

# ÉLECTRICITÉ

## Redresseurs à vapeur de mercure de grande puissance<sup>(1)</sup>

### AVANT-PROPOS

Depuis janvier 1927, la Société a poursuivi l'étude des redresseurs, en faisant porter tous ses efforts sur les appareils de grande puissance, à cuve métallique. Soucieuse de ne présenter à sa clientèle que des appareils éprouvés, répondant en qualité et sûreté de fonctionnement aux exigences des exploitations pour lesquelles les avantages remarquables du

quelles elles ont porté plus spécialement sont : l'obtention de la parfaite étanchéité du récipient constituant le redresseur (ce récipient comporte de nombreuses soudures et sa capacité peut atteindre plus de 1,000 litres), la réalisation des introductions isolantes et étanches pour les anodes, la cathode et les divers organes auxiliaires, le choix des manières constituant les organes internes et l'élimination aussi complète que possible des risques de retours d'allumage, de court-circuits entre anodes, de rup-

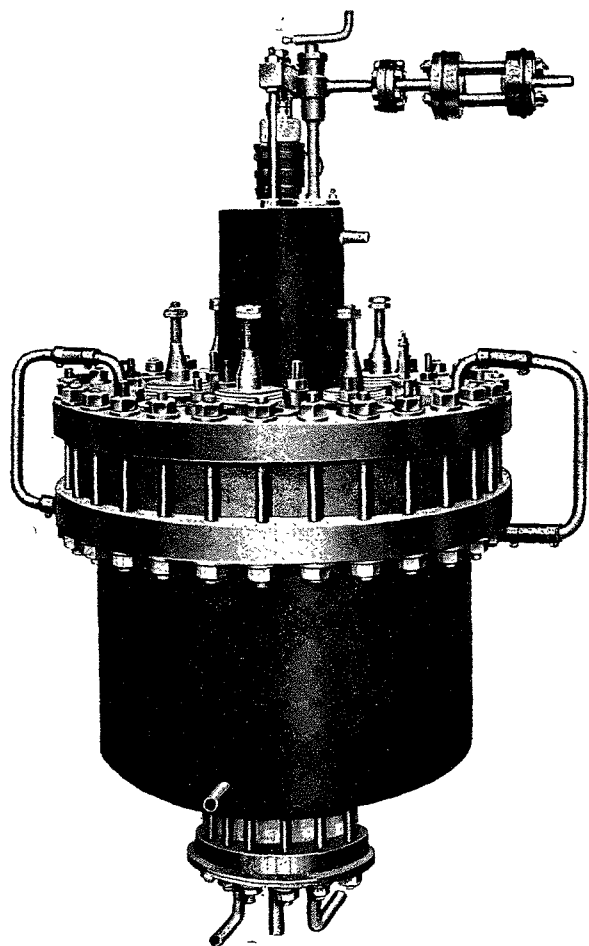


Fig. 1. — Redresseur métallique d'études.

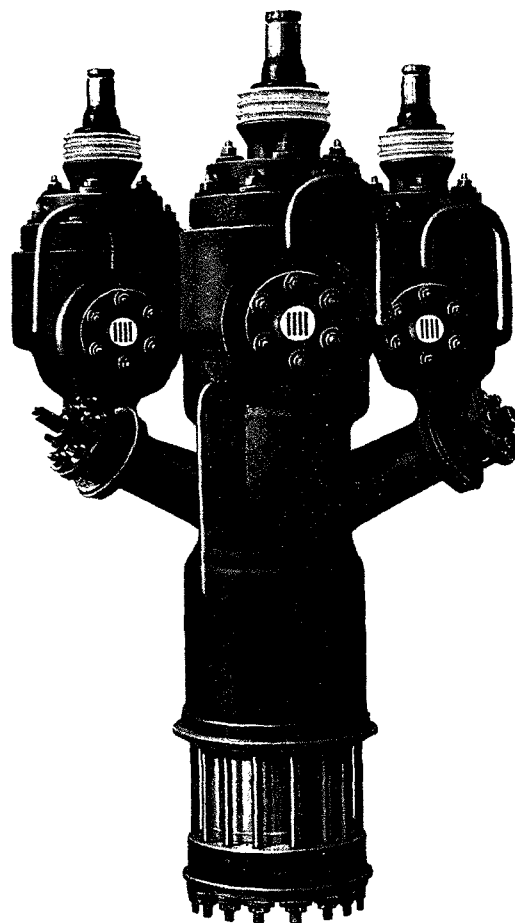


Fig. 2. — Redresseur d'essai muni de regards permettant l'examen des arcs

redresseur à vapeur de mercure s'imposent plus particulièrement, elle ne s'est pas contentée d'une mise au point au laboratoire et a tenu à donner aux dispositions qu'elle a adoptées la consécration d'essais industriels minutieusement et méthodiquement menés et poursuivis très longuement de manière à faire intervenir toutes les circonstances qui peuvent affecter le fonctionnement.

Sans entrer dans les détails des recherches effectuées pendant plusieurs années, nous indiquerons que les questions sur les-

tures d'arcs et d'éclatement entre les organes actifs et neutres.

Dans le courant de l'année 1925, la Société Alsacienne mettait en service régulier un redresseur de 220 kW couplé en parallèle avec une station centrale alimentant un réseau soumis à un service très dur, comportant des surcharges importantes, fréquentes et brusques. Ce redresseur a permis d'effectuer, dans les conditions les plus sévères, les études et essais de fonctionnement industriel très prolongé qui étaient jugés nécessaires; le service assuré a été parfaitement régulier.

Vers la fin de 1926, une installation semi-automatique de redresseur à vapeur de mercure était en outre mise en épreuve

(1) Extrait du *Bulletin de Société Alsacienne de Constructions Mécaniques*, Janvier 1928.

dans une sous-station alimentant un réseau de tramways urbains.

Le premier des redresseurs mis en service industriel était du modèle à cuve cylindrique, avec anodes placées à l'intérieur de la cuve ; les résultats donnés par cet appareil ont laissé entrevoir qu'une répartition différente des divers organes du redresseur devait assurer une dissipation plus active de la chaleur qu'ils dégagent, tout en donnant aux arcs des trajectoires relativement courtes et largement ouvertes, conditions nécessaires pour l'obtention de la chute de tension la plus réduite dans les arcs et de plus grandes possibilités de surcharge. C'est ainsi que la Société Alsacienne fut amenée à la création d'un autre modèle de redresseur, dont les anodes sont placées dans des bras ou tubes latéraux distribués en dehors de la cuve proprement dite. C'est un redresseur de ce type qui alimente le réseau de

par la construction et le fonctionnement des appareils métalliques de grande puissance.

## I.- L'arc à vapeur de mercure et les redresseurs

### LES PROPRIÉTÉS DE L'ARC A VAPEUR DE MERCURE ET LEUR APPLICATION DANS LES REDRESSEURS

Le redresseur à vapeur de mercure comprend, dans ses parties essentielles : un récipient, en verre, ou en métal, rigoureusement étanche, 2, 3, 6 ou 12 anodes suivant la nature du courant alternatif à redresser, une cathode constituée par une masse de mercure, un dispositif d'allumage et, pour un courant redressé de plus de 50 ampères, un système de réfrigération par ventilation ou circulation d'eau ; un vide de l'ordre de quelques dixmillièmes

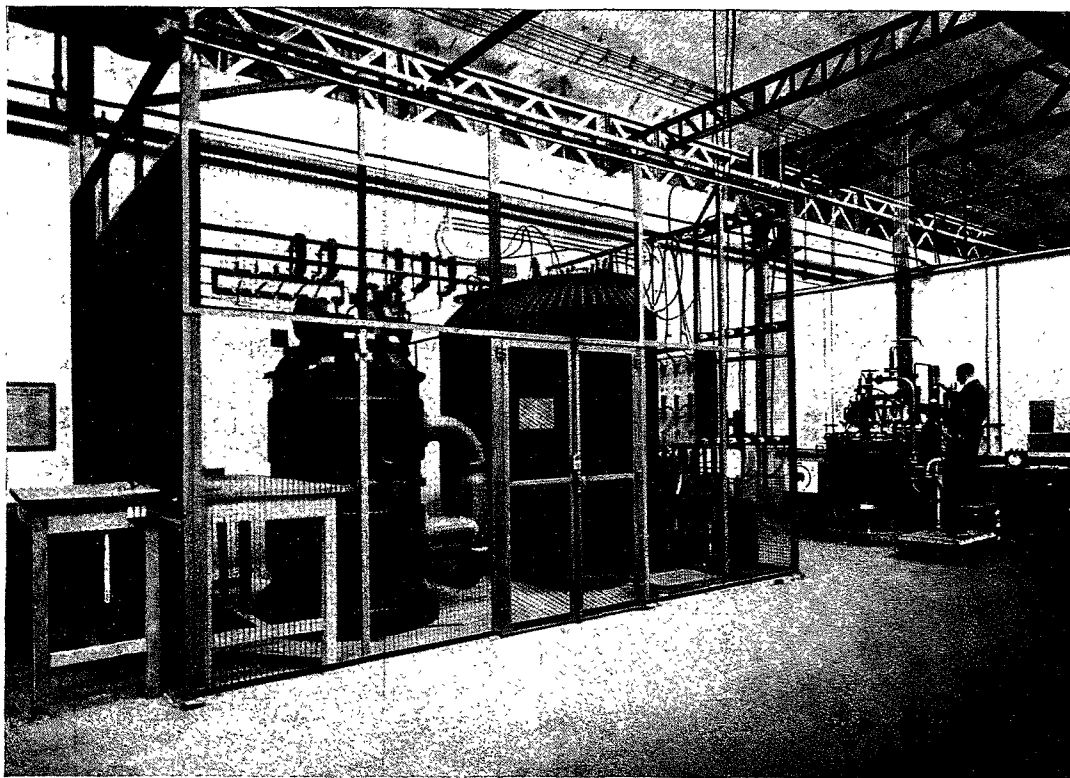


FIG. 3. — Installation d'essai de redresseurs de grande puissance.

tramways signalé ci-dessus ; il accuse, conformément aux prévisions, une chute de tension particulièrement favorable, de 16 à 17 volts, et le service qu'il assure donne toute satisfaction à son exploitant.

C'est d'après les résultats acquis, tant par ces deux installations d'épreuve que par les études de son laboratoire de recherches, que la Société Alsacienne a mis au point une série de redresseurs métalliques dont les intensités normales s'échelonnent de 500 à 2.000 ampères, pour des tensions redressées jusqu'à 750 volts. Ces appareils sont prévus pour le redressement d'un courant hexaphasé ; ils comportent 6 ou 12 anodes actives suivant leur puissance.

Avant d'entreprendre leur description, à laquelle sera spécialement consacré le présent article, il nous paraît indispensable de reprendre brièvement l'exposé des principes des redresseurs à vapeur de mercure, en nous attachant à l'étude des phénomènes qui interviennent particulièrement dans les questions posées

de millimètre de mercure est établi à l'intérieur du récipient, après extraction aussi complète que possible des gaz occlus dans les divers matériaux constituant le redresseur.

Si l'on suppose les anodes reliées au pôle positif d'une source de courant continu, la cathode en liaison avec le pôle négatif de cette même source et enfin que l'on amorce l'appareil par un procédé quelconque, des arcs lumineux s'établissent entre les anodes et la cathode. Ces arcs présentent diverses propriétés dont les plus importantes, au point de vue qui nous occupe, sont les suivantes :

- a) leur conductibilité est unilatérale et n'existe pratiquement que dans le sens « anode-cathode ».
- b) la tension aux bornes de l'arc, c'est-à-dire entre anodes et cathode, varie suivant l'intensité du courant de l'arc considéré, suivant le nombre d'anodes en fonctionnement suivant le degré du vide existant dans l'appareil et enfin suivant la température générale du redresseur,

- c) la tension aux bornes de l'arc présente, entre certaines limites d'intensité, une valeur sensiblement constante et indépendante de la charge,
- d) l'excitation de la cathode ne peut être maintenue au-dessous d'une certaine valeur du courant débité par les anodes et son extinction peut être précédée d'une période plus ou moins brève d'instabilité des arcs.

Il est utile d'étudier l'influence de ces diverses propriétés de l'arc au mercure sur le fonctionnement des redresseurs.

a) *Conductibilité unilatérale de l'arc dans le sens « anode-cathode »*. — Cette conductibilité permet la mise en jeu de courants d'intensité très élevée. Lorsque le redresseur est soumis à une tension alternative, les anodes reçoivent cependant, tour à tour, aux instants où elles se trouvent au potentiel négatif des diverses phases d'alimentation, un courant dans le sens « anode-cathode »,

puis s'espacent de plus en plus pour devenir extrêmement rares. Leur tendance à se produire s'atténue au fur et à mesure de l'amélioration du redresseur, par l'élimination de plus en plus profonde des gaz occlus dans les matières qui le constituent. Ces gaz occlus ne se dégagent que très lentement ; la formation faite en usine en élimine bien la majeure partie et met l'appareil en état de fonctionner, mais leur disparition sensiblement complète n'est réalisée qu'après 3 à 5 mois de marche.

Quoiqu'il en soit, les retours d'allumage et les court-circuits entre anodes ne présentent pas d'inconvénient marqué, les installations étant pourvues des appareils de protection convenant à chaque cas et pouvant être remises en service immédiatement après le fonctionnement de ces appareils. Des précautions spéciales sont en outre prises dans la construction des transformateurs alimentant les redresseurs, pour que leurs enroulements supportent sans détérioration les efforts mécaniques

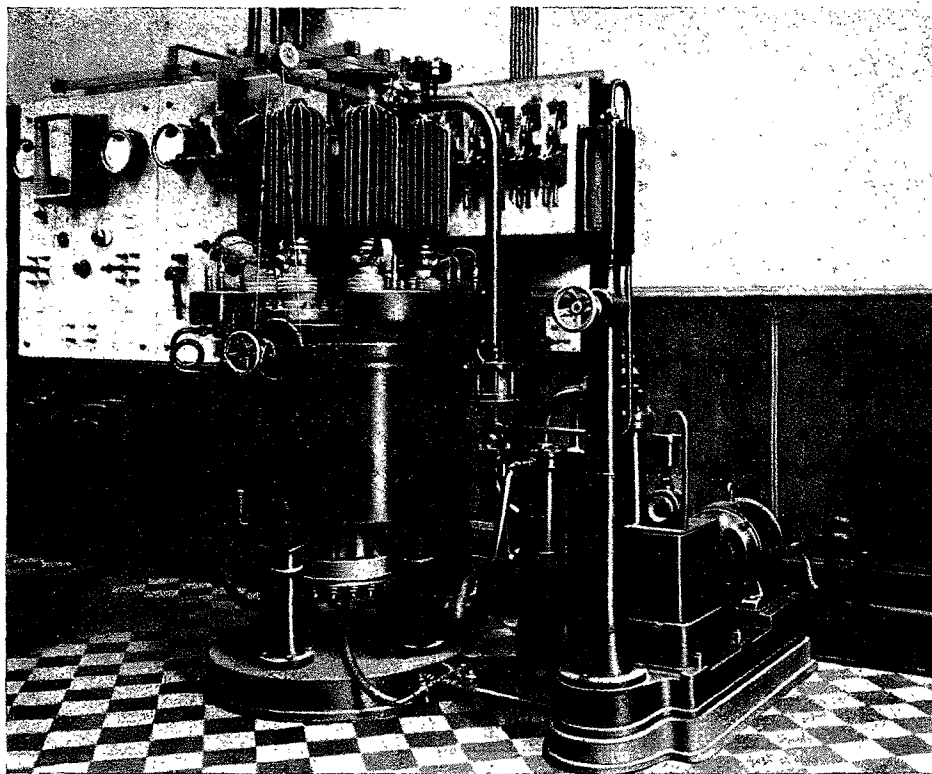


FIG. 4. — Redresseur métallique de 220 kW.

mais ce courant inverse est en fait négligeable ; il paraît être de l'ordre de quelques micro-ampères et en conditions normales de fonctionnement d'un redresseur, il ne présente pas d'inconvénients.

Toutefois, si l'état normal du redresseur vient à se modifier, par suite de causes accidentelles, des retours d'allumage peuvent se produire et on peut admettre que ceux-ci ne sont que le brusque développement des courants inverses. Bien que les causes des retours d'allumage et court-circuits entre anodes ne soient pas toujours parfaitement connues, une expérience prolongée a permis de reconnaître les plus importantes d'entre elles et donné les moyens de les éviter, si bien que pratiquement ces inconvénients peuvent être considérés comme éliminés par une mise au point minutieuse des redresseurs, tant dans leurs forme et conception que dans leurs dimensions.

Les retours d'allumage et court-circuits entre anodes se produisent parfois dans les premiers temps de fonctionnement,

auxquels ils peuvent être soumis par suite des court-circuits en question.

b) *Chute de tension dans l'arc*. — Elle se divise en trois parties : la chute de tension anodique, qui est de l'ordre de 6,5 volts, la chute de tension cathodique, d'environ 5,5 volts, enfin la chute d'espace approximativement proportionnelle à la distance comprise entre une anode et la cathode et inversement proportionnelle à la section offerte au passage de l'arc. Par le dimensionnement convenable du redresseur on peut réduire la chute d'espace à la plus faible valeur possible.

Les redresseurs de la Société Alsacienne sont pourvus d'un dispositif breveté d'immobilisation de la tache cathodique, qui présente divers avantages : la chute de tension cathodique en est abaissée d'un volt environ, la quantité de vapeur de mercure à mettre en jeu est moins importante, le courant minimum de fonctionnement est considérablement réduit et la stabilité des arcs mieux assurée aux faibles régimes. Cette immo-

bilisation de la tache cathodique est obtenue par une électrode en métal spécial qui émerge du mercure et dont le développement est proportionnel à l'intensité du courant à fixer; la tache cathodique, au lieu de se déplacer continuellement, s'immobilise sous la forme d'une ligne lumineuse à l'intersection de la surface du mercure et de l'électrode de fixation.

La pression de vapeur de mercure à l'intérieur du redresseur a une influence considérable sur la chute de tension dans les arcs. Si l'on considère la chute de tension d'une seule anode allumée, à une intensité déterminée, par exemple celle correspondant au courant normal de cette anode, on constate des abaissements successifs de cette chute de tension au fur et à mesure que l'on porte le nombre des anodes en activité à 2, 3, 6. La pression de vapeur de mercure présente une valeur optimum qui donne la chute de tension la plus faible; il s'ensuit que les redresseurs doivent fonctionner à une température aussi voisine que possible de celle correspondant à la pression de vapeur optimum.

La surchauffe d'un redresseur a pour effet de diminuer la section de passage des arcs; ceux-ci se présentent alors sous la forme de faisceaux éblouissants, de section de plus en plus réduite, puis ils s'éteignent, ou bien un retour d'allumage se produit, accompagné de court-circuits entre anodes. Un vide insuffisant produit des effets analogues; un vide trop poussé peut rendre l'allumage du redresseur plus difficile et provoquer l'instabilité des arcs à faible charge; ces inconvénients ne sont du reste que de courte durée et peu fréquents, surtout avec les redresseurs métalliques.

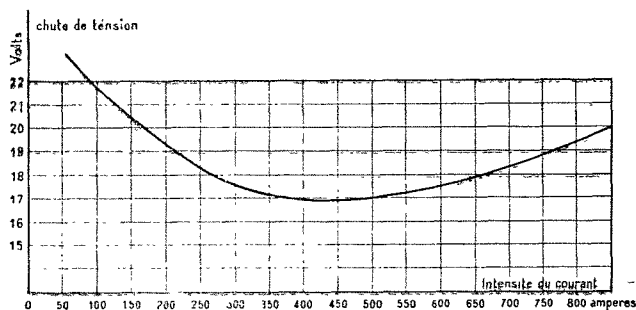


FIG. 5. — Chute de tension, en fonction de la charge, d'un redresseur de 500 ampères, 750 volts.

c) *Variation de la chute de tension dans l'arc en fonction de l'intensité du courant.* — L'arc à vapeur de mercure présente, entre certaines limites de débit, une chute de tension pratiquement constante et indépendante de l'intensité du courant de l'arc; la fig. 5 montre à titre d'exemple la courbe de tension d'un redresseur métallique du type HB-10 de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques. Cet appareil, dont l'intensité nominale est de 500 ampères pour des tensions redressées jusqu'à 750 volts environ, marque une chute de tension minimum et sensiblement constante, de 17 volts environ, entre 300 et 600 ampères; celle-ci augmente ensuite, faiblement et de façon continue, en fonction de l'intensité. Pour des courants inférieurs à 300 ampères, la chute de tension croît en raison inverse de l'intensité. L'on voit que l'écart maximum de chute de tension dans l'arc est de 4,5 volts entre 1/5 et 6/5 de l'intensité normale; c'est entre ces valeurs de charge que l'on choisit, pour un appareil donné, le régime normal d'utilisation convenable, suivant

la valeur de la tension redressée et le régime des surcharges à prévoir.

Dans l'appareil auquel se rapporte la fig. 5, les pertes internes sont de 2.200 watts à 1/5 de la charge normale, 8.500 watts à la charge 1/1 et 10.500 watts à la charge 6/5. Ces pertes sont le produit de la chute de tension par l'intensité débitée par les arcs. Elles sont indépendantes de la tension d'utilisation du redresseur; il s'ensuit que leur importance relative décroît au fur et à mesure que l'on élève la tension redressée. La fig. 6

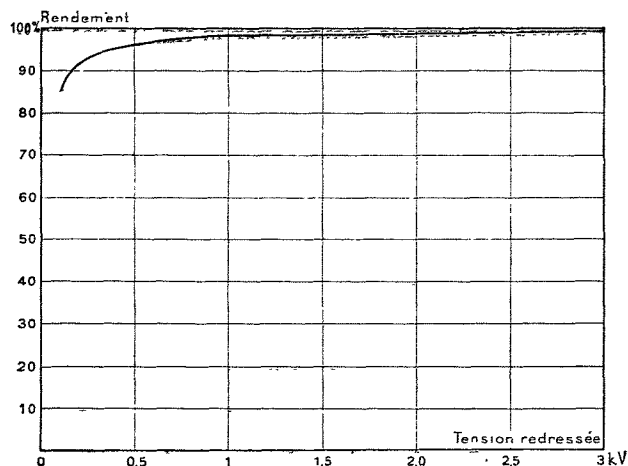


FIG. 6. — Rendement d'un redresseur à vapeur de mercure en fonction de la tension redressée, aux charges normales correspondant à une chute de tension moyenne de 18 volts.

donne, en fonction de la tension redressée ou d'utilisation, la courbe de rendement d'un redresseur, celui-ci étant considéré aux charges normales correspondant à une chute de tension moyenne de 18 volts, toutes les parties de l'appareil se trouvant à leur température normale de fonctionnement.

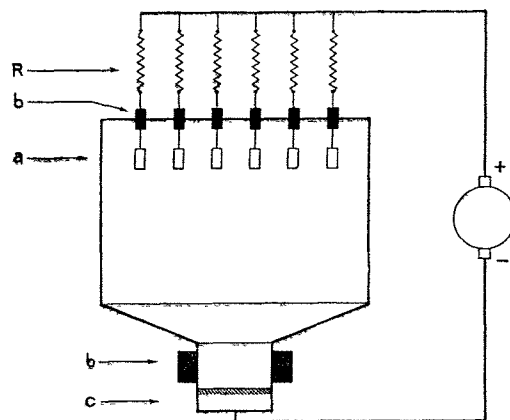


FIG. 7. — Montage pour la formation, par courant continu, d'un redresseur à 6 anodes :

R == résistances d'anodes ; a -- anodes ; b -- introductions isolantes et étanches ; c -- cathode.

La chute de tension dans l'arc à vapeur de mercure présente ainsi une caractéristique négative pour les valeurs de l'intensité du courant inférieures à celle qui correspond au minimum de

la chute de tension. Cette caractéristique négative tend à rendre instable le couplage en parallèle de plusieurs arcs sur une même source de courant; en effet, l'arc qui à un instant donné se trouve être le plus chargé présente une chute de tension plus faible que les autres arcs et tend, de ce fait, à prendre une charge de plus en plus élevée; par suite, le débit des autres arcs diminue, tandis que leur chute de tension s'élève, d'où accroissement du déséquilibre, bientôt suivi de l'extinction des arcs dont le débit initial était le plus faible:

Il faut donc recourir à des dispositifs spéciaux pour rendre stable le couplage en parallèle des arcs. Dans le cas du courant continu employé en usine pour la formation initiale des redresseurs, on utilise le montage indiqué par la fig. 7; des résistances

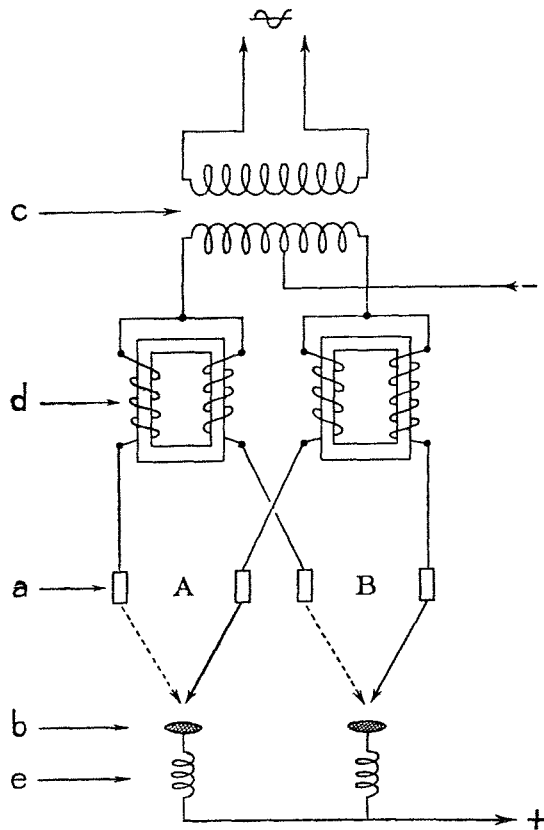


FIG. 8. — Couplage en parallèle de deux redresseurs monophasés A et B :

a — anodes des deux redresseurs monophasés ; b — cathodes des deux redresseurs monophasés ; c — transformateur ; d — inductances doubles de couplage ; e — inductances de cathodes.

$R$ , identiques entre elles, sont insérées dans chaque circuit d'anode; elles ont pour effet de donner pour l'ensemble des chutes de tension, dues d'une part à ces résistances et d'autre part à l'arc, une caractéristique positive telle que l'équilibre des courants débités par les diverses anodes soit déjà assuré pour une faible fraction de l'intensité totale considérée.

Pour le couplage en parallèle des redresseurs sur un même transformateur, en fonctionnement normal, on relie les anodes devant fonctionner sur la même phase à une inductance double comportant deux enroulements identiques montés en opposition de flux sur un même circuit magnétique. La fig. 8 représente par exemple le montage convenant au couplage en parallèle de deux redresseurs monophasés A et B; on voit que si l'un d'eux tend à prendre une charge plus élevée, il détruit l'équi-

libre des flux dans les inductances de couplage  $d$ ; la chute de tension aux bornes des enroulements les plus chargés augmente, d'où diminution de la tension appliquée aux anodes correspondantes, tandis que la tension aux anodes du redresseur le moins chargé devient prédominante; l'égalité de répartition des charges entre les deux redresseurs est donc assurée.

Il convient de remarquer que l'influence des inductances de couplage sur la chute de tension de l'ensemble de l'installation est très faible; en marche normale, par suite de l'opposition des forces magnétomotrices de leurs enroulements, elles présentent une valeur très réduite, pratiquement à peu près négligeable, qui correspond au flux dispersé.

d) *Entretien de l'arc au mercure aux faibles intensités de courant*, — L'état d'ionisation du redresseur doit être maintenu de façon constante; si la tache cathodique disparaît par manque de courant, ne serait-ce que pendant un temps infiniment court, ou si l'intensité du courant s'abaisse au-dessous d'une certaine valeur minimum, cet état d'ionisation cesse ou devient insuffisant et les arcs s'éteignent.

Pour éviter cet inconvénient, les redresseurs comportent généralement deux petites anodes d'entretien, alimentées par un transformateur monophasé de faible puissance; ces anodes débitent sur un circuit spécial un courant constant et entretiennent ainsi l'excitation de la cathode. L'énergie mise en jeu dans ce dispositif est réduite à la valeur strictement nécessaire pour obtenir le résultat voulu, et d'une façon générale, elle constitue une dépense minimale, sans influence appréciable sur le rendement des installations.

A tout moment, l'anode qui se trouve au potentiel le plus élevé, transmet la totalité de l'énergie, puis l'anode suivante dans l'ordre des phases la transmet à son tour et ainsi de suite. Le passage de l'arc d'une anode à la suivante marque un minimum de tension du courant ondulatoire fourni par le redresseur. La courbe du courant redressé varie suivant que le circuit d'utilisation est inductif ou non.

#### LA CONVERSION DU COURANT ALTERNATIF EN COURANT CONTINU PAR LES REDRESSEURS A VAPEUR DE MERCURE.

a) *Alimentation du redresseur*. — Une relation déterminée, variant avec la nature du courant alternatif à convertir en courant continu, existe entre la tension redressée  $V_c$  que l'on veut obtenir et la tension  $V_a$  qu'il convient d'appliquer entre les anodes du redresseur et le pôle négatif du circuit d'utilisation. Un transformateur approprié est donc nécessaire dans chaque cas pour l'alimentation du redresseur; ses caractéristiques générales sont déterminées par la tension redressée, la puissance redressée utile, la nature du courant d'alimentation et le rendement global de l'installation.

Si l'on désigne par  $e$  la chute de tension dans le redresseur, les relations ci-après donnent, dans les cas les plus usuels, les valeurs de  $V_a$  (tension secondaire du transformateur entre phase et neutre) en fonction de  $V_c$  (tension redressée) :

courant monophasé :

$$V_a = 1,41 (V_c + e)$$

courant triphasé :

$$V_a = 0,855 (V_c + e)$$

La relation des tensions dans le cas du montage hexaphasé découle de la relation triphasée, le couplage hexaphasé étant constitué par deux systèmes triphasés décalés entre eux de 60°.

L'intensité  $I_a$  du courant efficace d'anode, en fonction de l'intensité du courant redressé  $I_c$ , est donnée par les relations suivantes :

courant monophasé

$$I_a = \frac{I_c}{\sqrt{2}}$$

courant triphasé

$$I_a = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

courant hexaphasé, double étoile

$$I_a = \frac{I_c}{2\sqrt{3}}$$

Les conditions particulières de fonctionnement des transformateurs alimentant des redresseurs à vapeur de mercure exigent pour ces appareils un dimensionnement correspondant

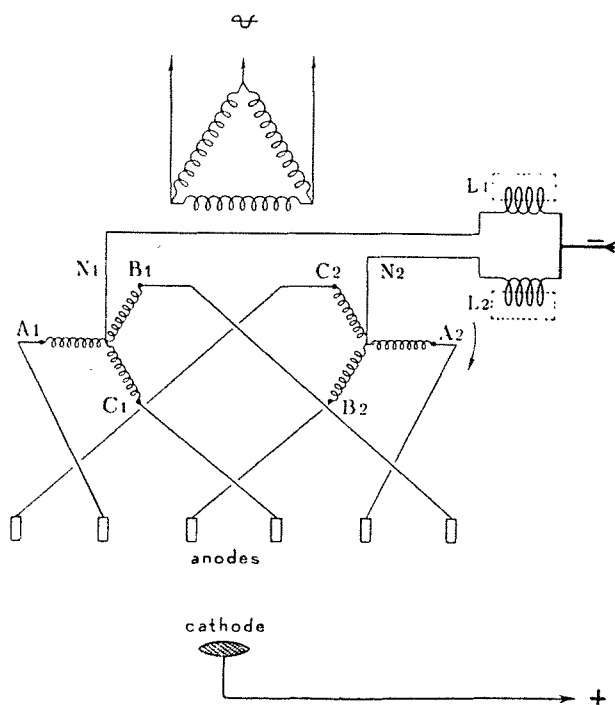


FIG. 9. — Alimentation d'un redresseur à 6 anodes par un montage hexaphasé double étoile.

à une puissance sensiblement plus élevée que la puissance utile mise en jeu dans l'installation ; comme cela a été indiqué plus haut, chaque anode fournit en effet tour à tour la totalité de la puissance ; dans le cas du montage hexaphasé double étoile deux anodes se partagent la charge. Il s'ensuit que la quantité de cuivre de l'enroulement secondaire du transformateur est sensiblement augmentée par rapport au cas des transformateurs ordinaires ; en outre, cet enroulement n'est pas chargé d'une façon uniforme. A l'empiètement près des alternances redressées, la moitié seulement du secondaire d'un transformateur monophasé alimentant un redresseur fournit à chaque instant la totalité de l'énergie, tandis qu'au même instant l'autre moitié

de l'enroulement est inactive ; dans le cas du courant triphasé, un tiers de l'enroulement est en jeu à chaque instant ; en montage hexaphasé simple étoile, un sixième seulement.

Ce déséquilibre des charges des diverses fractions du secondaire entraîne un accroissement sensible de l'inductance de fuites du transformateur, avec abaissement du facteur de puissance et augmentation de la chute de tension. Ce dernier inconvénient est d'autant plus marqué que le nombre de phases est plus élevé (il peut être négligé dans les installations de faible puissance, affectées par exemple à la charge de batteries d'accumulateurs) ; la chute de tension est de 5 à 6% en courant monophasé, 8 à 9% en courant triphasé.

Lorsqu'il s'agit d'installations importantes ou d'applications pour lesquelles il est nécessaire de disposer d'une tension sensiblement constante, le montage hexaphasé double étoile est toujours employé ; il permet de relever sensiblement le facteur de déphasage et donne une chute de tension réduite au réseau d'utilisation. Ce montage, représenté par le schéma de la fig. 9, est caractérisé par la décomposition du secondaire hexaphasé du transformateur en deux enroulements triphasés en étoile, indépendants et sans point commun. L'un de ces enroulements est désigné sur la figure par les lettres  $A_1 - B_1 - C_1$  pour les phases et  $N_1$  pour le neutre ; l'autre est désigné par les lettres  $A_2 - B_2 - C_2$  pour les phases et  $N_2$  pour le neutre ; ils sont décalés entre eux de 60°. Les phases désignées par la même lettre correspondent à une même colonne du transformateur, les neutres  $N_1$  et  $N_2$  sont respectivement reliés par les inductances  $L_1$  et  $L_2$ , recevant chacune la moitié du courant redressé, au pôle négatif du circuit de ce courant.

Ainsi réalisé, le couplage revient au fonctionnement de deux redresseurs triphasés en parallèle, mais avec décalage de 1/6 de période entre leurs effets. Chaque anode travaille, à l'empiètement près, pendant 1/3 de période (au lieu de 1/6 dans le cas du montage hexaphasé simple étoile) avec recouvrement de 1/6

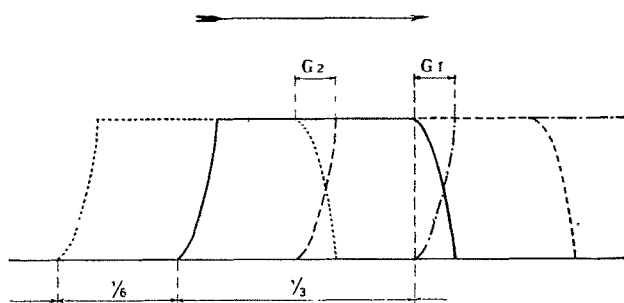


FIG. 10. — Empiètement des alternances redressées dans le cas d'une alimentation par montage hexaphasé double étoile.

de période sur les temps de fonctionnement de l'anode précédente et de l'anode suivante. La fig. 10 montre schématiquement les positions relatives des temps de fonctionnement de trois anodes voisines du redresseur.

La courbe en trait plein représente par exemple le courant de phase débité par l'anode  $A_1$  appartenant au premier groupe triphasé de la fig. 9 ; la courbe en trait pointillé représente le courant de phase débité par l'anode  $B_2$  du deuxième groupe triphasé ; la courbe en trait interrompu, celui de l'anode  $C_2$  appartenant également au deuxième groupe ; enfin la courbe en trait mixte montre le courant débité par l'anode  $B_1$  du premier groupe.

La durée de fonctionnement de chacune des anodes est un peu supérieure à 1/3 de période; par suite de la déformation des alternances redressées, provoquée par les inductances reliant les deux groupes triphasés, il se produit un empiètement entre les courants de phase d'un même groupe. Ces empiètements sont indiqués sur la figure par les temps  $G_1$  et  $G_2$ , correspondant : le premier à l'empiètement des courants de deux anodes successives du premier groupe, le second à l'empiètement des courants de deux anodes successives du deuxième groupe.

Les courants d'harmoniques 6 et 12, en phase dans les deux inductances  $L_1$  et  $L_2$ , les traversent sans modifier l'état d'équilibre des flux. Par contre, les courants d'harmoniques 3 et leurs multiples impairs provenant du transformateur se ferment sur ces inductances et à travers les arcs; ils ne se propagent pas au réseau d'utilisation qui ne reçoit que les harmoniques 6 et 12, d'amplitude faible, qui ne présentent, dans la majorité des cas, aucun inconvénient appréciable.

Il est avantageux de monter sur les circuits magnétiques des inductances  $L_1$  et  $L_2$  des enroulements démagnétisants parcourus par le courant redressé total et détruisant le flux provenant de la composante continue du courant redressé parcourant les enroulements  $L_1$  et  $L_2$ ; cette disposition, brevetée, permet un dimensionnement économique des inductances, dont le fer doit être soumis à une induction aussi faible que possible.

La marche simultanée de deux anodes n'est pleinement assurée que lorsque les courants d'harmoniques 3 qui parcourent les inductances  $L_1$  et  $L_2$  induisent aux bornes de ces dernières une tension suffisante pour que chaque anode conserve une tension supérieure aux autres pendant 1/3 de période. Lorsque le courant débité par le redresseur s'abaisse au-dessous d'une certaine valeur « dite intensité critique », la tension d'harmonique 3 aux bornes des inductances diminue et le recouvrement des courants d'anodes d'un groupe triphasé sur l'autre s'atténue progressivement et à charge nulle le fonctionnement revient à celui d'un redresseur alimenté par un secondaire hexaphasé simple étoile, qui pour une même tension de phase donne une tension redressée plus élevée. Le rapport entre la tension redressée et la tension de phase passe de la valeur :

$$V_c = V_a \sqrt{\frac{2}{3}} \sin \frac{\pi}{3}$$

à la valeur plus élevée

$$V_c = V_a \sqrt{\frac{6}{\pi}} \sin \frac{\pi}{6}$$

Dans ces relations, il n'est pas tenu compte de la chute de tension dans le redresseur.

b) *Ensemble d'une installation de redresseur à vapeur de mercure. — Mise en route.* — Le schéma de la fig. 11 donne à titre d'exemple l'ensemble des organes constituant une installation complète de redresseur à vapeur de mercure non automatique. La mise en route d'une telle installation se fait de la manière suivante :

Le transformateur triphasé auxiliaire 6 est alimenté dès que l'installation est mise sous tension, par un interrupteur non figuré (généralement l'interrupteur de la cabine de branchement au réseau d'alimentation). Les organes d'entretien du vide, constitués par le groupe pompe préliminaire 9 et la pompe

de diffusion 10, sont mis en fonctionnement par simple fermeture de leurs interrupteurs d'alimentation. Il convient de remarquer que l'emploi des pompes sera réduit au bout de quelques mois de service, lorsque la formation du redresseur sera presque complète; les périodes de pompage deviendront alors plus courtes et de plus en plus espacées et finalement il suffira de faire fonctionner les pompes pendant quelques heures tous les 10 jours environ.

Si l'on considère l'installation pendant la période de fonctionnement des pompes, on ouvre le robinet de vide inséré entre la pompe rotative préliminaire et la pompe de diffusion, un instant après leur mise en marche; au bout de dix minutes, représentant le temps nécessaire à l'amorçage de la pompe de diffusion, on s'assure, à l'aide d'un indicateur que doit comporter l'installation, qu'un vide de l'ordre de quelques millièmes de millimètre de mercure existe dans la canalisation reliant les pompes au redresseur; on ouvre alors le robinet de vide de ce dernier et l'on peut procéder à la mise en service de l'installation.

Cette mise en service s'effectue par deux manœuvres très simples qui sont :

1° la mise sous tension du redresseur et de ses organes auxiliaires d'entretien et d'allumage,

2° la fermeture des interrupteurs reliant l'installation au réseau d'utilisation.

Quelques minutes après la première manœuvre, on contrôle à nouveau le vide; la pression indiquée devra être de l'ordre de quelque dix millièmes de millimètre de mercure, pression normale pour le bon fonctionnement du redresseur.

L'interrupteur 2, automatique à maximum, qui commande l'alimentation du redresseur 22 par l'intermédiaire du transformateur principal 20, est jumelé à un interrupteur qui se ferme en même temps que lui et alimente en courant monophasé basse tension le transformateur 11, à deux secondaires  $f$  et  $g$ ; le premier de ces secondaires assure l'allumage du redresseur, le second est relié au circuit d'entretien par les anodes auxiliaires  $j$  et l'inductance 15.

Dès que le transformateur 11 est mis sous tension, l'allumage du redresseur s'effectue automatiquement de la façon suivante :

Le secondaire  $f$  provoque la fermeture des trois interrupteurs solidaires du relais d'allumage 18 et débite à travers l'électro-aimant d'allumage  $h$  et la résistance 18 bis; la tige d'allumage  $i$  s'abaisse et prend contact avec le mercure de la cathode; à cet instant l'électro-aimant est mis en court circuit et la tige d'allumage, sollicitée par un ressort de rappel, remonte; un arc jaillit entre elle et le mercure et si cette rupture de contact se produit au moment où la tige présente un potentiel positif par rapport à la cathode, le redresseur s'allume. Dans le cas de la polarité contraire, l'allumage n'est pas possible, mais l'électro-aimant  $h$ , qui n'est plus court-circuité, s'abaissera à nouveau et les battements de la tige continueront jusqu'à ce que l'allumage soit obtenu.

A ce moment, le redresseur monophasé d'entretien, constitué par les anodes auxiliaires  $j$ , le secondaire  $g$  et l'inductance de cathode 15 débite sur la résistance d'entretien 16 un courant constant, dont l'intensité est réglée une fois pour toutes à la valeur strictement nécessaire. Le relais de fin d'allumage 19, branché en dérivation sur la résistance 16, coupe le courant

d'alimentation du relais d'allumage 18; ce dernier met hors circuit les organes d'allumage *h* et 18 *bis* et la tige *i* revient à sa position de repos. Les opérations d'allumage sont contrôlées par l'ampèremètre 17.

Il ne reste plus qu'à relier l'installation au réseau d'utilisation par la fermeture des disjoncteurs 26.

c) *Dispositifs de sécurité et d'avertissement.* — Divers organes de sécurité et d'avertissement sont prévus pour préserver l'ins-

provoque un retour d'air accompagné de projection d'huile. Le robinet de vide de la pompe, ouvert à la main, est maintenu dans cette position par un crochet, un puissant ressort en spirale tendant à le ramener à la position de fermeture dès que le crochet n'est plus en prise. Le décrochage est obtenu par la chute d'un noyau magnétique qui tombe dès que la tension d'alimentation vient à manquer; ce dispositif est figuré schématiquement en *c*. Un contact centrifuge *b*, placé sur l'arbre du groupe pompe, provoque aussi la fermeture du robinet de vide en cas d'accident à la pompe ou au moteur qui l'entraîne.

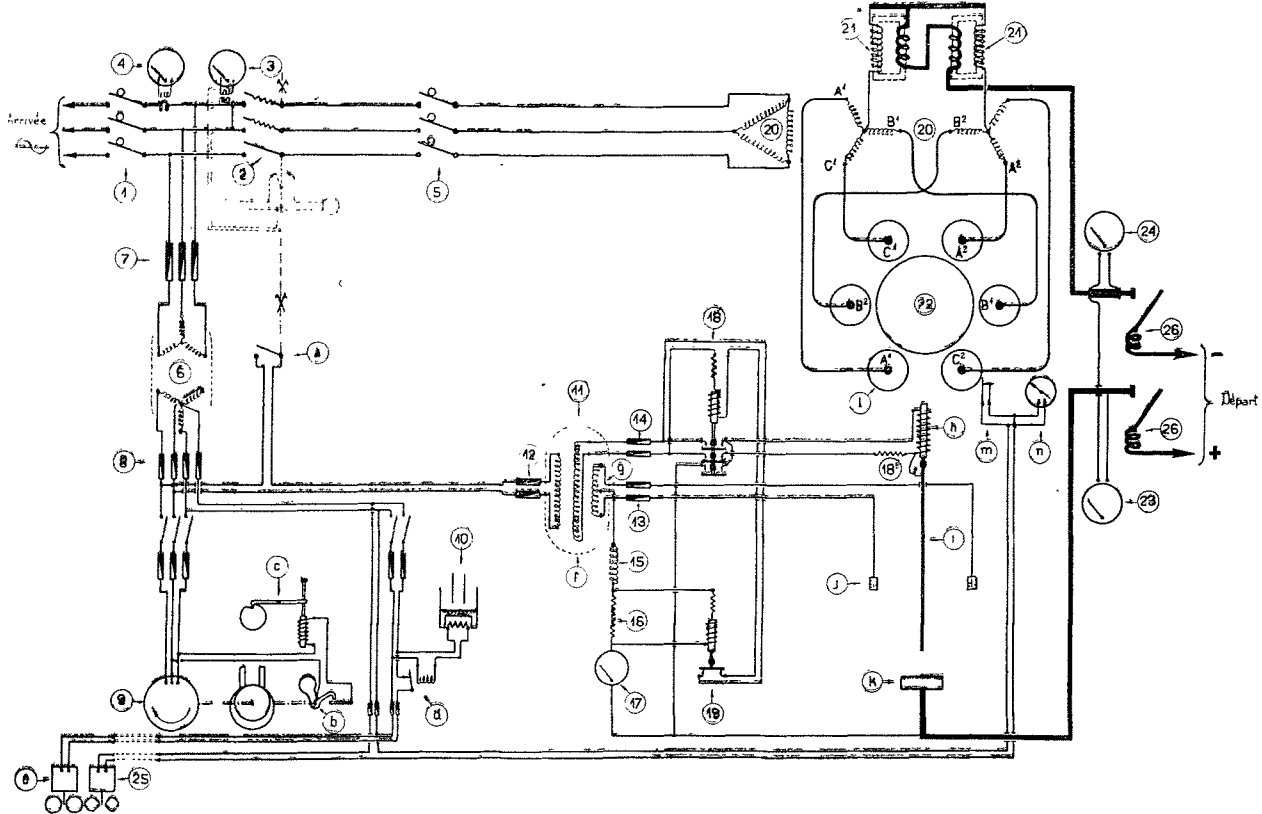


FIG. 11. — Schéma des connexions de l'installation d'un redresseur hexaphasé.

- |  |   |
|--|---|
| <p>1 — Sectionneurs d'arrivée<br/>                 2 — Interrupteur automatique avec lampes de position et interrupteur basse tension jumelé.<br/>                 3 — Voltmètre<br/>                 4 — Ampèremètre<br/>                 5 — Sectionneurs du transformateur principal<br/>                 6 — Transformateur triphasé auxiliaire<br/>                 7 — Coupe-circuits basse tension du transformateur auxiliaire.<br/>                 8 — Coupe-circuits basse tension du transformateur auxiliaire<br/>                 9 — Groupe pompe à vide, rotatif, avec interrupteur tripolaire et coupe-circuits.<br/>                 10 — Pompe de diffusion, statique, avec interrupteur bipolaire et coupe-circuits<br/>                 a — Interrupteur auxiliaire jumelé avec l'interrupteur principal<br/>                 b — Contact centrifuge<br/>                 c — Fermeture automatique du robinet de pompe<br/>                 d - c — Relais et sonnerie d'avertissement de rupture de l'élément chauffant de la pompe de diffusion<br/>                 11 — Transformateur monophasé pour l'entretien et l'allumage du redresseur<br/>                 12 — Coupe-circuits sur l'alimentation du transformateur d'entretien et d'allumage<br/>                 13 - 14 — Coupe-circuits de départ du transformateur d'entretien et d'allumage<br/>                 15 — Inductance du circuit des arcs auxiliaires d'entretien</p> | <p>16 — Résistance d'entretien des arcs auxiliaires<br/>                 17 — Ampèremètre de contrôle du courant d'entretien<br/>                 18 — Contacteur d'allumage<br/>                 18 bis — Résistance d'allumage<br/>                 19 — Relais d'arrêt d'allumage<br/>                 f — Secondaire d'allumage<br/>                 g — Secondaire alimentant les arcs auxiliaires<br/>                 20 — Transformateur principal<br/>                 21 — Inductances principales de cathodes<br/>                 22 — Redresseur<br/>                 23 — Voltmètre contrôlant la tension redressée<br/>                 24 — Ampèremètre contrôlant le courant redressé<br/>                 25 — Sonnerie d'avertissement d'échauffement limite du redresseur<br/>                 26 — Disjoncteurs de départ<br/>                 h — Electro-aimant d'allumage<br/>                 i — Tige d'allumage<br/>                 j — Anodes auxiliaires d'entretien<br/>                 k — Cathode<br/>                 l — Anodes actives<br/>                 m — Thermo-contact agissant à l'échauffement limite des bras porte-anodes.<br/>                 n — Thermomètre à contact agissant à l'échauffement limite de la cuve du redresseur.</p> |
|--|---|

tallation contre les dérangements pouvant affecter certains de ses organes.

La pompe rotative à vide 9 doit être isolée de la canalisation dès qu'elle vient à s'arrêter, soit par suppression de la tension d'alimentation de l'installation, soit pour toute autre cause. Etant arrêtée, cette pompe ne garde pas le vide et l'air atmosphérique

Un relais *d*, à fermeture à manque de courant, actionne une sonnerie d'alarme *e* en cas de rupture de la résistance de chauffage de la pompe de diffusion. Le remplacement de la résistance détériorée nécessite moins d'une demi-minute, et peut à la rigueur s'effectuer sans arrêter l'installation.

Un thermomètre à contact *n* et un thermo-contact *m* action-



ment une deuxième sonnerie d'alarme 25, en cas d'échauffement excessif du redresseur provenant soit d'un manque d'eau de réfrigération, soit d'une surcharge prolongée. Le thermomètre  $n$  est placé de manière à contrôler la température moyenne de la cuve du redresseur, tandis que le thermo-contact  $m$  se trouve soit à proximité d'un bras d'anode, soit dans une région susceptible de subir une élévation rapide de température avant que la température moyenne de la masse de l'appareil se soit sensiblement modifiée.

Bien entendu les installations de redresseurs comportent, en outre, les dispositifs de protection contre les surintensités et contre les surtensions couramment utilisés dans les installations électriques en général.

#### LES AVANTAGES DES REDRESSEURS

##### A VAPEUR DE MERCURE, NOTAMMENT DANS LE CAS DES INSTALLATIONS DE GRANDE PUISSANCE.

Le redresseur à vapeur de mercure de grande puissance à récipient métallique constitue un convertisseur statique très robuste; il convient aux exigences des services d'exploitation les plus durs, l'absence de toute masse en mouvement lui permettant en effet de satisfaire aux variations de charge les plus brusques; il peut subir sans détérioration des courts-circuits francs et des à-coups de 100% et plus pendant plusieurs secondes; il supporte des surcharges prolongées de l'ordre de 50% pendant 15 à 30 minutes, suivant la valeur de la tension redressée.

Il est silencieux, ne nécessite aucune fondation et ses dimensions réduites permettent de le placer dans des locaux exigus qui ne permettraient absolument pas l'installation de convertisseurs rotatifs. Sa mise en service ne nécessite ni réalisation d'une condition de synchronisme, ni recherche de polarité; elle est réduite aux manœuvres les plus simples. Son adaptation aux sous-stations automatiques ou recommandées à distance se réalise donc avec le minimum de difficultés.

Aux tensions de 500 à 600 volts les installations de redresseurs présentent un rendement au moins égal à celui des commutatrices modernes; au delà de ces tensions leur rendement

est nettement plus élevé et atteint par exemple 95,6%, à 1.500 volts redressés, pour l'ensemble « redresseur-transformateur », le rendement propre du redresseur étant de 98,8% à cette tension. La qualité prédominante du redresseur réside dans la constance de son rendement, qui est pratiquement indépendant de la charge; de 1/4 à 1/1 de la charge normale ce rendement varie de 2 centièmes seulement environ, avantage particulièrement important pour les exploitations dont la charge subit de grandes variations, comme par exemple, les réseaux de traction.

Dans les installations de redresseurs à vapeur de mercure, le facteur de déphasage ( $\cos \varphi$ ) garde une valeur élevée, de 0,92 à 0,95; quoique un peu inférieure à celle obtenue avec les commutatrices, elle permet néanmoins l'exploitation des réseaux dans des conditions particulièrement économiques. La chute de la tension redressée en fonction de la charge du réseau d'utilisation est de 3 à 4% entre 10 à 12 ampères de courant redressé et la pleine charge; une remontée de tension de 13% environ se produit entre 10 ampères de courant redressé et la marche à vide. Cet écart est généralement négligeable, la charge des réseaux ne s'abaissant pas dans la plupart des cas à une intensité aussi faible que celle qui le provoque; en outre, il ne constitue pas un danger appréciable pour les lampes à incandescence, celles-ci pouvant supporter sans détérioration des surtensions de cet ordre, qui sont peu fréquentes et ont des durées qui sont en fait très courtes. Dans les cas où il est indispensable d'éviter cette remontée de tension qui se produit aux faibles charges, il est possible d'y parvenir par divers moyens, notamment par la mise en dérivation aux bornes du redresseur d'un circuit auxiliaire maintenant sa charge au-dessus de la valeur pour laquelle la remontée de tension deviendrait inadmissible.

Les redresseurs à vapeur de mercure ne subissent aucune influence du fait de la fréquence des courants qui leur sont appliqués, un même redresseur peut donc convenir à une fréquence quelconque. Celle-ci n'entre en considération que dans le dimensionnement des transformateurs alimentant les redresseurs.

(A suivre)

A. AMILLAC.