

EMPLOI DES ACCUMULATEURS
DÉTERMINATION DE LA
CAPACITÉ D'UNE BATTERIE
DEVANT ASSURER UN SERVICE DONNÉ
TYPE DE MARCHÉ
ET ESSAIS DE RÉCEPTION

PREMIÈRE PARTIE

EMPLOI D'UNE BATTERIE D'ACCUMULATEURS

On peut distinguer deux modes d'emploi principaux des accumulateurs, car on peut les utiliser comme :

- 1° Réservoirs d'énergie ;
 - 2° Tampons
-

CHAPITRE PREMIER

Emploi d'une batterie comme réservoir d'énergie

La batterie doit remplacer complètement la génératrice; ce genre de service est caractérisé par le fait que la batterie n'est mise en relation avec la dynamo génératrice que pendant la recharge, et ne fournit alors aucune énergie.

La batterie peut avoir à assurer un *service direct*, c'est-à-dire fournir du courant continu demandé; ou bien actionner un moteur à courant continu, et dans ce cas, elle assure un *service indirect*.

§ 1^{er}. — *Emploi d'une batterie comme réservoir direct d'énergie.*

Les emplois sont tellement nombreux qu'il serait même à peu près impossible de les énumérer tous; on peut distinguer les batteries servant pour les services *télégraphique* et *téléphonique*, pour les *laboratoires*, *l'allumage des moteurs à explosion*, *l'éclairage*, etc.

Pour la *télégraphie* il est plus avantageux d'employer une batterie qu'une pile primaire, surtout dans le cas de très longs câbles. Avec ceux-ci la capacité électrostatique a une grande importance car pour chaque signe émis, le câble doit se charger à nouveau. Comme la rapidité de la charge est d'autant plus grande que la résistance intérieure de la source est plus faible, on comprend que l'emploi d'une batterie d'accumulateurs dont la résistance intérieure est très faible est avantageux pour la vitesse de transmission.

Dans la *téléphonie* on emploie beaucoup les batteries dans les installations des postes centraux. On a également essayé de les utiliser chez les abonnés, mais on a dû y renoncer, la surveillance et l'entretien étant par trop difficiles

Dans les *laboratoires*, on utilise souvent des batteries de quelques éléments de capacité assez élevée permettant d'obtenir des courants d'une certaine intensité. On emploie également des batteries pour haute tension (plusieurs milliers de volts). Comme alors les intensités requises sont très faibles, la capacité d'une telle batterie peut n'être que de 0,25 à 0,30 A-h. environ ; pour cela, on peut employer des petits vases en verre que l'on dispose dans de la paraffine. Les électrodes sont deux par deux constituées par un ruban de plomb recourbé à ses extrémités, dont l'une forme l'électrode positive d'un élément tandis que l'autre constitue l'électrode négative de l'élément suivant. La connexion pour la mise en série de deux éléments successifs est donc assurée par la bande de plomb.

Pour l'*allumage* des moteurs d'explosion on emploie ordinairement deux éléments d'une dizaine d'A-h. de capacité, disposés en série de sorte que la tension moyenne est d'environ 4 v.

Batteries d'éclairage. — Comme à la décharge, la tension d'un élément peut varier en moyenne entre 2,10 v et 1,80 v, cette variation qui atteint 16,7 0 0, est trop forte pour que l'on puisse, dans le cas d'un éclairage de luxe, songer à employer des lampes à incandescence sans réglage. On peut, pour assurer ce réglage, soit employer un rhéostat, soit disposer des éléments de réduction.

Dans le cas d'emploi d'un rhéostat (qui peut au besoin agir automatiquement, étant commandé dans ce cas par un indicateur de tension) ; l'inconvénient est qu'une certaine quantité d'énergie est consommée inutilement dans ses résistances.

Dans le cas d'emploi des réducteurs (qui peuvent également être actionnés automatiquement), on n'a pas l'inconvénient d'une perte inutile d'énergie, mais lors de la charge, il faut avoir bien soin de n'intercaler les éléments de réduction dans le circuit que pendant le temps voulu, afin de ne pas les surcharger.

Si U est la tension normale au tableau, le nombre total N d'éléments de la batterie est donné par la relation $N = \frac{U}{1,80} = 0,56 U$, car on ne doit pas (pour une décharge au régime moyen) laisser tomber la

tension d'un élément au-dessous de 1,80 v. Au commencement de la décharge, alors que les éléments peuvent avoir une tension de 2,10 v, on doit disposer $N' = \frac{U}{2,10} = 0,48 U$ éléments en série, de sorte que le nombre d'éléments de réduction est :

$$N_r = N - N' = \frac{U}{1,80} - \frac{U}{2,10} = 0,08 U.$$

$$\frac{N_r}{N} = \frac{0,08}{0,56} = 0,143.$$

Le nombre des éléments de réduction est donc 14,3 0/0 du nombre total des éléments.

Le réducteur, ou insérateur, permet de placer plus ou moins d'éléments de réduction en série avec le corps de la batterie ; l'intercalation peut se faire soit élément par élément, soit par groupes d'éléments, suivant la variation de tension admissible pour les appareils d'utilisation.

Les extrémités des groupes d'éléments de réduction sont reliées au tableau par des câbles devant avoir une forte section (car le courant total doit pouvoir y circuler, et la chute de tension doit y être faible), de sorte qu'ils sont d'un prix élevé. On peut en réduire le nombre en employant des dispositifs suivants :

En Allemagne, on diminue parfois le nombre des éléments de réduction (et naturellement le nombre des connexions) en les disposant de manière à pouvoir les mettre soit en série avec le corps de la batterie, soit les placer en opposition.

Dans ce cas, la batterie entière comporte encore $N = 0,56 U$ éléments et si on désigne par x le nombre d'éléments de réduction, la tension du corps de la batterie au commencement de la décharge sera $(N - x) 2,10$ v, car à ce moment là on devra mettre en opposition les x éléments de réduction, qui auront une tension de 2,10 v. au moins (car ils se chargent) on aura donc :

$$(N - x) 2,10 - 2,10 x = U$$

$$0,56 U. 2,10 - 4,20 x = U$$

$$x = 0,042 U$$

On a donc à peu près la moitié moins d'éléments de réduction que dans le cas ordinaire, mais par contre ces éléments travaillent encore dans de plus mauvaises conditions ; il est presque impossible lors de la recharge de bien proportionner la quantité d'énergie à fournir à chaque élément de réduction, à la quantité qui a été débitée par lui.

On peut réduire le nombre des connexions de la batterie avec le tableau en employant le dispositif suivant, qui, cependant, a encore l'inconvénient de compliquer le service lors de la recharge.

On dispose à l'une des extrémités de la batterie (celle de gauche par exemple (fig. 1) n éléments de réduction reliés au tableau

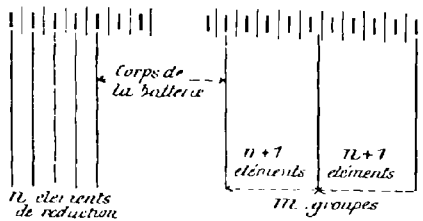


Fig. 1.

par $n + 1$ câbles ; puis on place le reste des éléments de réduction à l'autre extrémité de la batterie et on en forme m groupes de $n + 1$ éléments ; les extrémités de ces m groupes étant reliées au tableau par $m + 1$ câbles.

A chacune des extrémités de la batterie correspond un réducteur, celui de gauche permettant de retirer un à un les n éléments et celui de droite permettant de retirer un à un les m groupes de $n + 1$ éléments.

Quand on veut, par exemple, réduire le nombre des éléments en service, on commence par manœuvrer le réducteur de gauche, enlevant ainsi les éléments un à un. Quand on a retiré les n éléments et que l'on veut en retirer un de plus, on agit sur le réducteur de droite, retire d'un coup $n + 1$ éléments, en même temps qu'au moyen du réducteur de gauche on insère les n éléments de cette extrémité ; de sorte qu'en somme un élément est retiré lors de cette manœuvre.

A la charge, pour insérer les éléments un à un, on procède de la manière inverse. Il faut donc que quand on manœuvre le réducteur de droite, on manœuvre toujours en sens inverse et simultanément celui de gauche. Pour éviter toute fausse manœuvre, on peut enclencher les deux appareils entre eux.

Le nombre total des connexions avec le tableau est, à gauche, de $n + 1$, et à droite de $m + 1$, et on a, si M est le nombre total d'éléments de réduction :

$$m = \frac{M - n}{n + 1}$$

de sorte que le nombre total de connexions est :

$$n + 1 + m + 1 = n + \frac{M - n}{n + 1} + 2$$

la valeur de n rendant cette expression minimum est :

$$n = \sqrt{M + 1} - 1$$

On doit parfois donner à M une valeur un peu plus grande que celle absolument nécessaire afin que $\frac{M - n}{n + 1}$ soit un nombre entier.

Ainsi, par exemple, pour une batterie devant avoir 18 éléments de réduction, on a :

$$n = \sqrt{18 + 1} - 1 = 3, 36$$

de sorte que le nombre minimum de connexions a lieu pour $n = 3$ ou $n = 4$. Pour $n = 3$, afin que $\frac{M - 3}{4}$, soit un nombre entier, on doit prendre $M - 3 = 16$, c'est-à-dire en tout 19 éléments. Pour $n = 4$, il faut que $\frac{M - 4}{5}$ soit un nombre entier, c'est-à-dire qu'on doit prendre $M - 4 = 15$ ou en tout encore 19 éléments.

Le tableau suivant indique les diverses combinaisons possibles pour le cas où on doit avoir au moins 18 éléments de réduction.

Nombre d'éléments de réduction installés à gauche n	Nombre de groupes de $n + 1$ éléments installés à droite m	Nombre total d'éléments de réduction $n + m (n + 1)$	Nombre de connexions avec le tableau		
			à gauche	à droite	total
0	18	18	0	19	19
1	9	19	2	10	12
2	6	20	3	7	10
3	4	19	4	5	9
4	3	19	5	4	9
5	3	19	6	4	10
6	2	20	7	3	10
7	2	23	8	3	11
8	2	26	9	3	12

On voit donc bien, d'après ce tableau, que le minimum a lieu pour la valeur de n donnée par la relation indiquée.

Si on rechargeait une batterie (déchargée avec éléments de réduction), de manière que tous ces éléments restent en permanence dans le circuit de charge, on aurait le double inconvénient, d'abîmer les éléments de réduction en les surchargeant, et de dépenser inutilement de l'énergie. Donc, toutes les fois qu'à la recharge les éléments doivent être disposés tous dans le circuit, il faut régler lors de la décharge la tension aux lampes au moyen d'un rhéostat et abandonner le système d'éléments de réduction.

Dans le cas où une batterie doit assurer un éclairage, à la même tension que celle que donne la dynamo de charge (ce qui arrive, par exemple, lorsque la batterie doit éclairer un atelier pendant les heures d'arrêt de la dynamo génératrice), il faut prendre des dispositions spéciales pour assurer la charge.

En effet, pour que la batterie assure l'éclairage, il faut qu'à la fin de la décharge sa tension soit égale à celle de la dynamo de charge qui est U ; il faut donc avoir $N = \frac{U}{1,80} = 0,56 U$ éléments et comme en moyenne, à fin charge la tension d'un élément atteint 2,50 v la batterie avec tous ses éléments en tension aura fin charge une tension de $0,56 \times 2,50 \cdot U = 1,40 U$ v., donc supérieure à celle de la dynamo.

Si l'on veut maintenir lors de la charge tous les éléments en série dans le circuit, il faut utiliser un *survolteur* mis en série avec la batterie et pouvant donner une tension de $0,40 U$ v.

Ce survolteur S est mis en série avec la batterie dans un circuit branché aux bornes de la dynamo (fig. 2) ou entre les barres générales de distribution.

Si l'éclairage à assurer au moyen de la batterie est de peu d'importance,

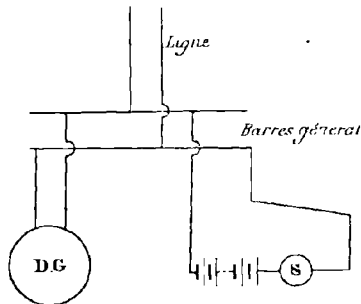


Fig. 2.

on hésite parfois à faire la dépense d'un survolteur, de sorte que l'on doit renoncer à disposer lors de la charge tous les éléments de la batterie en série.

La disposition la plus simple consiste à diviser lors de la charge la batterie en deux moitiés. A la fin de la charge, la tension aux bornes d'une demi-batterie est :

$$2,50 \cdot \frac{N}{2} = 2,50 \cdot \frac{0,56 u}{2} = 0,70 U$$

Il faut donc intercaler dans le circuit de charge de chacune des demi-batteries, un rhéostat qui à fin de charge absorbe encore, $U - 0,70 U = 0,30 U$ v., c'est-à-dire qu'une grande quantité d'énergie est dépensée inutilement.

Sous la tension U , on peut à fin charge avoir en série $\frac{N}{2,50} = 0,40 N$ éléments et comme $N = 0,56 U$, on peut changer la $\frac{0,40}{0,56} = 0,714$ partie des éléments de la batterie ; ce qui est à peu près égal aux $\frac{2}{3} = 0,667$ de celle-ci.

On peut donc diviser la batterie en trois parties 1, 2 et 3, donner la moitié de la charge totale aux éléments de la portion 1 et de la portion 2 mis en série, donner ensuite la moitié de la charge totale aux portions 1 et 3 et finir en fournissant une demi-charge totale aux éléments de 2 et de 3 en série.

Chaque élément de la batterie est alors complètement chargé, mais la charge doit être faite en trois phases, et on doit effectuer trois manœuvres.

M. Micka a fait breveter, en Allemagne, une disposition qui n'exige que deux phases et deux manœuvres pour la charge. Il partage également la batterie en trois portions égales, puis charge l'ensemble monté comme l'indique la fig. 3 (les portions 2 et 3 étant en pa-

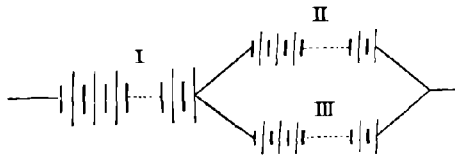


Fig. 3.

rallèle et mises en tension avec la portion 1); la charge fournie pendant cette phase est telle que la portion 1 est complètement chargée, et que les portions 2 et 3 ont reçu chacune la moitié de la charge.

Dans la seconde phase de la charge, les portions 2 et 3 sont disposées en série et reçoivent chacune la demi-charge complémentaire.

Aux chemins de fer de l'Etat français on a employé un dispositif qui permet de charger la batterie en une seule phase. Celle-ci devant avoir N éléments est formée par $\frac{2N}{3}$ éléments de capacité C , égale à celle que doit avoir de la batterie, et de $\frac{2N}{3}$ éléments de capacité $\frac{C}{2}$; lors de la décharge deux groupes de $\frac{N}{3}$ éléments de capacité $\frac{C}{2}$ sont mis parallèle (fig. 4) et placés en série avec les $\frac{2N}{3}$ éléments de capacité C , de sorte que l'ensemble est équivalent à une batterie de N

éléments de capacité C . A la charge (fig. 5), on dispose entre les barres générales deux groupes formés chacun de $\frac{2N}{3}$ éléments, l'un des groupes ayant une capacité C , l'autre une capacité $\frac{C}{2}$.

Quand on assure l'éclairage électrique de voitures de chemin de

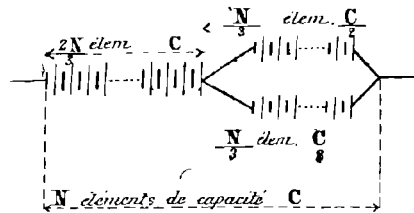


Fig. 4.

fer au moyen d'accumulateurs seuls, on emploie ordinairement des batteries de 16 éléments et des lampes dont la tension normale est de 30 v ; généralement ces batteries ne comportent pas d'éléments de réduction, afin que la charge puisse se faire facilement ; on règle au

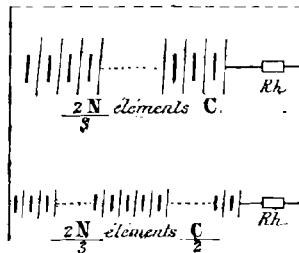


Fig. 5.

besoin la tension à la décharge à l'aide d'un rhéostat, qui peut être actionné automatiquement par un régulateur de tension.

On utilise beaucoup actuellement des petites batteries de 4 à 8 éléments pour l'éclairage des voitures de luxe ordinaires.

Les lampes de mineurs avec accumulateurs se répandent de plus en plus à cause de leur sécurité contre le grisou. Ces lampes sont généra-

lement constituées par une boîte en tôle galvanisée, contenant 2 éléments qui peuvent assurer l'éclairage d'une lampe à incandescence de une bougie environ, pendant 12 à 14 heures. Le filament de la lampe est placé dans une ampoule disposée dans une enveloppe en verre, de sorte qu'on a double sécurité pour empêcher le contact de l'air et du filament incandescent, et même dans certaines lampes, si le verre extérieur vient à se briser l'ampoule rentre automatiquement dans la caisse support. L'ensemble pèse de 1200 à 1500 grammes.

§ 2. — *Emploi d'une batterie comme réservoir indirect d'énergie.*

Les batteries ne sont guère employées comme réservoirs indirects d'énergie que dans le cas de traction, soit sur rails, soit sur route, soit par bateaux.

Traction sur rails. — On tend de plus à abandonner la traction des tramways par accumulateurs, car les résultats financiers d'un tel système de traction sont déplorables, aussi ne nous en occuperons-nous que sommairement.

La dépense d'énergie de la batterie est en moyenne de 30 à 45 w. h. par tonne kilomètre, et on peut :

1° Employer une batterie dont la capacité est suffisante, pour assurer le service pendant toute la journée et la recharger pendant la nuit tout en la laissant sur la voiture. Avec ce système la batterie devant avoir une grande capacité est très lourde et les frais de traction sont considérables.

2° La batterie peut être facilement retirée de la voiture et rechargée à poste fixe. Dans ce cas, elle est généralement suspendue au-dessous de la voiture.

Les tramways de Saint-Denis, sont munis de batteries du type Laurent-Cély, pesant 1700 kilogrammes et ayant 108 éléments, rechargées à poste fixe.

3° La batterie est rechargée sur la voiture, en quelques minutes à l'une des stations extrêmes.

Les tramways de la Madeleine sont dans ce cas, ils sont équipés au

moyen de batteries Tudor, de 200 éléments, de 60 a. pesant 3.620 kilogrammes, rechargées en 5 ou 10 minutes à l'extérieur de Paris. Dans ce cas les batteries peuvent être dissimulées sous les banquettes et si on ne veut pas que les gaz dégagés en abondance, lors des charges rapides, gênent les voyageurs, il faut disposer des conduites de ventilation, aboutissant au haut de la voiture.

4° On peut également n'avoir à assurer la traction par accumulateurs que sur une certaine partie du parcours, à l'intérieur d'une ville par exemple, la traction sur le restant du parcours étant assurée par une canalisation aérienne, que l'on utilise en même temps pour la charge de la batterie. Dans ce cas, la batterie doit avoir une tension élevée, et est très difficile à isoler, d'autant plus que pendant la charge un des pôles est à la terre.

Les tramways d'Aubervilliers à la Bastille qui emploient ce système sont munis de batteries de 224 éléments.

Quand les éléments sont placés sous les banquettes d'une voiture de tramway, la hauteur des plaques ne doit pas dépasser 35 c. m ; il y a avantage pour tous les éléments de traction à disposer les plaques parallèlement à la direction du mouvement, ce qui facilite la circulation de l'électrolyte.

Comme il a été dit, on tend de plus en plus, à abandonner la traction par accumulateurs sur rails ; cependant ce système peut être employé avec avantage pour les locomotives de manœuvre, dans le cas de chemins de fer électriques où il est parfois difficile de munir toutes les voies de garage de canalisations de distributions d'énergie électrique.

Traction sur routes. — Les voitures électriques tendent de plus en plus à se répandre, et dans toutes les grandes villes il se fonde des entreprises de voitures de place à traction électrique ; aussi la question présente-t-elle un assez grand intérêt et nous la traiterons plus en détail.

L'énergie que doit fournir une batterie pour automobile, se compose :

1° Du travail nécessaire pour donner à la masse la vitesse voulue, ce travail n'intervient que lors des démarrages et des augmentations de vitesse et peut du reste être récupéré en partie, lors du freinage.

2° Du travail nécessaire pour vaincre la résistance au roulement de la voiture et la résistance opposée par l'air.

3° Du travail perdu dans le moteur et sa transmission de mouvement aux roues.

L'énergie dépensée au démarrage est de $\frac{M v^2}{2}$ kgm, M étant la masse de la voiture et v la vitesse en m, par seconde.

La récupération consiste à faire lors du freinage, fonctionner (le ou les) moteur de la voiture comme génératrice et à lui faire charger la batterie. On ne peut récupérer toute l'énergie dépensée lors du démarrage, en premier lieu, par suite du rendement de la dynamo comme moteur et comme génératrice et en second lieu parce que la récupération ne peut s'effectuer au-dessous d'une certaine vitesse de la voiture.

Lors de la marche à une vitesse v en m à la seconde, si C est le coefficient de traction en kg par tonne, la puissance dépensée aux roues de la voiture par tonne est de $C v$ kgm : s.

Comme un kgm : s vaut 9,81 w, la puissance aux roues en watts est 9,81 C. v . et si V est la vitesse en km à l'heure comme on a, $v = \frac{V}{3,60}$, la puissance est $\frac{9,81}{3,60} \cdot C \cdot V = 2,725 C V$ w.

Naturellement la puissance aux bornes de la batterie est plus grande par suite des pertes dans le moteur et sa transmission. Le coefficient de traction dépend de la vitesse de la voiture ou plutôt de la vitesse relative de l'air et de la voiture, car la résistance de l'air croît à peu près comme le cube de la vitesse relative. Jusqu'à une vitesse de 20 km à l'heure environ, la résistance de l'air est pratiquement négligeable, mais quand on augmente la vitesse, l'augmentation du coefficient est très sensible, ainsi par exemple, pour une voiture à deux places, à une vitesse de 40 km à l'heure, le coefficient a une valeur à peu près double de celle qu'il a pour une vitesse de 20 km à l'heure.

Une autre cause de l'augmentation de la consommation d'une voiture avec la vitesse est le mauvais rendement du moteur, calculé généralement pour une vitesse moyenne, et qui à forte charge a un mauvais rendement.

Dans ses expériences sur la résistance au roulement des véhicules, Morin avait trouvé que le coefficient de traction sur une bonne

route est de 20 kg par tonne environ; mais les véhicules qui servaient lors des expériences de Morin, n'étaient pas munis de pneumatiques.

Avec des pneumatiques ou des caoutchoucs, le coefficient a une valeur inférieure, et, en outre, il est pratiquement indépendant de la nature de la chaussée, pavage, asphalte, macadam, etc. Ce coefficient augmente cependant quand il y a de la boue. Sur une voie pavée, sèche, horizontale et à une vitesse inférieure à 20 km, le coefficient de traction est de 15 à 16 kg par tonne, pour une voiture munie de pneumatiques.

La puissance aux bornes de la batterie est donc $\frac{2,725}{\eta}$ C. V. w par tonne, η étant le rendement du moteur et de la transmission.

La dépense d'énergie par heure est $\frac{2,725}{\eta}$ C V w. h, de sorte que comme le chemin parcouru en une heure est de V km, la dépense d'énergie par tonne-kilomètre est $\frac{2,725}{\eta}$ C w. h.

Avec une bonne chaussée en palier on a $C = 16$, et $\eta = 0,80$ de sorte que la dépense d'énergie par tonne km est d'environ 50 wh (pour une bonne voiture munie de pneumatiques). Une très bonne voiture conduite par un conducteur expérimenté peut ne consommer que 60 à 65 wh en moyenne par tonne km, mais ordinairement on fera bien de compter sur une consommation d'énergie plus élevée, c'est-à-dire sur 75 wh à la tonne km en moyenne.

La batterie d'une voiture comportant ordinairement 44 éléments (afin de pouvoir être chargée à la tension ordinaire de 110 v), la tension moyenne à la décharge est d'environ 85 v, aussi a-t-on souvent indiqué la règle approchée suivante: La capacité d'une batterie de voiture doit être de un a-h par tonne km (ce qui correspond à une consommation de 85 w-h par tonne km).

On peut compter pour la charge d'une batterie, par suite de rendement, environ un hecto-w-h par tonne km, de sorte que si le prix du kw-h. est c, la dépense pour la fourniture du courant, est 0,10 c par tonne km.

D'après les résultats des concours et des essais de l'Automobile-Club, la dépense pour l'entretien d'une batterie d'une voiture pesant

1,8 tonnes, et parcourant environ 80 km avec une seule charge est de 4 francs par jour, lorsque la batterie a une énergie massique de 20 wh au kg, ce qui fait ressortir à environ 2,8 centimes le prix d'entretien d'une telle batterie par tonne km.

L'entretien de la voiture, pneumatiques compris, revient à environ 3 centimes par tonne km. Le prix de revient d'une voiture de luxe électrique par tonne km, à Paris où l'énergie est à 30 centimes le kw-h est donc :

$$C = 2,8 + 3 + 3 = 8,8 \text{ centimes}$$

pour l'entretien et la consommation d'énergie.

Au point de vue du parcours total que peut accomplir une voiture d'un poids donné, il y a naturellement avantage à employer une batterie dont l'énergie massique soit aussi élevée que possible.

Il n'en est pas de même au point de vue des dépenses, car si d'une part celles relatives au courant et à l'entretien de la voiture diminuent avec l'augmentation de la capacité massique (le poids de la batterie à transporter diminuant), d'autre part le prix d'entretien de la batterie augmente. Il y a donc dans chaque cas une capacité massique donnant une dépense totale minimum.

Ainsi que l'a indiqué M. le Dr Sihl, directeur de la fabrique d'accumulateurs Hagen, à Kalk, près Cologne, la dépense pour l'entretien d'une batterie par tonne km. est à peu près proportionnelle à l'énergie massique de ses éléments; nous la représenterons par $a \omega_m$, a étant une constante qui est égale au prix d'entretien par tonne km pour une énergie massique donnée, divisé par cette énergie, et ω_m l'énergie massique cherchée.

Soit ω_b la dépense d'énergie de la voiture par tonne km, l la distance en km à parcourir, et b la dépense d'entretien par tonne km pour la voiture elle-même. Si M_t est le poids total de la voiture en kg, ce poids est composé d'une partie constante qui est celui de la charge, de la carrosserie et d'une portion du châssis, et d'une partie proportionnelle au poids de la batterie, qui comporte en premier lieu le poids de cette dernière et en outre le poids de la portion du châssis à renforcer

pour qu'il puisse porter la batterie. Si M_b est le poids en kg de la batterie on aura : $M_t = A + n M_b$, n étant un coefficient (au moins égal à l'unité car il tient compte du poids de la batterie).

Le nombre de tonnes km, parcourus avec une charge est :

$$\frac{M_t}{1000} l,$$

et la dépense pour l'entretien de la voiture et pour la fourniture de l'énergie est :

$$\frac{M_t}{1000} l b$$

La dépense pour l'entretien de la batterie est :

$$\frac{M_t}{1000} l a \omega_m$$

de sorte que la dépense totale est :

$$\frac{M_t l}{1000} (a \omega_m + b)$$

quantité qu'il faut rendre minimum.

La quantité d'énergie que la batterie doit emmagasiner est :

$$\frac{M_t}{1000} l \omega_l;$$

si son poids est M_b et son énergie massique au kg ω_m , son énergie totale est $M_b \omega_m$, on aura donc :

$$\frac{M_t}{1000} l \omega_l = M_b \omega_m,$$

et comme :

$$M_t = A + n M_b,$$

la dépense totale est : $A \cdot \frac{a \omega_m^2 + b \omega_m}{1000 \omega_m - n l \omega_l}$, et la valeur de ω_m , c'est-à-dire de l'énergie massique rendant la dépense minimum est donnée par la relation :

$$\omega_m = \frac{n l \omega_l}{1000} + \frac{1}{1000 a} \sqrt{a n l \omega_l (1000 b + a n l \omega_l)}$$

Pour une voiture de luxe, nous avons vu que l'entretien de la batterie revient à 2,8 centimes par tonne km pour une capacité massique de 20 w. h., on a donc $a = \frac{2,8}{20} = 0,14$; à Paris, b le prix de l'énergie et de l'entretien de la voiture est de 6 centimes $b = 6$, l la longueur du parcours est de 80 km environ. $w_l = 75$ wh on peut admettre $n = 1,5$ (c'est-à-dire que le poids nécessaire pour le renforcement du châssis est égal à la moitié de celui de la batterie); en prenant ces valeurs, on a :

$$\omega_m = 9,00 + 21,50 = 30,50 \text{ wh.}$$

On est arrivé en pratique à obtenir des accumulateurs au plomb ayant une énergie massique bien supérieure.

Il est intéressant de voir quelle influence a le prix de l'entretien de la batterie, supposons-le d'abord double, c'est-à-dire, $a = 0,28$, on trouve : $w_m = 25,36$ wh; si on suppose au contraire ce prix réduit de moitié, c'est-à-dire $a = 0,07$, on a $w_m = 38,1$ wh.

Pour se rendre compte de l'importance du prix de revient de l'énergie, supposons que le kw-h revienne à 10 cm, on a alors $b = 4$ centimes, et $w_m = 18$ w. h.

Pour un camion, la dépense moyenne d'énergie par tonne km peut être estimée à 90 wh, le nombre de km parcourus de 50 ($l = 50$); le prix d'entretien est moins élevé, supposons-le de 1,5 centime par tonne km, le prix de l'énergie étant de 30 centimes le kw, c'est-à-dire d'environ 3,5 cm, par tonne km à la charge, de sorte que $b = 5$, on peut prendre $n = 1$, et l'on arrive avec $a = 0,14$ à :

$$\omega_m = 17,9 \text{ wh.}$$

On voit donc qu'une batterie pour la traction d'un camion peut avoir une énergie massique de beaucoup inférieure à celle d'une batterie pour traction d'un fiacre.

Traction des bateaux. — La traction électrique des bateaux peut être assurée soit par du courant fourni, soit au moyen de conduc-

teurs aériens, soit au moyen d'une batterie d'accumulateurs ; dans ce dernier cas, le bateau n'est pas tenu de suivre toujours la même route. On emploie beaucoup la traction par accumulateurs pour les bateaux de plaisance et pour les sous-marins.

La batterie comporte ordinairement de 40 à 80 éléments, qui peuvent au besoin même avoir des bacs en verre et sont disposés soit dans l'entrepont, soit sous les sièges.

La plupart du temps, le (ou les) moteur attaque directement l'arbre de l'hélice, on n'utilise que très rarement une transmission par engrenages. Afin d'obtenir un bon rendement de l'hélice, il convient de ne pas dépasser normalement une vitesse angulaire de 600 t. m. Les moteurs munis de paliers à billes doivent être d'une forme aussi plate que possible, afin de pouvoir être facilement disposés dans l'entrepont du bateau, il est essentiel, qu'à cause de l'humidité, le collecteur soit isolé au mica ; l'enroulement est en tambour et l'induit denté.

Les moteurs de bateaux sont le plus généralement à excitation série. Afin de pouvoir faire varier dans de grandes limites la vitesse angulaire des moteurs, on divise parfois la batterie en deux ou quatre parties, que l'on dispose soit en série, soit en parallèle, mais on tend à abandonner ce système (il en est de même pour les batteries de voitures), car lors de la décharge en parallèle, les diverses portions de la batterie peuvent avoir des débits inégaux, de sorte qu'il en résulte des différences d'usures des divers éléments. On peut régler la vitesse, soit en intercalant des résistances dans le circuit, soit en partageant l'enroulement série en diverses portions, parcourues ou non par le courant, soit encore en disposant dans le cas de deux moteurs ceux-ci, soit en série, soit en parallèle. Toutes ces combinaisons sont réalisées à l'aide d'un combinateur placé à proximité du pilote, où sont généralement installés les appareils de mesure.

La capacité d'une batterie pour traction de bateau dépend, dans de grandes proportions, de la vitesse. La maison Hagen, de Kalk, près Cologne, donne les renseignements contenus dans le tableau suivant, au sujet des accumulateurs pour bateaux qu'elle fabrique :

Nombre de personnes à transporter.....	{	6	8	11	15	20	25	30	50	80
Puissance nécessaire en chevaux (300 w. à la batterie)	{	1	2	3.33	5	5.5	6.67	7	11.67	18
Vitesse en km. à l'heure.....	{	7.5	8.5	10	11	11.3	11.5	12	13	14.5
Durée de la course par charge.....	{	4	4	5	5	5.5	5	5	5	3
Nombre d'éléments...	{	40	40	40	40	40	80	80	80	80
Intensité du courant de décharge a	{	12	24	40	60	70	40	50	70	80
Capacité en a. h	{	48	96	200	300	350	200	250	350	400

Upperborn, dans son aide-mémoire, donne les renseignements suivants sur un bateau de plaisance à accumulateurs :

Longueur sur le pont.	19.5 m.
Longueur à la ligne de flottaison	17.75 m.
Largeur maximum (pont).	2.80 m.
Profondeur d'immersion (y compris 60 mm. de quille)	0.885 m.
Déplacement	1.75 tonnes.
1 ^{re} hélice de 400 m. m. de diamètre et 400 m. m. de pas.	
2 ^e hélice de 400 m. m. de diamètre et 450 m. m. de pas.	

La batterie comporte 80 éléments, avec bacs en ébonite, d'une capacité de 450 a. h. au régime de décharge en 5 heures. L'intensité maximum du courant de charge est de 150 a.

L'électromoteur a une puissance maximum de 60 chevaux et est directement couplé à l'arbre des hélices, qui sont montées l'une derrière l'autre. L'équipement électrique complet pèse neuf tonnes. Le combinateur comporte six positions pour la marche avant et deux pour la marche arrière. Les diverses combinaisons sont indiquées ci-après :

- Position I. — Batterie en deux parties en parallèle, toutes les bobines d'excitation du moteur en série
- Position II. — Batterie en deux parties, les bobines d'excitation et aspirées en deux séries mises en paral èle.
- Position III. — Batterie en deux parties, toutes les bobines en parallèle.
- Position IV. — Tous les éléments de la batterie en série. Bobines en série.
- Position V. — Tous les éléments de la batterie en série. Bobines en deux séries parallèles.
- Position VI. — Tous les éléments en série Bobines en parallèle.

Les vitesses et les durées de parcours sont indiquées dans le tableau suivant :

Positions du combinateur.	I	II	III	IV	V	VI
Intensité du courant.....	72	— 112	— 182	— 120	— 172	— 264
Vitesse en t : m	532	— 630	— 745	— 794	— 890	— 1012
Chevaux effectifs.	6,2	— 9,6	— 15,3	— 20,2	— 28,6	— 44
Vitesse en km heure.....	9,8	— 11,7	— 13	— 13,7	— 15	— 17
Durée de parcours-heures..	16	— 10	— 5	— 3,25	— 1,75	— 1,0

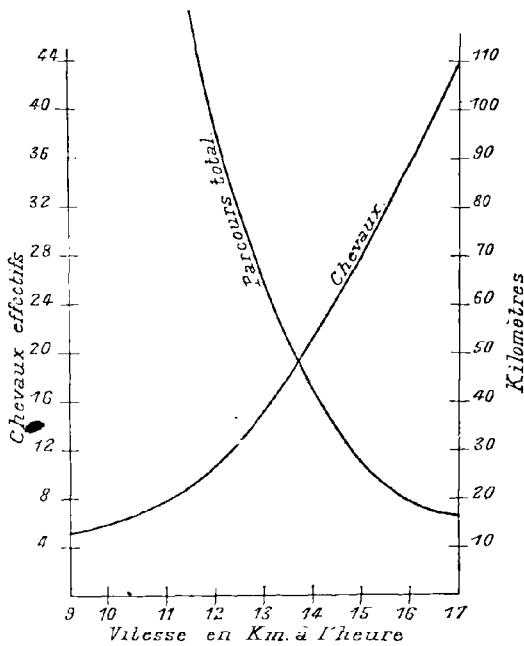


Fig. 6.

On voit donc que quand la vitesse augmente d'un peu moins du double (de 9,8 à 17 km : h), la vitesse effective absorbée augmente dans un rapport de plus de 7, et que la durée du parcours baisse dans la proportion de 16 à 1, et que le parcours diminue dans la proportion de 9 à 1 (il passe de 156,8 km à 17 km). Les courbes de la fig. 6 montrent bien nettement l'influence de la vitesse.

Les frais d'équipement d'un bateau électrique sont de beaucoup plus élevés que ceux d'un bateau à essence ou à pétrole, mais les frais d'entretien et d'exploitation le sont certainement moins. Quand le courant est fourni par une centrale ou une usine particulière, les frais de traction proprement dits, ne sont pas plus élevés que ceux d'un bateau à vapeur.

Les frais de personnel sont beaucoup moindres que dans le cas d'un bateau à vapeur, car un bateau électrique peut être facilement conduit par un seul homme; en outre, un moteur électrique exige peu de graissage et de réparations.

CHAPITRE II

Emploi d'une batterie comme tampon

Dans le cas de tamponnage, la batterie est en relation avec le moteur primaire pendant tout le temps ou au moins pendant la plus grande partie du temps du fonctionnement de l'installation, de sorte qu'elle se charge pendant les périodes où la demande de puissance est faible et qu'elle vient au contraire en aide au moteur primaire, pendant les périodes de forte demande d'énergie.

Comme dans le cas de tamponnage, le moteur primaire a une charge beaucoup plus uniforme que dans le cas de non tamponnage, son fonctionnement peut être plus économique. En outre, la batterie de tampon peut servir par moments de réservoir, de sorte que la durée de marche du moteur peut être diminuée.

L'emploi d'une batterie tampon se justifie, malgré son prix de revient assez élevé et les dépenses d'entretien considérables qu'elle occasionne, dans le cas d'un moteur thermique, principalement, quand les génératrices ne peuvent supporter des à coups de charge sans chauffer fortement, de sorte que l'on est alors obligé d'employer des machines de très grande puissance qui, fonctionnant à faible charge, ont un très mauvais rendement.

Dans le cas d'une chute d'eau, l'installation d'un tamponnage permet l'utilisation beaucoup plus rationnelle de l'énergie de cette chute, ainsi que l'exemple simple suivant le fait voir.

Supposons une chute d'une puissance de 100 chevaux desservant une fabrique qui utilise une puissance constante pendant 10 heures par jour. Si on n'a pas de tamponnage, la chute fournira à la fabrique une énergie de $10 \times 100 = 1000$ chevaux-heures. Si au contraire on a installé une batterie-tampon, on pourra emmagasiner l'énergie fournie par la chute pendant les 14 heures de non fonctionnement de l'usine,

c'est-à-dire $14 \times 100 = 1400$ chevaux-heures ; en supposant un rendement de 50 0 0 pour l'installation de tamponnage (ce qui est un minimum) on pourra fournir à la fabrique pendant ses dix heures de marche une énergie de $1000 + \frac{1400}{2} = 1700$ chevaux-heures, soit une puissance moyenne de 170 chevaux au lieu de 100 chevaux.

Naturellement dans chaque cas, on doit étudier quel est le plus avantageux d'une installation de tamponnage électrique ou hydraulique ; en général le tamponnage électrique a l'avantage d'être plus économique comme frais de premier établissement, mais l'entretien est beaucoup plus coûteux.

Le tamponnage peut être *direct*, dans ce cas-là la distribution d'énergie a lieu à courant continu à une tension correspondant à celle de la batterie. Dans le tamponnage *indirect*, on peut distinguer le cas où l'énergie est distribuée électriquement et le cas de tamponnage d'une installation mécanique (qui n'est guère employé que pour les voitures automobiles).

§ 1^{er}. — *Tamponnage direct.*

En disposant en parallèle avec la génératrice (fig. 7), une batterie d'accumulateurs, cette dernière joue le rôle de tampon.

Pour une certaine charge de la dynamo, la tension de celle-ci équilibre celle de la batterie de sorte qu'il n'y a ni charge ni décharge. Quand la demande d'énergie croît, l'intensité du courant fourni par la dynamo augmente et par suite de la réaction d'induit ou de la diminution de vitesse du moteur la tension baisse et la batterie se décharge sur la ligne et vient en aide à la dynamo ; quand au contraire le courant demandé diminue, la tension de la dynamo augmente et la batterie se charge.

Il y a donc intérêt à employer une batterie pour laquelle la différence entre la tension à la charge et la tension à la décharge est aussi faible que possible ; naturellement cette différence dépend de l'état de charge ou de décharge de

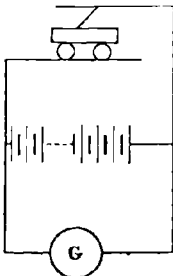


Fig. 7.

la batterie, mais toutes choses égales d'ailleurs elle est d'autant plus faible que la résistance intérieure de cette batterie est moins élevée, c'est-à-dire que la capacité de la batterie est plus grande.

Cette différence ne dépend pas seulement de la résistance intérieure de la batterie, elle dépend, en outre, naturellement, des intensités des courants, et de la durée de la charge ou de la décharge ; plus cette durée est grande, plus la différence est élevée (dans les calculs, on admet généralement la différence mesurée deux minutes après que le courant a changé de sens). Si l'on divise la variation de tension par la variation di_a de l'intensité du courant qui la provoque, on obtient la résistance apparente de la batterie r_a .

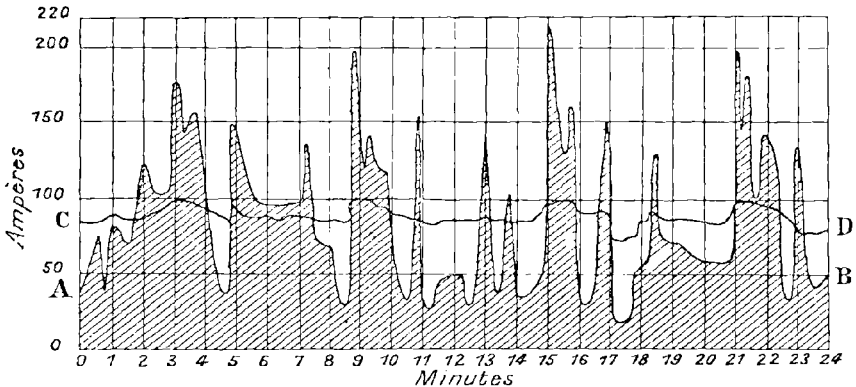


Fig. 8.

Plus les variations de tension de la dynamo avec la charge sont grandes, plus facile est l'action régulatrice de la batterie. La variation de tension aux bornes de la dynamo dépend à la fois de la réaction d'induit de cette dernière et de la diminution de la vitesse du moteur avec la charge. Si l'on divise cette variation de tension du dynamo par la variation $d.i_d$ du courant qui l'a produit, on obtient la résistance apparente de la dynamo r_d , et on doit avoir :

$$d.i_a \cdot r_a = d.i_d \cdot r_d \text{ ou } \frac{d.i_a}{d.i_d} = \frac{r_d}{r_a}$$

Les variations sont indiquées par les divers fournisseurs.

La variation de tension entre la charge et la décharge d'un élément

peut être inférieure à 0,10 v. de sorte que la variation de tension, la tension moyenne étant de 2 v, peut être inférieure à 10 0/0. Ce système, excellent dans le cas de traction, ne peut convenir dans le cas d'éclairage, la régularisation de la tension n'étant pas toujours suffisante.

La première installation de tamponnage en Europe, a été faite sur la ligne de Zurich-Hirslanden, d'une longueur de 4,5 km.; la courbe AB (fig. 8) indique la consommation de courant aux voitures, de sorte que la surface rayée est proportionnelle à la consommation en ampères-minutes; on remarque sur la courbe l'influence des départs qui ont lieu toutes les 6 minutes. La ligne CD donne le débit de la dynamo et montre bien l'influence du tamponnage: ce débit varie de 72 à 102 a. et même en général, l'intensité oscille seulement entre 85 et 90 a. (la consommation variant entre 20 et 210 a.).

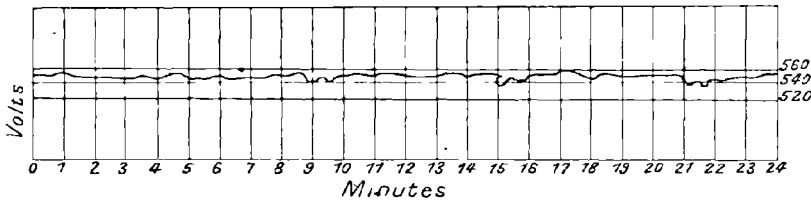


Fig. 9.

La courbe de la figure 9 donne les variations de la tension qui oscille entre 535 et 560 v.; comme la batterie comporte 270 éléments, la variation est inférieure à 0,10 v. par élément. Cette installation faite en 1894 a donné d'excellents résultats financiers, et en quatre ans, par suite de l'économie de charbon, on a pu amortir les frais de l'installation supplémentaire; de plus la sécurité a été augmentée car la batterie représente en somme une installation de secours de 100 chevaux. A partir de cette époque, l'emploi de batteries-tampous pour le service des tramways a pris une grande extension.

On peut obtenir une meilleure régulation en disposant dans le circuit de la batterie l'induit d'une dynamo (1), dont les variations de tension

1. Cette dynamo, que l'on peut désigner sous le nom de dynamo de batterie, est actionnée par le moteur de l'installation ou par un moteur auxiliaire, mais toujours à vitesse à peu près constante.

en provoquent au besoin la charge ou la décharge. Quand la tension de cette dynamo a le même sens que la tension du réseau, on dit qu'elle fonctionne comme *survoltrice* ; dans le cas où elle donne une tension de même sens que celle de la batterie, elle agit comme *dévoltrice*. La dynamo peut, soit survolter constamment, soit dévolter toujours, soit dévolter et survolter alternativement.

Quand la dynamo de batterie agit tout le temps comme survoltrice, il faut que pour la charge moyenne du réseau, sa tension ajoutée à la tension normale entre les barres équilibre la tension de la batterie, de manière qu'il n'y ait alors ni charge ni décharge. Quand la charge du réseau a une valeur inférieure à la moyenne, la tension de la dynamo de batterie doit augmenter de manière à ce que la batterie se charge. Quand, au contraire, la charge du réseau a une valeur supérieure à la moyenne, la tension de la dynamo de batterie doit baisser de manière que la batterie se décharge et vienne en aide à la dynamo génératrice.

Quand la dynamo agit constamment comme *dévoltrice*, sa tension doit baisser lorsque la charge du réseau est inférieure à la moyenne, et augmenter au contraire pour une charge du réseau supérieure à la moyenne

Quand la dynamo fonctionne alternativement comme survoltrice et comme dévoltrice, sa tension doit être nulle pour la charge moyenne du réseau, s'ajouter à la tension entre barres pour le cas où la charge du réseau est inférieure à la moyenne, s'ajouter au contraire à celle de la batterie dans le cas où la charge du réseau est supérieure à la moyenne.

Pour que le réglage soit sensible, il faut que les variations de charge du réseau qui se traduisent par des variations d'excitation de la dynamo, donnent lieu à des variations aussi grandes que possible de la tension de la dynamo, et cela n'a lieu que pour une dynamo à circuit inducteur, très faiblement saturé.

Une dynamo fonctionnant alternativement comme survoltrice et comme dévoltrice, c'est-à-dire à tension relativement faible, tantôt positive et tantôt négative, est donc préférable à une dynamo donnant une tension toujours de même sens.

Une telle dynamo doit être construite en vue de la circulation des courants intenses de la batterie, de sorte que son enroulement, son collecteur et ses balais doivent avoir de grandes sections. Quand la dynamo doit fonctionner comme survoltrice-dévoltrice, c'est-à-dire quand le courant doit pouvoir y changer de sens, il est bon pour éviter la production d'étincelles au collecteur de la munir de pôles auxiliaires excités par le courant de la batterie ou par une dérivation de ce courant.

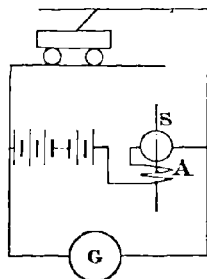


Fig. 10.

Les circuits d'excitation de la dynamo de batterie peuvent être disposés de l'une des manières suivantes :

1° En série avec la batterie (fig. 10) de sorte que le circuit est parcouru par le courant de charge ou de décharge de la batterie, c'est-à-dire par un courant dirigé tantôt dans un sens, tantôt de l'autre. Le courant de charge doit agir de manière à rendre la dynamo survoltrice et le courant de décharge de manière à ce que cette dynamo dévolte.

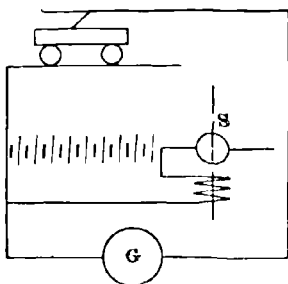


Fig. 11.

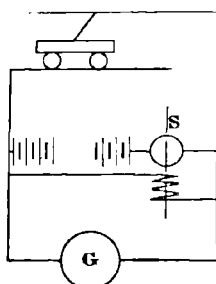


Fig. 12.

2° Entre les bornes de la batterie (fig. 11), dans ce cas suivant que la batterie se charge ou se décharge, la tension aux bornes de ce circuit augmente ou diminue, afin d'aider à la charge et à la décharge de la batterie cette excitation doit agir de manière à rendre la dynamo survoltrice.

3° Entre les barres générales (fig. 12). La tension aux bornes de ce circuit reste fixe dans le cas de distribution à tension constante et diminue au fur et à mesure que la charge du réseau augmente si la

dynamo génératrice n'est pas compoundée. Un tel circuit d'excitation doit agir de manière à rendre la dynamo de batterie survoltrice.

4° En série sur la ligne (fig. 13) ou de manière à être parcouru par

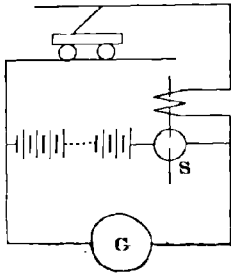


Fig. 13.

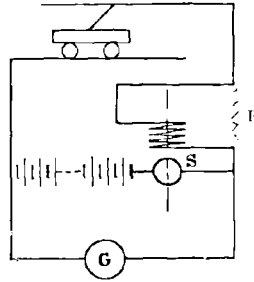


Fig. 14.

une dérivation du courant de ligne (fig. 14). Comme quand la charge en ligne augmente l'intensité du courant d'excitation augmente, celui-ci doit agir de manière à rendre la dynamo dévoltrice.

5° En série avec la dynamo principale génératrice (fig. 15) ou de manière à être parcouru par une dérivation du courant de cette dynamo

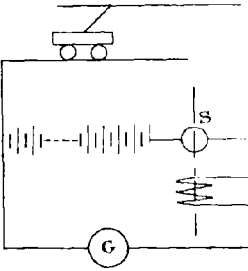


Fig. 15.

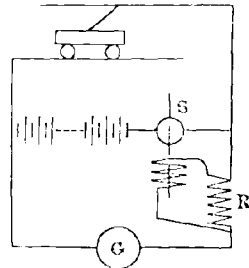


Fig. 16.

génératrice (fig. 16) ; le circuit d'excitation pour les mêmes raisons que celles indiquées ci-dessus doit agir de manière à rendre la dynamo dévoltrice.

La dynamo de batterie peut être à excitation simple ou à excitation composée.

a) *Dynamo de batterie à excitation simple.*

Le circuit d'excitation unique de la dynamo peut être branché ainsi qu'il a été indiqué ci dessus (fig. 10 à 16).

Dans le cas où ce circuit est parcouru par le courant de la batterie (fig. 10) la dynamo de batterie est en somme tout simplement une dynamo série. Cette dynamo a une tension nulle lors de la charge moyenne du réseau, fonctionne comme dévoltrice dans le cas où la charge du réseau dépasse la moyenne, et comme survoltrice dans le cas contraire. Ce dispositif n'agit que quand il y a déjà variation de tension, son seul avantage est que le réglage est beaucoup plus rapide que dans le cas d'emploi d'une batterie seule.

Quand la dynamo de batterie est excitée par une dérivation de la batterie (fig. 11), elle agit toujours comme survoltrice ; pour la charge moyenne du réseau, sa tension ajoutée à la tension moyenne entre barres équilibre celle de la batterie. Quand par suite de forte charge du réseau, la batterie se décharge sur la ligne, la tension de la survoltrice baisse, ce qui accélère la décharge de la batterie, de sorte que ce dispositif n'agit que quand la tension a déjà varié.

Si le circuit d'excitation de la dynamo de batterie est branché entre les barres générales (fig. 12), cette dernière est toujours survoltrice. Pour une charge moyenne correspondant à une tension moyenne entre bornes, la tension de la survoltrice ajoutée à celle du réseau équilibre la tension de la batterie.

Dans le cas où la charge du réseau augmente, la tension entre barres diminue, ainsi que l'excitation de la survoltrice, de sorte que la batterie se décharge. Quand la charge du réseau est inférieure à la moyenne, les phénomènes inverses se produisent et la batterie se charge.

Quand le circuit d'excitation de la dynamo de charge est parcouru par le courant de ligne (fig. 13) ou par le courant de la dynamo génératrice (fig. 15) ou encore par une dérivation de l'un de ces courants (fig. 14 et 16) cette dynamo agit comme dévoltrice. Pour la charge moyenne du réseau la tension de la batterie ajoutée à celle de la dévoltrice équilibre la tension aux barres (qui peut être constante), quand

la charge du réseau augmente la tension de la dévoltrice augmente et la batterie se décharge, etc...

Quand la dynamo de charge est excitée par un circuit branché aux bornes de la batterie (fig. 11) ou aux bornes des barres (fig. 12), le nombre d'éléments de la batterie doit être plus grand que celui correspondant à la tension normale en ligne, on n'emploie du reste pas de telles dispositions dans la pratique. Quand la dynamo de charge est excitée soit par le courant de ligne (fig. 13), soit par le courant de la dynamo génératrice (fig. 15), soit par une dérivation de l'un de ces courants (fig. 14 et 16), le nombre des éléments de la batterie est inférieur à celui qui correspond à la tension normale du réseau. Le dispositif de la figure 14 a été breveté en 1889 en Amérique par un français nommé Mailloux.

Quand l'excitation de la dynamo de la batterie est composée, elle peut être à *circuit unique différentiel* ou à *circuits multiples*.

b) *Dynamo de batterie à circuit d'excitation unique différentiel.*

Le circuit d'excitation est alors branché, comme l'indique l'une des figures 11 à 16, c'est-à-dire qu'il est disposé soit en parallèle (fig. 11

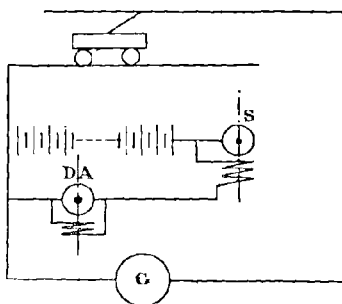


Fig. 17.

et 12), soit en série (fig. 13 à 16) et une dynamo auxiliaire agit dans ce circuit.

La dynamo auxiliaire peut être à tension constante ou à peu près constante, c'est-à-dire excitée en dérivation ou compoundée, et dans ce

cas elle fait équilibre pour la charge moyenne du réseau à la tension du circuit, de sorte qu'à ce moment la dynamo de batterie a une tension nulle. Si le circuit est branché en tension, la dynamo auxiliaire dévolte, si au contraire le circuit est branché en série la dynamo auxiliaire survolte. Dans le système Highfield (fig. 17), la dynamo auxiliaire dévolte.

La dynamo auxiliaire peut être excitée par un circuit branché en parallèle comme ceux des figures 11 et 12 ou branchée en série comme ceux des figures 13 à 16. Dans ce cas, le circuit d'excitation est branché d'une manière différente, c'est-à-dire en série ou en parallèle, de sorte que le circuit agit de manière à faire dévolter ou survolter la dynamo

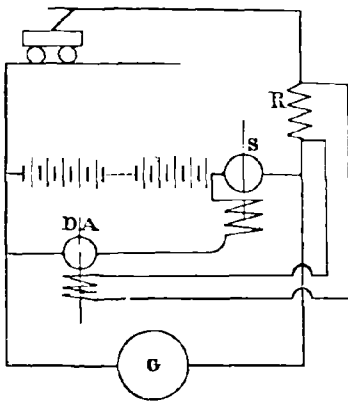


Fig. 18.

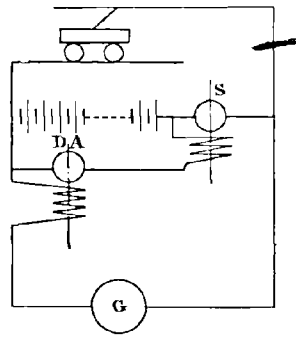


Fig. 19.

de batterie, tandis que celui de la dynamo auxiliaire agit en sens inverse. Pour la charge moyenne du réseau ces excitations doivent s'équilibrer. Le système représenté (fig. 18) a été breveté par M. Chamberlain, et le système représenté (fig. 19) a été proposé par le regretté Liebenow, lors d'une conférence à la Société électrotechnique de Dresde.

On peut également considérer le système *Thury* comme appartenant à la catégorie des systèmes à circuit excitation unique.

Dans ce système le circuit d'excitation du survolteur-dévolteur est

branché entre les barres générales et un appareil régulateur peut y provoquer la variation et l'inversion du courant (fig. 20).

Le régulateur est actionné par l'intermédiaire d'un voltmètre à contacts qui peut être branché soit entre les barres générales, soit aux bornes d'une résistance al intercalée dans la ligne, comme l'indique la figure.

Quand la tension aux barres a la valeur normale, ou que la charge du réseau a sa valeur moyenne, l'aiguille du voltmètre ne ferme aucun contact. Quand la tension du voltmètre dépasse la valeur normale, un

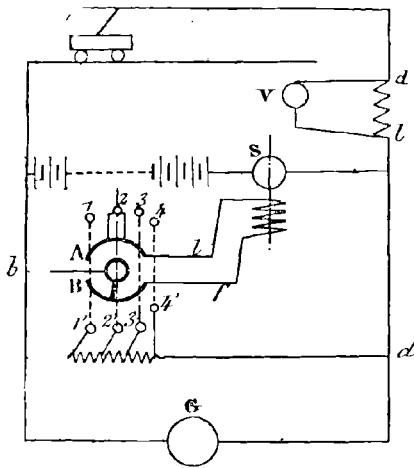


Fig. 20.

circuit est fermé et provoque la rotation de la manivelle du régulateur dans un sens, tandis que quand la tension est inférieure à la normale, un autre contact est fermé et la manivelle du régulateur tourne en sens contraire.

Le régulateur comporte un cercle en cuivre, concentrique au point de rotation de la manivelle et relié au point b d'une des barres du tableau. Deux demi-cercles concentriques en cuivre A et B sont respectivement reliés aux extrémités l et f du circuit d'excitation du survolteur. Le point d de l'autre barre générale est relié à un conducteur comportant plusieurs résistances r_1, r_2, r_3 , etc., dont les extrémités sont en relation respectivement avec les plots 1—1', 2—2', 3—3' etc., dis-

posés symétriquement autour de l'axe de la manivelle du régulateur.

La manivelle porte deux contacts, dont l'un peut relier les plots à un des demi-cercles pendant que l'autre relie l'autre demi-cercle au cercle central.

On voit donc que suivant la position de la manivelle, le courant circule dans le circuit d'excitation du survolteur dans un sens ou dans l'autre, et qu'en outre il y a une résistance plus ou moins grande intercalée dans ce circuit.

Dans la position indiquée sur le schéma, le courant circule dans le sens bf , ld et les résistances r_2 et r_3 sont intercalées dans le circuit d'excitation.

Supposons que le courant de ligne étant inférieur à sa valeur normale, la manivelle se déplace dans le sens des aiguilles d'une montre, la manivelle vient en contact avec le plot 1, de sorte que toutes les résistances sont intercalées, l'excitation est minimum ; le courant de ligne continuant à baisser, la manivelle continue à tourner, quitte le plot 1, et l'excitation est interrompue, puis son mouvement continuant, le frotteur relie le plot 1' au cercle B, le courant d'excitation du survolteur est inversé de sorte que la tension de celui-ci s'ajoute à celle de la batterie pour en provoquer la décharge. Si le mouvement de la manivelle continue dans le même sens, la charge augmentant la résistance du circuit d'excitation diminue, la tension de décharge augmente, etc.

Quand la manivelle est sur le plot 4' elle ne peut continuer son mouvement en sens inverse des aiguilles d'une montre, de même que quand elle est sur le plot 4 elle ne peut continuer son mouvement dans le sens des aiguilles.

L'action de ce genre de survolteur est un peu plus lente que celle des appareils ne comportant aucun mécanisme, par contre en subdivisant bien la résistance, on peut arriver à limiter les variations comme on le veut.

c) *Dynamos de batterie à circuits d'excitation multiples.*

La dynamo survoltrice est munie en pratique de deux enroulements seulement, disposés l'un ou l'autre comme l'indiquent les schémas des

fig. 10 à 16, et dans l'un de ces circuits peut, au besoin même, être intercalé, l'induit d'une dynamo auxiliaire excitée comme il a été indiqué précédemment. On peut donc avoir un grand nombre de combinaisons dont les suivantes sont employées dans la pratique.

SYSTÈME JACOB.— Dans ce système (fig. 21) l'un des enroulements est parcouru par le courant de la batterie (enroulement série, fig. 10) et l'autre est branché en dérivation sur la ligne.

Un dispositif permet de faire varier la charge moyenne pour laquelle le survolteur n'agit pas, car les batteries servent non seulement de

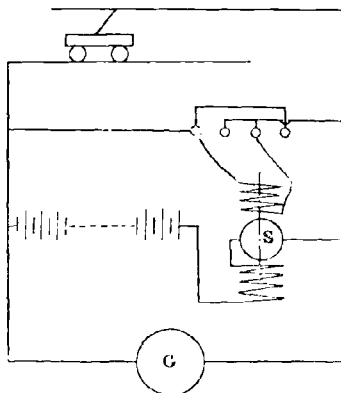


Fig. 21.

tampons à certaines heures de la journée, mais bien encore de réservoirs d'énergie.

Un commutateur C sert à faire varier le sens du courant dérivé dans les bobines d'excitation de la dynamo batterie, de sorte que l'on peut faire varier la charge moyenne et la diminuer par exemple de manière à ce que pendant un temps la batterie se charge plus que pendant le reste de la durée de fonctionnement.

Ce système est employé au chemin de fer électrique de Liverpool à Southport, d'une longueur de 37 kilomètres. La station centrale de cette ligne fournit du courant triphasé à la tension de 7.500 v., qui est transformé en courant continu à 600 v. dans quatre sous-stations installées le long de la ligne. Ces sous-stations n'ont pas de batteries,

mais cinq batteries sont installées en divers points et sont munies du système Jacob

M. Mailloux a fait breveter, en 1889, en Amérique, les dispositifs représentés sur les figures 22 et 23, ces dispositifs sont connus en

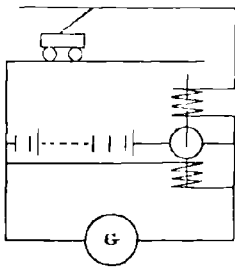


Fig. 22.

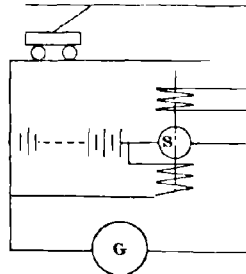


Fig. 23.

Europe sous le nom de système Pirani, celui représenté sur la figure 23 a été appliqué dans un grand nombre d'installations, et notamment aux tramways de Fontainebleau et de Poitiers.

Le système Pirani donne une bonne régulation, mais le réglage en est un peu délicat; en effet, il faut d'une part que les ampère-tours

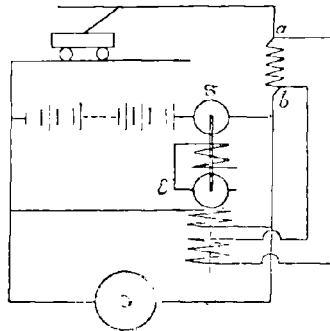


Fig. 24.

s'équilibrent pour la charge moyenne et, d'autre part, que la charge de la batterie s'effectue à une tension donnée.

La société Siemens et Halske, concessionnaire du brevet Pirani pour l'Allemagne, l'a modifié de la manière suivante dans l'installation des tramways de Remscheid

Le survolteur dévolteur S est excité par une dynamo \mathcal{S} montée sur le même arbre que lui, et qui elle-même est excitée au moyen des enroulements Pirani.

On obtient ainsi en premier lieu un réglage plus facile, car d'une part on règle les enroulements d'excitation de l'excitatrice pour avoir équilibre à charge moyenne et, d'autre part, on peut régler l'excitation du survolteur en intercalant des résistances dans le circuit de l'excitatrice.

D'un autre côté, comme les excitations de l'excitatrice peuvent être faibles, la résistance ab intercalée dans la ligne peut elle-même être très faible.

La batterie de Remscheid comporte 250 éléments d'une capacité de

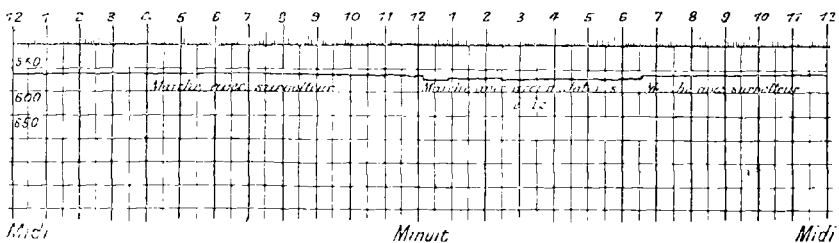


Fig. 25.

648 a. h. pour une décharge en trois heures; la charge est assurée par quatre génératrices de 100 kw. Le survolteur et son excitatrice sont actionnés par un moteur électrique de 90 chevaux.

La maison Siemens-Schuckert vient d'installer un survolteur du même type pour l'usine centrale du chemin de fer de Cologne à Bonn où la tension de régime est de 900 v.

Aux tramways de Lausanne, la société pour l'industrie mécanique et électrique de Genève a installé un survolteur dévolteur, excité comme l'indique le schéma de la figure 23, d'après le système Pirani, mais le réglage est encore rendu plus sensible par l'emploi du système Thury dans le circuit placé en dérivation entre les barres générales. Le réglage de la tension est parfait ainsi que le montre la courbe du voltmètre enregistreur (fig. 25).

La figure 26 est la reproduction de la courbe de l'ampèremètre enregistreur, elle montre bien les variations considérables de la charge.

La Société d'Oerlikon emploie également une excitation du genre Pirani, et un rhéostat branché dans le circuit en parallèle, est

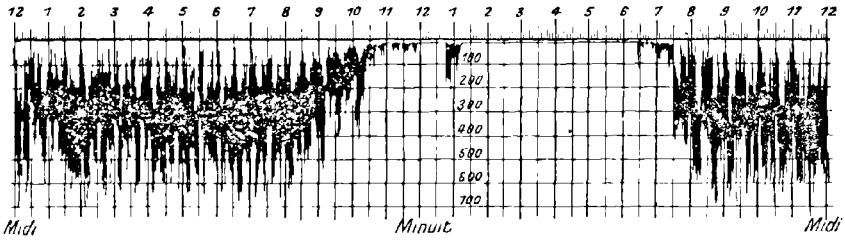


Fig. 26.

actionné par un appareil automatique branché entre les barres générales.

En Angleterre et en Amérique, on emploie souvent le système indiqué figure 27 qui est en somme une combinaison du système Pirani et du système différentiel Highfield, le réglage avec ce système est très sensible.

Dans le cas de distribution d'énergie pour lumière et pour énergie motrice à un grand nombre de consommateurs, comme la charge ne

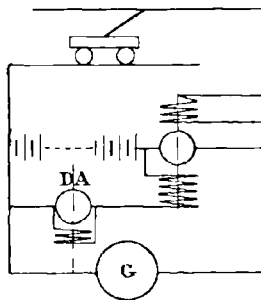


Fig. 27.

varie pas si brusquement que dans le cas de traction, la tension peut être réglée au moyen d'éléments de réduction, les réducteurs ou insérateurs étant commandés soit à la main d'après les indications d'un

voltmètre ou d'un indicateur de tension à signal, soit automatiquement par l'intermédiaire d'un indicateur de tension actionnant un relais.

Comme lors de la charge les éléments peuvent atteindre en moyenne une tension de 2,5 v., on aura besoin à ce moment là seulement de

$\frac{U}{2,50} = 0,4 U$ éléments en série, de sorte que comme la batterie comporte 0,556 U éléments, on a 0,156 U éléments de réduction. Dans le cas où les éléments de réduction peuvent être mis en opposition (voir page 4), il en faut 0,08 U. Il faut avoir aussi au moins un réducteur de charge pour pouvoir faire varier le nombre d'éléments en charge et ne pas trop surcharger certains éléments en même temps que l'on dépen-

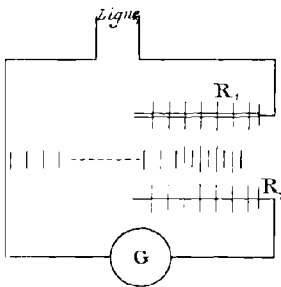


Fig. 28.

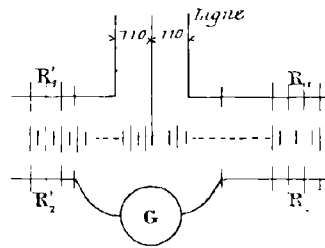


Fig. 29.

serait inutilement de l'énergie. Cependant on fait bien d'avoir toujours en charge un ou deux éléments de plus qu'en décharge, surtout si le coefficient d'irrégularité du moteur actionnant la génératrice n'est pas très bon, afin d'amortir les oscillations de la tension.

Dans le cas de distribution à deux fils (fig. 28), les éléments de réduction sont placés à une des extrémités de la batterie, de sorte que l'on peut employer, en installant quelques-uns des éléments à l'autre extrémité de la batterie, le système permettant d'économiser des câbles de liaison avec le tableau indiqué plus haut (page 6).

Dans le cas de distribution à trois fils (fig. 29) avec point neutre au milieu de la batterie, les deux extrémités de celle-ci sont occupées par des éléments de réduction, et on ne peut économiser des câbles de connexion.

On peut également employer la batterie à la fois comme tampon et comme transformateur de tension. C'est le cas où plusieurs batteries sont chargées en série, tandis que chacune d'elles dessert un réseau spécial.

§ 2. -- Batteries pour tamponnage indirect.

Comme une dynamo excitée en dérivation tourne dans le même sens, soit qu'elle fournisse un courant de direction déterminé (pour la charge de la batterie, soit qu'elle reçoive un courant quelconque (courant de décharge) et qu'elle fonctionne comme moteur, on peut n'employer qu'une seule dynamo pour le tamponnage, cette dynamo fonctionnant alternativement comme génératrice et comme moteur.

En actionnant cette dynamo directement par le moteur de l'installation, on peut obtenir la charge de la batterie pendant les périodes de faible demande de puissance, la f. e. m. de la dynamo étant alors supérieure à celle de la batterie.

Pendant les périodes de forte demande de puissance, au contraire, le moteur actionnant la dynamo ralentit, la f. e. m. de cette dynamo baisse, de sorte que celle de la batterie l'emporte et la dynamo fonctionnant comme moteur, vient en aide au moteur de l'installation.

L'action de tamponnage de la batterie est donc automatique; mais il faut que le moteur ralentisse quand la charge augmente, c'est le cas des voitures électro tamponnées dans lesquelles la batterie vient en aide au moteur thermique, quand il y a un coup de collier à donner, par exemple une rampe à franchir. On emploie beaucoup ce système pour des voitures automotrices de chemins de fer et pour des locomotives de manœuvre.

On pourrait avoir un moteur primaire dont la vitesse varie dans de moins grandes proportions, en faisant en sorte que la charge ou la décharge de la batterie dépende non de sa vitesse plus ou moins grande, mais de la puissance demandée; on pourrait par exemple installer un dynamomètre à ressort ou à torsion, et faire en sorte que quand l'angle de décalage de ce dynamomètre correspond à celui du couple de la puissance normale, il y ait égalité des tensions de la

dynamo et de la batterie; tandis que quand cet angle serait plus grand que l'angle normal, le champ magnétique de la dynamo soit affaibli; quand au contraire la puissance demandée serait inférieure à la moyenne (le couple de l'angle de décalage serait également inférieur à l'angle correspondant au couple moyen), le champ magnétique serait renforcé et la batterie serait rechargée.

On peut également avoir un tamponnage électrique dans le cas de distribution par courants alternatifs, sans que la vitesse du moteur varie, c'est-à-dire à fréquence constante. On peut obtenir ce résultat en faisant en sorte que l'excitation de la dynamo diminue lorsque la demande d'énergie augmente. L'excitation de la dynamo diminuant sa f. e. m. baisse et le courant de la batterie la fait tourner comme moteur.

Dans le cas d'une distribution triphasée, on peut disposer l'installation de tamponnage en un point quelconque, il suffit de faire commander la dynamo de charge par un moteur triphasé synchrone, qui agit comme générateur de courant triphasé quand la batterie se décharge. Le rendement d'une installation avec moteur spécial est naturellement un peu moins bon que celui dans le cas où le moteur primaire de l'installation commande la dynamo de charge.

Dans ce qui va suivre, nous considérerons toujours l'emploi d'un moteur spécial formant un groupe soit moteur-générateur, soit générateur-moteur avec la dynamo de charge.

Dans le dispositif de la figure 30, adopté par l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, de Berlin, le réglage de l'excitation de la dynamo à courant continu a lieu au moyen d'un régulateur R, qui intercale des résistances R_h dans le circuit d'excitation, au fur et à mesure que l'intensité, c'est-à-dire la charge du réseau augmente.

L'installation à courant triphasé du puits de la mine Constantin, près de Dortmund, est établie d'après ce système. Le moteur d'extraction au moment du démarrage exige une puissance de 520 kw, et le moteur de la station ne développe qu'une puissance maximum de 300 kw; la batterie au moment du démarrage fournit donc une puissance de 220 kw.

Le relais employé est du système Tirill.

L'emploi d'un relais est un peu délicat, aussi M. Schroeder, directeur de la société Tudor allemande, a-t-il imaginé un dispositif permettant d'éviter l'emploi de cet appareil.

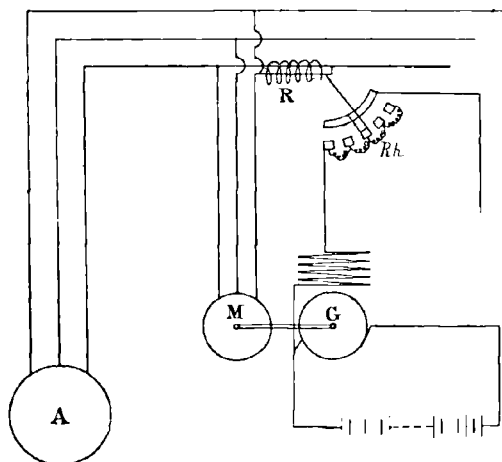


Fig. 30.

Dans le dispositif Schroeder l'enroulement primaire d'un transfor-

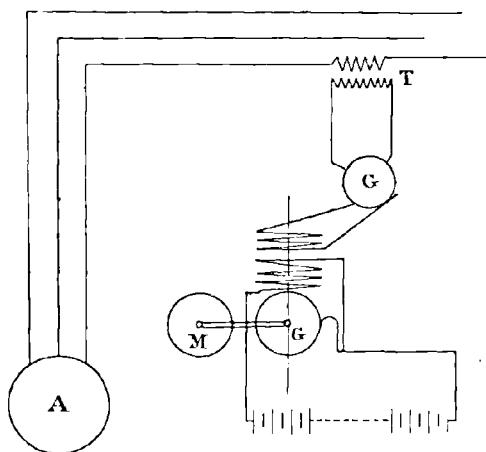


Fig. 31.

mateur T (fig. 31) est placé dans une des phases du réseau, et le courant secondaire, redressé au moyen d'un convertisseur G, parcourt

l'enroulement démagnétisant de la dynamo de charge excitée en dérivation.

Le rendement d'une telle installation est si l'on compte un rendement de 90 0/0 pour les dynamos et de 80 0/0 pour la batterie de :

$$0,90 \times 0,90 \times 0,80 \times 0,90 \times 0,90 = 0,525$$

soit 52,5 0/0.

M. Schroeder prévoit dans son brevet l'emploi d'une commutatrice pour remplacer le groupe moteur générateur de charge et de décharge, et comme on ne peut faire varier suffisamment la tension d'une commutatrice, un survolteur muni d'un enroulement démagnétisant est intercalé dans le circuit de la batterie ; comme le rendement d'une commutatrice peut atteindre 90 0/0, le rendement global de l'installation est dans ce cas :

$$0,90 \times 0,80 \times 0,90 = 0,648$$

soit de 65 0/0 environ.

Quand la dynamo de charge est actionnée par le moteur de l'installation, le rendement est de 1 ou 2 0/0 plus élevé. On peut atteindre un rendement encore plus élevé et égal à celui du tamponnage direct ($0,90 \times 0,80 = 0,72$) en munissant l'alternateur principal d'un collecteur permettant la charge de la batterie ; naturellement, dans ce cas, on doit installer un survolteur. L'alternateur doit être construit pour la puissance maximum, tandis que le moteur qui l'actionne n'est pas surchargé.

Les ateliers Siemens-Schuckert ont installé en 1906 le tamponnage électrique de la distribution triphasée de la fabrique de potasse de Carlsfund à Gross-Rhüden, d'après le système Schroeder.

Le réglage est assuré par un transformateur triphasé, constitué par trois appareils à courant alternatif simple, dont les primaires sont branchés dans les trois phases de la ligne et les secondaires sont montés en étoile (fig. 32) et peuvent être mis en court-circuit au moyen d'un commutateur ou aboutir aux bagues d'une commutatrice C_1 montée sur l'arbre du groupe moteur générateur de charge.

La commutatrice excitée par le courant de la batterie dessert un des circuits d'excitation de la dynamo à courant continu dont l'autre est branché aux bornes de la batterie.

Cette commutatrice est spéciale, tandis que dans une commutatrice ordinaire, le champ créé dans l'induit par les courants triphasés est dirigé suivant la bissectrice de deux pôles, de sorte que les deux champs, le triphasé et celui des pôles font entre eux un angle et n'ont pas une grande influence l'un sur l'autre ; dans la commutatrice spéciale par suite du déplacement angulaire possible de la couronne polaire, on amène les deux champs à avoir des directions opposées.

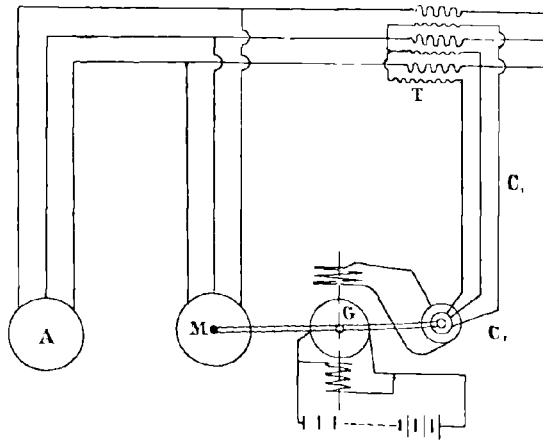


Fig. 32.

Le champ agissant de la commutatrice est donc la résultante des deux champs ; l'induit tend bien à prendre une position telle que ces deux champs fassent entre eux un angle (angle droit dans le cas de machine bipolaire), mais l'action du moteur de commande M de la dynamo de charge s'y oppose, la commutatrice étant montée sur l'arbre commun au moyen d'un manchon.

Quand la charge du réseau est normale, les deux champs de la commutatrice se font équilibre et celle-ci ne donne aucune tension du côté continu ; quand la charge du réseau augmente, l'intensité du champ magnétique dû au courant triphasé augmente et la commutatrice fournit

un courant qui exerce une action démagnétisante sur la dynamo à courant continu, qui alors fonctionne comme moteur ; si au contraire la charge du réseau est inférieure à la normale, le champ dû aux pôles de la commutatrice l'emporte sur le champ triphasé et elle fournit du courant continu, qui vient renforcer l'excitation de la dynamo à courant continu, de sorte que la batterie se charge.

La fabrique avant l'installation de la batterie tampon était desservie par une distribution à courants triphasés à la tension de 1000 v alimentée par des alternateurs de 100 et 50 kw actionnés par machines à vapeur.

Les alternateurs de 100 kw et de 50 kw sont disposés dans des bâtiments différents et reliés par un câble qui permet de se servir de l'un ou de l'autre. On a choisi le courant alternatif afin d'éviter les effets d'électrolyse sur les poussières de chlorure de potassium.

La fabrique possédait en outre un alternateur de 35 kw servant aux heures de faible charge ; des relevés fréquents ont montré que la charge moyenne est de 30 kw, et qu'à de rares moments, la charge maximum atteint 100 kw.

L'installation de tamponnage fut effectuée au moyen d'une batterie de 120 éléments d'une capacité de 645 a-h pouvant assurer à elle seule le service moyen pendant trois heures.

En premier lieu l'alternateur de 35 kw fut couplé à une machine à courant continu excitée en dérivation, de sorte que le tamponnage fut réalisé, mais la batterie servait surtout de réservoir d'énergie pendant les arrêts des moteurs à vapeur.

Dans l'installation définitive, la machine à courant continu excitée en dérivation a été remplacée par une machine également à courant continu, avec pôles auxiliaires, excités par le courant de charge ou de décharge, un shunt permettant de régler l'intensité de ce courant.

La vitesse angulaire du groupe et de la commutatrice qu'il entraîne est de 750 tours à la minute. La commutatrice a donc 8 pôles, la fréquence du courant triphasé étant 50.

Lors des essais de réception on a installé des appareils enregistreurs dont les courbes permettent de se rendre compte de l'effet du

tampouage. La courbe de la figure 33 donne la puissance consommée en kw, la figure 34 la puissance fournie par l'alternateur principal, la différence étant due à la batterie tampon. La figure 35 donne les variations de la tension aux barres générales.

Les dépenses d'exploitation ont beaucoup diminué. En 1904, les moteurs ont travaillé 8754 heures, et en 1905, 6503 heures seulement, quoique la production d'énergie ait augmenté de 30669 kw-h, et la charge moyenne a passé de 26 à 36 kw.

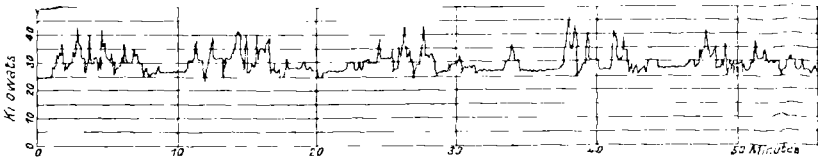


Fig. 33.

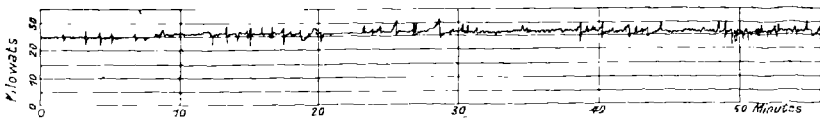


Fig. 34.

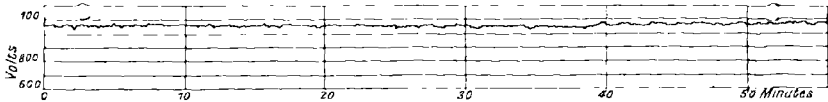


Fig. 35.

En 1905 la centrale a fonctionné environ 18 heures par jour à une charge moyenne de 36 kw, tandis qu'anciennement elle fonctionnait 24 heures par jour à la charge moyenne de 26 kw. Par suite de la diminution du temps de fonctionnement et de la meilleure répartition de la charge, les frais de production ont diminué de 2,5 centimes par kw-h utile ; il faut ajouter que l'on a fait une économie sur le remplacement des lampes à incandescence, les frais de ce fait ont diminué de 50 0/0, ce qui est dû à ce que les fortes variations de tension sont évitées.

Au lieu d'une commutatrice branchée dans le circuit secondaire du transformateur, on pourrait utiliser une soupape, mais on hésitera toujours devant l'incertitude du fonctionnement d'un appareil électrolytique; par contre l'emploi d'un alterno-redresseur semble tout indiqué.

Quand on a une longue ligne triphasée, il faut disposer l'installation du tamponnage à l'extrémité de cette ligne et commander la dynamo à courant continu de charge et de décharge par un moteur spécial, on a bien ainsi un rendement moins élevé que dans le cas de commande de cette dynamo par le moteur primaire, mais la ligne de distribution est calculée pour la charge moyenne, au lieu de l'être pour la charge maximum.

Une batterie peut encore servir comme tampon pour le cas particulier d'un moteur puissant à mettre en marche, à certains moments seulement, comme dans le cas de moteur d'extraction (1).

BATTERIES TAMPON POUR MOTEURS D'EXTRACTION

Le moteur d'extraction M_e est un moteur à courant continu desservi par une dynamo génératrice spéciale G_2 dont l'excitation, au moyen d'une commande par levier peut être réglée peu à peu, de sorte que la tension aux bornes du moteur d'extraction augmente progressivement lors du démarrage et arrive à être maximum lors du fonctionnement normal.

Dans le cas de distribution par courant triphasé le dispositif le plus simple est d'actionner la génératrice G_2 fournissant le courant au moteur d'extraction M_e , au moyen d'un moteur asynchrone M_A et de disposer sur l'arbre de ce groupe (fig. 36) la dynamo de charge G_1 de la batterie, qui fonctionne comme moteur à certains moments.

Quand la charge du moteur d'extraction est très grande, il en est de même pour la génératrice le desservant, de sorte que le glissement du moteur asynchrone augmente la tension de la batterie l'emporte

1. Il faut vérifier si l'emploi d'un volant comme tampon ne permettrait pas un meilleur tamponnage.

alors sur celle de la dynamo de charge et celle-ci fonctionne comme moteur et vient en aide au moteur asynchrone.

Il faut donc pour que le tamponnage se produise qu'il y ait un certain glissement du moteur asynchrone, c'est-à-dire déjà une certaine sur-

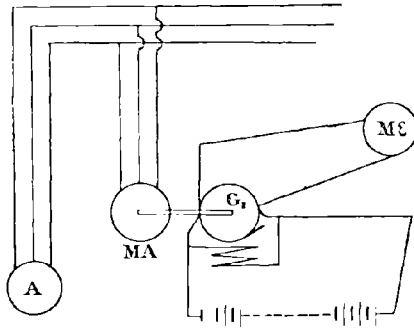


Fig. 36.

charge, de sorte qu'il vaut mieux avoir un réglage par survolteur. Il ne faut pas oublier que dans ce cas, la puissance du moteur de démarrage n'est pas proportionnelle à l'intensité du courant, car au mo-

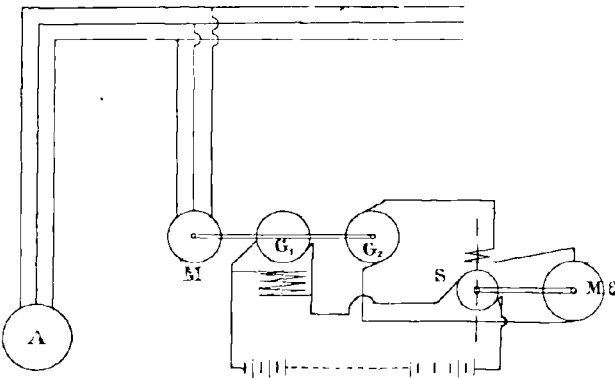


Fig. 37.

ment du démarrage on a une forte intensité mais une faible tension.

Dans le système employé par les ateliers Siemens-Schuckert (fig. 37) le survolteur est entraîné par le moteur de traction et excité par le courant actionnant ce moteur, de sorte que la tension aux bornes de

ce survolteur est proportionnelle à la charge du moteur d'extraction.

Quand le moteur d'extraction ne fonctionne pas, la tension du survolteur est nulle et la batterie se charge. Quand le moteur de traction fonctionne, la tension du survolteur est opposée à celle de la dynamo de charge de la batterie, de sorte que la charge cesse, puis la dynamo tourne comme moteur quand le moteur d'extraction a une charge plus grande que la moyenne.

Dans le dispositif de M. Schroeder le survolteur est monté sur le même

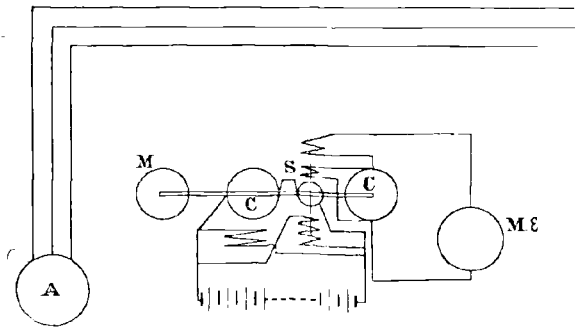


Fig. 35.

arbre que le moteur triphasé (fig 38) et la dynamo de charge G_1 , ce survolteur a trois enroulements d'excitation, l'un branché aux bornes de la batterie, l'autre branché aux bornes de la dynamo génératrice desservant le moteur d'extraction et le troisième parcouru par le courant du moteur d'extraction.

Pendant les périodes de repos du moteur d'extraction le survolteur excité par l'enroulement disposé aux bornes de la batterie assure la charge de cette dernière.

Les autres deux autres enroulements agissent en sens contraire, et pour la charge moyenne il y a équilibre entre la tension de la dynamo et celle de la batterie. Quand la charge du moteur d'extraction dépasse la moyenne, la batterie actionne la dynamo de charge comme moteur qui vient en aide au moteur asynchrone.

DEUXIÈME PARTIE

DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ D'UNE BATTERIE DEVANT DÉBITER A UN RÉGIME VARIABLE

§ 1^{er}. — *Capacité d'une batterie déchargée à régime variable.*

Les catalogues des fabriques d'accumulateurs indiquent la capacité des éléments pour divers régimes de décharge à intensité constante, généralement pour des durées de décharge, respectivement de 3, 5 et 10 heures.

Connaissant les capacités c_1 et c_2 pour des durées t_1 et t_2 de la décharge, on peut en déduire la valeur du coefficient de Peukert n pour un type d'accumulateur donné. On a en effet :

$$I_1 = \frac{c_1}{t_1} \quad I_2 = \frac{c_2}{t_2} \quad I_1^{n_1} t_1 = I_2^{n_2} t_2 = K.$$

$$n \log I_1 + \log t_1 = n \log I_2 + \log t_2$$

$$n = \frac{\log t_2 - \log t_1}{\log I_1 - \log I_2}.$$

Si la décharge a lieu à des intensités variables I_1, I_2, I_3 , etc., pendant des intervalles d'une durée de t_1, t_2, t_3 heures, on aura :

$$I_1^{n_1} t_1 + I_2^{n_2} t_2 + I_3^{n_3} t_3 + \dots = K \quad (1)$$

et à la limite :

$$\int_0^t I^n dt = K.$$

(1) Cette relation a été indiquée pour la première fois par M. Faure-Munro.

Ayant la courbe représentant la valeur de I en fonction du temps t , il sera facile d'en déduire celle des valeurs de I^n en fonction de t , de mesurer la surface de cette courbe qui est proportionnelle à $\int I^n dt$ et d'en déduire la valeur de K .

Connaissant K et n , on peut déterminer l'intensité I_1 correspondant à une durée t_1 de la décharge à intensité constante, et de là déduire la capacité $c_1 = T_1 t_1$ à ce régime. On a :

$$I_1^n t_1 = K \quad I_1 = \sqrt[n]{\frac{K}{t_1}}$$

Si on détermine le nombre d'ampères-heures $\int_0^t I dt$ de la décharge à intensité variable, on constate que cette quantité est inférieure à la capacité c_1 calculée pour la même durée de décharge, mais à intensité moyenne constante.

Un exemple très simple peut clairement le montrer.

Supposons que l'on cherche la capacité c_1 à donner à une batterie fonctionnant à un régime de décharge à intensité constante en 4 heures, pour qu'elle puisse fournir pendant 2 heures un courant de 10 ampères, puis pendant 2 autres heures un courant de 100 ampères. Le nombre d'a. h. fourni à régime variable est $Q = 10 \times 2 + 100 \times 2 = 220$ a. h. Si le coefficient de Peukert du type d'accumulateurs est égal à 1,50, on a :

$$\int_0^t I^n dt = 10^{1,50} \times 2 + 100^{1,50} \times 2 = 2063,25 = K.$$

Pour une décharge à intensité constante (également en 4 heures) on a :

$$I_1^n t_1 = K = 2063,25$$

$$I_1 = \sqrt[n]{\frac{2063,25}{4}} = 64,31 \text{ A.}$$

La capacité à régime uniforme est $c_1 = 64,31 \times 4 = 257,24$ a. h.,

tandis qu'au régime variable (de même durée) elle n'est que de 220 a. h.

1° *Batterie servant de réservoir d'énergie.* — La détermination de la capacité que doit avoir la batterie à un régime uniforme de décharge donné quand on a la courbe de décharge ci-dessus indiquée est très simple, il suffit d'employer la méthode indiquée.

La table ci-dessous permet de déterminer facilement les diverses valeurs de I^a et de tracer la courbe de ces valeurs en fonction du temps.

Table des valeurs de I^a

Valeurs de I	Valeurs de n							
	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
5	6	7	8	10	11	13	15	18
10	13	16	20	25	32	40	50	63
20	27	36	49	66	89	121	163	220
30	42	59	83	117	164	241	324	456
40	58	84	121	175	253	366	529	767
50	74	109	162	239	354	523	772	1143
60	90	136	205	309	465	700	1055	1587
70	107	164	250	381	586	896	1370	2095
80	124	192	298	462	715	1109	1749	2664
90	141	221	347	544	854	1339	2100	3293
100	158	251	398	630	1000	1585	2512	3981
125	203	328	532	862	1398	2266	3674	5949
150	248	409	674	1113	1837	3032	5004	8260
175	293	492	824	1381	2315	3880	6505	10901
200	340	577	980	1665	2828	4799	8160	13895
250	434	754	1310	2276	5953	6866	11926	20244
300	531	939	1661	2937	5496	9191	16260	28762
350	629	1129	2029	3645	6548	11762	21131	37960
400	728	1326	2414	4394	8000	14564	26546	48385
450	833	1527	2873	5187	9546	17585	32394	59674
500	930	1733	3562	6007	11480	20814	38659	72135
600	1137	2156	4089	7782	14696	27864	52827	100055
700	1347	2595	4996	8097	18520	35568	68654	132174
800	1560	3046	5943	11596	22627	44451	86149	168096
900	1777	3568	6927	13675	27000	53307	105247	207796
1000	1995	3984	7943	15849	31623	63096	125893	251190
1500	3117	5474	10680	22209	46146	120910	250814	521452
2000	4277	9146	19560	41826	89442	191264	409667	874690

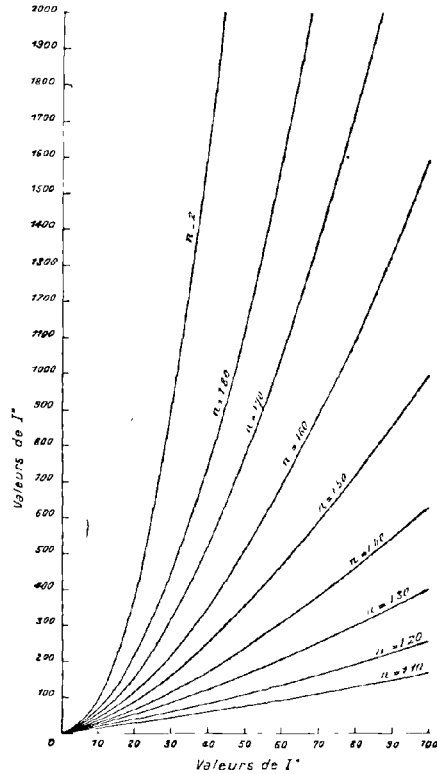


Fig. 39.

Dans le cas particulier d'une batterie de traction pour voiture automobile, le régime de décharge est excessivement variable, suivant le service, que doit assurer la voiture, sa vitesse, les déclivités de la route, l'état de cette dernière, etc... En moyenne, pour un fiacre destiné à un service urbain, on peut admettre que l'intensité varie comme l'indique la courbe de la figure 40, qui a été tracée par M. Forestier, président du comité technique de l'Automobile-Club, à la suite des nombreux concours de fiacres organisés par cette société. Cette courbe a servi lors du concours d'accumulateurs, en 1900; les accumulateurs placés sur un trépidateur spécial étant déchargés aux régimes indiqués.

Il est intéressant de déterminer la capacité à donner à la batterie,

pour un régime de décharge à intensité constante de même durée en supposant que la constante de Peukert pour les éléments donnés est respectivement : $n = 1.20$, $n = 1.50$ et $n = 1.80$; n pour les accumulateurs au plomb variant en général entre 1.20 et 1.80.

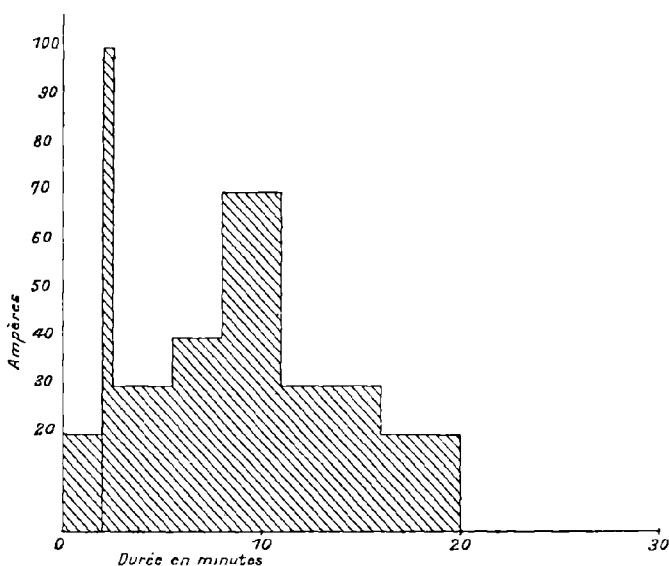


Fig. 40.

Le diagramme de décharge réalisé à l'aide d'un commutateur tournant en une demi-heure était reproduit 10 fois de suite.

Le tableau suivant, déduit de la courbe de la figure 40, indique les intensités de la décharge.

Intensité (1)	Durée (minutes)	Débit en amp.-minutes
20	2	40
100	0,5	50
30	3	90
40	2,5	100
70	3	210
30	5	150
20	4	80
0	10	0
	<u>30</u>	<u>720</u>

(1) Le règlement du concours était le suivant : Les batteries seront soumises pendant

La quantité débitée par tour du commutateur était donc de 720 a. m. ou de 12 a. h.

Les durées des décharges aux diverses intensités, pendant les 10 tours du commutateur, étaient les suivantes :

Intensité	Durée totale en heures
—	—
20	20' = 0,333
100	5' = 0,083
30	30' = 0,500
40	25' = 0,416
70	30' = 0,500
30	50' = 0,854
40	40' = 0,667
Total :	3,333 heures.

Le tableau suivant donne les diverses valeurs de $\int I^n dt$:

	$n = 1.10$	$n = 1.50$	$n = 1.80$
0,333 × 20 ⁿ	2.334	2.997	73.260
0,083 × 40 ⁿ	43.414	83.000	330.423
0,500 × 30 ⁿ	240.00	82.000	2.8.000
0,416 × 40 ⁿ	24.425	405.248	319.072
0,500 × 70 ⁿ	53.500	293.000	1.047.500
0,534 × 30 ⁿ	35.028	436.776	380.304
0,667 × 20 ⁿ	48.009	43.912	146.740
$\int I^n dt$	467.410	746.933	2.523.299

Les valeurs I_1 de l'intensité à un régime constant, pour lesquelles $I_1^n t$ a la même valeur sont respectivement :

$$\begin{aligned} I_1 &= 36,5 & \text{pour } n &= 1.10 \\ I_1 &= 37 & \text{pour } n &= 1.50 \\ I_1 &= 40 & \text{pour } n &= 1.50 \end{aligned}$$

L'intensité moyenne étant $\frac{12 \times 10}{3,333} = 36$, il faudra multiplier la

cinq heures à l'aide d'un appareil automatique à des trépidations aussi analogues que possible à celles qu'elles éprouveraient sur des véhicules automobiles circulant sur des chaussées ordinaires empierrées ou pavées. Pendant ces cinq heures les batteries, montées en série seront soumises à des régimes de décharge à intensité variable.

quantité d'électricité nécessaire respectivement par $\frac{36,5}{36} = 1,02$, $\frac{37}{36} = 1,03$ ou $\frac{40}{36} = 1,10$ pour avoir la capacité à intensité constante d'une batterie de traction de voiture de place suivant que le coefficient de Peukert des éléments est $n = 1,10$, $n = 1,50$ ou $n = 1,80$. On voit donc que la diminution de capacité due au régime variable est peu importante.

2° *Batterie tampon.* — Il faut que pendant les périodes où la puissance consommée est inférieure à la puissance moyenne fournie par le moteur, l'énergie emmagasinée dans la batterie corresponde à l'énergie restituée par celle-ci pendant la période de consommation supérieure à cette moyenne.

Si η est le rendement du tamponnage, l'énergie fournie par le moteur

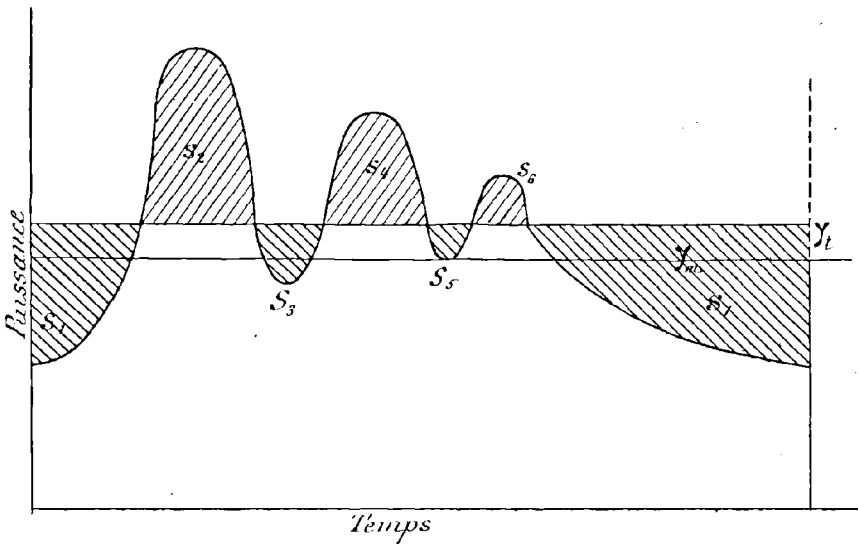


Fig. 41.

de la station génératrice et emmagasinée, multipliée par η devra être égale à l'énergie utile restituée pendant la période de décharge par la batterie.

La puissance constante P_t fournie par le moteur doit être à cause

du rendement du tamponnage, plus grande que la puissance moyenne utile P_m , et peut être déterminée si on a la courbe donnant la puissance consommée en fonction du temps.

La puissance P_t correspond à une droite Y_t parallèle à l'axe des x , menée de telle sorte que la somme des surfaces comprises entre cette droite et la courbe, situées au-dessus de la droite, multipliée par η soit égale à la somme des surfaces de même nature placées au-dessous de la droite (fig. 41).

On a donc, si l'on désigne par des indices pairs les surfaces situées au-dessus de la droite et par des indices impairs les surfaces placées au-dessous de la droite

$$\eta (\Sigma S_{2n}) = \Sigma S_{2n+1}$$

Pour avoir à chaque instant la puissance emmagasinée par la batterie ou restituée par celle-ci (mesurée aux bornes), il suffira de multiplier à chaque instant les ordonnées des surfaces d'indice impair par η_1 , et étant le rendement moyen du moteur qui actionne la dynamo de charge de la batterie, multiplié par le rendement cette dynamo et par celui de la batterie, ou bien de diviser les ordonnées des surfaces d'indice pair par le rendement moyen η_2 du groupe de tamponnage, (on a $\eta = \eta_1 \eta_2$).

Dans le cas d'un tamponnage direct : $\eta_1 = 0,80$, rendement de la batterie et $\eta_2 = 1$, puisque la batterie se décharge directement dans la ligne.

Dans le cas d'un tamponnage indirect, avec groupe de tamponnage spécial, on a :

$$\eta = 0,90 \times 0,90 \times 0,80 = 0,65$$

Le rendement du groupe de tamponnage étant $0,90 \times 0,90$ et celui de la batterie $0,80$. Le rendement du groupe de tamponnage lors de la décharge de la batterie étant $\eta_2 = 0,90 \times 0,90 = 0,81$, ce rendement total est : $\eta = \eta_1 \times \eta_2 = 0,65 \times 0,81 = 0,52$.

On multipliera donc les ordonnées des surfaces d'indice impair par η_1 , η_1 celles des surfaces d'indice pair par η_2 . En prenant les ordonnées

obtenues au moyen des surfaces d'indice impair comme négatives et celles obtenues au moyen des surfaces d'indices pairs comme positives, on obtient une nouvelle courbe (fig. 42) dans laquelle la somme des surfaces situées au-dessus de l'axe des x est égale à la somme de celles situées au-dessous de cet axe.

Les ordonnées positives représentent à chaque instant les intensités du courant de décharge, et les négatives les intensités du courant de charge multipliées par le rendement de la batterie; il suffira pour avoir

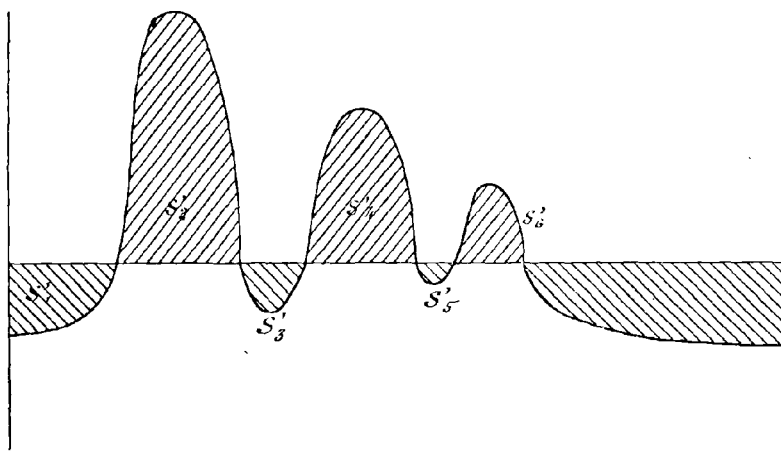


Fig. 42.

l'échelle de diviser à chaque instant la puissance par la tension moyenne de la batterie.

La quantité maximum d'électricité que devra pouvoir restituer la batterie, sera donnée en général par la plus grande des surfaces d'indice pair de la courbe (S'_2 dans notre cas); mais comme il peut se faire qu'à une décharge succède une charge (utile) inférieure, de sorte qu'à la décharge suivante la batterie n'est pas complètement rechargée, on doit former successivement les valeurs :

$$S'_2; S'_2 - S'_3 + S'_4; S'_2 - S'_3 + S'_4 - S'_5 + S'_6, \text{ etc.}$$

et la batterie devra pouvoir fournir une quantité d'électricité Q correspondant à la plus grande de ces valeurs.

Ayant la valeur de Q , on en déduira la capacité que devra avoir la batterie à un régime de décharge à intensité constante donné par la méthode indiquée plus haut (méthode Faure-Munro), en admettant que pendant la décharge l'intensité varie dans les proportions qu'indique la courbe S' , correspondant à la plus grande des surfaces positives.

Nous avons appliqué cette méthode au tamponnage relatif à une

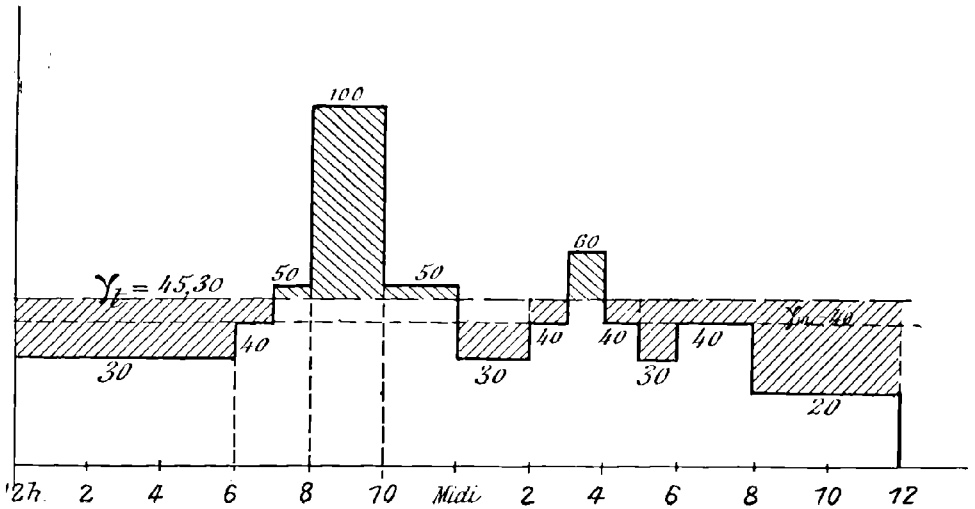


Fig. 43.

usine dont la variation de puissance en fonction du temps est indiquée sur la figure 43.

La puissance moyenne est de 40 kw et la puissance fournie par le moteur est $\gamma_t = 45,3$ kw.

Les surfaces au-dessous de la droite de tamponnage y_t correspondent :

$15,30 \times 6 =$	91,80 Kw. h.
$5,30 \times 1 =$	5,20
$15,30 \times 2 =$	30,60
$5,30 \times 1 =$	5,30
$5,30 \times 1 =$	5,30
$15,30 \times 1 =$	15,30
$5,30 \times 2 =$	10,60
$25,30 \times 4 =$	101,20
Total : ΣS_{2n+1}	265,40 Kw. h.

Celles (paires) au-dessus de la droite y_c correspondent à :

$$\begin{array}{rcl}
 4,70 \times 1 & = & 4,70 \\
 54,70 \times 2 & = & 109,40 \\
 4,70 \times 2 & = & 9,40 \\
 14,70 \times 1 & = & 14,70 \\
 \hline
 \Sigma S_{2n} & = & 138,20 \text{ Kw. h.}
 \end{array}$$

Comme vérification on doit avoir :

$$\Sigma S_{2n+1} \pi = \Sigma S_{2n}$$

Dans notre cas de tamponnage indirect, le rendement est 0,52 et l'on

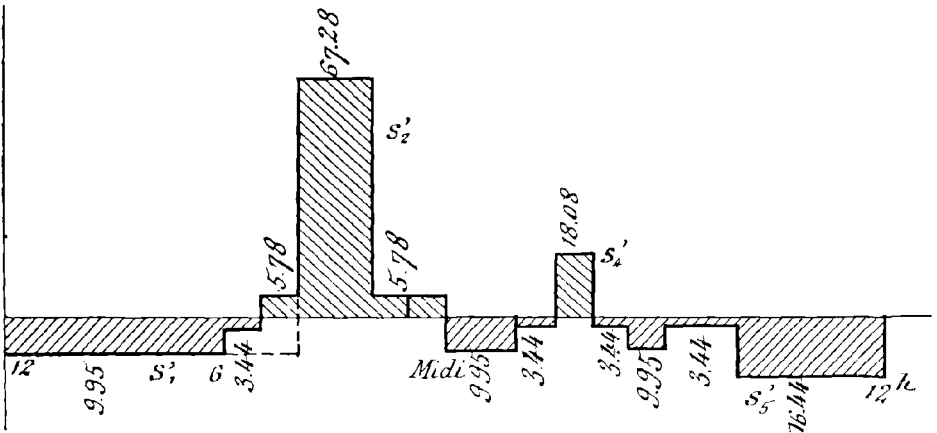


Fig. 44.

voit que l'on a : $265,4 \times 0,52 = 138,008$, c'est-à-dire pratiquement égal à $\Sigma S_{1,n}$.

La courbe de la figure 44 donne les valeurs des ordonnées des surfaces d'indice impair, multipliées par $\eta_1 = 0,65$ et portées comme négatives; ainsi que les valeurs des ordonnées des surfaces d'indice pair multipliées par $\frac{1}{\eta_3} = \frac{1}{0,81} = 1,23$. On vérifie facilement que les surfaces situées au-dessus de l'axe des x sont égales aux surfaces placées au-dessous.

En effet, S'_1 correspond à :

$$\begin{array}{r} 6 \times 9,95 = 59,70 \text{ Kw. h.} \\ 1 \times 3,44 = 3,44 \\ \hline S'_1 = 63,14 \text{ Kw. h.} \end{array}$$

$$S'_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} 5,78 \times 1 = 5,78 \text{ Kw} \\ 67,28 \times 2 = 134,56 \\ 5,78 \times 2 = 11,56 \\ \hline S'_2 = 151,90 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{r} 9,95 \times 2 = 19,90 \text{ Kw.} \\ 3,44 \times 1 = 3,44 \\ \hline S'_3 = 23,34 \text{ Kw. h.} \end{array}$$

$$S'_4 = 18,08 \times 1 = 18,08 \text{ Kw. h.}$$

$$\begin{array}{r} 3,44 \times 1 = 3,44 \\ 9,95 \times 1 = 9,95 \\ 3,44 \times 2 = 6,88 \\ 16,44 \times 2 = 65,76 \\ \hline S'_5 = 86,13 \end{array}$$

On a donc :

$$S'_2 = 151,90 \text{ Kw. h.}$$

$$S'_2 - S'_3 \times S'_4 = 151,90 - 23,34 \times 18,08 = 146,64 \text{ Kw. h.}$$

Il est facile de vérifier que

$$S'_1 \times S'_3 \times S'_5 = S'_2 \times S'_4$$

La batterie devra donc fournir une énergie de 151,90 kw-h étant déchargée au régime indiqué par la courbe de la surface S'_2 , c'est-à-dire fournir 5,78 kw pendant une heure, puis 134,56 pendant deux heures et finalement 5,78 kw pendant deux heures.

En admettant pour la batterie, une tension moyenne de 200 v à un kw correspond à une intensité de 5 A, de sorte que la quantité Q d'électricité que devra fournir la batterie sera de 759,5 A-h, et elle devra

débiter 28,9 A pendant une heure, puis 336,4 A pendant deux heures et finalement 28,9 A pendant deux heures.

Afin de pouvoir nous servir de la table des valeurs I^n , page 51, nous supposons que la capacité en 5 heures de la batterie est $C = KQ$, K étant le rapport de la capacité au régime constant en 5 h d'une batterie débitant 30 A pendant 1 h, puis 350 A pendant 2 h et finalement 30 A pendant 2 h, à la quantité d'électricité Q' qu'elle a débitée.

On a :

$$Q' = 30 \times 1 + 350 \times 2 + 30 \times 2 = 790$$

Si le coefficient de Peukert est 1,50, on a, d'après la table :

$I_1^n t_1 = 30^n \times 1 = 164,32 \times 1 =$	$164,32$
$I_2^n t_2 = 350^n \times 2 = 65\,48 \times 2 =$	$130\,96$
$I_3^n t_3 = 30^n \times 2 = 164,32 \times 2 =$	$328,64$
$S I^n t$	$= 13.588,96$

$$(1) I^n = \frac{13588,96}{5} = 2717,8 \quad I' = 195 \quad C' = 5 I' = 975$$

On a donc :

$$K = \frac{C'}{Q'} = \frac{975}{790} = 1,23$$

la capacité de la batterie au régime constant de décharge en 5 heures sera donc

$$C = K Q = 1,23 \times 760 = 934,8 \text{ a. h.}$$

On choisira en pratique une batterie de 1,000 A-h au régime de décharge uniforme en 5 heures.

(1) On pourra également se servir de la table, page 00, pour trouver la valeur approximative de I^n .

Dans le cas de l'éclairage d'une ville, la courbe de la puissance utile a l'allure indiquée sur la figure 43 ; la puissance utile est maximum pendant 3 heures environ, et pendant le reste du temps elle est de beaucoup inférieure.

Le rapport de la puissance utile maximum à la puissance moyenne est le facteur de charge de l'usine, ce facteur de charge est compris ordinairement entre 0,25 (cas où la station centrale fournit exclusive-

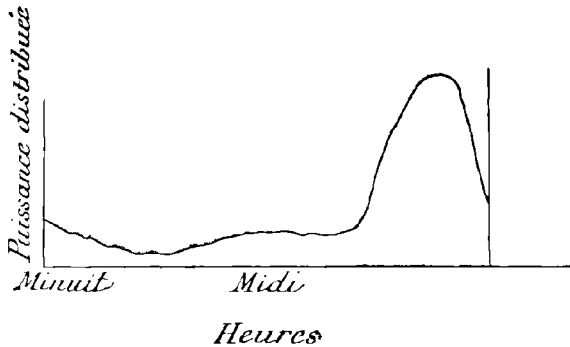


Fig. 45.

ment de l'énergie pour l'éclairage) et 0,50 (cas où le service d'énergie motrice est assez élevé).

On peut pour une première approximation tout au moins supposer la puissance constante et inférieure à la moyenne pendant la durée $24 - A$, puis pendant la durée A (de la demande maximum ($A = 3$ h), la supposer constante est égale au maximum ; de sorte qu'en somme la courbe est remplacée par deux rectangles (fig. 46).

Si y est la puissance maximum, y_m la puissance moyenne et x la puissance minimum d'une durée de $24 - a$ heures, on a :

$$24 y_m = x (24 - a) + a y$$

$$x (24 - a) = 24 y_m - a y$$

$$x = \frac{24 y_m - a y}{24 - a}$$

Si y_b est la puissance constante que doit fournir le moteur, on sait

que la puissance emmagasinée multipliée par le rendement total du tamponnage doit être égale à la puissance restituée utile, de sorte que si η est le rendement du tamponnage, on a :

$$\eta (y_b - x) (24 - a) = ay - ay_b$$

En combinant cette équation avec la précédente, on arrive à :

$$y_b = \frac{24 \eta f + a (1 - \eta) y}{24 \eta + a (1 - \eta)}$$

relation dans laquelle la puissance moyenne y_m est égale à fy , f étant le facteur de charge.

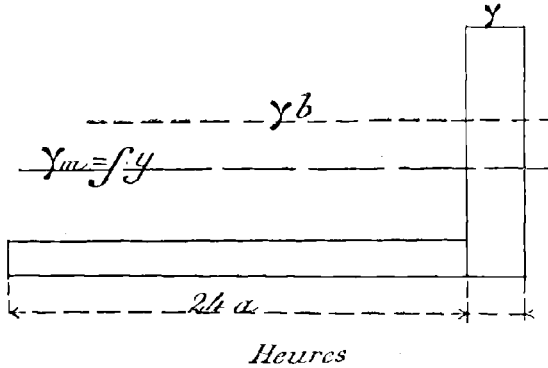


Fig. 44.

L'énergie utile à emmagasiner est, évidemment égale à $ay - ay_b$, et on a :

$$W_u = ay_b - ay = \frac{24 a \eta (1 - f) y}{24 \eta + a (1 - \eta)}$$

On voit donc que y_b , c'est-à-dire la puissance constante du moteur, augmente au fur et à mesure que le facteur de charge de la distribution augmente, tandis que l'énergie utile à emmagasiner diminue au fur et à mesure que f augmente. Dans le cas donc d'alimentation de l'éclairage d'une ville au moyen d'une chute, on fera bien de calculer la ligne de transport pour la valeur la plus grande, c'est-à-dire pour $f = 0,50$,

valeur à laquelle on peut espérer arriver dans l'avenir, tandis que la batterie tampon sera calculée pour la valeur minimum de f , c'est-à-dire $f = 0,20$, à moins de circonstances spéciales. On peut prendre en moyenne $\alpha = 3$ et pour un tamponnage direct, $\eta = 0,80$, de sorte que l'on a pour $f = 0,50$:

$$y_t = 0,51 y$$

L'énergie utile qui dans ce cas particulier est égale à l'énergie fournie par la batterie est pour $f = 0,20$.

$$W_u = 2,14 y$$

De la tension moyenne de la batterie, on pourra déduire la capacité qui s'applique à un régime de décharge à intensité constante en trois heures.

Dans le cas de tamponnage indirect on a $\eta = 0,52$, de sorte que pour $\alpha = 3$ et $f = 0,50$ on a :

$$y_t = 5,52$$

L'énergie utile emmagasinée est pour $f = 0,20$:

$$W_u = 2,20 y$$

L'énergie fournie par la batterie est :

$$\frac{W_u}{\eta_2} = \frac{W_u}{0,80} = 2,75 y$$

pour une décharge à régime constant en trois heures.

Dans le cas d'une batterie-tampon pour traction, on peut, si l'on connaît exactement la marche et la composition des trains, tracer la courbe de la puissance en fonction du temps, et en déduire la capacité de la batterie par la méthode indiquée ci-dessus, mais, en général, on ne connaît pas exactement les horaires, ni la composition des trains, principalement dans le cas de tramways. Dans ce cas, on peut admettre

les valeurs suivantes, tout en se souvenant que plus la capacité d'une batterie tampon est grande, plus son tamponnage est efficace.

En général, dans les petites installations, la puissance de la dynamo, ainsi que celle de la batterie, est égale à la charge moyenne.

Dans des installations plus importantes, on peut donner à la batterie une puissance égale à celle de l'une des génératrices.

Le tableau suivant peut donner quelques indications :

Puissance totale de l'ensemble (batterie comprise).		Puissance de la batterie (calculée pour une heure en p. 400 de la puissance des machines.)
0	— 200 kw	75
201	— 500	60
501	1000	50
1001	— 2000	40
	Au-dessus de 2000	20



TROISIÈME PARTIE

MARCHÉ POUR UNE BATTERIE

Les essais de réception d'une batterie sont généralement prescrits dans le cahier des charges, lors de la commande de cette dernière; comme exemple, nous donnons ci-dessous le projet du marché relatif à la fourniture d'une batterie, rédigé par une commission de l'association des usines d'électricité allemandes et adopté dans une réunion générale de cette association, tenue à Munich, en 1902 :

MARCHÉ

Entre les soussignés..... client et....., fournisseur, il a été convenu ce qui suit :

§ 1^{er}. — *Objet de la livraison.*

Les livraisons et les travaux comprennent :

La construction, livraison, le montage, le remplissage, la mise en état de fonctionnement d'une batterie d'accumulateurs, système....., fabriquée dans l'usine de....., située à....., comprenant..... éléments, n°....., ayant une capacité garantie

de ampères-heures, pour une charge à l'intensité de ampères et un courant de décharge de ampères, conformément au devis n° 7, ci-annexé, dans lequel toutes les fournitures à livrer et tous les travaux à exécuter sont indiqués en détail, tandis que tout ce qui n'est pas à la charge de l'entrepreneur est indiqué sous la rubrique « restent exclus ».

§ 2 — *Prix de revient.*

La batterie d'accumulateurs, montée et en état de fonctionnement, y compris les travaux et fournitures, sera payée francs au fournisseur, sans escompte, conformément au devis n° 1, ci-joint.

§ 3. — *Fournitures et travaux supplémentaires ou non exécutés.*

Les fournitures et travaux, qui tout en étant indiqués dans le devis, n'auront pas été exécutés, ne seront pas payés ; par contre, des travaux supplémentaires exécutés ou des fournitures supplémentaires faites, toutefois sur commandes écrites, seront payés en plus.

Pour des changements au devis, soit en plus, soit en moins et pour des fournitures ou travaux qui n'y sont pas indiqués, le client et le fournisseur devront se mettre auparavant d'accord.

Toute addition, sous quelque forme qu'elle ait lieu, relative à des dessins, frais de voyage, frais de transport, salaires ou autres indemnités analogues, est absolument interdite, à moins qu'elle ne soit formellement spécifiée au devis.

§ 4. — *Délais de livraison.*

Le montage de la batterie doit commencer le et le fournisseur doit prendre des dispositions pour qu'au plus tard le , la première charge puisse être commencée. Pour permettre l'installation, les locaux nécessaires au montage et au dépôt des matériaux devront être mis à la disposition du fournisseur au plus tard le , de manière à ce que la présence d'ouvriers du bâtiment n'y soit plus nécessaire.

Deux semaines avant l'achèvement des travaux, la date doit en être indiquée par écrit au fournisseur. Si cet avis est donné en retard, le

délai de livraison est reculé d'autant. Si malgré l'avis, les locaux ne sont pas en état, de manière à entraîner un retard dans la livraison, le délai est prolongé d'une quantité correspondante, mais il faut que le fournisseur en prévienne par écrit et à temps le client.

§ 5. — *Peines conventionnelles.*

Pour chaque jour de retard sur le délai fixé au § 4, le fournisseur doit payer une indemnité conventionnelle de 1/2 pour mille, respectivement cette indemnité lui sera retenue, en tant qu'il ne pourra arguer du cas de force majeure ou de la faute du client. Le délai est prolongé de la durée d'un empêchement.

Le fournisseur renonce expressément à recevoir une indemnité du client, relativement à ces faits, et s'engage à payer l'indemnité conventionnelle, même dans le cas où le retard n'aurait fait subir aucun dommage au client. Par contre, le client s'engage à renoncer à toute autre indemnité pour retard. Si la livraison est en retard de plus de trois mois, par la faute du fournisseur, le client a le droit de charger un tiers de l'entreprise, aux frais du fournisseur.

§ 6. — *Cautionnements.*

Le fournisseur doit, dans le délai de huit jours après la signature du contrat, déposer un cautionnement s'élevant à dix pour cent de la valeur totale du marché, cautionnement qui, à son choix, peut être déposé en papiers offrant toute sécurité, dans une banque de premier ordre. Après l'expiration de l'année de garantie, le cautionnement est de nouveau à la disposition du fournisseur. Dans le cas où le client trouverait que l'installation présente des défauts à rectifier par le fournisseur, il devrait le faire connaître avant l'époque du retrait de la caution et ce retrait n'aurait lieu qu'après la réparation des défauts.

§ 7. — *Paiement des fournitures.*

Le montant des paiements indiqués au § 2, est dû après la réception ; cependant le fournisseur est en droit d'exiger des acomptes pouvant

s'élever aux neuf dixièmes de la valeur des fournitures indiquées au contrat et le client est tenu au paiement.

§ 8. — *Responsabilité des accidents et des dommages pendant le montage.*

Jusqu'à la mise en marche, le fournisseur est seul responsable des accidents pouvant provenir des fournitures et travaux.

Si la mise en marche est retardée, et cela non par la faute du fournisseur, dès que le montage est terminé, la responsabilité passe au client.

Le client seul est tenu au paiement des assurances contre l'incendie.

Le client est responsable de tout dommage provenant de la mauvaise disposition ou de la non fermeture des locaux destinés au montage de la batterie et à la conservation des matériaux.

Il est en outre responsable des accidents provenant de travaux exécutés d'après ses ordres, et des dépenses supplémentaires et des fausses manœuvres que peuvent entraîner ces travaux.

§ 9. — *Fourniture du courant pour la mise en service de la batterie et les essais de capacité.*

L'énergie électrique nécessaire pour la mise en service et les essais de capacité, doit être fournie par le client. Si cependant la quantité d'électricité nécessaire dépasse le quintuple de la capacité de la batterie pour une décharge en dix heures, le client peut faire payer au fournisseur l'énergie supplémentaire, mais cela au plus au tarif de vingt centimes le kilowattheure. Pour une batterie-tampon, on considère la capacité d'une batterie de même type pour une décharge en dix heures.

Si pendant le délai de garantie, par exemple par suite de réparations ou de changements provoqués par la faute du fournisseur, on doit faire de nouveaux essais de capacité, le client peut exiger le paiement de l'énergie électrique nécessaire, mais cela au tarif maximum de vingt centimes le kilowattheure.

§ 10. — *Puissance de la batterie.*

Outre des qualités de la batterie spécifiées au § 1^{er}, la tension par

élément aux bornes de cette dernière après la décharge spécifiée au régime indiqué, ne doit pas tomber au-dessous de volts. Le fournisseur garantit, en outre, pendant toute la durée du délai indiqué § 11, les rendements suivants :

pour cent en wattheures.

pour cent en ampères-heures.

§ 11. — *Garantie.*

La garantie court du moment de la mise en service de l'installation.

Dans le cas où la mise en service ne pourrait avoir lieu immédiatement après la mise en état, le délai de garantie courrait à partir du quinzième jour après la mise en état.

La durée de garantie est de une année.

La garantie s'étend aux qualités définies dans le § 10, non seulement au moment de la mise en service, mais encore pendant toute l'année. Si les valeurs indiquées pour la capacité et les rendements ne sont pas atteintes, la batterie peut être mise à la disposition du fournisseur, dans le cas où après une mise en demeure, celui-ci n'aurait pas remis les choses en état dans un délai convenable.

La garantie n'est due qu'autant que les dispositions contenues dans l'annexe deux, du présent contrat, relativement aux conditions d'exploitation, ont été observées. Cependant dans des cas urgents, par exemple, l'arrêt d'un moteur, l'intensité de la décharge, peut atteindre le triple de la valeur normale, sans que le fournisseur puisse demander la résiliation de la garantie.

Si pendant la durée de la garantie, des défauts se manifestent à la batterie, exigeant des remaniements ou des renouvellements considérables, le temps de garantie est prolongé de la durée de ces réparations.

Le fournisseur ne garantit des bacs en verre contre la rupture, que pendant un délai de quatre semaines, après la mise en service, en admettant que la cause de la rupture lui incombe. Des bacs devenus défectueux après ce laps de temps devront être remplacés aux frais du client.

Tout autre exigence du client vis-à-vis du fournisseur est déclarée non-avenue.

§ 12. — *Entretien.*

Le fournisseur s'engage, sur la demande du client, pendant dix ans, et cela moyennant une indemnité annuelle de francs, à courir à partir du jour de la mise en service; à entretenir la batterie au point de vue de sa puissance, de manière que les prescriptions du § 10 soient observées. A cet égard, les prescriptions de l'annexe 3 sont valables.

Pour le commencement de la durée d'entretien et comme termes des paiements, on choisira le jour de la mise en service, ou au plus tard, le quinzième jour qui suivra la mise en état de fonctionnement de la batterie.

Si l'entretien n'est pas confié au fournisseur dans un délai de six mois à partir du jour de la mise en service, celui-ci n'est plus tenu de l'accepter et pourra demander un nouvel accord au point de vue de l'indemnité annuelle.

§ 13. — *Essais de réception.*

Le client est tenu de procéder aux essais de réception, dans les trois jours qui suivent la dernière charge complète de la batterie, à moins que le fournisseur ne demande que ces essais ne soient remis à une date ultérieure, qui cependant ne peut dépasser quatorze jours.

La date probable de la mise en état de la batterie doit être indiquée au client au moins huit jours à l'avance. Si le client demande que l'essai soit remis à une date ultérieure, il doit tenir compte au fournisseur des frais supplémentaires provenant de ce retard.

Le fournisseur doit fournir le personnel technique nécessaire à l'essai, à l'exclusion des aides.

Les prescriptions indiquées au § 14, sont en vigueur pour les essais. Si, lors des essais, des insuffisances sont constatées, le fournisseur est tenu de les réparer dans un délai convenable, et autant que possible sans interrompre l'exploitation.

Dans le cas où un renouvellement complet de la batterie serait reconnu nécessaire, celui-ci devra être effectué dans les trois mois. Le fournisseur doit supporter les frais d'essais supplémentaires. Dans le cas où le fournisseur ne pourrait pas ou se refuserait à relever les dérangements dans le délai voulu, le client est autorisé à y faire procéder par un tiers

au frais du fournisseur ; si cela n'est pas possible, le client peut mettre la batterie à la disposition du fournisseur et charger un tiers de fournir une autre batterie aux frais de ce dernier. Dans ce cas, le fournisseur est obligé de laisser sa batterie à la disposition du client, et cela sans frais, jusqu'à ce que la nouvelle soit installée, mais cependant pendant trois mois au plus. Le courant nécessaire pour la mise en état de la nouvelle batterie doit être payé au client par le fournisseur, mais cela au prix de revient de l'énergie motrice, ne devant pas dépasser vingt centimes par kilowattheure.

§ 14. — *Essais et mesures de capacité.*

Avant les essais de capacité et de rendement, on doit procéder à une charge avec durées de repos. La charge avec durées de repos a lieu de la manière suivante : on charge d'abord la batterie à intensité normale jusqu'à ce qu'il y ait un dégagement abondant de bulles de gaz tant aux plaques positives qu'aux négatives, puis on cesse la charge pendant une heure, procède à une nouvelle charge avec une intensité moitié moindre et on cesse de nouveau la charge pendant une heure. Cette manière de faire est renouvelée jusqu'à ce que dès le commencement de la charge, il y ait un dégagement abondant de gaz aux positives et aux négatives.

On procède ensuite à une décharge normale, puis la batterie est chargée normalement jusqu'à ce que l'on ait un abondant dégagement de gaz aux plaques positives et négatives ; alors on note exactement la tension, l'intensité du courant et le dégagement des gaz. On procède alors à une décharge à ampères, jusqu'à ce que la capacité garantie soit obtenue, respectivement jusqu'à une tension à fin décharge de volts par élément, puis on procède à la recharge. Cette recharge doit être faite à la même intensité que la charge précédente et jusqu'à ce que l'on obtienne à fin charge la même tension et un même dégagement de gaz. Le quotient de la dernière décharge en ampères-heures, respectivement en wattheures, par la dernière charge en ampères-heures respectivement en wattheures, donne le rendement respectivement en ampères-heures et en wattheures.

Afin de déterminer le rendement en wattheures, on ne doit avoir égard qu'aux pertes dues à la batterie elle-même. On doit donc ne pas compter des pertes dues aux connexions entre éléments ou entre la batterie et le tableau, ou, au besoin, déduire ces pertes de l'ensemble,

Dans le cas où les essais de réception ont lieu immédiatement après la mise en état de fonctionnement de la batterie, la charge préparatoire avec durées de repos n'est pas obligatoire.

§ 15. — *Dessins.*

Si le client le désire, le fournisseur doit remettre tous les dessins de construction et de montage, nécessaires pour une bonne installation.

§ 16 — *Discussion de brevets.*

Le fournisseur est seul responsable de toutes les revendications qui pourraient être faites par des tiers, relativement à des brevets ou à des modèles déposés.

§ 17. — *Timbre.*

Ce paragraphe concerne exclusivement une batterie installée en Allemagne.

§ 18.

Le présent marché a été fait en double et signé par les deux contractants.

Le Client,

Le Fournisseur,
