du courant distribué sur la ligne sera de 360, soit  $9 \times 40$  ampères.

Le voltage de la batterie à l'état d'équilibre (2,05 volts par élément), devra être égal à la chute de voltage à partir de  $Eo$  pour la charge moyenne. Le voltage de la batterie à la décharge est inférieur à cette valeur par suite de la chute de voltage due à la résistance intérieure virtuelle. Dans les installations de tramways où les variations sont très rapides, l'on pourra admettre que cette chute de voltage est de 0,2 volts par élément.

L'on prend en général pour  $Ea$  la valeur correspondant à  $2,05 - 0,2 = 1,85$  volts par élément ; ceci en supposant que la batterie est maintenue constamment en partie chargée, et que l'on ne dépasse pas le régime de décharge en une heure au moment de la charge maximum sur la ligne.

Si  $X$  tombait au milieu entre deux points d'utilisation,  $Eo$  alimentant tous les points situés à gauche de  $X$ , les résultats fournis par les équations 68 et 69 seraient trop faibles.

Reportons-nous à la figure 168 et supposons que  $X$  tombe entre les points d'utilisation 6 et 7, la chute de voltage  $Do$  sera égale à

$$(ar + 2 ar + \dots + 6 ar)$$

dont la somme est égale à

$$ar \left( \frac{1 + 6}{2} \right) 6$$

Dans le cas général, le nombre de points d'utilisation étant  $\frac{X}{d}$ , la formule devient

$$\begin{aligned} Do &= ar + 2 ar + 3 ar + \dots + \frac{X}{d} ar, \\ &= \frac{ar}{2} \left( 1 + \frac{X}{d} \right) \frac{X}{d} \end{aligned}$$

d'où

$$Do = \frac{ar}{2} \left( \frac{X}{d} + \frac{X^2}{d^2} \right) \quad (72)$$

l'on aura de même pour  $D_A$

$$\begin{aligned} D_A &= \frac{ar}{2} \left\{ 1 + \left( \frac{L - X}{d} \right) \right\} \left( \frac{L - X}{d} \right) \\ D_A &= \frac{ar}{2} \left\{ \frac{L - X}{d} + \left( \frac{L - X}{d} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (73)$$

L'on a supposé dans ce qui précède que le graphique n'est pas accidenté, que toutes les voitures ou autres appareils en mouvement consomment la même quantité de courant, et de plus, que les voitures sont espacées d'une façon égale sur la ligne. Lorsqu'il y aura des rampes, ou que la distribution sera inégale pour une cause quelconque, l'on ne pourra pas employer de formule générale, car  $a$  et  $r$  varieront pour chaque section, et l'on ne pourra

par conséquent pas établir de série. Dans ce cas l'on procédera de la façon suivante pour déterminer  $x$ .

L'on supposera une certaine valeur à  $x$ , et l'on déterminera la chute de voltage à partir de  $E_0$  jusqu'au point ainsi fixé, ainsi que la chute de voltage entre ce point et  $E_a$ . Si l'on a alors  $D_0 = D_a + V$ , la valeur donnée à  $x$  sera correcte.

Si  $D_0 > D_a + V$  c'est que l'on a pris  $x$  trop grand, l'on devra

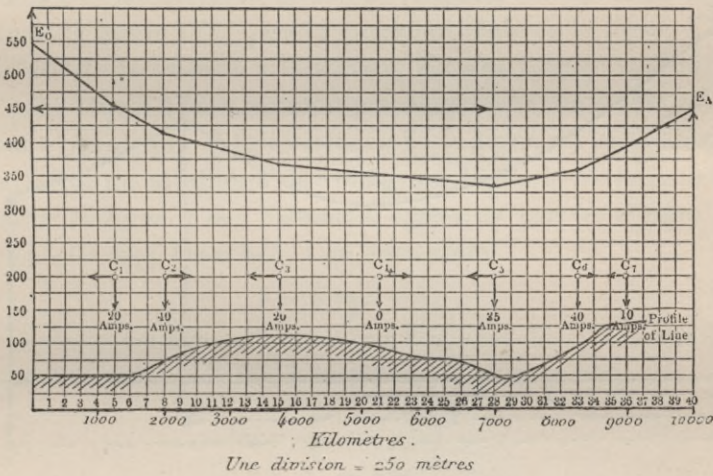


Fig. 170.

donc essayer de nouveau avec une autre valeur pour  $x$ . Si  $D_0 < D_a + V$  l'on devra donner à  $x$  une valeur plus grande.

Supposons par exemple une ligne fonctionnant dans les conditions indiquées par la figure 170;  $E_0 = 550$ ;  $E_a = 450$  et  $V = 100$ .  $C_1, C_2, C_3$ , etc., sont des voitures; le sens de leur marche est indiqué par les flèches. Les ampères pris par chaque voiture ainsi que la distance entre chacune d'elles sont indiqués sur la figure. La résistance par 1.000 mètres est de 0,8 ohms.

Supposons que  $x$  tombe entre  $C_4$  et  $C_5$ . La chute de voltage à partir de  $E_0$  sera alors de :

$$0,8 [(20 + 40 + 20) \times 1,25 + (40 + 20) 0,750 + (20) 1,750] = 144 \text{ volts.}$$

Les facteurs 1,25, 0,750, 1,750 représentent en kilomètres la distance qui sépare les différentes voitures entre elles.

L'on trouvera de la même façon que la chute de voltage à partir de  $E_a$  est de

$$0,8 [(10 + 40 + 35) 1 + (40 + 35) 0,750 + (35) 1,250] = 148 \text{ volts.}$$

Nous voyons que nous avons alors  $D_o < D_a + V$ , ceci nous montre que nous avons pris pour  $x$  une valeur trop faible. Supposons donc que  $x$  tombe entre  $C_5$  et  $C_6$ . Nous aurons alors  $D_o = 340$  volts et  $D_a + V = 164$ , cette nouvelle valeur de  $x$  est

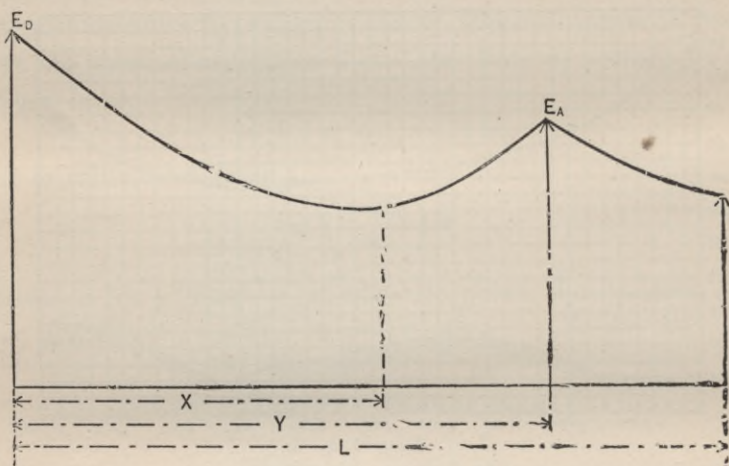


Fig. 171.

donc beaucoup trop forte. La valeur correcte de  $x$  devra donc tomber au point  $C_5$  et les sources  $E_a$  et  $E_o$  fourniront chacune une partie du courant demandé en ce point. Supposons que  $E_a$  fournisse 20 ampères et  $E_o$  15 ampères; la chute de voltage de  $E_o$  à  $x$  sera alors de 228 volts et l'on aura, d'autre part,  $D_a + V = 212$ . Ceci signifie que  $E_a$  devra fournir plus de courant et  $E_o$  moins de courant au point  $C_5$  que nous ne l'avons supposé.

La résistance de la ligne de  $E_o$  à  $x$  est de  $(1,25 + 0,75 + 1,75 + 1,5 + 1,65) 0,8 = 5,6$  ohms et la résistance de  $E_a$  à  $x$  est de  $(1 + 0,75 + 1,25) 0,8 = 2,4$  ohms.

Donc, pour chaque ampère fourni en plus par  $E_a$ ,  $D_a$  augmente de 2,4 volts, et  $D_o$  diminue de 5,6 volts, soit une variation de 8 volts pour une augmentation de 1 ampère du côté de  $E_a$ .

Or l'on a

$$\frac{228 - 212}{8} = \frac{16}{8} = 2.$$

Donc  $E_o$  devra fournir 13 ampères à  $C_3$ , tandis que  $E_a$  devra fournir 22 ampères au même point.

Si l'on recommence le calcul de la perte en ligne, l'on verra que la chute de voltage sera de 216,8 volts à partir de  $E_o$  et de 416,8 volts à partir de  $E_a$ , ce qui donne bien  $D_o = D_a + V$ .

En général dans le cas d'un feeder ou d'une ligne sur laquelle la chute de voltage est trop élevée, la question qui se pose est de déterminer l'emplacement de la batterie, son voltage et sa capacité. Dans la figure 171,  $L$  est la longueur totale de la ligne,  $Y$  est la distance de la batterie à la station,  $E_a$  son voltage et  $X$  est le point pour lequel l'on a, comme précédemment,  $D_o = D_a + V$ .

Il est évident que si la résistance de la ligne est constante et si l'on a fixé un minimum de voltage en ligne, la batterie devra alimenter la ligne à des distances égales de part et d'autre du point où elle sera branchée; l'on aura alors

$$Y - X = L - Y. \quad (74)$$

La chute de voltage maximum que l'on s'est fixée, sera atteinte au point  $X$ , appelons-la  $D_o$ . L'on tire de l'équation (68)

$$D_o = \frac{1}{2} ar \left( \frac{X}{d} \right)^2$$

d'où

$$X = d \sqrt{\frac{2 D_o}{ar}}. \quad (75)$$

ceci nous donne l'emplacement de  $X$ .

De l'équation (74) l'on tire,

$$Y = \frac{L + X}{2}. \quad (76)$$

ce qui nous fixe l'emplacement de  $Y$ .

Mais nous savons que le voltage de la génératrice moins la perte en ligne jusqu'à  $X$  doit être égal au voltage de la batterie diminué de sa perte en ligne jusqu'à  $X$ ; nous aurons donc :

$$E_o - D_o = E_a - D_a \quad \text{d'où} \quad E_a = E_o - D_o + D_a. \quad (77)$$

$$D_a = \frac{ar}{2} \left\{ \left( \frac{Y - X}{d} \right)^2 + \left( \frac{Y - X}{d} \right) \right\} \quad (78)$$

d'où

$$E_a = E_o - D_o + \frac{ar}{2} \left\{ \left( \frac{Y - X}{d} \right)^2 + \left( \frac{Y - X}{d} \right) \right\} \quad (79)$$

Prenons un exemple : supposons une ligne de tramways dont le parcours a une longueur de 12 000 mètres et dont les voitures sont espacées de 1 200 mètres =  $d$ . Supposons qu'il y ait 10 voitures en service et que chacune prenne 30 ampères. La consommation totale de courant sera donc de 300 ampères.

Le voltage en un point quelconque de la ligne ne devra pas être inférieur à 350 volts. L'on aura, par conséquent :

$$D_0 = 550 - 350 = 200 \text{ volts.}$$

Supposons de plus que la résistance totale de la ligne soit de 4 ohms; la résistance de la ligne sur une distance égale à  $d$  sera alors de

$$r = \frac{4 \times 1\,200}{12\,000} = 0,4 \text{ ohms.}$$

$$X = 1\,200 \times \sqrt{\frac{2 \times 200}{30 \times 0,4}} = 6\,800 \text{ mètres.}$$

$$Y = \frac{12\,000 + 6\,800}{2} = 9\,400 \text{ mètres.}$$

$$D_a = \frac{30 \times 0,4}{2} \left\{ \left( \frac{9\,400 - 6\,800}{1\,200} \right)^2 + \left( \frac{9\,400 - 6\,800}{1\,200} \right) \right\}$$

$$D_a = \frac{12}{2} \left\{ \left( \frac{2\,600}{1\,200} \right)^2 + \left( \frac{2\,600}{1\,200} \right) \right\} = 40,9$$

d'où l'on déduit :

$$E_a = 350 + 40,9 = 390,9.$$

La génératrice fournira  $\frac{6\,800}{1\,200} \times 30 = 173$  ampères et la batterie fournira  $(10 \times 30) - 173 = 127$  ampères. Si nous considérons ceci comme le régime en une heure, la capacité de la batterie devra être de  $127 \times 2 = 254$  ampère-heures.

Si l'on désire avoir la solution absolument exacte de ce problème, l'on devra transporter le point X sur le sixième point à alimenter; en effet, dans le calcul précédent, le point X se trouve placé à 800 mètres au delà du cinquième point et à 400 mètres en avant du sixième point à alimenter.

Ce déplacement de X déterminera un changement dans l'emplacement de Y. Ce dernier point devra être, si possible, placé en un des points à alimenter; dans le cas de voitures en mouvement il devra être placé aussi près que possible d'un point où



passé une voiture au moment du maximum de demande de courant sur la ligne.

La figure 172 donne un exemple pratique de détermination de l'emplacement, du voltage et de la capacité d'une batterie, sur une ligne dont le profil est accidenté.

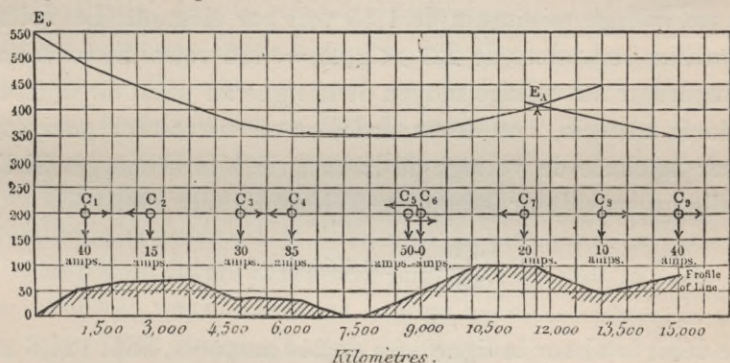


Fig. 172.

$E_0 = 550$ ,  $r$  pour 1 000 mètres = 0,416 ohms. Chute de voltage maximum = 200 volts.

Supposons que X tombe en  $C_5$  et que chaque source fournisse la moitié du courant demandé en ce point.

La chute de voltage de  $E_0$  à  $C_5$  sera alors de 275 volts; elle dépassera donc la chute de voltage permise. Supposons maintenant que  $E_0$  alimente seulement  $C_5$  et que cette source fournisse à elle seule tout le courant demandé en ce point. La chute de voltage jusqu'à  $C_5$  sera alors de 183,4 volts, cette chute de voltage sera donc inférieure de 16,6 volts à la chute permise.  $E_0$  devra donc fournir à  $C_5$  une certaine quantité de courant qui sera égale à

$$\frac{16,5}{0,416 \times 8,67} = 4,6 \text{ ampères.}$$

8,67 étant la distance en kilomètres qui sépare  $E_0$  de X.

L'on déterminera la différence de voltage entre  $C_5$  et Y en partant de  $C_5$  avec le voltage 350 (= 550 — 200) et en avançant vers la droite jusqu'à Y. Il faudra se rappeler que le courant allant de  $E_a$  à  $C_5$  est de 50 — 4,6 = 45,4 ampères. L'on déterminera la courbe au delà de Y en partant de  $C_5$  et en avançant vers la

gauche. L'intersection des deux courbes fixe la position de Y et donne la valeur de  $Ea$ .

Dans le cas présent l'intersection tombe en un point situé à 3.030 mètres de  $C_5$  et à 3.270 mètres de  $C_3$  et le voltage de  $Ea$  est de 420 volts. Ceci nous conduit à prendre 227 éléments, en admettant un voltage minimum de 1,85 volt par élément. Le voltage d'équilibre sera alors de  $227 \times 2,05 = 465$  volts. Si ce voltage est supérieur au voltage moyen de la ligne au point où se trouve située la batterie, l'on devra installer un survolteur pour compenser la chute de voltage de la batterie à la décharge. Si l'on installe un survolteur le nombre d'éléments sera ramené à

$$\frac{420}{2,05} = 205 \text{ éléments.}$$

Le débit total sur la ligne sera de 240 ampères, dont 124,6 ampères seront fournis par la génératrice. La batterie devra donc fournir  $240 - 124,6 = 115,4$  ampères. Si nous admettons que ceci soit le régime en une heure, la capacité de la batterie rapportée au régime en huit heures devra être de  $115 \times 2 = 230$  ampère-heures.

Dans quelques cas la décharge de la batterie sera supérieure ou inférieure à la charge qu'elle reçoit de la ligne; ceci proviendra de ce que  $Ea$  sera supérieur ou inférieur au voltage de ligne, pour la charge normale, au point où se trouve la batterie. Si la décharge est inférieure à la charge, l'on devra augmenter le nombre d'éléments de façon à rendre  $Ea$  égal à la valeur moyenne du voltage de ligne. Si la décharge est supérieure à la charge, le seul moyen d'y remédier consistera à employer un survolteur à courant constant ou à augmenter la section du feeder; ou bien encore d'employer ces deux procédés à la fois. S'il n'y a pas d'inconvénient à augmenter le voltage du feeder, l'on montera le survolteur en série sur la ligne; l'on pourra ainsi augmenter le voltage du feeder de telle façon que le voltage au point où se trouve la batterie soit égal à  $Ea$  pour la charge moyenne de la ligne; le survolteur devra être tel qu'il puisse supporter la charge moyenne de la ligne. Dans certains cas il sera nécessaire de mener un feeder spécial jusqu'à la batterie; le survolteur à

courant constant sera alors branché en série sur ce feeder. Le feeder et le survolteur devront être suffisants pour pouvoir fournir continuellement à la batterie un courant égal à la différence moyenne entre le courant fourni à la batterie par la ligne et le courant débité par la batterie. Le voltage devra être tel, sur le feeder auxiliaire, que la batterie reçoive ce courant lorsque la charge est moyenne sur la ligne. Si ce voltage était plus élevée, la ligne serait alimentée en partie par le feeder auxiliaire et la batterie ne prendrait pas sa part de la charge; la perte par  $RI^2$  dans le feeder serait alors augmentée par suite de l'augmentation de l'intensité du courant dans ce feeder.

Examinons maintenant la différence de prix entre la batterie et la quantité de cuivre nécessaire pour arriver sans batterie au même résultat; nous prendrons comme exemple concret le cas de la figure 172. Supposons que la résistance de la voie soit de 0,05 ohms par 1000 mètres. La résistance totale pour 1000 mètres sera de 0,416 ohms, ceci en prenant pour le feeder une résistance de 0,366 ohms par 1 000 mètres, ce qui correspond environ à un fil de cuivre de 53 millimètres carrés de section, avec les épissures. Ceci est un peu faible pour supporter le courant maximum, mais cela n'affectera en rien le résultat, en ce qui concerne la quantité de cuivre nécessaire pour maintenir le voltage. La section de ce fil est, au reste, tout à fait suffisante pour le courant qu'il aura à supporter lorsqu'il y aura une batterie sur la ligne; le courant maximum est, en effet, celui allant de  $E_0$  à  $C_s$ , c'est-à-dire 124,6 ampères lors de la charge maximum.

La chute de voltage calculée d'après une résistance de 0,416 ohms par kilomètre sera de 767 volts à l'extrémité de la ligne; c'est-à-dire qu'elle sera de beaucoup supérieure au voltage de la génératrice. Si l'on veut que la perte en ligne soit de 200 volts, la résistance de la ligne devra être de  $\frac{200 \times 0,416}{767} = 0,108$  ohms. La résistance de la voie étant de 0,05, la résistance du cuivre devra être de  $0,108 - 0,05 = 0,058$  ohms par kilomètre, ce qui correspond à une section de 309 millimètres carrés. La section du trolley en place est de 53 millimètres carrés; la section du fil de cuivre à ajouter sera donc de  $309 - 53 = 256$  soit

250 millimètres carrés. Prenons le prix du cuivre à 2,07 fr. par kilogramme, y compris le matériel accessoire les isolateurs, la main-d'œuvre, etc., le coût de ce cuivre atteindra 70 000 francs.

Le prix de la batterie serait le suivant :

227 éléments d'une capacité de 230 A. H. à 95 fr.	21,500 francs.
Tableau . . . . .	1,400 —
Main-d'œuvre. . . . .	1,900 —
Total. . . . .	<u>24,500 francs.</u>

Le feeder de forte section diminuerait la perte par  $RI^2$  — cette perte sera assez importante si l'on installe la batterie, mais elle sera plus que compensée par l'économie réalisée en faisant fonctionner la station centrale à charge constante.

Si l'on installe la batterie avec un survolteur le voltage de ce dernier devra être seulement suffisant pour la régulation, soit  $0,2 \times 227 = 45,4$  volts ; le voltage de la batterie étant en effet au-dessous de celui de la génératrice, l'on pourra donner des surcharges à la batterie au moment de faible charge et de voltage élevé sur la ligne, en s'aidant en outre du survolteur. Le survolteur devra pouvoir supporter un courant égal à 70 p. 100 de 415 ampères, soit 80,5 ampères ; la puissance du survolteur devra donc être de  $80,5 \times 45 = 3,63$ , soit 4 kilowatts. La puissance du moteur devra être de

$$\frac{3,63 \times 1,36}{0,80} = 6 \text{ H. P.}$$

le prix du survolteur et de son moteur installés sera environ de 4 700 francs, mais il faudra 21 éléments de moins dans la batterie, et le prix de ces éléments est de 2 000 francs ; de telle sorte qu'en réalité l'on fera une économie de 300 francs en adoptant le système avec survolteur.

La batterie montée simplement en parallèle a l'avantage de la simplicité, de plus elle agit instantanément tandis que dans le cas du survolteur il y a toujours un certain décallage dont la valeur dépend du temps nécessaire pour faire varier l'intensité d'aimantation des inducteurs du survolteur. Toutefois, les varia-

tions de voltage, et les fluctuations de charge de la génératrice sont trop élevées pour permettre un bon fonctionnement sans survolteur sur un réseau de tramways ou sur une distribution de force ; en général un survolteur bien approprié aidera beaucoup à la régulation.

---

## CHAPITRE XLV

### RENDEMENT D'UNE INSTALLATION

Nous avons examiné dans le chapitre XI de la première partie la question du rendement des batteries fonctionnant comme régulatrices ou comme réservoirs d'énergie. L'addition de survolteurs diminue quelque peu le rendement, mais pas autant que l'on pourrait le supposer au premier abord.

Considérons d'abord le cas d'une batterie régulatrice installée sur une distribution présentant de fortes fluctuations de charge, et dont le diagramme de charge est représenté dans la figure 173.

La ligne en traits discontinus représente la charge moyenne du réseau, cette charge devra être supportée par la génératrice, elle correspond à une intensité de 605 ampères. Les lectures ont été effectuées à des intervalles de cinq secondes. La batterie devra absorber l'excès de courant disponible lorsque la charge tombera au-dessous de 605 ampères, et elle devra fournir tout le surplus de courant demandé lorsque la charge croîtra au-dessus de cette valeur.

La pointe maximum au-dessus de la moyenne est de 300 ampères, et la pointe maximum au-dessous est de 200 ampères. Toutefois, comme ces maxima ne durent jamais plus de cinq secondes l'on prendra une batterie dont le régime de décharge en une heure sera de 260 ampères. Le facteur  $K$  est égal à 2 pour le régime en une heure, donc la capacité de la batterie rapportée au régime en huit heures devra être de  $2 \times 260 = 520$  ampères-heure. Le survolteur devra être suffisant pour pouvoir supporter des surcharges momentanées de 300 ampères. Pour des fluctuations de ce genre, une bonne machine doit pouvoir travailler avec 75 p. 100 de surcharge. La charge normale du survolteur devra

donc correspondre au moins à une intensité de  $\frac{300}{1,75} = 171$  ampères, si ce survolteur doit fonctionner d'une façon continue.

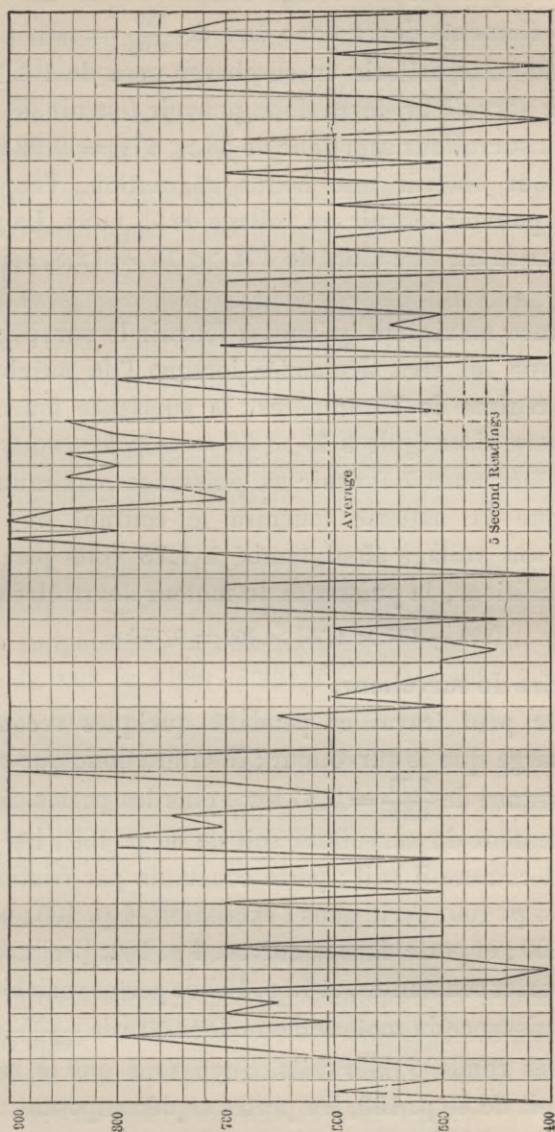


Fig. 473.

Average = courant moyen.

5 seconds readings = Lectures toutes les 5 secondes.

La batterie devant fonctionner uniquement comme régulatrice, le nombre d'éléments sera de  $\frac{V}{2,05}$  en supposant bien entendu que l'on emploiera un survolteur monté en série avec la batterie,

et que le voltage de ce survolteur sera nul pour la charge normale.

Dans le cas présent le voltage adopté est de 220 volts; le nombre des éléments devra donc être de  $\frac{220}{2,05} = 107$ . Le voltage maximum de cette batterie en surcharge sera de  $107 \times 2,6 = 278$  volts; le survolteur devra donc pouvoir fournir 58 volts. La puissance du survolteur sera donc de  $58 \times 171 = 9,92$  kilowatts. Toutefois pour obtenir une bonne régulation, l'enroulement shunt devra pouvoir fournir un voltage de 75 volts. La puissance du survolteur devra être alors de  $171 \times 75 = 12,8$ , soit 13 kilowatts.

La puissance maximum qu'aura à fournir le survolteur d'une façon continue lui sera demandée lorsque l'on surchargera la batterie au régime de 75 ampères; la puissance fournie par le survolteur sera alors égale à  $75 \times 58 = 4,35$  kilowatts.

Le survolteur aura à fournir sa puissance maximum instantanée, lorsque la batterie fournira le courant de décharge maximum, son voltage étant tombé à 1,75 volts par élément. Dans ces conditions, la puissance du moteur devra être de

$$(280 - 107 \times 1,75) \times 300 = 9,75 \text{ kw.},$$

plus les pertes du survolteur.

Le moteur peut travailler pendant quelques secondes à la même surcharge que le survolteur; il suffira donc que ce moteur ait une puissance de  $\frac{9,75}{1,75} = 5,57$  kw., plus les pertes. Supposons que le rendement du survolteur soit de 80 p. 100; les pertes se décomposant comme il suit: perte constante par friction, ventilation, etc., 4 p. 100; perte dans l'excitation, 4 p. 100; perte dans le fer, 8 p. 100; et perte dans le cuivre. 4 p. 100. Ceci nous donne 8 p. 100 de pertes constantes, et 12 p. 100 de pertes variables avec la charge. La puissance du moteur devra donc être de  $\frac{5,57}{80 \text{ p. } 100} = 7,2$ , ou en chiffres ronds 7 kilowatts. Supposons que le rendement du moteur soit de 80 p. 100, les pertes se décomposant comme il suit: pertes par friction et ventilation 3 p. 100; pertes dans l'excitation 4 p. 100; perte dans le fer 8 p. 100; perte par  $RI^2$  5 p. 100. Les trois premières pertes sont constantes et les autres varient avec la charge.



Les pertes constantes sur l'ensemble seront donc de

$$(7 \times 0,15) + (13 \times 0,08) = 2,09 \text{ kilowatts}$$

L'on voit d'après la courbe que l'intensité moyenne du courant de décharge traversant le survolteur est de 22 ampères. La perte moyenne dans le cuivre sera donc de  $\frac{(22)^2}{(170)^2} \times 0,04 \times 13 = 0,01345 \text{ kw.} = 13,4 \text{ watts}$ , ce qui est négligeable. Les pertes dans le fer sont également négligeables par suite du voltage moyen très bas auquel fonctionne le survolteur. L'on peut déterminer approximativement ce voltage moyen ainsi qu'il suit :

Le régime en huit heures de la batterie est de 65 ampères, et la chute de voltage correspondante par élément est de 0,062 volts.

Le voltage moyen du survolteur sera alors de  $\frac{0,062 \times 107 \times 22}{65} = 2,25 \text{ volts}$ .

Il s'en suit que les pertes dans l'armature du moteur pendant le fonctionnement de la batterie en régulatrice sont négligeables.

La quantité d'énergie fournie par la batterie est de 22 000 ampères-seconde =  $22\,000 \times 222,3 = 4\,890 \text{ kilowatts-seconde}$ .

Si nous supposons à la batterie un rendement de 92 p. 100, la perte sera de  $0,08 \times 4\,890 = 391,2 \text{ kw., secondes}$ .

Faisons la somme des pertes pendant les mille secondes pour lesquelles a été tracée la courbe de la figure 173; nous aurons

Pertes dans le survolteur et le moteur = $2,09 \times 1000 =$	2090 K. W. secondes.
Admettons pour les pertes dans le cuivre. . . . .	44 — —
Pertes dans la batterie. . . . .	391 — —
Total . . . . .	<u>2525 K. W. secondes.</u>

La quantité totale d'énergie débitée par la batterie est de 4 890 kilowatts-secondes, par conséquent l'on a pris à la ligne  $4\,890 + 2\,525 = 7\,415 \text{ kilowatts-secondes}$ . Le rendement de la batterie et de son équipement sera donc de  $\frac{4\,890}{7\,415} = 66 \text{ p. 100}$ . Toutefois, ceci ne donne aucune idée de l'action qu'a la batterie sur le fonctionnement de la station; et c'est là la partie la plus importante de la discussion.

Le débit total de l'installation pendant le temps correspondant au tracé de la courbe a été de 60 500 ampères-seconde, ou bien

$60\,500 \times 220 = 133\,100$  kilowatts-seconde. Les pertes ont été de  $2\,525$  kilowatts-seconde. La quantité totale d'énergie fournie par les génératrices a donc été de  $133\,100 + 2\,525 = 135\,625$  kilowatts-seconde. Le rendement d'ensemble est donc de  $\frac{133\,100}{135\,625} = 98,5$  p. 100. Pour cette perte de  $1,5$  p. 100 dans l'énergie totale engendrée à la station l'on a supprimé des variations de charge atteignant  $50$  p. 100 sur les génératrices et sur les machines à vapeur, et l'on a diminué ainsi de  $10$  à  $20$  p. 100 la

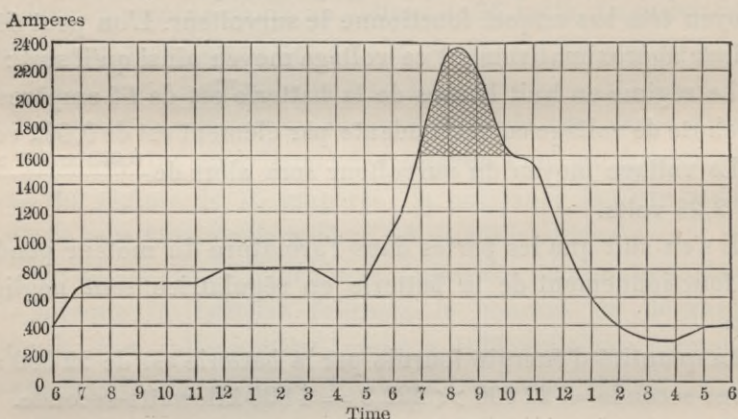


Fig. 174.

Time = heures

consommation du charbon. Les pertes dues à la batterie au moteur et au survolteur sont donc négligeables, en comparaison de l'économie réalisée en faisant fonctionner les génératrices à charge constante. L'on a effectué beaucoup d'essais et d'expériences pour montrer la différence de consommation de vapeur dans des machines fonctionnant à charge constante ou à charge variable. Parmi ces essais, l'un des plus remarquables est celui que fit N.-S. Hill Jr., sur une génératrice de 250 H. P. accouplée directement à une machine à vapeur simple à grande vitesse et à échappement libre. La consommation de charbon pour la charge normale sans fluctuations fut de  $1,600$  kg. par cheval-heure. Pour une charge variable dont la moyenne était voisine de la charge normale de la machine, et dont les fluctuations rapides amenaient des surcharges ou des diminutions de charge de  $50$  p. 100, la consommation de charbon atteignit

3,300 kg. par cheval-heure; soit une augmentation d'environ 100 p. 100.

Dans le cas où il s'agira de faire la pointe sur une distribution d'éclairage, l'emploi de la batterie ne présentera pas des avantages aussi marqués. En fait, dans beaucoup de cas il sera plus économique de faire la pointe avec les machines, si c'est là le seul service que l'on a à demander à la batterie, et si l'on ne tient pas compte de la facilité de mise en parallèle, de la faculté de fonctionnement en égalisatrice, de la possibilité de maintenir un

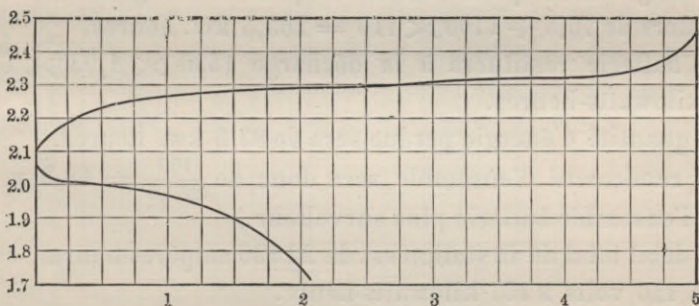


Fig. 175.

voltage constant aux barres, et des autres avantages qui rendent utile l'emploi d'une batterie dans une station.

Considérons une installation fonctionnant à 110 volts, dont la courbe de charge est représentée dans la figure 174, et dont les machines génératrices peuvent supporter une charge de 1 600 ampères. La pointe monte au-dessus de 1 600, et la partie hachurée qui correspond à 1 530 ampères-heure devra être fournie par la batterie.

Les courbes de la figure 175 représentent pour un élément particulier, l'une la courbe de charge au régime en cinq heures, et l'autre la courbe de décharge au régime en deux heures; l'on déduit de ces courbes que, pour l'élément considéré, le voltage moyen de charge est de 2,29 volts, et le voltage moyen de décharge de 1,93 volts.

L'on prendra comme rendement en ampères-heure environ 90 p. 100. La charge sera donc de  $\frac{1530}{0,90} = 1\ 700$  ampères-heures.

Le voltage moyen qu'aura à fournir le survolteur pour cette

charge sera de  $61 (2,29 - 1,93) = 22$  volts. Le survolteur aura donc à fournir  $22 \times 1700 = 59,4$  kw. heure.

Supposons que le moteur et le survolteur aient chacun un rendement de 88 p. 100, ce qui est admissible pour des machines de cette puissance, le rendement de l'ensemble sera alors de 77,5 p. 100.

L'énergie empruntée au tableau par le moteur du survolteur sera alors de  $\frac{59,4}{0,775} = 76,5$  kw. heure.

L'énergie totale prise aux barres pour la charge de la batterie sera alors de  $76,5 + 1700 \times 110 = 263,5$  kw. heures.

La batterie restituera à la décharge  $1530 \times 1,93 \times 61 = 180$  kilowatts-heures.

La quantité d'énergie perdue sera de 83,5 kw. heures.

Le rendement d'ensemble sera donc de  $\frac{180}{263,5} = 68,3$  p. 100 pour l'ensemble batterie plus survolteur.

Le débit total de la station est de 22 430 ampères-heures, ce qui fait à 110 volts 2 467 kilowatts-heure.

L'énergie totale produite est de  $2467 + 83,5 = 2550,5$  kw.-heure.

Rendement par rapport au débit total de l'installation  $= \frac{2467}{2550,5} = 96,8$  p. 100. La perte due à la batterie est donc de 3,2 p. 100 de l'énergie totale fournie journellement par la station.

Supposons que la machine à vapeur et la génératrice aient chacune un rendement de 90 p. 100. Le rendement de l'ensemble sera de 81 p. 100. 180 kilowatts-heure au tableau correspondront par conséquent à  $\frac{180 \times 1,36}{80} = 305$  chevaux au cylindre ou chevaux indiqués. Les 263,5 kw. employés pour charger la batterie correspondent à 441 chevaux indiqués. L'on déduit de là  $\frac{441}{305} = 1,46$ . Donc chaque cheval de puissance fourni par la batterie pendant la pointe correspondra à 1,46 chev. indiqués au cylindre de la machine à vapeur; soit près de 50 p. 100 en plus.

Dans certains cas l'on pourra produire ce surcroît d'énergie, à des moments de faible charge, à meilleur compte que l'on ne pourrait produire, au moment du maximum, l'énergie débitée par la batterie; ceci dépendra de la nature de la station, du genre de

machines à vapeur et de génératrices employées ; et de la nature de la charge.

En nous reportant à la courbe de la figure 176, nous voyons que la consommation de charbon par cheval-heure augmente rapidement lorsque la charge décroît. Cette courbe n'est pas applicable au cas général car elle varie d'une installation à l'autre. Si une unité dont la puissance normale est de 250 kilowatts fonc-

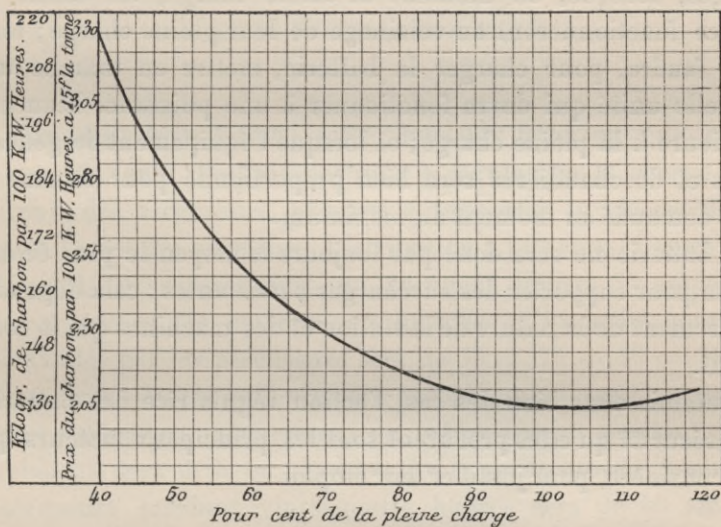


Fig. 176.

tionne à 100 kilowatts c'est-à-dire à 40 p. 100 de sa puissance, la dépense en charbon sera de 3,30 fr. par heure. Si l'on demande en outre 146 kilowatts à la génératrice pour charger la batterie, la génératrice fonctionnera à une puissance de  $100 + 146 = 246$  kilowatts c'est-à-dire à puissance normale. A cette puissance, la dépense de charbon par heure sera de  $2,46 \times 2,05 = 5,05$  fr. La dépense supplémentaire pour charger la batterie sera donc de  $5,05 - 3,30 = 1,75$  fr. La batterie ayant reçu 146 kilowatts de charge restituera 100 kilowatts-heure. Si, au moment de la pointe, toute l'installation fonctionnait à pleine charge, la production de 100 kilowatts-heure coûterait 2,05 fr. Ceci nous montre que l'on fait une économie de 0,30 fr., ou de 11 p. 100 dans la dépense de charbon en employant une batterie pour faire la pointe

de charge. Si l'on ne marche pas à pleine charge l'économie sera beaucoup plus considérable. L'économie réalisée en employant une batterie sera encore augmentée si l'installation des chaudières n'est pas proportionnée à la puissance demandée au moment de la pleine charge.

En d'autres termes, l'on fera une dépense absolument inutile en installant une batterie dans le seul but de supporter les fortes charges, lorsque, au moment de faible charge, les unités en service fonctionneront au voisinage de leur pleine charge ; lorsqu'il faudra, pour charger la batterie, mettre en marche une nouvelle unité qui devra fonctionner à une puissance beaucoup inférieure à la pleine charge ; et lorsque l'équipement de génératrices et de chaudières sera bien proportionné pour fournir le débit demandé au moment du maximum.

La batterie ne sera donc pas toujours le moyen le plus économique pour supporter des surcharges persistantes ; cela dépendra entièrement de la nature de la station et des machines qui la composent.

Toutefois dans bien des cas, l'action régulatrice des batteries et la sécurité qu'elles procurent sont les principaux facteurs que l'on considère, pour justifier leur emploi.

---

## CHAPITRE XLVI

### EXEMPLE D'UTILISATION D'UNE BATTERIE DANS LE CAS D'UNE INSTALLATION ISOLÉE

*Données* : Installation isolée dans un hôtel ou une maison d'appartements. Batterie destinée à régulariser la charge sur le circuit des ascenseurs, et aussi à supporter la charge de nuit après l'arrêt des machines. Distribution à 110 volts. L'installation comporte trois ascenseurs qui prennent chacun 75 ampères au démarrage et 35 ampères en marche. L'intensité maximum demandée par les ascenseurs sera de  $75 + 75 + 35 = 185$  ampères ; c'est-à-dire qu'il arrivera probablement assez souvent que deux ascenseurs démarreront en même temps, pendant que le troisième sera déjà en marche. Le courant moyen fourni aux ascenseurs pendant vingt-quatre heures sera de 40 ampères. L'on détermine ce chiffre approximativement en supposant que chaque ascenseur fonctionne un nombre donné de fois par jour, et en se donnant la durée et la consommation de courant de chaque ascension ; l'on suppose que le régime de démarrage dure de trois à quatre secondes. Toutefois, si l'installation est déjà faite, le meilleur procédé pour déterminer le débit moyen sera de placer un wattmètre ou un ampèremètre sur le circuit. Si non l'on devra estimer la valeur de ce débit ainsi qu'il est indiqué plus haut, de façon à pouvoir tracer une courbe de charge.

Supposons donc que la courbe de charge de l'installation soit celle représentée dans la figure 177, et que les machines soient arrêtées de une heure du matin à une heure de l'après-midi. La charge de l'usine correspondant à cette période de temps, et représentée sur la figure par la partie hachurée dans deux sens différents, nous indique la décharge qu'aura à fournir la batterie.

Cette surface représente une capacité de batterie de 840 ampères-heure.

La capacité de batterie nécessaire pour la régulation seule est de  $185 - 40 = 145$  ampères-heure au régime en une heure, ce qui correspond à 290 ampères-heure au régime en huit heures. La capacité nécessaire en réservoir est donc supérieure de 500 ampères-heure à celle nécessaire pour la régulation.

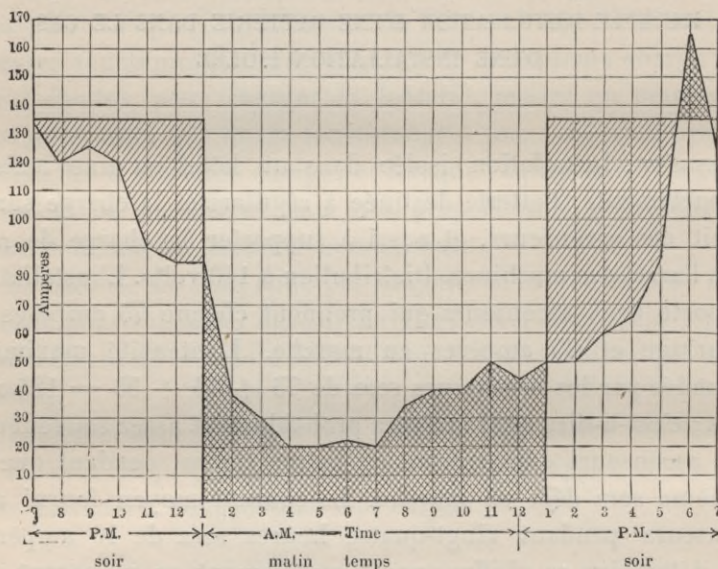


Fig. 177.

Dans le cas où l'on emploiera un survolteur à courant constant, le maximum d'intensité qu'aura à supporter ce survolteur sera de 40 ampères pour alimenter le circuit des ascenseurs et de 170 ampères pour la charge de la batterie, soit au total 210 ampères. L'armature du survolteur devra être suffisante pour pouvoir supporter cette intensité d'une façon continue pendant deux heures au moins.

Si le survolteur est monté en série avec la batterie, son armature devra pouvoir supporter  $170 + 145 = 315$  ampères, il devra donc être beaucoup plus puissant que le survolteur à courant constant.

Le nombre d'éléments nécessaire sera de  $\frac{410}{1.8} = 61$ . Comme l'on n'utilisera jamais la batterie pendant la charge, le voltage



maximum aux barres du circuit d'éclairage sera de  $61 \times 2,1 = 128$  volts. Le nombre des éléments de réduction devra donc être de  $\frac{128 - 110}{2} = 9$ .

Le voltage maximum de la batterie au moment du bouillonnement sera de  $2,6 \times 61 = 158$  volts ; ce sera le voltage maximum nécessaire pour la charge de la batterie. L'excitation shunt du survolteur devra donc produire un voltage de  $158 - 110 = 48$  volts aux bornes du survolteur. Toutefois, ainsi que nous l'avons vu précédemment, si l'on veut obtenir une bonne régulation, l'excitation shunt devra pouvoir fournir 75 volts, ou plus. Si nous adoptons cette dernière valeur, la puissance du survolteur sera de  $75 \times 210 = 15,75$  soit 16 K. W. Le moteur fonctionnera à sa puissance maximum lorsque le survolteur sera traversé par un courant de 210 ampères allant aux barres de distribution de force, la batterie ayant un voltage de 2,5 volts par élément, soit un voltage total de 152 volts. Sa puissance en K. W. devra donc être de

$$(152 - 110) \times 210 = 8,85 \text{ K. W.}$$

Si nous supposons que le rendement du survolteur soit de 80 p. 100, la puissance du moteur en chevaux devra être de

$$\frac{8,85 \times 1,36}{0,80} = 15,5 \text{ H. P.}$$

Le coût de l'installation serait approximativement de 30 400 fr. qui se répartissent comme il suit :

61 éléments à 375 francs. . . . .	22 875 francs.
1 réducteur de 300 ampères, 10 touches. . .	400 —
Survolteur et moteur . . . . .	4 750 —
Tableau et appareils. . . . .	1 125 —
Installation . . . . .	1 750 —
	<hr/>
Total . . . . .	30 400 francs.

Si la batterie n'était employée que comme régulatrice, une capacité de 275 ampères-heure environ serait suffisante. La puissance du survolteur serait alors de  $70 \times 100 = 7$  K. W. ; et la puissance du moteur serait de  $\frac{70 \times 42 \times 1,36}{0,80} = 4,99$ , soit 5 H.P.

L'installation coûterait alors environ 4 500 francs.

Dans le cas où l'on fera usage d'une batterie réservoir, les

pertes seront augmentées : 1° d'une perte de 18,5 K. W. heures dans la batterie ; 2° d'une perte de 33,6 K. W. heures dans le survolteur et son moteur ; soit une perte totale de 52 K. W. heures. Cette perte se trouve compensée par la faculté que l'on a d'arrêter les machines pendant douze heures tout en continuant à assurer le service pendant vingt-quatre heures. La dépense de charbon et d'eau pour produire ces 52 K. W. heures n'excédera pas 10 centimes par K. W. heure, soit 5 fr. 20 par jour.

Ajoutons à cela l'intérêt et l'amortissement à 15 p. 100 de la dépense supplémentaire nécessitée par l'emploi d'une batterie réservoir ; cette dépense est de  $30\ 400 - 14\ 500 = 15\ 900$  francs.

Ceci nous donne une dépense de 6 fr. 55 par jour ; la dépense supplémentaire totale sera donc de 11 fr. 75 par jour, ce qui est certainement inférieur à la dépense en eau, en charbon, en main-d'œuvre et en accessoires, qu'entraînerait une marche des machines pendant douze heures.

## APPENDICE

### NOTE DU TRADUCTEUR SUR L'ACCUMULATEUR ÉDISON

L'accumulateur Edison que nous allons décrire n'a pas encore fait son apparition dans l'industrie et les essais en cours ne sont pas encore assez concluants pour que l'on puisse formuler une opinion absolument définitive sur son avenir industriel. Nous devons donc nous contenter de résumer ici les expériences faites de divers côtés, notamment par M. Janet au Laboratoire Central d'Electricité<sup>1</sup>, par M. Hospitalier à l'Ecole municipale de Physique et de Chimie<sup>2</sup> et par M. Hibbert en Angleterre<sup>3</sup>.

**Description.** — L'accumulateur Edison est un élément Fer-Nickel; le fer joue le rôle d'électrode négative, et le nickel celui d'électrode positive. L'électrolyte est une solution de potasse à 20 p. 100 dans l'eau distillée.

La plaque, positive ou négative (fig. 1) est constituée par une grille découpée dans une feuille d'acier d'environ 0,621 mm. d'épaisseur, 115 millimètres de largeur et 260 millimètres de hauteur et qui est ensuite nickelée. Sur cette grille sont serties à la presse, et sous une pression considérable, les boîtes ou briquettes en acier contenant la matière active. La pression adoptée est d'environ 90 000 kilogrammes par briquette.

La matière active négative est constituée par un mélange de fer et de protoxyde de fer pulvérulent, auquel est ajouté une certaine quantité de graphite en paillettes; ceci, afin d'augmenter la conductibilité du protoxyde de fer.

La matière active positive se compose de peroxyde de nickel

<sup>1</sup> *Bulletin de la Société Internationale des électriciens*, n° 29, novembre 1903.

<sup>2</sup> *L'industrie électrique*, n° 585, 25 novembre 1903.

<sup>3</sup> Conférence du 26 novembre 1903 à l'Institution of Electrical Engineers.

hydraté  $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ , qui, d'après Edison, passe à l'état d'oxyde supérieur  $\text{NiO}^2$  pendant la charge. Le peroxyde de nickel est également mélangé à du graphite en paillettes de façon à obtenir une meilleure conductibilité.

Les matières actives sont moulées sous forme de briquettes pour être ensuite introduites dans les boîtes en

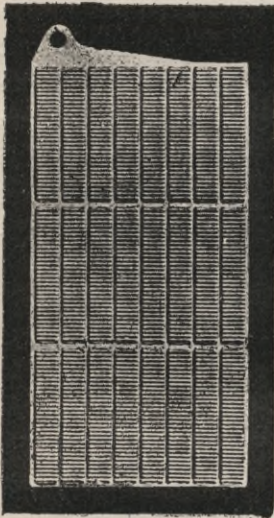


Fig. 1.

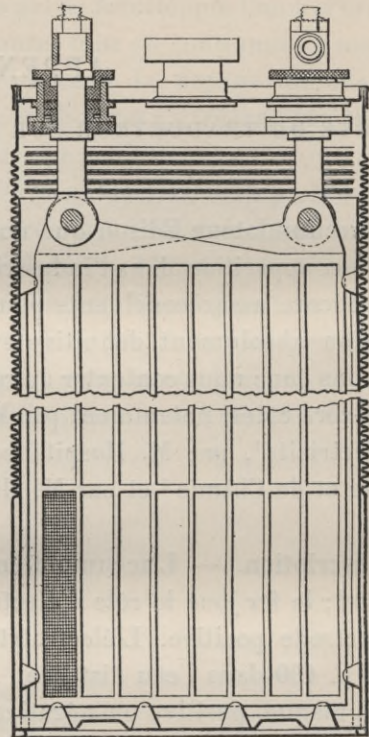


Fig. 2.

acier nickelé, perforées qui constituent les pastilles et qui sont ensuite serties sur la grille à la presse hydraulique, ainsi qu'il est dit plus haut.

Les plaques sont assemblées dans un vase en tôle d'acier ondulée et nickelée; l'écartement entre les plaques positives et négatives n'est que de un millimètre. Cet écartement est maintenu au moyen de rondelles et de baguettes en ébonite. La figure 2 donne les principaux détails de l'assemblage.

L'élément est fermé hermétiquement au moyen d'un couvercle dont la figure 3 représente une vue en plan. A et A' sont deux ouvertures munies d'une garniture étanche pour le passage des conducteurs. B est l'ouverture servant au remplissage, elle est

également munie d'une fermeture hermétique à garniture de caoutchouc. C est une soupape destinée à permettre l'évacuation des gaz tout en évitant les projections de liquide.

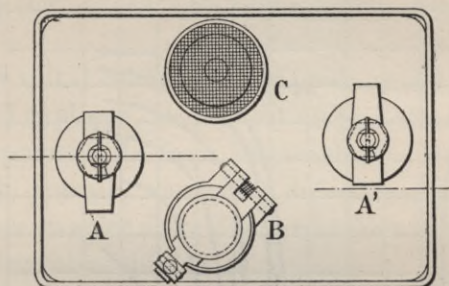


Fig. 3.

Le fonctionnement chimique de l'élément est expliqué par M. Hibbert de la façon suivante :

L'on aurait :

	Plaque +	Electrolyte	Plaque -
Élément chargé. . . . .	NiO <sup>2</sup>	KOH	Fe
Élément déchargé. . . . .	NiO	KOH	FeO

L'électrolyte n'interviendrait donc pas dans la réaction.

L'élément sur lequel ont porté les différents essais que nous résumons ici, comporte 28 plaques (14 positives et 14 négatives) semblables à celles décrites plus haut. Les dimensions extérieures sont les suivantes :

Longueur . . . . .	12,5 cm.
Largeur . . . . .	8,9 —
Hauteur totale . . . . .	34 —

Chaque plaque a environ 2 millimètres d'épaisseur et pèse 138 grammes.

Le poids des électrodes et du bac est de 6,09 kg; le poids de l'électrolyte de 1,79 kg. et le poids des connexions de 0,06 kg., ce qui donne un total de 7,94 kg. pour l'élément complet.

Variations de la différence de potentiel aux bornes à la charge et à la décharge. — D'après M. Janet, lorsque l'on effectue la charge, après décharge complète, au régime de 60 ampères, le voltage aux bornes de l'élément est au début de 1,65 volt, il monte

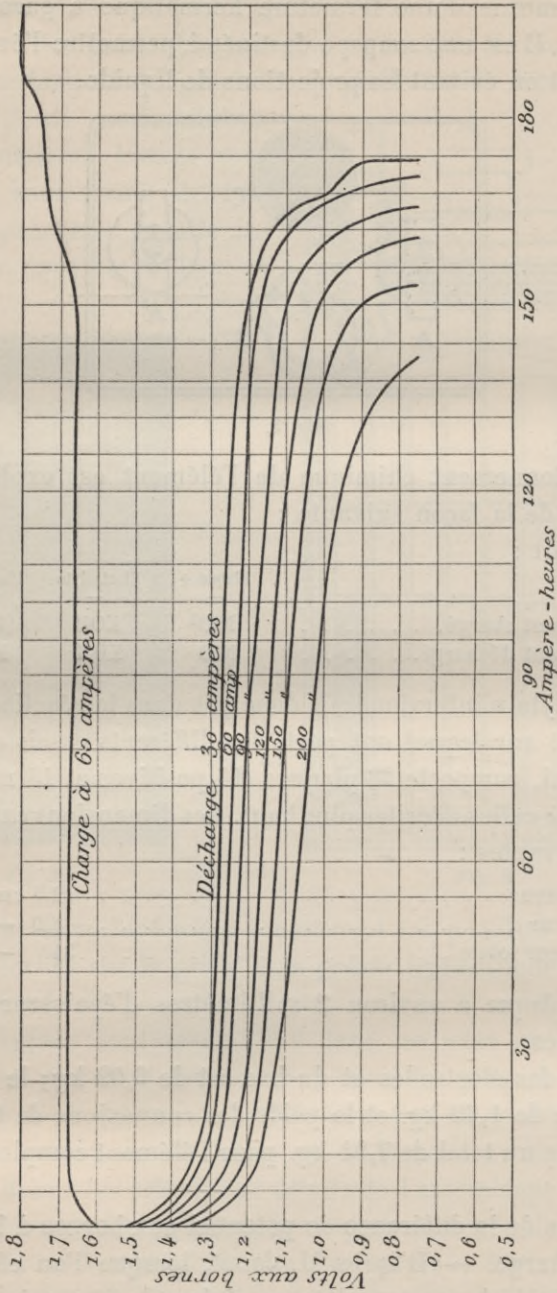


Fig. 4.

rapidement à 1,7 volt et se maintient à cette valeur jusqu'à ce

qu'on ait fourni 200 A.H. à l'élément; il monte alors à 1,8 volt et conserverait indéfiniment cette valeur. La courbe de charge donnée par M. Hibbert dans son rapport à l'Institution of Electrical Engineers (fig. 4) concorde bien avec les résultats obtenus par M. Janet.

A partir de 1,8 volt il commence à se produire des dégagements gazeux; M. Janet explique que ceci est dû probablement à ce que ce voltage correspond à la force électromotrice de polarisation du nickel dans la potasse; une partie du courant passerait alors par les enveloppes en acier nickelé sans traverser la matière active et produirait l'électrolyse du liquide.

Nous reproduisons dans la figure 4 les courbes de décharge à différents régimes, publiées par M. Hibbert, les autres expérimentateurs ont obtenu des courbes sensiblement identiques.

Au régime normal de 30 ampères, le voltage au début de la décharge est de 1,50 volt environ, il tombe rapidement à 1,30 volt, puis baisse ensuite très lentement jusqu'à 1,20 volt, il tombe ensuite en peu de temps jusqu'à 0,75 volt et l'élément est considéré alors comme complètement déchargé.

M. Janet indique toutefois que l'élément se maintient à ce voltage pendant un certain temps; la capacité utilisable sous ce voltage serait d'environ un dixième de la capacité totale; il fait remarquer l'utilité qu'aurait cette capacité résiduelle en automobilisme; elle permettrait, en effet, en cas de décharge complète en cours de route de parcourir encore une certaine distance à vitesse réduite, et peut-être d'atteindre une station de recharge.

**Capacité en ampères-heure.** — Les capacités aux différents régimes sont relativement très peu différentes; d'après les courbes de M. Hibbert (fig. 4) la capacité qui est de 175 ampères-heure au régime de 30 ampères serait encore de 140 ampères-heure au régime excessif de 200 ampères.

**Énergie.** — Les courbes de la figure 5 publiées par M. Janet indiquent la capacité en énergie disponible suivant l'intensité du courant de décharge; l'on voit qu'au régime de 25 ampères cette capacité est d'environ 215 watts-heure; elle est encore de 150 watts-heure pour un régime de 200 ampères.

Il devient ici intéressant d'établir une comparaison avec l'accumulateur au plomb. M. Janet a dans ce but rapporté au kilo-

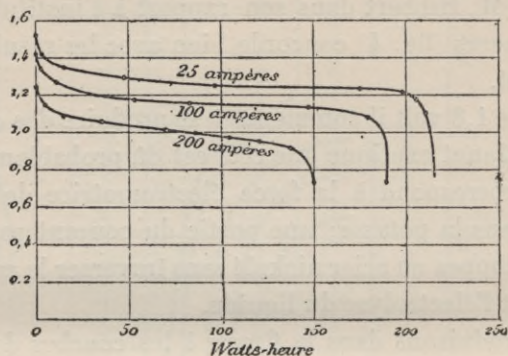


Fig. 5.

gramme de poids total les résultats des expériences effectuées au Laboratoire central d'Electricité; ces résultats sont résumés dans le tableau suivant :

RÉGIME			CAPACITÉ		RÉGIME SPÉCIFIQUE		CAPACITÉ SPÉCIFIQUE	
A	V (moy.)	W	A. H.	W. H.	A	W	A. H.	W. H.
					kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
25	1,27	31,8	170	217	3,15	4	21,4	27,75
100	1,17	117	164	191	12,6	14,72	20,65	24,07
198	1,04	206	156	162	24,9	26,9	19,65	20,04

M. Janet en déduit les courbes de la figure 6 où l'on a porté en abscisses les régimes de décharge en watts par kilogramme de poids total, et en ordonnées les watts-heure par kilogramme de poids total. La courbe en traits pleins se rapporte à l'élément Edison et les courbes A, B et C à trois types différents d'accumulateurs au plomb. Ces courbes nous montrent que l'accumulateur Edison semble présenter une grande supériorité sur l'accumulateur au plomb en ce qui concerne l'énergie spécifique, et particulièrement aux régimes élevés de décharge.

**Rendement.** — Le rendement a été établi au laboratoire central d'Electricité pour un régime de charge et de décharge de 50 ampères; les essais effectués sont résumés dans le tableau suivant :



ÉNERGIE FOURNIE Watts-heure.	ÉNERGIE DÉBITÉE Watts-heure.	RENDEMENT EN ÉNERGIE pour cent.
440	489	43
398	486	46,7
355	483	51,5
340	478	52,4
305	470	55

Comme on le voit ces rendements sont plus que médiocres et ce n'est qu'en sacrifiant une partie de la capacité que l'on arrive

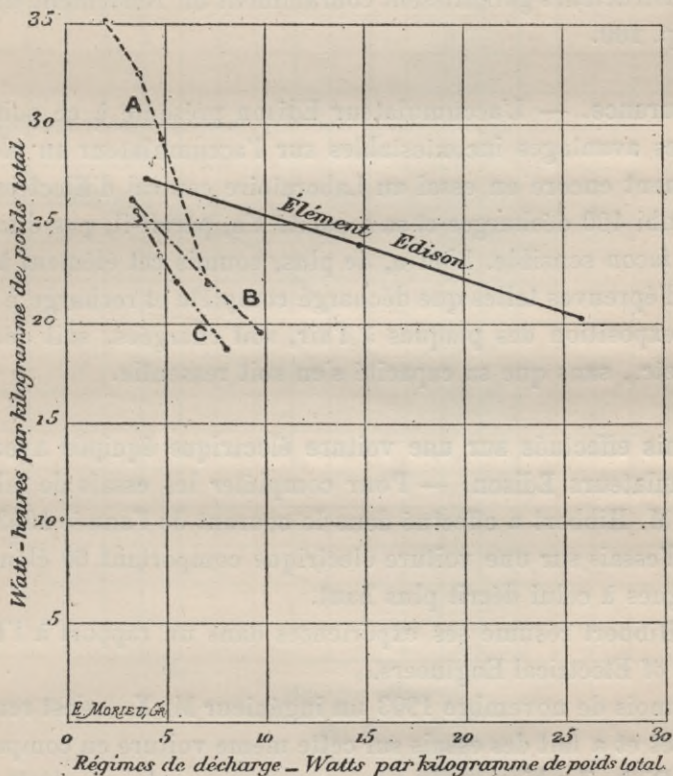


Fig. 6.

à les améliorer un peu. Le rendement de 55 p. 100 ne correspond plus qu'à une capacité de 170 watts-heure et l'énergie spécifique de l'élément est diminuée de plus de 10 p. 100. M. Janet fait toutefois remarquer que le régime de 50 ampères est élevé et que le rendement serait certainement meilleur à des régimes plus faibles.

Pour se faire une idée exacte du rendement, il faudrait que l'on fit les essais à un régime normal sur une série de charges et de décharges consécutives au même régime et en faisant débiter chaque fois à l'élément sa capacité entière.

D'après les essais faits jusqu'ici, il ne semble pas que le rendement moyen en énergie de l'accumulateur Edison doive dépasser ni même atteindre 50 p. 100. Sous ce rapport donc, cet accumulateur est très inférieur à l'accumulateur au plomb pour lequel les constructeurs garantissent couramment un rendement moyen de 75 p. 100.

**Endurance.** — L'accumulateur Edison présente à ce point de vue des avantages incontestables sur l'accumulateur au plomb. L'élément encore en essai au Laboratoire central d'Electricité a déjà subi 400 décharges et sa capacité n'a, paraît-il, pas diminué d'une façon sensible. L'on a, de plus, soumis cet élément à une série d'épreuves telles que décharge complète et recharge à l'envers, exposition des plaques à l'air, soit chargées, soit déchargées, etc., sans que sa capacité s'en soit ressentie.

**Essais effectués sur une voiture électrique équipée avec des accumulateurs Edison.** — Pour compléter les essais de laboratoire, M. Hibbert a effectué dans le courant de l'année 1903 une série d'essais sur une voiture électrique comportant 60 éléments analogues à celui décrit plus haut.

M. Hibbert résume ses expériences dans un rapport à l'Institution of Electrical Engineers.

Au mois de novembre 1903 un ingénieur M. X... s'est rendu à Londres et a fait des essais sur cette même voiture en compagnie de M. Dick; il a bien voulu nous communiquer les résultats qu'il a obtenus, nous les résumerons ici :

La batterie étant complètement chargée, l'on a effectué un parcours de 45 kilomètres avec la voiture qui pesait environ 2 tonnes en ordre de marche.

Le débit moyen a été d'environ 45 ampères; aux démarrages les pointes ont atteint 100 et même 150 ampères. Après ce parcours la batterie a été mise en décharge au régime de 30 ampères;

cette décharge a duré exactement une heure. La durée du parcours en automobile avait été de 1,40 h. environ. La batterie a ensuite été mise en charge à un régime moyen de 60 ampères, l'on a continué la charge jusqu'à ce qu'elle ait reçu 200 ampères-

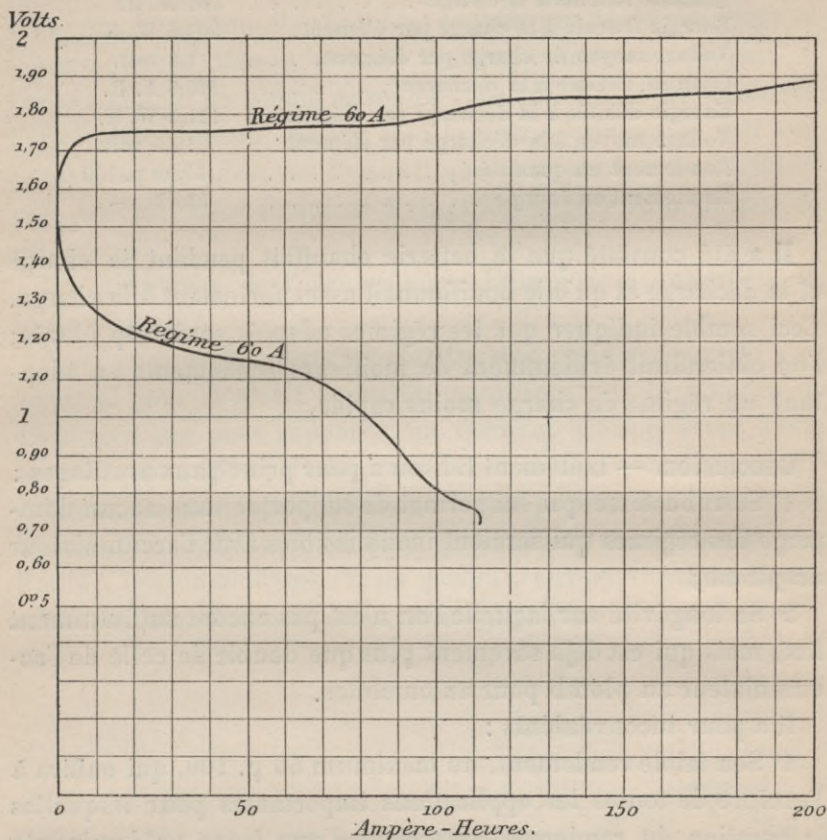


Fig. 7.

heure. Le voltage qui, au début de la charge, était de 1,625 volt par élément s'est élevé progressivement jusqu'à atteindre 1,883 volt à fin de charge. Immédiatement après, l'on a mis la batterie en décharge au régime de 60 ampères. Nous donnons dans la figure 7 les courbes de charge et de décharge obtenues; l'on voit qu'elles diffèrent très sensiblement des courbes obtenues en laboratoire par les divers expérimentateurs, et malheureusement cette différence n'est pas en faveur de l'accumulateur Edison.

La capacité obtenue, 110 A.H. environ, est très inférieure à la capacité moyenne, 150 A.H. obtenue d'autre part.

De plus, si nous faisons le calcul du rendement en quantité et en énergie nous trouvons :

Quantité fournie à la charge . . . . .	202 A. H.
Énergie fournie à la charge par élément. . . . .	363,6 W. H.
Voltage moyen de charge par élément. . . . .	1,8 volt.
Quantité débitée à la décharge . . . . .	110,5 A. H.
Énergie débitée à la décharge par élément. . . . .	121,5 W. H.
Voltage moyen à la décharge par élément . . . . .	1,10 volt.
Rendement en quantité. . . . .	54,70 p. 100
Rendement en énergie . . . . .	33,43 —

Il a été constaté que la batterie chauffait pendant la charge et la décharge et qu'elle bouillonnait assez fortement à la charge. Ceci semble indiquer que les régimes adoptés sont trop élevés; l'on obtiendrait évidemment de meilleurs rendements en adoptant un régime de charge moins rapide.

**Conclusion.** — L'élément Edison a pour principaux avantages :

1° Sa robustesse qui lui permet de supporter sans aucun dommage des régimes qui seraient inadmissibles avec l'accumulateur au plomb;

2° Sa longévité sur laquelle l'on n'est pas encore suffisamment fixé, mais qui est déjà sûrement plus que double de celle de l'accumulateur au plomb pour automobiles.

Il a pour inconvénients :

1° Son faible rendement, au maximum 50 p. 100, qui suffira à l'exclure de toutes les applications importantes pour lesquelles la question du rendement intervient d'une façon prédominante dans le choix d'un appareil;

2° Sa variation excessive du voltage entre le commencement et la fin de la décharge; cette variation est de 50 p. 100 du voltage de l'élément (de 1,50 à 0,75), ceci entraîne à prendre un nombre considérable d'éléments pour les installations à voltage constant (pour 110 volts il faudrait  $\frac{110}{0,75} = 147$  éléments) et à avoir un grand nombre d'éléments de réduction. Ou bien cela limite l'emploi de cet accumulateur au cas où l'on peut admettre une variation de voltage du simple au double. Ce cas n'est guère fréquent,

et même en automobilisme, une telle variation de voltage entraînerait une réduction notable de la vitesse vers la fin du parcours ;

3° Son prix élevé. Ce prix n'est pas encore exactement connu, l'élément Edison n'étant pas encore dans le commerce ; mais les matières premières qui entrent dans sa constitution sont toutes d'un prix de revient élevé, et font prévoir que le prix de vente de l'accumulateur Edison sera de beaucoup supérieur au prix de l'accumulateur au plomb de même capacité. En ce qui concerne l'électrolyte, Edison spécifie que la potasse employée doit être excessivement pure ; or, l'on sait que ce produit, chimiquement pur, peut atteindre de quinze à vingt fois le prix de la potasse du commerce.

Les avantages de l'accumulateur Edison compensent-ils ses inconvénients ?

Nous ne pouvons jusqu'ici émettre une opinion formelle à ce sujet ; il nous faudrait connaître pour cela : 1° le nombre de décharges que peut supporter un élément Edison avant d'être hors d'usage ; 2° le prix de vente de cet accumulateur.

Nous pouvons toutefois dès maintenant prévoir que l'emploi de l'accumulateur Edison, tel qu'il est constitué actuellement sera limité à l'automobilisme ; et en général, aux applications nécessitant l'emploi d'accumulateurs transportables.





# TABLE DES CHAPITRES

PRÉFACE. . . . .	I
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	III

## PREMIÈRE PARTIE

### L'ACCUMULATEUR AU PLOMB

CHAPITRE I.	Théorie générale de l'accumulateur . . . . .	1
— II.	Conditions générales auxquelles doit satisfaire une plaque d'accumulateur. . . . .	11
— III.	Du voltage et de ses variations . . . . .	14
— IV.	Quantité et répartition de la matière active. . . . .	22
— V.	Électrolyte. . . . .	27
— VI.	Quantité d'électrolyte. . . . .	38
— VII.	Décharge intérieure. . . . .	49
— VIII.	Influence de la température. . . . .	54
— IX.	Variations de la capacité. . . . .	61
— X.	Résistance intérieure. . . . .	66
— XI.	Rendement. . . . .	70
— XII.	Durée et causes de détérioration. . . . .	77
— XIII.	Détériorations, leurs remèdes. . . . .	84
— XIV.	Soins et conduite des batteries. . . . .	94
— XV.	Plaques du type Planté. . . . .	98
— XVI.	Méthodes de formation Planté. . . . .	107
— XVII.	Système Faure. . . . .	128
— XVIII.	Mélanges de matière active pour l'empâtage. . . . .	142
— XIX.	Enveloppes et séparateurs. . . . .	149
— XX.	Bacs . . . . .	154
— XXI.	Assemblage et installation. . . . .	158
— XXII.	Essais . . . . .	171
APPENDICE A LA PREMIÈRE PARTIE. . . . .		191

## DEUXIÈME PARTIE

### APPAREILLAGE AUXILIAIRE. — APPLICATIONS

CHAPITRE XXIII.	Emploi des batteries . . . . .	193
— XXIV.	Éléments de réduction. . . . .	198

CHAPITRE	XXV.	Éléments en opposition . . . . .	201
—	XXVI.	Résistances. . . . .	203
—	XXVII.	Réducteurs. . . . .	205
—	XXVIII.	Réducteurs automatiques . . . . .	216
—	XXIX.	Indicateurs d'éléments de réduction . . . . .	231
—	XXX.	Câbles de réduction. . . . .	234
—	XXXI.	Survolteur shunt et survolteur série . . . . .	238
—	XXXII.	Survolteur compound . . . . .	245
—	XXXIII.	Survolteur différentiel. . . . .	255
—	XXXIV.	Survolteur à courant constant . . . . .	266
—	XXXV.	Survolteur à excitation séparée . . . . .	278
—	XXXVI.	Notes sur le choix et sur la construction des sur- volteurs . . . . .	291
—	XXXVII.	Rhéostats . . . . .	295
—	XXXVIII.	Disjoncteurs . . . . .	301
—	XXXIX.	Distributions à deux fils . . . . .	303
—	XL.	Distributions à deux fils avec survolteur . . . . .	315
—	XLI.	Distributions à trois fils. . . . .	328
—	XLII.	Distributions à courant alternatif . . . . .	335
—	XLIII.	Prédétermination de la capacité d'une batterie . . . . .	339
—	XLIV.	Batteries de ligne. . . . .	348
—	XLV.	Rendement d'une installation . . . . .	366
—	XLVI.	Exemple d'utilisation d'une batterie dans le cas d'une installation isolée. . . . .	375
APPENDICE.		Note du traducteur sur l'accumulateur Edison . . . . .	379



CATALOGUE DE LIVRES  
SUR  
**L'ÉLECTRICITÉ, LA MÉCANIQUE  
ET LES MACHINES**

PUBLIÉS PAR

*La Librairie Polytechnique CH. BÉRANGER*

Successeur de BAUDRY et C<sup>ie</sup>

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

21, RUE DE LA RÉGENCE, A LIÈGE

---

*Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.*

---

**ÉLECTRICITÉ**

**Électricité industrielle.**

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de l'énergie ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie, par E. CADIAU et L. DUBOIS. 6<sup>e</sup> édition, 1 volume grand in-8<sup>o</sup> avec 291 gravures dans le texte, relié. . . . . 16 fr. 50

**Manuel pratique de l'électricien.**

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. Production de l'électricité. Transformation des courants électriques. Éclairage électrique. Transmission électrique de l'énergie. Sonneries électriques. Signaux. Téléphones. Inflammation des torpilles et des mines. Galvanoplastie, par E. CADIAU. 4<sup>e</sup> édition, 1 volume in-12 avec 243 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

**Manuel pratique d'électricité industrielle.**

Manuel pratique d'électricité industrielle. Théorie et applications à l'usage des contremaîtres, monteurs, ouvriers électriciens et mécaniciens s'occupant d'électricité, par CH. GRUET, ingénieur électricien. 1 volume in-18 Jésus contenant 259 figures dessinées par l'auteur. Relié. . . . . 5 fr.

**Aide-mémoire de poche de l'électricien.**

Aide-mémoire de poche de l'électricien. Unités. Machines électriques. Machines à courants continus et à courants alternatifs. Self-induction. Capacités. Transformateurs. Conducteurs d'énergie. Canalisations électriques. Moteurs électriques. Éclairage électrique. Distribution de l'énergie. Traction électrique. Electro-métallurgie. Sonneries. Téléphones. Prescriptions administratives ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par PH. PICARD et A. DAVID, ingénieurs des arts et manufactures. 2<sup>e</sup> édition par A. DAVID. 1 volume, format oblong de 0 m. 125 × 0 m. 08, relié en maroquin, tranches dorées. 6 fr. 50

**Traité d'électricité et de magnétisme.**

Traité d'électricité et de magnétisme. Système d'unités absolues. Electrostatique. Electrocinetique. Magnétisme. Electromagnétisme. Application de l'Electromagnétisme. Instruments de mesure électrique. Méthodes générales de mesure électrique. Méthodes de mesures spéciales aux lignes électriques. Détermination des unités

**Électriques.** Détermination de l'ohm. Cours professé à l'École supérieure de télégraphie, par A. VASCAY, ingénieur des télégraphes. 2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. . . . . 25 fr.

### **Théorie de l'électricité.**

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. VASCAY, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 74 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

### **Traité pratique d'électricité.**

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par FÉLIX LUCAS, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 278 figures dans le texte. . . . . 15 fr.

### **Électricité industrielle.**

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par MARCEL DEPREZ, membre de l'Institut. 2 volumes grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte, paraissant en 4 fascicules. Prix de l'ouvrage complet. . . . . 48 fr.  
Chaque fascicule se vend séparément. . . . . 12 fr.

### **Contrôle des installations électriques.**

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. MONMÉQUE, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2<sup>e</sup> édition revue et augmentée. 1 volume in-8° avec 227 figures dans le texte, relié. . . . . 15 fr.

### **Canalisations électriques.**

Les canalisations électriques, 1<sup>re</sup> partie. Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu, par TRICHMÜLLER, directeur de l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, traduit de l'allemand avec autorisation de l'auteur, par P. BRECH, ingénieur électricien. 1 vol. grand in-8° avec 155 figures dans le texte, relié. 15 fr.

### **Canalisations électriques.**

Essais et vérifications des canalisations électriques en fabrication à la pose et en exploitation, par G. CHARPENTIER, ingénieur-électricien. 1 volume grand in-8° avec 250 figures dans le texte, relié. . . . . 15 fr.

### **Contrôle des réseaux électriques.**

Nouvelle méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux électriques pendant le service, par P. CHARPENTIER, ingénieur-électricien. 1 brochure in-8° avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

### **L'Électricité et ses applications. — Piles électriques.**

L'électricité et ses applications, 1<sup>re</sup> partie. Les piles électriques. Principes généraux d'électricité et de magnétisme. Applications domestiques, industrielles et médicales. Notions de mécanique et de physique, par A. RENORD, professeur de physique et de chimie. 1 volume in-8° contenant 225 figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

### **L'Électricité et ses applications. — Machines d'induction.**

L'électricité et ses applications 2<sup>e</sup> partie. Les machines d'induction. Production, distribution et utilisation industrielle de l'énergie électrique, par A. RENORD, licencié ès sciences mathématiques et ès sciences physiques. 1 volume in-8° contenant 190 figures dans le texte, relié. . . . . 10 fr.

### **L'Électricité dans l'industrie.**

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'Association des anciens élèves des Ecoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par RAOUL LEMOINE, ingénieur. 1 volume in-8° avec gravures dans le texte. . . . . 6 fr.

### **L'Année électrique.**

L'année électrique, électrothérapie et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques. Electro-chimie, éclairage, chauffage électrique, télégraphie,

téléphonie, télégraphie et téléphonie sans fil, traction électrique. L'électricité à la guerre, etc., électrothérapie, radiographie, par FOUVEAU DE COURMELLES, médecin-électricien. 1 volume in-18. Chaque année. . . . . 3 fr. 50  
*Cette publication a commencé à paraître en 1900.*

### L'Année électrique.

L'année électrique, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts, par PA. DELAHAYE. 8 volumes in-12 (1885 à 1892). Prix de chaque volume. . . . . 3 fr. 50

### Électrolyse.

Électrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par HIPPOLYTE FONTAINE. 2<sup>e</sup> édition, 1 volume grand in-8<sup>o</sup> avec gravures dans le texte, relié . . . . . 15 fr.

### Électrolyse.

Étude sur le raffinage électrolytique du cuivre noir, par HUGON. 1 brochure grand in-8<sup>o</sup> . . . . . 1 fr. 50

### Électro-chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Electrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électrolytiques, par ADOLPHE MINET, directeur du journal *l'Electro-chimie*. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> contenant 206 figures dans le texte, relié. . . . . 18 fr.

### Électro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques, électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie, par ADOLPHE MINET, directeur du journal *l'Electro-chimie*. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> contenant 205 figures dans le texte, relié . . . . . 20 fr.

### Dictionnaire électrotechnique.

Dictionnaire électrotechnique Français-Allemand-Anglais, par PAUL BLASCHKE. 3 volumes in-8<sup>o</sup> . . . . . 22 fr. 50  
 On vend séparément :  
 Français-Allemand-Anglais, 1 volume. . . . . 7 fr. 50  
 Allemand-Anglais-Français, 1 volume. . . . . 7 fr. 50  
 Anglais-Allemand-Français, 1 volume . . . . . 7 fr. 50

### Rhéostats.

Rhéostats de démarrage et de réglage pour moteurs et générateurs électriques. Théorie. Construction. Montage, par RUDOLF KRAUSE, ingénieur, traduit de l'allemand par P. BINAUD, ingénieur-électricien. 1 volume in-8<sup>o</sup>, avec 97 figures dans le texte. Relié . . . . . 6 fr.

### Essai des machines électriques.

Pratique des essais des machines électriques à courant continu et alternatif. Plancher d'essais. Essais de laboratoire. Essais des machines dynamo à courant continu. Moteurs à courant continu. Essais des moteurs de tramways. Mesure et transformation de la puissance. Alternateurs. Moteurs synchrones. Commutateurs. Moteurs d'induction. Transformateurs, par E. DUQUESNE, ingénieur à la Société *Maison Beer*, Jemmeppe-sur-Meuse, et U. ROUVIÈRE, ingénieur à la Société Electricité-Hydraulique, Jeumont (Nord). 1 volume in-8<sup>o</sup> contenant 233 figures dans le texte, relié . . . . . 15 fr.

### Moteurs pour dynamo.

Moteurs pour dynamo. Moteurs à vapeur. Moteurs hydrauliques. Moteurs à gaz et à pétrole par CH. GRUET, ingénieur électricien. 1 volume in-12 avec 167 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

### Machines dynamo.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courants alternatifs, par GISEBERT KAPP, traduit de l'allemand par P. LECLEN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-8<sup>o</sup> avec 200 figures dans le texte, relié. . . . . 16 fr.

### Machines dynamo-électriques.— Enroulements.

Des enroulements et de la construction des induits des machines dynamo-électriques à courants continus. Enroulements fermés, en anneau, en tambour, ouverts. Exécution des enroulements, construction des induits, par E. ANXOLD, professeur et directeur de l'Institut électro-technique de Carlsruhe. Traduit de l'allemand par BOY DE LA TOUR, ingénieur. 1 volume in-8° avec 418 figures dans le texte et 12 planches, relié. . . . . 20 fr.

### Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. PICOU, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8° avec 198 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

### Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. Eléments. Principes. Théorie. Induits. Enroulement des induits. Dynamo à courant continu. Dynamos diverses. Alternateurs. Moteurs asynchrones. Transformateurs. Moteurs dynamo. Transmission de l'énergie. Régulateurs. Epreuves de machines. Conduite des dynamos, par SILVANUS P. THOMPSON, traduit par E. BOISTEL. 3<sup>e</sup> édition, 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte, . . . . . 30 fr.

### Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, exposé théorique, calculs, applications pratiques, par FRÖELICH, traduit de l'allemand par E. BOISTEL. 1 volume grand in-8° avec 62 figures dans le texte . . . . . 10 fr.

### Moteurs asynchrones polyphasés.

Méthode pratique pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. Champ tournant, forces électromotrices induites par le champ tournant, coupe électromagnétique, actions magnétisantes des enroulements, résistance des bagues du court circuit, des induits en cage d'écuriel, diagramme de fonctionnement des moteurs polyphasés. Applications pratiques, par BOY DE LA TOUR, ingénieur. 1 volume in-8° contenant 70 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

### Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques; recueil d'exemples de construction et de calculs de machines dynamos et appareils électriques industriels, par GISEBERT KAPP, traduit de l'allemand par A.-O. DUBSKY et P. GINAULT, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-4° avec 54 figures dans le texte et 25 planches, relié. . . . . 30 fr.

### Éclairage électrique.

Traité pratique des installations d'éclairage électrique, adaptation française de l'ouvrage de MM. HERZOG et FELDMANN (*Handbûch der Elektrischen Beleuchtung*) par H. BOY DE LA TOUR, ingénieur, chef du service électrique de la compagnie de Fives-Lille. 1 volume grand in-8° avec 413 figures dans le texte et 5 planches hors texte. Relié. . . . . 25 fr.

### Éclairage électrique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique. Unités, mesures, compteurs industriels, machines dynamos, accumulateurs, transformateurs, lampes électriques, canalisation, conducteurs aériens, conducteurs souterrains. Appareils auxiliaires, systèmes de distribution, coût des installations. Lois et règlements, par E. PIAZZOLI, ingénieur civil. Traduit de l'italien par G. CUCERULLO et E. A. della SANTA, ingénieurs. 1 volume in-8° contenant 264 figures dans le texte et 90 tableaux, relié. . . . . 16 fr.

### Éclairage électrique.

Éclairage à l'électricité. Renseignements pratiques, par HIPPOLYTE FONTAINE. — *Epuisé. Une nouvelle édition est en préparation.*

### Éclairage électrique.

Éclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par HIPPOLYTE FONTAINE. 1 volume in-4° avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte relié. . . . . 25 fr.

### Éclairage électrique.

Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières, maison

d'habitation, usines, salles de réunion, etc., par EMILE CAHEN, ingénieur des ateliers de construction des manufactures de l'Etat.

*Epuisé. Une nouvelle édition est en préparation.*

### Éclairage électrique.

Étude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels, par GEORGES DUMONT, avec la collaboration de GUSTAVE BAIGNIÈRES. 1 volume grand in-8° avec 2 planches. . . . . 5 fr.

### Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Étude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc.; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville; traités et conventions, calcul de l'éclairage des voies publiques; prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 221 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

### Éclairage des voitures de Chemins de fer.

Éclairage des voitures de chemins de fer. Huile, pétrole, gaz de houille, gaz d'huile, acétylène, gaz mixte. Électricité, par J. CABLIER, ingénieur des mines. 1 volume in-8° contenant 100 figures intercalées dans le texte. . . . . 6 fr.

### Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par FLEEMING JENKIN, professeur à l'Université d'Edimbourg; traduit de l'anglais par N. DE TÉDESCO. 1 volume in-12 avec 32 gravures. . . . . 2 fr.

### Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par SYLVANUS P. THOMPSON, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres, traduction par E. BOISTEL, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine, 2<sup>e</sup> édition, 1 volume in-8° contenant 360 figures dans le texte et 12 planches hors texte et en couleurs, relié. . . . . 25 fr.

### Courants alternatifs.

Éléments du calcul et de la mesure des courants alternatifs, par OMER DE BAST, ingénieur. Professeur à L'École industrielle de Liège. 1 volume in-8° contenant 75 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

### Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. BLAKESLEY, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3<sup>e</sup> édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. RECHNIEWSKI. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

### Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par GISEBERT KAPP, traduit de l'allemand par A. O. DUBSKY et G. CIBNET, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-8°, avec 132 figures dans le texte, relié. . . . . 12 fr.

### Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par EMILE MANGON. 1 brochure in-8°, avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

### Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science, par le D<sup>r</sup> ROBERT WEBER, professeur à l'Académie de Neuchâtel, 3<sup>e</sup> édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. . . . . 6 fr.

### Problèmes d'électricité.

Recueil de problèmes d'électricité, par A. RAUDOT, ingénieur. 1 volume gr. in-8°, contenant de nombreuses figures dans le texte, relié. . . . . 8 fr.

### Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'As-

surance contre l'incendie, par le Dr OSCAR MAY, traduit de l'allemand sous la direction de Ph. DELAHAYE. 1 brochure gr. in-8<sup>o</sup>, avec 13 figures dans le texte. 1 fr. 50

### **Traction électrique.**

La traction électrique sur voies ferrées. Types de voie. Exécution des voies. Adaptation des moteurs électriques à la traction sur les voies ferrées. Moteurs de traction. Voitures automobiles. Locomotives électriques. Matériel applicable à des cas spéciaux, services à grande vitesse, monorails, lignes à fortes rampes. Fonctionnement des moteurs de traction à courant continu et à courants alternatifs. Régulation de la vitesse des voitures. Conduite, entretien et essais des moteurs et du matériel roulant. Résistance et traction du matériel roulant électrique. Puissance et énergie électrique consommées sur les voitures et à la station génératrice. Projet de traction. Freinage des voitures électriques. Dépenses d'établissement et d'exploitation des lignes électriques. Conditions de sécurité, réglementation et contrôle technique, par ANDRÉ BLONDEL et F.-PAUL DEBOIS, ingénieurs des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8<sup>o</sup>, contenant plus de 1700 pages et 1014 figures dans le texte. Reliés . . . . . 50 fr.

### **Production et distribution de l'énergie électrique.**

Production et distribution de l'énergie électrique. Puissance et organisation des stations centrales, chaudières, machines à vapeur. Stations centrales au gaz pauvre. Stations centrales hydrauliques. Machines électriques employées pour la traction. Machines à courant continu. Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. Sous-stations de transformation. Moyens d'éviter ou de remédier aux accidents de personnes, dépenses d'établissement des stations centrales. Feeders. Lignes aériennes, Trolleys. Montage des lignes aériennes. Parafoudres, appareils accessoires des lignes aériennes. 3<sup>e</sup> rail. Caniveaux. Contacts superficiels. Retour du courant, par H. MARTIN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8<sup>o</sup>, avec 870 figures dans le texte. Relié . . . . . 25 fr.

### **Distribution d'énergie électrique.**

Les distributions d'énergie électrique dans les petites localités, par RICHARD BENDER, ingénieur mécanicien, ingénieur électricien. 1 brochure grand in-8<sup>o</sup> avec figures dans le texte . . . . . 2 fr. 50

### **Transport et distribution de l'énergie.**

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs, description du matériel, calcul des lignes aériennes, par Ch. GAUCET, ingénieur électricien. 1 volume in-8<sup>o</sup> contenant 48 figures dans le texte. Relié . . . . . 4 fr.

### **Tramways électriques.**

Les tramways électriques. Dispositions générales, voie, tramways à conducteurs aériens, souterrains, à contacts superficiels, tramways à accumulateurs, matériel roulant, dépôt, ateliers, production et transformation de l'énergie, exploitation, dépenses, concessions, réglementation, par H. MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées, 2<sup>e</sup> édition. 1 volume in-8<sup>o</sup>, avec 188 figures dans le texte . . . 10 fr.

### **Chemins de fer électriques.**

Les chemins de fer électriques. Dispositions générales. Production de l'électricité. Voie. Distribution de l'électricité. Alimentation des lignes. Moteurs. Traction. Automotrices. Locomotives. Chemins de fer divers. Exploitation et dépenses, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> avec 516 figures dans le texte. Relié . . . . . 25 fr.

### **Chemin de fer électrique.**

Chemin de fer électrique des boulevards, à Paris, par CHRÉTIEN. 1 brochure in-4<sup>o</sup>, avec gravures . . . . . 2 fr.

### **Accumulateur au plomb.**

La théorie de l'accumulateur au plomb, par le Dr Fr. DOLEZALEK, traduit de l'allemand par Ch. LIAGRE. 1 volume in-8<sup>o</sup>, avec 40 figures dans le texte . . . 8 fr.

### **Accumulateur voltaïque.**

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par EMILE REYSNER. 1 volume grand in-8<sup>o</sup>, avec 62 figures dans le texte et un portrait de M. G. Planté. . . 6 fr.

### **Régulation des galvanomètres.**

Nouveaux procédés de régulation des galvanomètres (boussoles des tangeantes)

Nouvelles méthodes de détermination des forces électromotrices et des résistances des piles. Applications importantes à quelques parties des méthodes générales d'expérimentation, par L. DE GERANDO, ingénieur de la marine. 1 brochure grand in-8°. 1 fr.

### Téléphone.

Le téléphone. Théorie. Induction. Transmetteurs à charbons. Téléphones spéciaux. Lignes téléphoniques. Appareils auxiliaires. Stations terminales. Stations intermédiaires. Bureaux centraux français et étrangers. Tableaux commutateurs. Stations téléphoniques publiques. Téléphones multiplex. Application du téléphone au service de la télégraphie. Télégraphie militaire. Applications diverses, par WILLIAM HENRI PREECE, électricien en chef du *British Post-Office*, et JULIUS MAIER, docteur ès sciences physiques. 1 volume grand in-8°, avec 290 gravures dans le texte. 15 fr.

### Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. Production du courant électrique. Organes de réception. Premiers appareils. Appareil Morse. Appareils accessoires. Installation des postes. Propriétés électriques des lignes. Lois de la propagation du courant. Essais électriques, recherches des dérangements. Appareils de translation, de décharge et de compensation. Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. Etablissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. THOMAS, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte, relié. . . . . 25 fr.

### Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. Historique. Composition et fabrication des câbles télégraphiques. Immersion et réparation des câbles sous-marins. Essais électriques. Recherche des défauts. Transmission des signaux. Exploitation des lignes sous-marines, par WUSCHENDORFF, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 469 gravures dans le texte . . . . . 40 fr.

### Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 Jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix relié. . . . . 7 fr. 50

### Electricité médicale.

Traité théorique et pratique d'électricité médicale. Précis d'électricité. Appareils et instruments électro-médicaux. Applications thérapeutiques, par FELIX LUCAS et ANDRÉ LUCAS. 1 volume in-18 Jésus, avec 120 figures dans le texte, relié. . . . . 10 fr.

## MÉCANIQUE ET MACHINES

### Portefeuille des machines.

Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel, relatifs à la construction, à l'industrie, aux chemins de fer, aux routes, aux mines, à la navigation, à l'électricité, etc.; contenant un choix des objets les plus intéressants des expositions industrielles; fondé par OPPERMANN. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 60 planches et 200 colonnes de texte. Abonnements: Paris, 15 fr. — Départements et Belgique, 18 fr. — Union postale. . . . . 20 fr.  
Prix de l'année parue, reliée. . . . . 20 fr.

### Agenda Oppermann.

Agenda Oppermann, paraissant chaque année. Élégant carnet de poche contenant tous les chiffres et tous les renseignements techniques d'un usage journalier. Rapporteur d'angles, coupe géologique du globe terrestre, guide du mètreur. — Résumé de géodésie. — Poids et mesures, monnaies françaises et étrangères. — Renseignements mathématiques et géométriques. — Renseignements physiques et chimiques. — Résistance des matériaux. — Electricité. — Règlements administratifs. — Dimensions du commerce. — Prix courants et série de prix. — Tarifs des Postes et Télégraphes.

Relié en toile, 3 fr.; en cuir, 5 fr. — Pour l'envoi par la poste, 0 fr. 25 en plus.

### Aide-mémoire de l'ingénieur.

Aide-mémoire de l'ingénieur. Mathématiques, mécanique, physique et chimie, résistance des matériaux, statique des constructions, éléments des machines, machines motrices, constructions navales, chemins de fer, machines-outils, machines élévatoires, technologie, métallurgie du fer, constructions civiles, législation indus-

trielle. Nouvelle édition française du Manuel de la Société « Hütte », par PHILIPPE HUGUENIN. 1 beau volume contenant plus de 1200 pages avec 500 figures dans le texte, solidement relié en maroquin . . . . . 15 fr.

### Mécanique générale.

Mécanique générale. Systèmes des lignes. Centres de gravité. Moments d'inertie. Etude générale des mouvements d'un point. Détermination du mouvement d'un point. Systèmes invariables à l'état de mouvement. Mouvements simultanés et relatifs. Lois générales du mouvement des systèmes. Lois physiques du mouvement. Théorèmes généraux de la mécanique. Forces vives. Travail. Equilibre. Machines simples. Mécanismes. Cours professé à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par A. FLAMANT, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8<sup>o</sup>, avec 203 figures dans le texte . . . . . 20 fr.

### Mécanique élémentaire.

Cours de mécanique élémentaire à l'usage des écoles industrielles, comprenant : Notions préliminaires ; cinématique ; statique ; résistance des mouvements ; forces centrales ; dynamique ; moments d'inertie ; résistance des matériaux ; générateurs à vapeur ; moteurs hydrauliques, par PH. MOULAN, ingénieur. 1 fort volume in-8<sup>o</sup> de 1124 pages, contenant 1067 figures dans le texte. Relié . . . . . 18 fr.

### Mécanique appliquée.

Cours élémentaire de mécanique appliquée, à l'usage des écoles primaires supérieures, des écoles professionnelles, des écoles d'apprentissage, des écoles industrielles, des cours techniques et des ouvriers, par BOUQUET, ingénieur, 4<sup>e</sup> édition. 1 volume in-12, avec 69 figures dans le texte. Relié . . . . . 5 fr.

### Mécanique analytique.

Cours de mécanique analytique. Dynamique. Statique et cinématique, par E. RONKAR, ingénieur honoraire des mines. 2 volumes in-4<sup>o</sup> autographiés, contenant de nombreuses figures dans le texte. . . . . 25 fr.

### Nomographie.

Contribution à la théorie et aux applications de la nomographie, par R. SOBEAU, ingénieur. 1 volume in-8<sup>o</sup>, contenant 51 figures et 80 abaques dans le texte. 5 fr.

### Traceur mécanicien.

Guide du traceur mécanicien, comprenant les notions élémentaires de géométrie, la description et l'usage des principaux outils et instruments de traçage, de mesure et de vérification, l'indication de nouvelles méthodes pour le traçage rapide et exact des pièces et organes de machines (chaudronnerie, forge, fonderie et ajustage), à l'usage des ouvriers, contremaîtres, chefs d'ateliers, traceurs, dessinateurs et de toutes les personnes s'occupant du façonnage des métaux, par PHILIPPE FAY, 3<sup>e</sup> édition. 1 volume in-8<sup>o</sup>, avec 22 planches et 292 figures . . . . . 7 fr. 50

### Eléments de machines.

Les éléments de machines, leur calcul et leur construction, élasticité et résistance des matériaux, procédés d'assemblage des parties de machines, éléments de machines pour la transmission du mouvement de rotation d'un arbre à un autre, autres éléments de machines pour le mouvement de rotation, éléments de machines pour le mouvement rectiligne, éléments de machines pour la transformation du mouvement rectiligne en mouvement de rotation et réciproquement, éléments des machines destinées à recevoir et à transporter les fluides, par C. BACH, professeur à l'Ecole royale technique de Stuttgart, traduit de l'allemand, par DESMAREST. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> Jésus, contenant près de 600 figures et 3 planches, et 1 album de 54 planches doubles, relié. . . . . 40 fr.

### Dictionnaire technologique.

Dictionnaire technologique français-allemand-anglais, contenant les termes techniques employés dans les arts et métiers, l'architecture, les ponts et chaussées et les chemins de fer, la mécanique, la métallurgie, etc., etc., par ROUQUÉ. 3 volumes grand in-8<sup>o</sup> . . . . . 45 fr.

On vend séparément :

Tome I<sup>er</sup> : allemand-anglais-français . . . . . 15 fr.  
Tome II : anglais-allemand-français . . . . . 15 fr.  
Tome III : français-allemand-anglais . . . . . 15 fr.

### Travail manuel.

Notions sur les machines et travail manuel du fer et du bois, à l'usage des Ecoles primaires supérieures, des Ecoles d'apprentissage, des Ecoles profession-



nelles, des Ecoles industrielles et des candidats aux Ecoles d'arts et métiers et à l'Ecole des apprentis-mécaniciens de la marine à Brest, par HENRI LYONNET, professeur à l'Ecole supérieure municipale J.-B. Say. 1 volume in-12 avec 90 figures dans le texte . . . . . 2 fr.

### **Aérodynamique.**

Aérodynamique ou mécanique des gaz, par PIARRON DE MONDÉSIR, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 brochure grand in-8° . . . . . 2 fr. 50

### **Physique.**

Physique. Propriétés générales des corps. Chaleur. Optique. Acoustique Magnétisme. Électricité. Météorologie, par GABRIEL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur de physique à la Faculté de médecine et à l'Ecole nationale des ponts et chaussées, 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses gravures dans le texte . . . . . 20 fr.

### **Études des combustibles.**

Études des combustibles solides, liquides et gazeux; mesure de leur pouvoir calorifique, par R. MAHLER, ingénieur civil des mines. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 5 fr.

### **Essais des combustibles.**

Analyse chimique et essais des combustibles par L. CAMPREDON, chimiste métallurgiste, 1 brochure in-8°. . . . . 2 fr.

### **Chauffage industriel.**

Le chauffage industriel et les fours à gaz. Utilisation de la chaleur et récupération, par EMILIO DAMOUR, ingénieur civil des mines. 1 volume in-8°, avec 27 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

### **Théorie mécanique de la chaleur et de l'électricité.**

Théorie mécanique de la chaleur et de l'électricité, par CLAUDIUS. 2<sup>e</sup> édition refondue et complétée, traduite sur la 3<sup>e</sup> édition de l'original allemand, par F. FOLIE et E. RONKAR, chargés de cours à l'Université de Liège, 2 volumes in-8, avec figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

### **Chaleur.**

Traité élémentaire de la chaleur au point de vue de son emploi comme force motrice. Machines à air chaud, à gaz, à air comprimé et machines à vapeur par DEVILLEZ, 2 volumes in-8°, avec planches . . . . . 15 fr.

### **Air comprimé.**

Traité élémentaire de l'air comprimé, par JOSEPH COSTA, ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole polytechnique. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte. *Epuisé. Une nouvelle édition est en préparation.*

### **Chaudronnerie en cuivre et en fer.**

Traité de la Chaudronnerie industrielle en cuivre et en fer. Outillage, tracé et coupes, construction des appareils industriels. Leçons professées au Cours de chaudronnerie fondé à l'Association philotechnique, par E. BRÉMER, ingénieur civil. 1 volume grand in-8° contenant 370 figures dans le texte et 38 tableaux 10 fr.

### **Chaudronnerie.**

Cours pratique de chaudronnerie. 4<sup>re</sup> partie : Chaudronnerie en fer, par A. MONTUPET. 4<sup>e</sup> édition, revue et augmentée, 1 volume in-8° avec 44 planches et tableaux . . . . . 7 fr. 50

### **Installation de chaudières à vapeur.**

Installations modernes de chaudières à vapeur, leurs dispositions et leur emploi. Chaudières à grand volume d'eau, chaudières multitubulaires, chaudières sans maçonnerie, règlements relatifs à l'autorisation, à l'épreuve et à l'inspection des chaudières à vapeur. Manuel et formulaire à l'usage des industriels, des étudiants et des ingénieurs, par E. REINERT, ingénieur à la Société badoise, traduit par L. DESMAREST, ingénieur civil, 1 volume grand in-8° contenant 150 figures dans le texte. Relié. . . . . 12 fr. 50

### **Traité des chaudières à vapeur.**

Traité des chaudières à vapeur. Etude sur la vaporisation dans les appareils industriels. Ebullition à l'air libre. Ebullition en vase clos. Soulèvements et

entraînements d'eau. Transmission de la chaleur. Puissance de vaporisation des surfaces de chauffe. Températures des surfaces de chauffe. Absorption de la chaleur par l'eau. Circulation de l'eau. Appareils produisant la circulation de l'eau. Généralités et classification des chaudières. Chaudières à foyer intérieur. Chaudières à foyer extérieur. Chaudières multitubulaires et leur fonctionnement. Chaudières multitubulaires de torpilleurs. Chaudières à émulsion de vapeur. Accidents et explosions. Effets dynamiques des explosions. Combustion, par CHARLES BELLENS, ingénieur. 1 volume grand in-8° avec 215 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

### Chaudières à vapeur.

Traité pratique des chaudières à vapeur employées dans les manufactures par DENFER, chef de travaux graphiques à l'École centrale des arts et manufactures. 1 volume grand in-4°, accompagné de 81 planches cotées et en couleurs. . . . . 50 fr.

### Chaudières marines.

Traité pratique des chaudières marines ; description, entretien, conduite. Principaux types de chaudières. Chaudières de torpilleurs. Chauffage mixte. Ejecteurs, conduite des feux et des chaudières. Alimentation pendant la marche. Extractions. Extinction des feux. Chaudières Belleville, Dutemple, Petit et Godard. Procédé Dubourdin, à l'usage des mécaniciens de la marine militaire, de la marine de commerce et de l'industrie, par J. B. GIRARD, mécanicien-inspecteur de la marine, 1 volume in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et 20 planches, relié. . . . . 12 fr. 50

### Chaudières à vapeur.

Contribution à l'étude du fonctionnement des chaudières à vapeur. Epuration de l'eau d'alimentation, incrustation, entraînement de l'eau par la vapeur, par JEAN DE MOLLINS, 1 brochure grand in-8° . . . . . 1 fr.

### Défauts des chaudières.

Défauts des chaudières de locomotives et des locomobiles. Caractères des défauts, leurs causes, conséquences à craindre, mesures préventives et remèdes à employer. — Travail publié par l'association des ingénieurs et architectes autrichiens, M. l'ingénieur en chef WERHNFENNIG rapporteur ; traduit de l'allemand par EDM. FRANKEN, ingénieur honoraire des mines, et CARL VON HAHN, docteur en droit, 1 volume in-4° avec de nombreuses figures dans le texte. . . . . 5 fr.

### Épreuves des chaudières à vapeur.

Note sur les épreuves des chaudières à vapeur, suivie de la loi du 21 juillet 1856, concernant les contraventions aux règlements sur les appareils et bateaux à vapeur et la loi du 18 juillet 1892 fixant les nouvelles taxes d'épreuves des appareils à vapeur et leur mode de perception, par H. MATHIEU, contrôleur des mines. 1 brochure grand in-8°. . . . . 1 fr. 50

### Explosions de chaudières à vapeur.

Les explosions de chaudières à vapeur. Leurs causes et leurs effets, et examen critique des moyens préventifs, par HERVIER, ingénieur civil des mines. 1 volume grand in-8°. . . . . 6 fr.

Les chauffeurs-mécaniciens et les explosions de chaudières à vapeur, par le même auteur. 1 volume grand in-8°. . . . . 1 fr.

### Manuel du chauffeur.

Guide manuel du chauffeur, par GOUJET, constructeur-mécanicien, 1 volume grand in-8°. . . . . 3 fr. 50

### Manuel du chauffeur-mécanicien.

Manuel du chauffeur-mécanicien et du propriétaire d'appareils à vapeur, par HENRI MATHIEU contrôleur des mines, 2<sup>e</sup> édition. 1 volume grand in-8°, avec 720 figures dans le texte. Relié. . . . . 25 fr.

### L'A B C du chauffeur.

L'A B C du chauffeur, par HENRI MATHIEU, contrôleur des mines, avec introduction C. WALCKENAER, ingénieur des mines. 1 vol. format 0<sup>m</sup>,15 × 0<sup>m</sup>,10, avec 66 figures dans le texte, relié. . . . . 3 fr.

### Catéchisme des chauffeurs.

Catéchisme des chauffeurs et des conducteurs de machines, rédigé sous le

auspices de l'Association des ingénieurs sortis de l'école de Liège, par BERR, DEVAUX, DECHAMPS et STÉVART. 5<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 1 volume in-8<sup>o</sup>, cartonné . . . . . 1 fr. 50

### Machines marines.

Traité pratique des machines marines motrices, des machines auxiliaires, des machines à pétrole et à gaz. Description, montage, régulation, conduite, réparations. Rédigé conformément aux programmes. À l'usage des mécaniciens de la marine militaire et à ceux de la marine du commerce. Avec les planches des nouveaux types de machines motrices et auxiliaires et des machines à pétrole et à gaz, par J.-B. GIRARD, mécanicien-inspecteur de la marine. 2 volumes in-8<sup>o</sup> contenant plus de 800 figures dans le texte et 33 planches hors texte. Reliés . . . 30 fr.

### Construction des machines à vapeur.

Traité pratique de la construction des machines à vapeur fixes et marines. Résumé des connaissances actuellement acquises sur les machines à vapeur, considérations relatives au type de machine et aux proportions à adopter, détermination des dimensions et des proportions des principaux organes, étude et construction de ces organes, par MAURICE DEMOULIN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8<sup>o</sup>, avec 483 figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

### La Machine à vapeur.

La machine à vapeur. Traité général contenant la théorie du travail de la vapeur, l'examen des mécanismes de distribution et de régularisation, la description des principaux types d'appareils, l'étude de la condensation et de la production de la vapeur, par EDOUARD SAUVAGE, professeur à l'École nationale supérieure des mines, 2 volumes grand in-8<sup>o</sup> Jésus, avec 1 036 figures dans le texte. Relié . . . . . 60 fr.

### Traité de la machine à vapeur.

Traité de la machine à vapeur. Description des principaux types et théorie, étude, construction, conduite et applications, par ROBERT H. THURSTON, directeur du « Sibley College » Cornell University, traduit de l'anglais et annoté par MAURICE DEMOULIN. 2 volumes grand in-8<sup>o</sup> avec de nombreuses figures dans le texte. Relié . . . . . 60 fr.

### Essais de machines et chaudières à vapeur.

Manuel pratique des essais de machines et chaudières à vapeur, par ROBERT H. THURSTON, directeur du « Sibley College » Cornell University, traduit de l'anglais par AUGUSTE ROUSSEL, ancien élève de l'École polytechnique. 1 volume grand in-8<sup>o</sup> avec de nombreuses figures dans le texte. Relié . . . . . 25 fr.

### Essai des moteurs (Guide pour l').

Guide pour l'essai des moteurs. Ouvrage contenant tout ce qui a rapport aux indicateurs, l'analyse des diagrammes, le travail indiqué, les freins de Prony ordinaires et automatiques, les dynamomètres de transmission, les essais de vaporisation, les proportions des générateurs et cheminées, etc., par J. BUCCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 3<sup>e</sup> édition, 1 vol. in-8<sup>o</sup>, avec 178 figures dont 28 pl. relié . . . . . 15 fr.

### Les machines à vapeur actuelles.

Les machines à vapeur actuelles, par J. BUCCHETTI, ingénieur E. C. Paris.  
 1<sup>re</sup> partie : Calculs des machines, texte in-4<sup>o</sup> avec 127 figures et 2 pl. } 40 fr.  
 2<sup>e</sup> partie : Distributions, texte in-4<sup>o</sup> et atlas de 18 planches . . . . . }  
 3<sup>e</sup> partie : Construction, texte in-4<sup>o</sup> avec 181 figures et atlas de 50 pl. } 50 fr.  
 Les 3 parties prises ensemble . . . . . 75 fr.  
 SUPPLÉMENT A L'OUVRAGE CI-DESSUS : Machines simples, compound, à triple expansion, à vitesse normale, à grande vitesse, 1 vol. in-4<sup>o</sup> et 1 atlas in-folio de 20 planches. . . . . 30 fr.

### Machines à vapeur.

Les machines à vapeur à l'Exposition universelle de Paris en 1889, par J. BUCCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 1 vol. in-4<sup>o</sup> avec 53 figures dans le texte et 1 atlas in-folio de 40 planches. . . . . 50 fr.

### Machines à vapeur.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur au point de vue de la distribution. — Méthode générale des gabarits, permettant d'établir des épures

approchées ou exactes de tous les types de machines. — Etude méthodique des principales distributions au double point de vue de leur fonctionnement et de leur construction, par COSTE et MANIQUET. 2<sup>e</sup> édition. 1 volume grand in-8° contenant 54 figures intercalées dans le texte et 1 atlas grand in-4° de 46 planches de dessins exactement réduits à l'échelle et cotés . . . . . 25 fr.

### Machines à vapeur.

Etude sur les machines à vapeur. Moteurs à vapeur pour les petites industries et moteurs à vapeur de grandes dimensions, à l'exposition des arts et métiers de Vienne (Autriche), 1888, par A. GOUVY FILS, ingénieur des arts et manufactures. 1 brochure grand in-8°, avec 3 grandes planches et 16 figures dans le texte. . . . . 4 fr.

### Indicateur des machines.

L'indicateur du travail et du fonctionnement des machines à piston, à vapeur, à eau, à gaz, etc., et son diagramme, par VOX PIGHLER, traduit par R. SEGUOLA, ancien élève de l'École polytechnique, 1 volume in-8° avec 46 figures dans le texte. . . . . 5 fr.

### Enveloppes de vapeur.

Recherches expérimentales sur l'emploi des enveloppes de vapeur et du fonctionnement compound dans les locomotives effectuées sur les chemins de fer sud-ouest russes, par A. BONOMINE, ingénieur en chef du matériel et de la traction. 1 volume grand in-8°, avec 3 grandes planches. . . . . 6 fr.

### Transport de la vapeur.

Le transport de la vapeur à grandes distances et sa canalisation. Renseignements théoriques et pratiques, condensation dans les tuyaux, enveloppes calorifiques, établissement des conduites, prix de revient des tuyaux, par CHÉNÉTIEN. 1 brochure grand in-8° avec figures dans le texte. . . . . 2 fr.

### Locomotives.

Traité pratique de la machine locomotive comprenant les principes généraux relatifs à l'étude et à la construction des locomotives, la description des types les plus répandus, l'étude de la combustion, de la production et de l'utilisation de la vapeur, du rendement, des conditions de fabrication et de réception des matériaux, des proportions et du mode de construction des organes, par MAURICE DEMOULIN, ingénieur des arts et manufactures. Ouvrage précédé d'une introduction par EDOUARD SAUVAGE, professeur à l'École supérieure des mines, 4 volumes grand in-8°, avec 973 figures et planches dans le texte et 6 planches hors texte. Relié. . . . . 150 fr.

### Locomotives.

Note sur la construction des locomotives en Angleterre, par MAURICE DEMOULIN, ingénieur des arts et manufactures. 1 brochure grand in-8°, avec 2 grandes planches. . . . . 3 fr.

### Locomotives.

La machine-locomotive. Manuel pratique donnant la description des organes et du fonctionnement de la locomotive, à l'usage des mécaniciens et des chauffeurs, par EDOUARD SAUVAGE, ingénieur en chef des mines, ingénieur en chef conseil des chemins de fer de l'Ouest 4<sup>e</sup> édition. 1 volume in-8° avec 326 figures dans le texte. Relié. . . . . 5 fr.

### Locomotives.

Machine locomotive à grande vitesse de 750 chevaux, étudiée par ALA BÉOTHY, ingénieur. 1 brochure grand in-8°, avec 5 planches. . . . . 5 fr.

### Locomotives.

Les locomotives à l'Exposition universelle de 1878, par A. MALLET. — Locomotives françaises et étrangères. — Machines express. — Machines à voyageurs. — Machines à marchandises. — Machines pour services spéciaux. — Locomotives pour voie étroite. 1 volume in-8° avec 2 grandes planches et 1 tableau. . . . . 5 fr.

### Locomotives.

Etude sur l'utilisation de la vapeur dans les locomotives et l'application à ces machines du fonctionnement compound, par A. MALLET. 1 volume in-8°, avec tables et planches . . . . . 7 fr.

## Locomotives suisses.

Les locomotives suisses, par CAMILLE BARREY. 1 volume grand in-4°, illustré de 80 phototypies, de 81 planches hors texte et d'une carte des chemins de fer suisses. 40 fr.

## Servo-moteur.

Le servo-moteur ou moteur asservi, par FARGOT. Ses principes constitutifs, variantes diverses, application à la manœuvre des gouvernails. 1 volume in-8° avec 37 planches. . . . . 4 fr.

## Moteurs à gaz.

Théorie des moteurs à gaz. Conférences faites à l'Automobile Club de France, par GEORGE MORBEAU, ancien élève de l'École polytechnique. 1 volume in-8°. 12 fr. 50

## Moteurs à explosion.

Les moteurs à explosion ; étude à l'usage des constructeurs et conducteurs d'automobiles, comprenant : des éléments de thermodynamique et de résistance des matériaux, l'établissement des moteurs et de leurs cycles, les principes de construction des pièces de machine, l'analyse des perturbations dues soit à la nature des phénomènes, soit à l'emploi des organes, l'examen des propriétés des combustibles employés et du régime de la détonation, l'exposé des principes devant servir de bases à la comparaison des voitures automobiles et particulièrement aux courses, etc., etc., par GEORGE MORBEAU, ancien élève de l'École polytechnique. 1 volume grand in-8°, avec 104 figures dans le texte. Relié. . . . . 20 fr.

## Voitures automobiles.

Manuel théorique et pratique de l'automobile sur route. 1° Agents de la locomotion automobile. 2° Éléments des voitures automobiles, chaudières, moteurs à vapeur, carburateurs, moteurs à pétrole, accumulateurs, moteurs électriques. Vapeur. Pétrole. Électricité. Transmissions. Le véhicule, essieux, roues, bandages, ressorts, châssis, caisse, freins, graissage. 3° Voitures, omnibus, camions, tracteurs, voitures légères, avant-train moteurs, tricycles, quadricycles, voiturettes, voitures de livraisons. Divers types de voitures. Compte rendu des principales courses et concours, par GÉRARD LAVERGNE, ancien élève de l'École polytechnique. 1 volume grand in-8° contenant 329 figures dans le texte. Relié. . . . . 17 fr. 50

## Régulateurs.

Nouvelle théorie élémentaire des régulateurs à force centrifuge, examen de leurs principales propriétés. Isochronisme. — Sensibilité. — Régularité. — Énergie. — Stabilité. — Régulateurs proportionnels, par E. LIXOLIN, ingénieur-mécanicien. 1 volume in-8° avec 30 figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

## Gazogènes.

Les gazogènes continus et discontinus, et la manière de s'en servir, par G. VELLEMAN, ingénieur civil des mines. 1 volume in-8°, accompagné d'un plan d'usine pour la fabrication du coke. . . . . 4 fr.

## Traité des machines-outils.

Traité des machines-outils. Tours, alésoirs, raboteuses, mortaiseuses, étaux-limeurs, rainceuses, fraiseuses, machines à tailler les roues, meules, taraudeuses, machines à vis, machines spéciales, machines combinées, petit outillage, par GUSTAVE RICHARD, ingénieur civil des mines. 2 volumes grand in-4° avec plus de 6 000 figures dans le texte. Relié. . . . . 150 fr.

## Mesure du travail des machines-outils, etc.

De la mesure du travail mécanique et électrique des machines-outils, etc.; et construction des Appareils, par J. BUCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 1 volume de texte avec figures et 15 planches. . . . . 15 fr.

## Manuel du constructeur de moulins et du meunier.

Tome I. *Machines de meunerie*. Ventilateurs. Machines de nettoyage. Machines de mouturage. Bluteries. Machines de secours. Engins de transport, par F. BAUMGARTNER, ingénieur, constructeur de moulins, traduit de l'allemand par P. SCHÖREN, ingénieur des arts et manufactures (E. C. P. 84). 1 volume grand in-8°, avec 482 figures dans le texte. Relié. . . . . 20 fr.

Tome II. *Construction de moulins proprement dite*. Choix du procédé de mouture et des machines de meunerie ; installation de ces dernières dans le moulin. Bâtiment de moulin. Les moulins à vent. Les greniers à blé, etc., par F. BAUMGARTNER,

ingénieur constructeur de moulins, traduit de l'allemand par P. SCHÖREN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8° avec 230 figures dans le texte et 3 planches hors texte. Relié . . . . . 18 fr.

### Arquebuserie.

Traité d'arquebuserie. Principes de la construction des armes de chasse ; canonicerie des armes de chasse ; les armes à chiens intérieurs ; les armes de tir ; les cartouches ; les poudres ; les projectiles ; annexes, par ARTHUR NOUVELLE. 1 volume grand in-8° et 1 atlas de 38 planches. . . . . 20 fr.

### Transmissions.

Calcul et construction des transmissions, par le D<sup>r</sup> KARL KELLER, professeur de cours de construction de machines à l'École supérieure technique de Karlsruhe. Traduit sur la 3<sup>e</sup> édition allemande, par H. SOUDÉ et DESMAREST, ingénieurs civils. 1 volume grand in-8° avec 450 figures dans le texte. Relié. . . . . 15 fr.

### Filetage.

Traité pratique de filetage à l'usage de tous les mécaniciens, par CADY. 8<sup>e</sup> édition revue, corrigée et augmentée d'un chapitre pour les tours anglais, de méthodes pour faire les cônes automatiquement, du filetage à l'aiguille, d'une méthode pour faire les outils à fileter, etc. 1 volume in-12, avec 4 planches . . . . . 2 fr. 25

### Filetage.

Le filetage rendu facile à tous. — Barème de filetage donnant 1550 pas de vis différents et s'appliquant à tous les tours à fileter dont la mère vis est à un pas exprimé en millimètres sans fraction ; soit : 5, 8, 10, etc. ; par E. BÉRARD, mécanicien. 1 brochure in-8° . . . . . 1 fr. 50

### Hydraulique.

Mécanique appliquée. Hydraulique. Hydrostatique. Généralités sur le mouvement des liquides. Circonstances accidentelles du mouvement. Tuyaux de conduite. Canaux découverts. Cours d'eau naturels. Mouvements non permanents. Mouvements ondulatoires. Fluides élastiques. Résistance des fluides. Documents et renseignements concernant les irrigations. Abaque pour le calcul des distributions d'eau. Tables numériques, par A. FLAMANT, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2<sup>e</sup> édition considérablement augmentée. 1 volume grand in-8° avec 137 figures dans le texte. . . . . 25 fr.

### Hydraulique.

Recherches théoriques et expérimentales sur les oscillations de l'eau et les machines hydrauliques à colonnes liquides oscillantes. — Oscillations dans les tuyaux, ondes liquides, phénomènes de succion, fontaines intermittentes, écluses de navigation, moteurs hydrauliques, machines élévatoires, machines d'épuisement, machines soufflantes et à comprimer l'air, pompes, etc., par le marquis ANATOLE DE CALIGNY, correspondant de l'Institut de France. 2 volumes in-8°, avec 8 planches. . . 16 fr.

### Moteurs hydrauliques actuels.

Les moteurs hydrauliques actuels. (Roues et turbines.) Traité théorique et pratique, par J. BUCCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 2<sup>e</sup> édition. 1<sup>re</sup> Partie : Calculs et conditions d'établissement. 1 volume in-4°, avec 140 figures dans le texte. 2<sup>e</sup> Partie : Construction. 1 volume in-4°, avec 95 figures dans le texte et 1 atlas in-folio de 40 planches. . . . . 60 fr.

### Les turbines actuelles.

Les turbines actuelles et à l'Exposition universelle de 1900, par J. BUCCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 1 volume de texte avec 68 figures et 1 atlas de 30 planches . . . . . 40 fr.

### Élévation des eaux.

Traité de l'élévation des eaux. Calculs et renseignements pratiques. Pompes à main. — Emploi des moteurs à vent et à eau. — Pompes centrifuges. — Emploi des moteurs à vapeur, à gaz, électriques. — Pompes d'alimentation. — Appareils hydrauliques. — Ascenseurs. — Emploi de l'air et des gaz comprimés. — Pulsomètres. — Injecteurs — Ejecteurs. — Béliers hydrauliques, par P. BERTHOT, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8° avec 350 figures dans le texte. Relié. . . . . 18 fr.

### **Pompes centrifuges et rotatives.**

Les pompes centrifuges et rotatives. Théorie pratique, construction, installations par J. BUCHETTI, ingénieur E. C. Paris. 1 volume in-8° avec 35 figures dans le texte et 10 grandes planches. . . . . 15 fr.

### **Architecture et construction du yacht.**

Architecture et construction du yacht, par LOUIS MOISSENET, membre fondateur de l'Union des yachts français. 1 volume in-18, avec de nombreuses figures dans le texte et 16 planches, relié . . . . . 10 fr.

### **Voilure, navigation et manœuvre du yacht.**

Voilure navigation et manœuvre du yacht, par LOUIS MOISSENET, ingénieur au corps du Génie maritime. 1 volume in-18, avec 28 planches dans le texte comprenant 149 figures, relié . . . . . 15 fr.

### **Théorie du yacht.**

Théorie du yacht, par LOUIS MOISSENET, ingénieur au corps du Génie maritime. 1 volume in-18, avec 158 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

### **Navigation sous-marine.**

La navigation sous-marine. Généralités et historique. Théorie du sous-marin. Bateaux sous-marins modernes. La Guerre maritime, par MAURICE GAGET. 1 volume in-12, contenant 131 figures dans le texte. Relié. . . . . 10 fr.

### **Navigation sous-marine.**

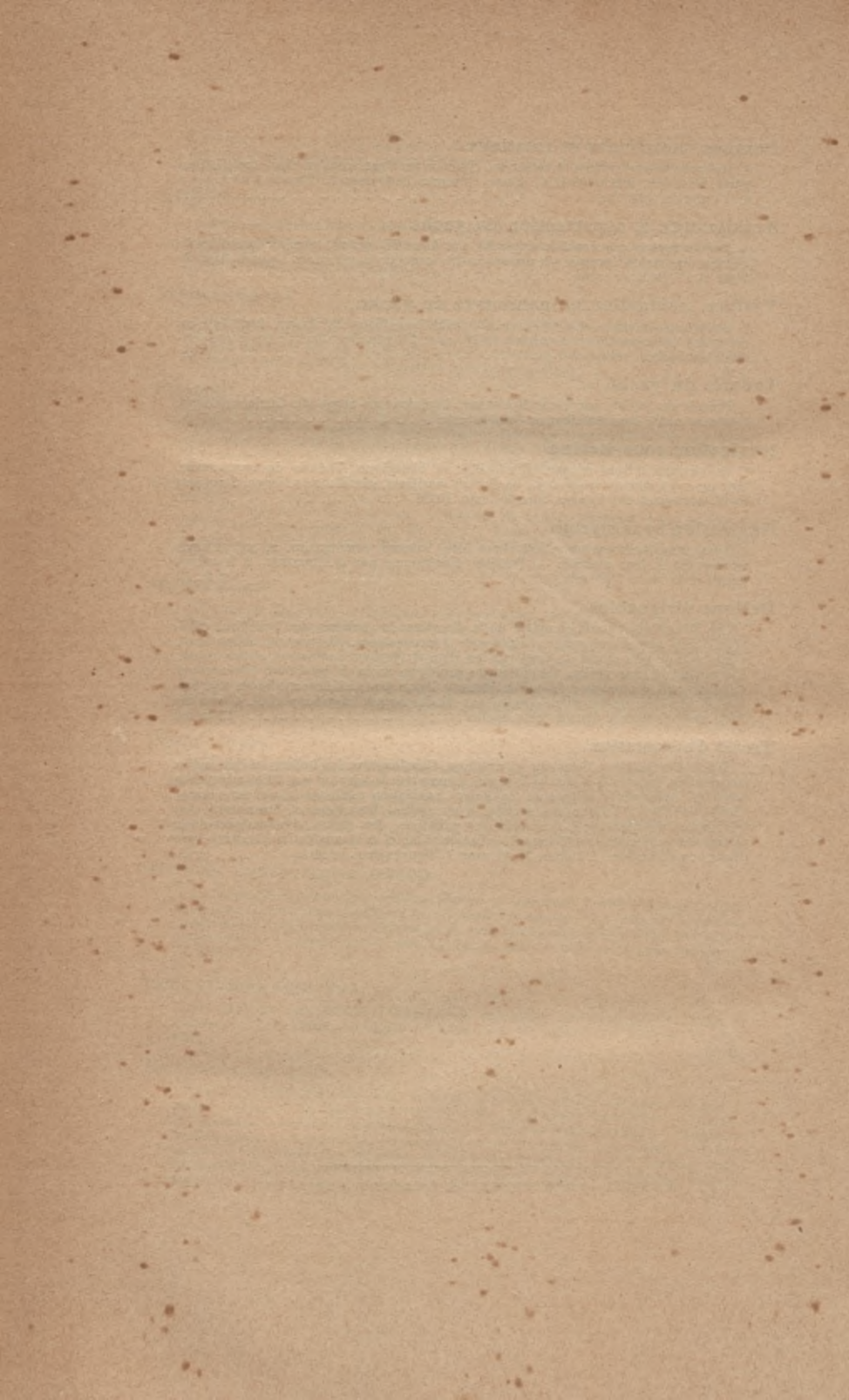
Navigation sous-marine. Historique des bateaux sous-marins et mécanismes nécessaires à leur marche. — Variétés électriques, par A. DESSAINT, 1 brochure grand in-8°, avec 7 planches . . . . . 2 fr. 50

### **Ballons dirigeables.**

Les dirigeables, étude complète de la direction des ballons, des tentatives réalisées et des projets nouveaux. Origines de l'aéronautique. Théorie du ballon libre. Construction d'un aérostat. Construction d'un dirigeable. Gonflement et lancement. Instruments d'observation. Condition du problème de la dirigeabilité. Résistance à l'avancement. Propulsion. Stabilité. Moteurs légers pouvant être appliqués aux ballons dirigeables. Dirigeables divers, par M.-H. ANDRÉ, ingénieur civil. 1 volume in-8° avec 98 figures dans le texte. Relié . . . . . 12 fr. 50

### **Traité d'aérostation.**

Traité d'aérostation théorique et pratique. Construction des ballons et des engins accessoires, appareils à gaz hydrogène, manœuvres à terre et en l'air, ascensions captives, appareils d'aérostation militaire, navigation aérienne avec aéroplanes. Guide complet à l'usage des sociétés d'aérostation françaises et étrangères, des aéronautes professionnels, des aéroliers militaires, des élèves, des amateurs et de toutes les personnes s'intéressant à l'aérostation et à la navigation aérienne, par HENRY DE CRAFFIGNY. 1 volume in-18 avec 77 figures dans le texte. . . . . 4 fr.











WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

5382

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299052