

## DISPOSITIONS DES POSTES TÉLÉGRAPHIQUES.

La disposition des postes télégraphiques est différente suivant le système de télégraphes qu'on emploie, suivant que les stations sont têtes de lignes ou intermédiaires, suivant que les appareils doivent marcher avec relais, translateurs, appareils silencieux, relais à double transmission de dépêches, etc. Vouloir décrire toutes ces dispositions, serait chose impossible et fastidieuse. D'ailleurs, elles se devinent aisément dès lors qu'on s'est bien pénétré des fonctions des appareils qui doivent être installés. Cependant, nous croyons utile de donner ici quelques renseignements sur la disposition des postes généralement établis en France, soit avec le système Morse, soit avec le système des télégraphes à signaux Chappe, soit enfin avec le système de télégraphe à cadran des chemins de fer.

Parlons d'abord des commutateurs employés dans la télégraphie électrique, car ils jouent un rôle important dans la disposition des postes télégraphiques.

*Commutateurs.* — Les commutateurs généralement employés en France se composent ordinairement d'une lame de ressort recourbée fixée à l'extrémité d'un manche et articulée solidement sur un pivot, de manière à pouvoir être facilement tournée d'un côté ou de l'autre et à pouvoir s'appliquer sur des plaques métalliques incrustées sur une planche qui sert de support à l'appareil. C'est, en un mot, un appareil analogue au commutateur du parafoudre que nous avons décrit précédemment.

Ces commutateurs peuvent être simples ou complexes à un contact ou à plusieurs contacts. Il en est même comme celui que nous avons représenté fig. 21, pl. III, qui portent un parafoudre. Ce commutateur, appelé par M. Breguet *commutateur complexe*, est formé d'une plaque en métal



sur laquelle sont fixées deux petites planchettes portant les pièces suivantes :

LL' boutons où viennent s'insérer les fils de la ligne et fixés sur une plaque de cuivre dentelée.

T plaque de métal, aussi dentelée, en communication avec la terre.

PP' boutons traversés par des cylindres  $cc'$  ; ces cylindres, appuyés sur des supports  $tt'$ , communiquent aux plaques L, L'.

AA' axes sur lesquels pivotent les manivelles MM' avec leur ressort conjoncteur RR'. Ces manivelles, en tournant autour de leur axe, peuvent porter les ressorts RR' sur les contacts en cuivre 1, 2, 3, 4 et 5.

T' autre plaque communiquant à la terre et sur laquelle les deux ressorts R, R' peuvent s'appuyer.

Les contacts 4 communiquent par un fil encastré sur la planchette avec les contacts 3, ce qui permet de réunir les deux fils ; ainsi, quand on porte le ressort R' sur 4 et le ressort R sur 3, les deux fils LL' communiquent ensemble au contact 3 ; c'est ce que l'on fait quand les fils sont mêlés sur la ligne<sup>1</sup> ; ils communiquent ainsi à un seul côté du récepteur, et on fait les signaux avec un seul indicateur en les décomposant.

Dans l'état normal, les ressorts RR' sont placés sur 2, 2 d'où partent les fils qui vont chacun aboutir à l'un des côtés du récepteur.

Les contacts 1, 1 vont à la boussole et les contacts 5, 5 à un second commutateur complexe, quand la station est intermédiaire, afin d'établir la communication directe.

Les dentelures faites aux pièces LL' et T remplissent les fonctions du parafoudre.

1. Ce commutateur n'est employé que pour les télégraphes à deux aiguilles.



Ce système de commutateur à ressorts, qu'on appelle vulgairement des *manettes*, peut s'appliquer, comme nous l'avons vu, à des régulateurs de pile, instruments qui doivent toujours exister dans un poste télégraphique bien organisé.

Quelquefois, deux ou trois manettes sont reliées ensemble par une tige de jonction pour opérer des interventions simultanées.

Les commutateurs suisses sont, à ce qu'il paraît, plus sûrs que les précédents et d'un usage plus varié.

Ce sont des cubes de bois dont la surface supérieure est coupée par un nombre indéterminé de lamettes de cuivre, ainsi que la surface inférieure; seulement ces lamettes, qui sont en nombre égal, sont dirigées dans un sens différent sur les deux surfaces.

Le cube se trouve traversé dans le sens vertical d'autant de trous qu'il en faut pour permettre, moyennant une clavette métallique, d'établir une communication des lamettes supérieures avec chacune des lamettes inférieures. Ces clavettes sont fendues à leur extrémité, et les deux parties faisant ressort établissent les meilleurs et les plus infaillibles contacts.

M. Liais a organisé dans ce système, pour l'Observatoire de Paris, un régulateur de pile vraiment très-ingénieux et fort commode, surtout quant à opérer sur un grand nombre de circuits avec une pile d'un très-grand nombre d'éléments dont il faut faire varier souvent la force. Ce régulateur est disposé pour 20 circuits; mais pour éviter les complications dans les figures 1 et 2, pl. IV, qui le représentent, nous ne l'avons établi que pour 8 circuits.

Sur les deux côtés de la porte en chêne d'une armoire sont appliquées d'un côté (côté A) huit séries de lames de cuivre parallèles disposées comme on le voit, fig. 1, pl. IV; de l'autre côté (côté B), 3 séries seulement. (Voir fig. 2.)



Les séries A et E, fig. 1, correspondent à tous les pôles négatifs des piles partielles (de plusieurs éléments chacune) qui composent la pile générale. Les lames de la série A se recourbent à angle droit pour constituer la série G, et la série F est formée des lames de la série E repliées en sens opposé de celles de la série A par un motif que nous expliquerons plus tard.

Les lames des séries B et D appartiennent aux fils de lignes; celles de la série B se replient pour former la série C, et traversent la porte pour déterminer par derrière une série particulière, tandis que celles de la série D traversent immédiatement cette même porte pour reparaître à droite de la série G et constituer en se repliant la série H.

Les lames de la série I correspondent aux pôles positifs des piles partielles, et traversent la porte pour former du côté opposé une grande série M, fig. 2. La lame T correspond à la communication avec la terre.

Du côté B de la porte, la série M est formée par tous les fils positifs des piles, et les séries N et O se composent de tous les fils de la ligne. C'est de ce côté qu'on fait les combinaisons, et cela au moyen de fiches comme dans les interrupteurs suisses.

Comme toutes ces séries sont appliquées les unes sur les autres, il en résulte que toutes les lames dont nous avons parlé se croisent à angle droit, et c'est à leur point d'intersection que sont pratiqués les trous que l'on distingue sur les deux figures.

Pour plus de facilité dans le maniement de cet appareil, les numéros d'ordre correspondant aux numéros des piles partielles, sont marqués sur deux des côtés de la série M, savoir : de *a* en *b* et de *c* en *d*; tous les chiffres horizontaux de *a* en *b* correspondent aux lames négatives, tandis que les chiffres verticaux de *c* en *d* désignent les lames en rapport avec les pôles positifs. Les deux séries N et O qui se con-





tinuent en P et en Q derrière la planche portent également des numéros, comme on le voit sur la figure, et ces numéros désignent les numéros d'ordre des fils des circuits sur lesquels on a à opérer.

Avec cette disposition du régulateur, on va voir que rien n'est plus facile que d'effectuer toutes les combinaisons imaginables soit de piles, soit de fils. En effet, supposons que l'on veuille réunir en tension les piles nos 8, 6, 5 et 4, ce qui fournira un total de 20 éléments, et que l'on doive faire agir cette pile ainsi composée sur un circuit constitué par les fils 8 et 3, de manière que le pôle positif soit en rapport avec le fil n° 3, on commencera par faire communiquer le fil n° 3 avec le pôle positif de la pile n° 8. Pour cela, nous chercherons d'abord, dans les colonnes de trous correspondantes au fil n° 3, celui de ces trous qui appartient à la lame positive de la pile n° 8, laquelle lame nous est indiquée par les chiffres de la colonne *cd*; nous voyons que c'est précisément le trou *e*. Nous mettons dans ce trou une fiche, et nous avons ainsi une première communication établie avec le circuit. Il s'agit maintenant de réunir ensemble les quatre piles. Pour cela, nous réunirons d'abord le pôle négatif de la pile n° 8 au pôle positif de la pile n° 6; le trou correspondant à cette liaison s'obtiendra immédiatement en cherchant dans la colonne *cd* la lame n° 6, et en voyant en quel point la colonne de trous correspondant au chiffre 8 (suivant la ligne *ab*) coupe la lame n° 6; nous voyons que c'est le trou *f*. Nous mettons de nouveau une fiche dans ce trou, et nous avons ainsi une nouvelle liaison. En répétant la même opération pour la réunion du pôle négatif de la pile n° 6 avec le pôle positif de la pile n° 5, et du pôle négatif de cette dernière pile avec le pôle positif de la pile n° 4, nous arrivons successivement à mettre des fiches dans les trous *g* et *h*, et nous avons ainsi notre pile composée. Il ne reste plus que le pôle négatif de cette





pile à mettre en communication avec le fil n° 8, ce qui sera facile puisqu'il suffira de chercher dans celles des deux séries O et N en rapport avec les lames négatives le trou correspondant à la colonne verticale du n° 4 (de *b* en *a*) et à la colonne horizontale numérotée 8. Nous voyons que c'est le trou *i*, et le problème se trouve résolu.

Supposons maintenant qu'on veuille réunir les piles nos 5, 7, 2, 1, en quantité, et qu'on veuille faire agir cette pile sur un circuit complété par la terre, la plaque terrestre devant être positive et passant à travers le fil n° 4.

On commencera par réunir tous les pôles positifs ensemble, et on les fera communiquer à la terre, puis on rassemblera les pôles négatifs que l'on joindra au fil n° 4. Pour cela, il faudra avoir recours à des fiches particulières qui seront plus courtes que les autres et réunies ensemble par un conducteur extensible. On placera quatre de ces fiches dans les trous *k*, *l*, *o*, *p*, et une cinquième dans le trou *j* qui correspond à la colonne de terre T; et après en avoir fait autant de l'autre côté du commutateur à l'égard des pôles négatifs, on fait aboutir la série au trou *q* correspondant au fil n° 4. Comme on le voit, ce système de régulateur est excessivement commode et ne prend aucune place, puisqu'il peut servir de porte à l'armoire où sont placées les différentes piles partielles. Ces piles, d'ailleurs, peuvent avoir un nombre variable d'éléments, afin de permettre par leurs combinaisons la formation d'une pile totale d'un nombre d'éléments déterminé. Ainsi, on pourra former une pile de 35 éléments, en réunissant ensemble 8 piles ayant l'une 5 éléments, une autre 6, une autre 5, une autre 3, une autre 2, une autre 4, une autre 6, et une autre 4.

*Disposition d'un poste pour les télégraphes français à double aiguille.* — Nous avons déjà parlé de la disposition d'un poste dans le système Morse. Cette disposition étant



la plus simple de toutes celles qui ont été proposées, nous ne reviendrons pas sur ce genre de disposition ; nous allons nous occuper de celle des postes télégraphiques anciennement établis et qui n'ont pas encore les appareils Morse.

La fig. 22, pl. III, représente la disposition actuelle d'un poste télégraphique français pour les télégraphes à double aiguille.

AB est une grande planche d'acajou horizontale sur laquelle sont fixés le récepteur, les manipulateurs et les commutateurs simples, à l'aide desquels on opère les communications convenables pour les expériences qui doivent se faire journellement.

CD est une autre planche d'acajou fixée perpendiculairement à la précédente et supposée rabattue sur notre dessin. Elle porte le *commutateur complexe* servant en même temps de parafoudre, que nous avons décrit précédemment.

E est la boussole des sinus, qui peut être placée en tel endroit qu'il convient. On ne l'a pas fixée sur la planche AB, à cause de la réaction qu'exerce sur elle le magnétisme terrestre, et qui oblige de lui donner une position particulière.

H et I sont des commutateurs simples auxquels on a donné le nom de *commutateurs des déviations*, et qui sont analogues à ceux que nous avons déjà décrits, sauf que leurs contacts sont constitués par les bandes de cuivre elles-mêmes qui servent aux communications électriques et qui sont incrustées dans la planche.

F compose, avec les bandes de cuivre Z Z' Z'', etc., en rapport avec les pôles positifs de plusieurs piles partielles, le *régulateur de la pile* qui, du reste, est tout à fait analogue à celui de M. Wartmann.

La plaque T, placée derrière la planche C D et à laquelle aboutissent trois lignes ponctuées, correspond avec la plaque de terre.



R est le récepteur.

U U' les manipulateurs.

S le commutateur complexe.

Enfin  $aa'$  les deux fils de la ligne.

Toutes les liaisons électriques entre ces divers appareils sont faites avec des bandes de cuivre disposées comme on le voit sur la figure.

Au moyen de cette organisation, on peut non-seulement recevoir et transmettre des dépêches, mais encore mesurer les intensités du courant :

- 1<sup>o</sup> Reçu ou envoyé par le fil supérieur ;
- 2<sup>o</sup> Reçu ou envoyé par le fil inférieur ;
- 3<sup>o</sup> Provenant des dérivations du fil supérieur au fil inférieur, et réciproquement ;
- 4<sup>o</sup> Provenant des dérivations de chacun des fils à la terre.

Ces opérations étant faites par chacun des deux postes correspondants, on obtient 16 nombres, 8 dans chaque poste, qui, par leur comparaison, donnent une idée de l'état d'isolement de la ligne. Cela s'appelle *prendre les déviations*. Voici les dispositions et la manière d'opérer.

Le commutateur H relié à la boussole permet de mettre successivement en rapport avec elle les fils de la ligne, quand le commutateur complexe, qui se trouve interposé entre les lames  $b, b'$  et les points d'attache des fils de ligne, se trouve disposé en conséquence.

Le commutateur I permet de faire passer à volonté à travers la boussole le courant transmis et le courant reçu.

Pour obtenir l'intensité du courant transmis à travers le fil supérieur de la ligne, on place la bascule du commutateur I sur la lame  $c$ , la bascule du commutateur H sur la lame  $b$ , enfin le ressort de gauche du commutateur complexe sur cette même lame  $b$ . Le courant va alors de F en  $c$ , de  $c$  en I, de I en E, de E en H, de H en  $b$ , de  $b$  en S, de S en  $a$ , de  $a$  à la plaque de terre de la seconde station.



ce que l'on obtient en plaçant le ressort de gauche du commutateur complexe de cette station sur la plaque de terre T. (Voir fig. 21.)

Pour obtenir l'intensité du même courant traversant le fil inférieur de la ligne, il suffit de rapporter la bascule du commutateur H sur la bande *b'* et la bascule de droite du commutateur complexe sur la bande *b'*.

Si on répète les mêmes manœuvres du commutateur H lorsque la bascule du commutateur I est placée sur la plaque *c'*, on obtient l'intensité du courant envoyé par la station avec laquelle on doit correspondre.

Pour mesurer la somme des dérivations du fil supérieur au fil inférieur, le poste correspondant coupera les deux fils sur son commutateur complexe, et on ramènera à la station qui expérimente le fil supérieur seulement en communication avec l'appareil télégraphique. On amènera la bascule de H sur le fil inférieur en *b'*, et la bascule de I sur le fil de terre en *c'*. Alors, il ne passera à travers la boussole que la somme des courants qui seront dérivés du fil supérieur au fil inférieur, et on pourra la mesurer. Cependant, si le fil inférieur présente quelques dérivations à la terre, on n'aura pas entièrement ce que lui transmet le fil supérieur. On obtiendrait de la même manière la somme des dérivations du fil inférieur au fil supérieur. Ce serait une simple permutation de fils à effectuer.

Pour avoir la somme des dérivations à la terre, les fils sont coupés sur le commutateur complexe dans les deux postes correspondants, et la bascule de I est amenée sur la pile en *c*. En amenant ensuite la bascule de H successivement sur *b* et sur *b'*, on obtient la perte de chaque fil.

Voici les conventions faites entre les deux postes correspondants A et B, pour obtenir la régularité des mouvements nécessaires à l'exactitude des déviations. Le poste A indique au poste B que l'on va prendre des déviations. Le



poste B accuse réception de cet avis et met immédiatement la ligne en communication avec la terre ; il reste dans cette position pendant deux minutes, et A mesure les dérivations d'un fil sur l'autre, ainsi que les pertes par la terre. Pendant les deux minutes suivantes, A coupe la ligne et B fait de son côté les opérations que A vient de faire. A l'expiration des deux minutes, A envoie son courant successivement par les deux fils, et reste une minute sur chacun d'eux. B envoie ensuite le sien de la même manière et pendant le même temps.

Les déviations sont prises deux fois par jour, le matin et le soir. Le résultat est consigné sur un registre spécial qui mentionne en même temps l'état de l'atmosphère au moment des observations. Pour rendre les résultats tout à fait comparables, on emploie toujours un même nombre d'éléments. On se procure ainsi le contrôle quotidien de la conservation de l'isolement.

Les déviations, comme nous venons de les prendre, ne donnent ni les intensités du courant, ni les grandeurs des dérivations telles qu'elles existent lorsque la ligne fonctionne. Ainsi, la quantité du courant que nous avons reçue dans la boussole n'est pas celle qui serait passée par le fil de l'électro-aimant, si on l'avait laissée dans le circuit ; la perte d'un fil pendant le travail est réellement la différence des intensités du courant envoyé et reçu par la ligne et le fil de l'électro-aimant du récepteur. Mais nous remarquerons que les déviations prises tous les jours ne peuvent pas avoir pour but de régler la force de la pile nécessaire à la marche des appareils ; elles sont, pour l'inspecteur chargé de l'entretien de la ligne, un moyen de contrôler la conservation de l'isolement, et alors les indications sont plus faciles et plus claires lorsqu'on fait abstraction du fil des électro-aimants, dont la résistance est très-grande, et pour lequel l'isolement est indépendant des variations des temps. Or, il



est utile de connaître l'intensité du courant passant par la ligne et le fil de l'électro-aimant, lorsqu'on prend un récepteur nouveau et qu'on veut obtenir le degré de courant qui lui est nécessaire pour fonctionner; il en est de même lorsqu'il se produit une perte considérable sur la ligne, et qu'on ne veut pas dépasser le degré du récepteur en faisant augmenter la pile du correspondant.

Alors un commutateur supplémentaire devient nécessaire, et, pour qu'il puisse servir dans les deux cas, il doit être combiné à deux inverseurs de courant et être relié aux deux électro-aimants du récepteur. Comme cette disposition n'existe que pour un très-petit nombre de postes télégraphiques, nous la passerons sous silence; d'ailleurs elle se devine aisément.

La marche du courant à travers les récepteurs s'explique aisément à travers l'appareil représenté fig. 22. Quand les deux ressorts du commutateur complexe sont placés sur les lames  $d, d'$  les fils  $a, a'$  sont en relation avec les deux électro-aimants du récepteur, et les courants qui les parcourent suivent les chemins suivants: 1°  $d e e U g h r i c' T$ ; 2°  $d' e' e' U' g' h' r' i' T$ . Quand les manipulateurs fonctionnent, les courants envoyés suivent les directions suivantes: 1°  $F k U e e d a$ ; 2°  $F k' U' e' e' d' a'$ . On peut intervertir l'ordre des fils; il suffit pour cela de placer les ressorts du commutateur complexe sur les plaques 4 4 (fig. 21).

*Disposition d'un poste intermédiaire.*—Une station intermédiaire suppose au moins deux stations correspondantes; elle doit donc avoir au moins deux postes, et, par conséquent, tout est double, à l'exception de la pile et de la communication terrestre. Mais, pour qu'il n'en résulte aucun inconvénient, il faut que la communication terrestre soit dans les conditions parfaites de conductibilité; car, sans cela, le courant venant de A pour B, ou partant de B pour A, se dérivera sur la ligne de C. Si donc B transmet des



signaux sur la ligne de A pendant qu'il en reçoit de la ligne de C, la dérivation sur la ligne de C du courant envoyé sur la ligne de A détruira une partie du courant qui vient de C, toutes les fois que A et C feront passer leur courant en même temps, et B recevra de C des signaux irréguliers.

Comme les stations intermédiaires doivent être dans la possibilité d'établir facilement la communication directe de la ligne quand on la leur demande, leur commutateur complexe doit avoir deux plaques spéciales pour cette fonction. Ces plaques sont figurées en *v*, *v'* sur la fig. 21 ; ces plaques sont réunies symétriquement d'un appareil à l'autre, de sorte que quand les ressorts des commutateurs complexes sont appuyés sur ces plaques, les fils de la ligne se trouvent réunis.

Comme on a pu en juger par la description que nous venons de faire des postes télégraphiques, c'est le commutateur complexe qui est la pièce principale. Par son intermédiaire, en effet, on peut :

- 1° Mettre les fils de ligne en rapport avec les récepteurs ou la boussole ;
- 2° Couper le circuit de la ligne ;
- 3° Établir la communication directe ;
- 4° Établir la communication de la ligne avec le sol ;
- 5° Intervertir l'ordre des fils par rapport au récepteur ;
- 6° Réunir les deux fils sur la ligne en un seul.

Nous ne parlerons pas ici des calculs et des expériences à faire pour déterminer à quelle distance les deux fils de la ligne peuvent se trouver mêlés ou rompus, ou en communication avec le sol ; ce sont des questions de manipulation et de pratique qui sont complètement en dehors du but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage. Ces questions, d'ailleurs, ainsi que la manière de bien conduire les instruments télégraphiques, ont été longuement et clairement expliquées : 1° dans l'ouvrage de l'abbé Moigno,



page 409 et suivante; 2° dans l'ouvrage de M. Breguet, page 72 et suivantes; 3° dans le Vade-Mecum de télégraphie électrique de MM. Miège et Ungèrer, page 40, etc.; enfin dans tous les traités pratiques de télégraphie électrique.

*Disposition d'un poste télégraphique de chemins de fer.*— Les postes télégraphiques des chemins de fer sont de trois espèces : les postes extrêmes ou têtes de ligne, les postes intermédiaires, et les postes de croisement.

Les postes extrêmes exigent seulement les appareils suivants :

- 1° Un manipulateur ;
- 2° Un récepteur ;
- 3° Une sonnerie ;
- 4° Une boussole.

Les postes intermédiaires doivent avoir :

- 1° Un manipulateur ;
- 2° Un récepteur ;
- 3° Deux sonneries ;
- 4° Deux boussoles.

Enfin, pour les postes de croisement, il faut :

- 1° Un manipulateur à trois directions ;
- 2° Un récepteur ;
- 3° Trois sonneries ;
- 4° Trois boussoles.

Quand il y aura plus de trois directions, il sera préférable d'avoir deux manipulateurs, parce qu'avec un seul il n'est pas possible de correspondre de deux côtés à la fois, ce qui ferait perdre beaucoup de temps, puisqu'on serait obligé de faire attendre un côté pendant qu'on parlerait avec l'autre, et même, dans un service très-actif, un employé ne pourrait suffire à l'exigence de la correspondance. Dans chacun de ces postes, une seule pile suffit, même quand l'on aurait à correspondre avec deux postes en même temps.

Dans l'organisation des télégraphes Breguet, tous les fils



nécessaires à la transmission du courant dans les différents appareils partent du manipulateur que nous avons décrit avec détail dans notre 2<sup>e</sup> volume, et représenté fig. 17, pl. I., 2<sup>e</sup> vol.

Quand ce manipulateur doit correspondre à deux directions, le fil de ligne correspondant à l'une de ces directions communique à l'une des manettes, après avoir traversé l'une des boussoles; l'autre fil de ligne correspond de la même manière à la deuxième boussole et à la deuxième manette. Quant aux communications avec la terre, la pile, le récepteur et les sonneries, nous avons déjà dit, page 50, 2<sup>e</sup> vol., comment elles sont établies.

Ainsi, nous savons que la borne *t*, fig. 17, pl. I., 2<sup>e</sup> vol., en communication avec la terre, correspond à la fois aux gouttes de suif *T T'* auxquelles sont reliées les deux sonneries et le récepteur pour avoir leur communication avec le sol. Nous savons encore que les gouttes *E, E'*, qui sont reliées avec le support du cadran du manipulateur, servent à établir la communication entre la ligne et le récepteur par le manipulateur. Enfin, nous savons que ce récepteur et les deux sonneries déjà en communication avec la terre sont reliés au manipulateur et à la ligne par les gouttes de suif *d', d* et la borne *R*. Les gouttes *e, e'* et les gouttes *T, T'*, sur lesquelles peuvent glisser les manettes, servent, les premières à établir la communication directe, les secondes à mettre les fils de ligne en communication avec le sol. Quelquefois on ajoute à cette installation un petit régulateur de pile qui se trouve alors interposé entre la borne *C* et la pile.

Dans les manipulateurs à trois directions, il se trouve une troisième manette et 4 nouvelles gouttes de suif, qui sont disposées absolument de la même manière que celles dont nous avons parlé précédemment.

Voici maintenant comment on fait usage de cette installation télégraphique :



Dans l'état de repos ou d'attente, les deux manettes doivent être toutes deux sur les contacts *d*, *d'* correspondants aux boutons S, S' et par eux aux sonneries, afin que si l'un des postes envoie son courant, il fasse partir la sonnerie qui est en rapport avec lui.

L'aiguille du récepteur doit être sur le repère, ainsi que la manivelle du manipulateur.

Si l'on veut parler à une station A, on portera la manette qui correspond au fil de A sur la goutte de suif E, puis on fera un tour avec la manivelle du manipulateur ; comme à l'autre poste, la manette correspondante doit être sur le contact *d* ou S', la sonnerie se mettra en mouvement, le stationnaire sera averti, et aussitôt il portera sa manette sur le contact E, puis il répondra par un tour de la manivelle de son manipulateur, en revenant toujours se placer au repère.

Alors l'employé de la première station, étant sûr de la présence de son correspondant, transmettra sa dépêche en portant successivement la manivelle du manipulateur sur les différentes lettres qui la composent. Quand elle sera terminée, il fera deux tours de manivelle en s'arrêtant sur le Z, puis enfin au repère ; cela s'appelle le final. Immédiatement celui qui aura reçu fera un tour de manivelle pour accuser réception.

Les récepteurs que M. Breguet construit peuvent faire 4,000 signaux par minute ; mais le temps qu'on passe pour chercher la lettre fait qu'on ne peut guère profiter de cette perfection des appareils.

Quand on veut couper la dépêche, soit parce qu'on l'a suffisamment devinée, soit parce que l'appareil s'est dérangé ou qu'on ne l'a pas comprise, on arrête le correspondant par un tour de manivelle, et l'aiguille du récepteur étant promptement ramenée au repère au moyen de la pédale, on attend quelques secondes pour être sûr que le



correspondant a pu faire la même opération, puis on porte la manivelle sur les deux lettres R, et Z suivies du dernier mot avant celui qui n'a pas été compris, pour indiquer que ce n'est que depuis là qu'il faut répéter, et, faisant le final, le correspondant reprend le mot et continue la dépêche.

Si l'on attaque son correspondant et qu'il ne réponde pas, on fera mouvoir de nouveau la manivelle en observant si l'aiguille de la boussole fait des oscillations. Si l'on ne voit aucun mouvement, on devra penser qu'une rupture existe quelque part, et on fera des recherches en conséquence <sup>1</sup>.

Quelques mots suffiront maintenant pour qu'on puisse comprendre la marche du courant dans ces différentes manœuvres.

D'abord, quand on fait l'appel, le courant issu de la pile passe du contact P' au levier *b*, puis au levier L, de celui-ci au cadran, du cadran au contact E, puis à la manette, puis à la ligne, puis à la sonnerie du poste auquel on parle par la manette correspondante du manipulateur de ce poste et le contact S, et enfin il revient par la terre à la première station.

Quand on envoie la dépêche, le courant suit le même chemin jusqu'au manipulateur du poste correspondant; mais là, au lieu de se diriger à travers la sonnerie, il passe de la manette au contact E', de là au cadran, puis au levier L, puis au contact P, et enfin au récepteur, d'où il s'écoule dans la terre par le contact T. On comprend facilement, d'après cette disposition, que si le levier *b* oscille pendant cette transmission, la dépêche sera coupée, et le récepteur de la station qui parle indiquera cette coupure. C'est ce qui arrive quand on veut faire savoir que l'on n'a pas compris.

1. Nous avons emprunté ces renseignements à l'ouvrage de M. Brenguét.



## LIVRE IV

### APPLICATIONS PHYSIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

---

#### I.

#### LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Depuis que les piles à acides ont fourni le moyen d'obtenir une très-grande quantité d'électricité avec des éléments producteurs peu multipliés et d'un petit volume, on a pu répéter souvent soit dans les cours de physique, soit pour satisfaire la curiosité publique, la belle expérience de la lumière électrique. Aucune lumière artificielle ne peut égaler l'éclat de l'étincelle électrique, ainsi dégagée, et son rayonnement, qui lui donne l'apparence de la lumière solaire, est tel, qu'il est impossible de la fixer. Il est peu de personnes qui n'aient eu occasion de voir, soit à l'Opéra, soit sur les grands travaux de nuit, à Paris, les effets merveilleux de cette lumière et de juger de sa puissance d'éclairage. Non-seulement, les lumières des lampes placées à côté disparaissent, mais on ne les distingue que par une petite lueur rougeâtre qui semble être une ombre au milieu de l'illumination générale.

Les effets auxquels donne lieu ce genre de production de lumière sont excessivement variés et très-curieux, non-



seulement à voir, mais encore à étudier, et ils ont été l'objet de travaux remarquables de la part de nos plus grands savants. Moi-même, dans un travail spécial sur la machine d'induction de Ruhmkorff, je les ai longuement décrits et discutés. Mais parmi ces effets, il en est qui ont pu être utilement appliqués dans les arts, et ce sont de ceux-là dont nous allons actuellement nous occuper.

Si l'on attache deux fils métalliques aux deux pôles d'une pile voltaïque en activité, et que sans établir entre eux le contact on maintienne leur extrémité libre à une certaine distance suffisante pour permettre la décharge électrique, c'est-à-dire la recombinaison des électricités contraires qui parcourent les conducteurs, il se manifestera une étincelle qui sera continue, parce que dans une pile les recombinaisons électriques se succèdent d'une manière permanente. Pour obtenir cette étincelle, il faut que la pile soit très-puissante, sans quoi la tension électrique ne serait jamais assez considérable pour vaincre la résistance de la couche d'air interposée entre les deux rhéophores, quelque petite d'ailleurs que fût cette couche d'air. Avec des rhéophores métalliques, la puissance lumineuse de l'étincelle est déjà considérable, mais elle peut être énormément augmentée par l'adjonction aux rhéophores de substances susceptibles de se désagréger facilement sous l'influence du courant électrique. Nous avons vu, en effet, page 15, 1<sup>er</sup> vol., que c'est à la présence dans la flamme de particules matérielles infiniment petites chauffées au rouge blanc que les lumières artificielles doivent tout leur éclat. De tous les corps conducteurs susceptibles de réaliser ces conditions de désagrégation, aucun n'a fourni de résultats plus avantageux que le charbon de Cornue. En taillant dans ce charbon de petits cônes allongés et reliant ces cônes à des pinces métalliques en rapport avec les deux rhéophores de la pile, on a pu obtenir cette lumière rayonnante, dont nous avons parlé,



et qui est équivalente à plusieurs centaines de becs de gaz. C'est au célèbre Humphry Davy qu'on doit cette belle découverte.

Si les charbons de Cornue étaient parfaitement purs, l'éclairage électrique ne laisserait actuellement que peu de choses à désirer, du moins dans les applications où il pourrait être utilisé, et je commence par dire, dès à présent, que ce ne serait pas pour l'éclairage des rues ni des maisons; mais comme ce charbon renferme une foule de corps étrangers et en particulier beaucoup de silicates qui fondent sous l'influence de la chaleur développée par le courant, ces charbons donnent lieu à de fréquentes éclipses et à des scintillements qui sont très-défavorables. Plusieurs personnes, et entre autres M. Jacklin, ont cherché à les purifier au moyen de courants de chlore; mais les résultats n'ont pas encore été complètement satisfaisants.

Bien que la lumière électrique n'exige pas la combustion des charbons pour manifester sa présence, puisqu'elle peut apparaître aussi belle dans le vide et dans l'eau, ces charbons brûlent rapidement et s'usent d'autant plus vite que le courant emporté avec lui une quantité considérable de particules carbonnées auxquelles la lumière électrique doit en grande partie son éclat. Une chose même assez curieuse à constater, c'est que l'un de ces charbons brûle plus vite que l'autre.

En raison de cette usure des charbons, il est impossible d'obtenir avec le circuit électrique seul une lumière continue, car au bout de quelques instants l'intervalle entre les deux charbons deviendrait trop grand et le courant ne passerait plus. On a donc dû chercher s'il n'y aurait pas un moyen d'opérer mécaniquement le transport des charbons afin qu'on n'ait pas à s'en occuper. Plusieurs physiciens et constructeurs y sont parvenus plus ou moins bien au moyen



d'instruments auxquels on a donné le nom de *régulateurs* de lumière électrique.

#### RÉGULATEURS DE LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Les régulateurs de lumière électrique sont d'une date très-récente. Les premiers ont été construits en Angleterre par MM. Staite et Petrie, en 1848. Il est vrai qu'en même temps M. Foucault en construisait un en France; mais comme les régulateurs de MM. Staite et Petrie étaient déjà passés dans le commerce lorsque M. Foucault a réclamé la priorité et a montré son appareil tout démonté à la commission nommée par l'Académie, on peut en conclure que l'application première, sinon l'idée, appartient aux inventeurs anglais. Auparavant de décrire ces appareils, nous parlerons d'un régulateur beaucoup plus simple, combiné par M. Archereau, afin qu'on saisisse plus facilement le principe de ce genre d'instruments. Ce régulateur, d'ailleurs, a suivi de très-près ceux de MM. Foucault, Staite et Petrie.

*Régulateur de M. Archereau.* — Ce régulateur est représenté fig. 3, pl. IV.

Deux colonnes ou tiges métalliques AB, CD, auxquelles on peut donner toutes les formes possibles, soit la cambrure des montants d'une lyre, soit la rigidité des colonnes grecques, soit unies entre elles par trois traverses AC, DE, FG, de manière à former un ensemble solide. L'une de ces traverses est métallique; c'est celle qui occupe la partie supérieure de l'appareil, les autres doivent être en bois. Ces dernières servent de supports et de points d'attache à une longue bobine HI placée parallèlement entre les deux colonnes, et qui doit être enroulée de fil assez gros pour que le courant en circulant au travers sans la fondre, puisse agir sur un fer électro-aimant placé à l'intérieur de la bobine.



Ce fer électro-aimant, qui n'est autre chose qu'une tige de fer K de la longueur de la bobine, est soudé à une tige de cuivre de même calibre et de même longueur, portant à son extrémité libre une petite poulie J. Du côté opposé, le fer porte un petit tube de cuivre *i* avec vis de pression dans lequel on enfonce l'un des charbons lorsque la tige entière a été introduite dans la bobine. Alors une corde fixée à la traverse inférieure et s'enroulant sur une poulie P d'un grand diamètre, peut servir de support à la tige électro-aimant en s'engageant dans la gorge de la petite poulie dont nous avons parlé. Il suffit pour cela, qu'un contre-poids Q, qui sera placé au bout de la corde, soit susceptible de lui faire équilibre.

La traverse métallique qui occupe la partie supérieure de l'appareil porte un petit tube de cuivre *j* qui descend perpendiculairement en face du charbon que porte la tige électro-aimant et dans lequel on introduit également un crayon de charbon. Au moyen d'un ajustement très-simple, ce tube peut d'ailleurs être réglé facilement, tant pour sa hauteur que pour sa direction, et par conséquent les deux charbons peuvent être placés très-exactement l'un au-dessus de l'autre.

Ainsi disposé, l'appareil peut fonctionner, mais il est important de le régler, et surtout de bien équilibrer la tige mobile. Cela étant fait, il suffit de mettre en rapport une des deux colonnes métalliques de l'appareil avec l'un des pôles de la pile, et de faire aboutir l'autre pôle au fil de cuivre de la bobine (dont un bout est soudé sur son canon). Le courant passe alors de la bobine au charbon inférieur par la tige elle-même qui le supporte, et, franchissant l'intervalle séparant les deux charbons, il arrive à l'autre pôle de la pile par la traverse supérieure de l'appareil et la colonne métallique à laquelle est attaché l'un des fils conducteurs.



Tant que le courant passe et produit la lumière, la bobine réagit sur le fer de la tige électro-aimant qui porte le charbon inférieur, et l'attire en raison de la réaction magnétique qu'exercent les solénoïdes sur un fer mobile à leur intérieur. C'est ce qui donne aux charbons *l'écart suffisant* pour l'effet lumineux. Mais, aussitôt que le courant cesse de passer, ou s'affaiblit par suite de l'usure des charbons, cette attraction cesse, et le charbon mobile, sollicité par le contre-poids, se trouve entraîné et soulevé jusqu'à ce que le courant passe de nouveau; alors l'équilibre se trouve établi entre les deux forces, et les charbons peuvent s'user de nouveau.

Ainsi, à mesure que la lumière tend à décroître, le contre-poids réagit, et c'est ce qui maintient toujours égale l'intensité de la lumière.

Plusieurs précautions néanmoins doivent être prises quand on veut que l'appareil marche très-régulièrement. Il faut d'abord placer les charbons à une hauteur qui dépend de l'intensité de la pile dont on doit se servir. Si la pile est très-forte, les charbons doivent être placés un peu haut, car l'attraction des solénoïdes augmente, du moins jusqu'à moitié de leur longueur, à mesure que le fer s'y enfonce. Au contraire, et par la même raison, les charbons doivent être placés plus bas si la pile est faible.

D'un autre côté, comme la pile elle-même s'affaiblit, on doit avoir soin d'alléger de temps en temps le contre-poids afin de maintenir l'équilibre; c'est pourquoi on emploie dans ce cas, comme contre-poids, de la grenaille de plomb.

*Régulateur de M. Foucault.* — Dans l'appareil précédent, le point lumineux se déplace à mesure que s'usent les charbons; or, il importe dans beaucoup de circonstances, et particulièrement dans l'application de la lumière électrique aux expériences d'optique, que ce point lumineux reste fixe. Le problème était d'autant plus difficile à résoudre



dre, que les charbons s'usent, comme nous l'avons vu, inégalement. Il a donc fallu avoir recours à la mécanique pour venir en aide à l'effet physique dans cette circonstance, et ce problème a été résolu dans le régulateur de M. Foucault.

« Les deux porte-charbons sont sollicités, dit M. Foucault dans son Mémoire adressé à l'Académie, l'un vers l'autre par des ressorts, mais ils ne peuvent aller à la rencontre l'un de l'autre qu'en faisant défiler un rouage dont le dernier mobile est placé sous la domination d'une détente. C'est ici qu'intervient l'électro-magnétisme : le courant qui illumine l'appareil passe à travers les spires d'un électro-aimant dont l'énergie varie avec l'intensité du courant; cet électro-aimant agit sur un fer doux sollicité d'autre part à s'en éloigner par un ressort antagoniste. Sur ce fer doux mobile est montée la détente qui enraie le rouage ou le laisse défiler à propos, et le sens du mouvement de la détente est tel, qu'elle presse sur le rouage quand le courant se renforce, et qu'elle le délivre quand le courant s'affaiblit. Or, comme précisément le courant se renforce ou s'affaiblit quand la distance interpolaire diminue ou augmente, on comprend que les charbons acquièrent la liberté de se rapprocher au moment même où leur distance vient à s'accroître, et que ce rapprochement ne peut aller jusqu'au contact, parce que l'aimantation croissante qui en résulte leur oppose bientôt un obstacle insurmontable, lequel se lève de lui-même aussitôt que la distance interpolaire s'est accrue de nouveau.

« Le rapprochement des charbons est donc intermittent, mais, quand l'appareil est bien réglé, les périodes de repos et d'avancement se succèdent assez rapidement pour qu'elles équivalent à un mouvement de progression continu. »

M. Foucault n'explique pas comment il a réglé le rapprochement plus ou moins grand des charbons; il est probable que c'est en donnant aux poulies, sur lesquelles s'enroulent



les fils qui les sollicitent, un diamètre inégal et en rapport avec les quantités dont ils s'usent. Il ne décrit pas non plus la manière dont agit la détente, mais il paraîtrait, d'après sa description, que c'est par une simple pression contre un tambour fixé sur l'axe des deux poulies sur lesquelles s'enroulent, en sens inverse, les cordes des porte-charbons.

Quoi qu'il en soit, cet appareil a été le point de départ de tous ceux dont nous allons parler et qui nécessitent tous une place déterminée pour chaque pôle de la pile.

*Régulateur de MM. Breton, frères.* — Ce régulateur ne diffère du précédent qu'en ce qu'au lieu de ressorts pour rapprocher les charbons, on s'est servi du poids et contre-poids des bras métalliques qui les portent, et, qu'au lieu d'une détente à pression pour maintenir l'écartement, on a fait intervenir un encliquetage de roue à rochet dentée très-fin. Ce sont des leviers qui agissent sur les porte-charbons et, par conséquent, c'est par la différence de leur longueur que s'opère l'inégalité dans la marche des charbons.

Les régulateurs de lumière électrique dont nous venons de parler, peuvent être disposés horizontalement ou verticalement, c'est-à-dire de telle manière que les porte-charbons soient placés, l'un vis-à-vis de l'autre, dans une position horizontale ou verticale. Cependant, comme dans beaucoup d'expériences, entre autres quand on veut analyser la lumière produite par la fusion des différents métaux, on est obligé de poser la substance à brûler dans une soucoupe de platine, on préfère les régulateurs dont les porte-charbons sont verticaux. C'est pourquoi tous les constructeurs ont dû changer la disposition première de leurs appareils.

*Régulateurs de M. Jules Duboscq.* — Les régulateurs de lumière électrique les plus parfaits que nous ayons jusqu'à présent, sont incontestablement ceux de M. Jules Duboscq. Depuis longtemps ils sont expérimentés journellement, et les expériences faites devant le jury de l'Exposi-



tion universelle de 1855, concurremment avec les autres appareils du même genre qui étaient exposés, ont démontré d'une manière définitive leur supériorité.

M. Jules Duboscq a disposé de trois manières ses régulateurs. Or, comme ces appareils sont très-répandus dans le commerce, nous croyons utile de décrire ces trois dispositions, afin que nos lecteurs puissent s'en servir toutes les fois qu'ils les rencontreront.

*Premier modèle du régulateur Duboscq.* — Dans ce régulateur, le charbon inférieur est sollicité à monter, sous l'influence d'une chaîne incessamment tirée par un ressort à barillet; tandis que l'autre charbon est sollicité à descendre par son propre poids. Le courant n'arrive aux charbons qu'après avoir traversé un électro-aimant creux, caché dans la colonne de l'instrument, et à travers lequel passe le porte-charbon inférieur. Quand le courant passe, c'est-à-dire quand les deux charbons sont à une distance suffisante pour que le courant ne soit pas interrompu, l'électro-aimant est actif et attire une palette de fer; cette palette, par l'intermédiaire d'un levier articulé, entraîne une roue à rochet, horizontale, montée sur le même axe qu'une vis sans fin, dont le mouvement commande par un système de rouages le rapprochement des charbons, rapprochement qui se trouve d'ailleurs tempéré par un modérateur à ailettes dont est munie la vis. Quand, au contraire, le courant, par suite du trop grand écartement des charbons, ne passe pas, la roue à rochet est dégagée, et le rapprochement des charbons s'opère doucement et sans secousse.

Nous n'avons pas dit encore comment dans cet appareil, le charbon positif était animé d'un mouvement plus rapide que le charbon négatif pour satisfaire à l'usure plus grande qu'il éprouve de la part du courant. Cette partie du mécanisme est la plus compliquée. Voici en quoi elle consiste.

Les poulies sur lesquelles s'enroulent les chaînes des



porte-charbons et qui correspondent à deux boutons, au lieu d'être du même diamètre, sont de diamètres inégaux. De plus, l'une a un diamètre constant, et l'autre un diamètre variable, que l'on peut faire croître à volonté, en tournant, à l'aide d'un petit levier, cette poulie qui est garnie à cet effet de trous, sur l'un de ses bords. Pour obtenir cet accroissement et ce rétrécissement de diamètre de la poulie variable, force a été d'enrouler la chaîne du charbon inférieur, non plus sur une gorge de poulie ordinaire, mais sur une lame de ressort, enroulée elle-même sur un treuil formé par l'ensemble de six goupilles, disposées circulairement sur des leviers mobiles. Ces leviers étant articulés séparément par l'une de leurs extrémités sur une même rondelle, et se trouvant engagés dans des entailles qui leur servent de guides, peuvent être redressés ou couchés, suivant qu'on tourne à droite ou à gauche le côté de la poulie sur lequel ils sont ajustés; et, par là même, le diamètre du cercle, ou plutôt du polygone formé par les goupilles, peut se trouver agrandi ou rétréci à volonté.

Dans chaque expérience, et même plusieurs fois dans la même expérience, il faut régler l'appareil, c'est-à-dire écarter plus ou moins l'armature de l'électro-aimant, suivant la force de la pile, et donner aux poulies le diamètre relatif voulu pour que le rapprochement des charbons soit le plus régulier possible. Cette dernière opération ne se fait en général qu'une fois; elle est beaucoup moins importante que l'autre. Pour mettre les charbons à hauteur convenable, on commence d'abord par désembrayer la roue à rochet, si elle est déjà engagée; puis on fait arriver le charbon supérieur au plus haut point de sa course, en tournant l'un des deux boutons; le ressort du barillet enlève alors le charbon inférieur, et, quand il est à la hauteur voulue, on enraie la roue à rochet à l'aide d'un petit levier particulier qui se trouve disposé en conséquence. On



abaisse ensuite le charbon, soit au moyen du bouton, soit, si cela n'est pas suffisant, en faisant glisser dans son étui le porte-charbon. Celui-ci pouvant être plus ou moins incliné dans cet étui, il est facile de le placer exactement au-dessus de l'autre. En général, il faut que le charbon supérieur soit placé un peu en arrière du charbon inférieur.

Comme les charbons ne doivent pas se déplacer, il est important qu'on ait toujours le pôle positif au charbon inférieur ; par conséquent, le choix des pôles est forcé dans cette circonstance. Du reste, le nom des pôles est gravé sur les boutons d'attache de l'appareil.

D'après la description que nous venons de faire de l'appareil de M. J. Duboscq, on voit que le mécanisme régulateur employé par cet artiste a pour fonction de fixer la position de l'arc en maintenant les deux charbons à une distance constante et en les rapprochant quand, par l'effet de la combustion, leur distance tend à devenir plus grande ; mais il est impuissant pour écarter ces conducteurs, quand ils arrivent au contact soit par rupture, soit par toute autre cause. Or, dans le dernier cas, l'arc cesse de se produire, et il faut attendre que l'élévation de température ait rongé le charbon positif pour que la lumière puisse briller de nouveau. Quand la lampe est à portée de l'observateur, ce temps d'arrêt est rendu très-court, car on sépare immédiatement les deux charbons ; mais quand elle est hors de portée, le temps d'arrêt se manifeste par une extinction qui est un inconvénient grave dans l'emploi de cet appareil pour l'éclairage.

M. Duboscq, à l'aide d'une modification apportée à son appareil, est parvenu à parer à cet inconvénient en séparant mécaniquement les charbons au moment où ils viennent en contact, ou, en d'autres termes, en entraînant, par un mouvement de recul, le charbon positif à la distance à laquelle l'arc électrique peut se produire.



Les dispositions prises pour atteindre ce but sont les suivantes : le rapprochement des charbons dans l'appareil décrit plus haut est déterminé, ainsi qu'on l'a dit, par une armature de fer doux, sollicitée par un ressort qui l'élève quand, par l'accroissement de la longueur de l'arc, l'intensité du courant est devenue plus faible. Cette armature est ainsi commandée par le barreau central de fer doux de l'électro-aimant placé dans le pied de la lampe. Dans l'appareil modifié, on a placé à l'extérieur de l'hélice de l'électro-aimant un barreau cylindrique creux qui s'aimante en sens inverse de celui que renferme l'hélice, et qui peut agir par attraction sur une seconde armature entourant la première, mais sollicitée par un ressort d'une résistance plus grande que celui qui gouverne celle-ci. Il résulte de cette disposition que le second ressort, qui empêche le contact de la seconde armature avec le fer doux extérieur, lorsque les deux charbons sont séparés, l'intensité du courant étant alors trop faible, n'est entravé dans son action que lorsque, les deux charbons étant en contact, le courant électrique a son maximum d'intensité.

Ainsi, en résumé, le ressort de la première armature a pour effet de faire monter le charbon positif à mesure qu'il se brûle, et l'attraction de la seconde fait reculer ce même charbon quand le contact a lieu et que l'arc cesse ; la lumière se trouve donc rétablie immédiatement par le jeu de l'instrument. On voit que la partie nouvelle de cette disposition consiste à utiliser l'action des barreaux de fer doux (extérieur et intérieur) d'un électro-aimant rectiligne, de façon à agir inégalement sur deux armatures, tantôt sur l'une, tantôt sur l'autre, pour produire des effets contraires d'avance et de recul, et à maintenir ainsi à la même distance les charbons polaires, entre lesquels est formé l'arc voltaïque.

*Deuxième modèle du régulateur Duboscq. — Ayant re-*



marqué que les chaînes, conduisant les porte-charbon de son premier régulateur, se cassaient quelquefois ou s'enroulaient dans un mauvais sens sur leurs poulies quand l'expérimentateur n'était pas familiarisé avec ces sortes d'appareils, M. Duboscq a cherché à remplacer ces chaînes par des crémaillères. Cette substitution l'a forcé d'abandonner son système régleur pour l'avancement des charbons ; mais il a reconnu par expérience que ce système présentait des difficultés de manœuvre que l'on pouvait éviter par l'addition d'un mobile supplémentaire au mécanisme du régulateur.

La fig. 4, pl. IV, représente ce nouveau modèle, que M. Duboscq lui-même préfère de beaucoup à l'ancien.

E est l'électro-aimant droit qui commande le mécanisme ; il est renfermé dans le socle de l'appareil et est constitué par une simple bobine dont le canon est en fer doux, comme les électro-aimants que nous avons décrits pages 207 et 215, 1<sup>er</sup> vol. Cette disposition a été commandée par la nécessité de faire passer l'une des crémaillères à travers l'électro-aimant.

A est l'armature de cet électro-aimant ; elle consiste dans un disque de fer doux évidé et vissé à l'extrémité d'une pièce articulée B, à laquelle est fixé le long levier C, qui fait fonctionner la détente d'embrayage du mécanisme d'horlogerie.

M est le mouvement d'horlogerie composé de quatre mobiles, et commandé par un petit barillet adapté à la roue N, laquelle engrène avec la crémaillère GH. L'axe de cette roue est muni d'une clef pour remonter le système et en même temps le barillet.

O est la roue qui met en mouvement la crémaillère IJ. Cette roue est adaptée à un canon qui est monté à frottement dur sur l'axe de la roue N, et qui correspond à un bouton au moyen duquel on peut soulever ou abaisser la crémaillère IJ.



V est la vis sans fin qui porte le modérateur à ailettes du mouvement d'horlogerie et la roue d'embrayage à rochet R. Cette vis reçoit son mouvement d'une autre roue à rochet Q, qui le reçoit, par l'intermédiaire d'un pignon, d'une roue P dont l'axe, portant également un pignon, engrène avec la crémaillère doublement dentée G H. Celle-ci sert alors d'intermédiaire de mouvement entre la roue N et le mécanisme d'horlogerie proprement dit.

D est la détente d'embrayage placée à l'extrémité d'un petit levier articulé, sur lequel réagit le long levier C. Cette détente, en s'introduisant dans les dents du rochet R ou en s'en retirant, arrête ou rend libre le mouvement des deux crémaillères, mouvement qui n'est pas égal de part et d'autre, puisque les roues N et O sont d'inégal diamètre et dans le même rapport entre elles que les quantités dont s'usent les deux charbons.

SI est une traverse qui soutient le porte-charbon supérieur. Ce porte-charbon est ajusté sur une partie sphérique, de manière à pouvoir être incliné dans tous les sens.

Enfin T est le porte-charbon inférieur adapté à l'extrémité de la crémaillère G H.

Une petite détente articulée, qui n'est pas figurée sur le dessin, permet d'embrayer la roue R lorsque le mécanisme électro-magnétique ne fonctionne pas ou lorsqu'on veut régler l'appareil.

Pour suppléer au système régleur du mouvement des charbons, M. Duboscq recommande de prendre dans un même morceau les deux charbons que l'on place ensemble dans l'appareil; si on n'oublie pas cette précaution, l'appareil ne fait jamais défaut de ce côté.

Voici maintenant comment on se sert de cet instrument :

On commence d'abord par éloigner les porte-charbon l'un de l'autre au moyen de la clef adaptée à l'axe de la



roue N. Comme le frottement du canon de la roue O sur l'axe de la roue N est très-dur, on met facilement les deux crémaillères en mouvement, et on tend par cela même le ressort du barillet. Quand la crémaillère inférieure est arrivée à l'extrémité de sa course, on arrête le mécanisme au moyen de la détente articulée qui se manœuvre à la main. On place alors le charbon, qui est de forme carrée, dans une cavité, également carrée, pratiquée dans un petit cylindre de cuivre composé de deux parties semi-cylindriques. On fixe ce cylindre dans le porte-crayon inférieur T, soit avec les mains quand l'appareil n'est pas échauffé, soit avec des pinces quand on fait cette opération au milieu des expériences. On en fait autant pour le porte-charbon supérieur, et on laisse ensuite les charbons se rapprocher l'un de l'autre jusqu'à ce que la pointe du charbon inférieur soit arrivée devant une ligne de repère tracée sur la colonne support X. Alors on arrête de nouveau le mécanisme au moyen de la détente articulée. Si le charbon supérieur est trop éloigné du charbon inférieur, on le rapproche au moyen du bouton monté sur l'axe de la roue O, qui alors ne peut entraîner l'axe de la roue N, puisque le mécanisme est embrayé. On l'éloignerait de la même manière s'il était trop près du charbon inférieur. Si, au contraire, il s'agissait de déplacer le charbon inférieur, on ferait usage de la clef adaptée sur l'axe de la roue N.

Quand le charbon supérieur, au moyen de l'articulation de son porte-charbon, est placé exactement dans la position qui lui convient par rapport au charbon inférieur, c'est-à-dire un peu en avant, afin que le charbon le plus lumineux soit tout à fait découvert, on ferme le courant et on dégage le mouvement. Au premier moment aucune lumière n'apparaît, parce que les charbons étant en contact, le courant les traverse sans passer par le milieu aëriforme qui est nécessaire au développement de la lumière électrique. Tou-



tefois le mécanisme se trouve alors de nouveau embrayé, mais cette fois par la détente D du mécanisme électromagnétique, qui fonctionne avec d'autant plus d'énergie que le courant n'éprouve aucune résistance. Pour faire apparaître la lumière, il suffit de détacher les deux charbons l'un de l'autre au moyen du bouton de la roue O. Alors on doit procéder au règlement de l'appareil; voici comment :

A travers un verre violet on considère attentivement le point de lumière électrique et l'intervalle qui sépare les deux charbons. Au commencement, cet intervalle est très-petit, parce que l'air froid conduit très-mal l'électricité, et que le courant n'a pas assez de tension pour vaincre cet obstacle à sa transmission quand celui-ci présente une certaine épaisseur; mais quand la chaleur, développée par la lumière et les particules carbonnées entraînées par le courant ont rendu conducteur l'intervalle isolant séparant les deux charbons, ceux-ci peuvent alors s'écarter de plusieurs millimètres sans que la force du courant soit notablement diminuée. Toutefois, si cet intervalle devient trop considérable, la force de la pile faiblit, et cet affaiblissement doit réagir sur le mécanisme électro-magnétique en permettant à l'armature A de se relever, et par conséquent au levier C de ramener la détente D. Le mécanisme d'horlogerie étant ainsi dégagé, les charbons se rapprochent jusqu'à ce que le courant, étant devenu assez fort pour attirer de nouveau l'armature, ait provoqué un nouvel arrêt du mécanisme. Comme la force nécessaire pour attirer l'armature doit être beaucoup plus grande que celle dont il est besoin pour la maintenir attirée, on comprend pourquoi on a dû rendre le jeu de cette armature le plus petit possible, afin de rendre l'appareil plus sensible, et c'est pour cela que ce jeu a dû être amplifié par le système des leviers C et D.

Si la lumière faiblit et que les charbons s'éloignent du



repère, cela montre que l'appareil n'est pas assez sensible et que le courant agit trop fortement sur le mécanisme électro-magnétique. Il suffit alors d'éloigner l'armature A de l'électro-aimant en la détournant de droite à gauche sur la pièce B jusqu'à ce que l'appareil soit devenu plus sensible. Si, au contraire, les charbons se trouvent trop rapprochés et tendent à se réunir, l'appareil est trop sensible, et on doit tourner l'armature en sens contraire.

Après avoir ainsi réglé l'armature A, on doit examiner si les fonctions de la détente s'accomplissent bien, c'est-à-dire si elle dégage et arrête convenablement la roue à rochet R; si cette détente s'engage trop profondément dans les dents de la roue R, et qu'elle ne puisse plus les dégager, on recule le levier D au moyen d'une petite vis de rappel qui lui est adaptée à cet effet. Si, au contraire, elle n'arrête pas assez sûrement cette roue, on avance le levier D.

Ce modèle de régulateur est celui que M. Duboscq destine particulièrement aux expériences d'optique et de physique.

*Troisième modèle du régulateur de M. J. Duboscq. —* Quand on ne veut appliquer les régulateurs de lumière électrique qu'à de simples expériences d'éclairage, leur disposition doit être un peu différente de celle dont nous venons de parler. Dans les appareils précédents, en effet, le charbon inférieur doit être pôle positif pour se prêter facilement aux différentes expériences auxquelles on doit les appliquer; mais comme ce pôle se creuse et forme une espèce de petite coupole lumineuse qui joue jusqu'à un certain point le rôle de réflecteur, la lumière se trouve projetée de bas en haut. Or, pour les expériences d'éclairage, il faut au contraire que la lumière soit rabattue de haut en bas. Pour cela, il faut donc que le charbon positif soit en haut et la disposition des engrenages et des



crémaillères du régulateur doit être par cela même différente. Dans ce cas, c'est la roue N qui engrène avec la crémaillère IJ, et la roue O qui engrène avec la crémaillère GH; comme celle-ci ne peut plus servir de rouage intermédiaire, c'est la roue N qui engrène directement avec le pignon de la roue P. Du reste, la manœuvre de l'appareil est exactement la même que celle du deuxième modèle.

Le régulateur de M. Duboscq et la manière dont cet habile constructeur l'a appliqué aux appareils de projection de lumière, ont été un véritable bienfait, non-seulement pour les physiciens, mais encore pour les cours publics de physique où l'on était obligé, la plupart du temps, de renoncer aux expériences si intéressantes de l'optique faite de soleil. Nous aurons occasion de voir prochainement, à l'article des applications de la lumière électrique, toutes les expériences que ce système de projection photo-électrique a permis de rendre manifestes et palpables aux yeux de tout un auditoire.

*Régulateur de M. Jaspar.* — Ce régulateur, que nous avons représenté fig. 6, pl. IV, ne diffère de celui de M. Archereau, que nous avons précédemment décrit, qu'en ce que les deux charbons sont mobiles, et peuvent avoir leur marche réglée proportionnellement à leur usure par la combinaison de poulies de renvoi d'inégal diamètre.

Cette modification fait que le système d'Archereau qui, comme nous l'avons vu, ne nécessite aucun mécanisme d'horlogerie, jouit des avantages des autres régulateurs en présentant un point lumineux fixe et invariable.

Dans cet appareil, l'hélice magnétisante est placée dans le support ou le socle du régulateur, et la tige de fer, au lieu d'être sollicitée à monter par l'effet d'un contre-poids spécial agissant sur sa partie inférieure, se trouve soulevée



par l'intermédiaire d'une chaîne et de cinq poulies de renvoi sous l'influence même du contre-poids qui tend à abaisser le charbon supérieur. Il en résulte donc de la part des charbons un double mouvement qui peut être transporté d'un côté ou de l'autre, suivant le diamètre qu'on donne à la poulie de traction et qui doit correspondre à l'usure plus grande de l'un ou de l'autre des deux charbons.

Extérieurement cet appareil ne présente qu'un socle surmonté d'une seule colonne de cuivre, à l'intérieur de laquelle circule la chaîne du porte-charbon supérieur et sur laquelle est monté le support de ce porte-charbon lui-même. Celui-ci, maintenu par un guide et circulant entre deux galets, ainsi que le porte-charbon inférieur, est muni d'un épaulement sur lequel on place les disques de plomb ou de cuivre destinés à servir de contre-poids au double système.

D'après M. Jaspas, les inconvénients des autres régulateurs, auxquels il aurait remédié dans le sien, seraient : 1<sup>o</sup> l'emploi forcé d'une pile considérable, afin que les intermittences auxquelles les astreint leur construction soient assez peu apparentes pour être négligées ; 2<sup>o</sup> la fragilité et souvent la complication du mécanisme d'horlogerie qui, une fois dérangé, exige beaucoup de temps, et un ouvrier exercé pour être remis en état ; 3<sup>o</sup> leur prix élevé et la difficulté de leur emploi. Nous croyons que M. Jaspas se fait beaucoup d'illusions à cet égard, et si, comme il le dit, son appareil peut marcher avec vingt éléments Bunsen seulement, les autres pourront marcher avec une force moindre ; car la force électrique est toujours plus considérable qu'il ne le faut pour faire marcher les appareils régulateurs à mouvement d'horlogerie. Le seul avantage de ce système de régulateur, et cet avantage est le propre de l'appareil d'Archereau, c'est d'agir sans intermittences et d'une manière certaine, quand toutefois on a soin d'alléger



en temps opportun le contre-poids. Enfin, le prix moyen de 125 francs des appareils de M. Jaspas est encore plus élevé que celui des appareils d'Archerau, qui coûtent de 50 à 100 fr.

*Régulateur de M. Loiseau.* — Le régulateur de M. Loiseau est encore fondé sur le principe du régulateur de M. Archerau : il possède en plus un réflecteur. Nous avons représenté, fig. 5, pl. IV, cet appareil. L'hélice magnétisante est à l'intérieur de la colonne qui sert de support à l'appareil, et c'est par des chaînes enroulées sur des poulies de renvoi que s'opère la transmission des mouvements du fer aimanté aux porte-charbon. Ce modèle, du reste, est assez portatif.

*Régulateur de M. Deleuil.* — Dans le régulateur de M. Deleuil, l'un des charbons est fixe et par conséquent le point lumineux se déplace. L'autre charbon (le charbon inférieur) est adapté à l'extrémité d'une crémaillère dentée très-fin sur laquelle réagit un cliquet d'impulsion ; ce cliquet est adapté à l'extrémité d'un long levier qui porte près de son point d'articulation l'armature de l'électro-aimant régulateur. Quand le courant passe avec force à travers les deux charbons en produisant la lumière électrique, cette armature se trouve attirée, et par conséquent le cliquet ne réagit pas sur la crémaillère du porte-charbon ; mais quand le courant est devenu assez faible pour permettre au ressort antagoniste d'agir, le porte-charbon avance d'une dent, c'est-à-dire de l'intervalle d'un demi-millimètre. Nous avons représenté, fig. 7, pl. IV, le mécanisme de ce régulateur.

Deux mots vont maintenant suffire pour montrer l'infériorité de ce régulateur. Puisque pour chaque intermittence de courant le charbon avance d'un demi-millimètre seulement, il en résultera que si la solution de continuité correspondante à l'usure des charbons est plus considérable,



l'appareil se trouvera arrêté. Or, il arrive le plus souvent que les solutions de continuité que provoque la marche du régulateur, varient de  $1/4$  de millimètre à 2 et 3 millimètres; cela tient au défaut de pureté des charbons qui, quand ils contiennent beaucoup de silicates, se désagrègent par morceaux entiers. Quand ces effets arrivent, et ils arrivent souvent, il faut donc qu'on rapproche à la main les deux charbons.

*Régulateur de MM. Lacassagne et Thiers.* — On a beaucoup parlé dans ces derniers temps d'un nouveau régulateur combiné par MM. Lacassagne et Thiers, dans lequel l'ascension des charbons pouvait se faire sans interruptions, et qui n'exigeait aucun rouage pour cette réaction mécanique. Ce régulateur a été l'objet d'un examen sérieux de la part de M. Becquerel, qui a reconnu en lui plusieurs qualités, et qui a fait à son sujet un rapport à la société d'encouragement; toutefois, nous devons le dire, il n'est pas le seul régulateur à marcher d'une manière continue et sans rouages, puisque celui d'Archereau est exactement dans le même cas.

Le système de régulateur de MM. Lacassagne et Thiers se compose de deux appareils : 1° d'un régulateur de courant, appelé par eux *régulateur-électro-mètreur*; 2° d'un régulateur de lumière électrique. Nous demanderons ici, en passant, à quoi bon ce régulateur de courant puisque le régulateur de lumière corrige lui-même les irrégularités qui surviennent dans la force du courant. C'est donc deux appareils compliqués employés dans le même but!... Cela dit en passant, étudions ces appareils.

Le régulateur électro-mètreur n'est autre que celui dont nous avons parlé page 346, 1<sup>er</sup> vol., et dont nous ignorions alors le nom de l'inventeur. Tel que nous l'avons décrit, ce régulateur est fondé sur un bon principe, et peut être d'un emploi avantageux dans toutes autres applications que



celle à laquelle l'ont utilisé ses inventeurs. Il est cependant un point sur lequel nous ne nous sommes pas suffisamment expliqués faute de renseignements.

Nous avons dit à la fin de la description de cet appareil *qu'il y avait dans ce régulateur plusieurs accessoires dont je ne m'étais pas rendu compte, mais qui étaient destinés, je le croyais, à réagir sur le tuyau d'écoulement des gaz, ou pour mettre l'appareil en rapport avec différentes intensités de courants.* Aujourd'hui, je connais suffisamment ces accessoires pour entrer dans quelques détails à leur égard.

Supposons que le tuyau d'écoulement des gaz accumulés sous la cloche du régulateur soit un tuyau de caoutchouc T, fig. 8, pl. IV, et que ce tuyau passe dans un trou AB pratiqué à travers le fer d'un électro-aimant M pour retourner sur ses pas en passant dans un second trou CD ouvert à côté du premier dans le même fer de l'électro-aimant. On comprendra qu'avec cette disposition l'armature EG pourra servir de bouchon à ce tuyau en l'étranglant en BC au moment de son attraction; au contraire, elle le débouchera quand elle cédera à l'effort de son ressort antagoniste au moment d'une interruption de courant, mais en raison de la force élastique du caoutchouc, le ressort antagoniste pourra être réglé de manière que le tuyau ne soit jamais complètement bouché.

Admettons maintenant que le courant, avant d'atteindre les électrodes de platine du régulateur, passe par cet électro-aimant, il arrivera nécessairement que tant que le courant aura une intensité suffisante le tuyau sera plus ou moins étranglé, mais aussitôt que la force électrique diminuera, l'armature en se soulevant, laissera échapper une certaine quantité de gaz, et de cette évacuation résultera l'immersion plus complète des lames de platine dans le liquide sur lequel elles réagissent. Comme alors le courant sera devenu plus intense, l'armature sera de nouveau atti-



rée pour être ensuite repoussée quand les gaz seront revenus en excès, et ainsi de suite indéfiniment.

Pour que l'appareil puisse se prêter à des intensités de courants très-différentes, MM. Lacassagne et Thiers ont ménagé une seconde issue aux gaz de l'appareil régulateur, au moyen d'un robinet muni d'une clef et que l'on ouvre plus ou moins, de manière à laisser échapper précisément la quantité de gaz qui s'échapperait par le jeu régulier de l'armature, sans trouble causé par ses oscillations normales : « Cette nouvelle disposition, dit le *Cosmos*, présente un avantage : on peut recueillir le gaz éliminé dans une éprouvette graduée installée sur une cuve hydro-pneumatique, et le mesurer ; connaissant la quantité de gaz dégagée dans un temps donné, et à l'aide des tables d'équivalents chimiques et électriques dressées d'avance, on pourra calculer, soit l'intensité du courant régulier qui traverse l'appareil ; soit, s'il s'agit d'effets galvano-plastiques, déterminer *à priori* la quantité d'or, d'argent, de platine, etc., déposée dans le bain. »

Arrivons maintenant à la description du régulateur de lumière électrique.

Il est fondé sur le même principe que la partie de l'appareil précédent que nous n'avions pas décrit dans notre premier volume.

Imaginons un réservoir A, fig. 9, pl. IV, rempli de mercure, et communiquant avec un autre vase G par un tube de caoutchouc BKFCDEH replié à travers un électro-aimant M, comme nous l'avons vu précédemment. Concevons qu'à la surface du mercure remplissant en partie le vase G, surnage un flotteur I convenablement dirigé en ligne droite par un guide et terminé par un porte-charbon J au-dessus duquel sera fixé un autre porte-charbon L : on comprendra que si le courant qui devra illuminer les charbons LJ passe à travers l'électro-aimant M, l'armature de cet électro-aimant



se trouvera attirée tant que le courant aura une énergie déterminée, en rapport avec la distance voulue pour l'écartement des charbons. Par conséquent, le tuyau de caoutchouc sera bouché, ou plutôt sera affaissé en DC d'une quantité qui sera en rapport avec cette énergie électrique. Aussitôt que la distance entre les charbons augmentera, l'électro-aimant devenant plus faible attirera moins fortement l'armature, et la partie DC du tuyau sera moins affaissée. Comme la quantité de mercure qui passe du vase A dans le vase G dépend de la largeur du tuyau de caoutchouc, on comprendra que l'ascension du flotteur I sera subordonnée complètement à la réaction plus ou moins énergique de l'électro-aimant, c'est-à-dire à la distance plus ou moins grande qui sépare les charbons : ainsi pendant que la combustion tend sans cesse à séparer les charbons, la pression hydrostatique du mercure gouvernée par le jeu de l'armature, sous l'influence du courant, tend sans cesse à relever le charbon inférieur et à le rapprocher du charbon supérieur, et si le ressort de l'armature a été bandé autant qu'il doit l'être, ce que l'on obtient par un tâtonnement de quelques instants, les deux effets d'éloignement et de rapprochement se compenseront exactement, et les deux pointes de charbon resteront à la même distance.

Dernièrement, MM. Lacassagne et Thiers ont cherché à rendre plus régulier leur appareil en faisant varier la tension du ressort antagoniste de l'armature de l'électro-aimant M, suivant l'intensité plus ou moins grande du courant. A cet effet, ils ont prolongé cette armature au delà de son point d'articulation, et ont fait réagir sur ce prolongement d'armature un électro-aimant additionnel interposé dans une dérivation très-résistante du circuit principal; il résulte de cette disposition que la tension du ressort antagoniste s'affaiblit avec la diminution d'intensité de la pile, mais sans pour cela être solidaire des inégalités accidentelles surve-



nues dans l'intensité du courant produisant la lumière, puisque les deux circuits sont indépendants l'un de l'autre. Cet électro-aimant additionnel évite donc de toucher au ressort antagoniste à mesure que la pile s'affaiblit, comme on est obligé de la faire avec les autres régulateurs.

Pour mieux faire comprendre les appareils de MM. Lacasagne et Thiers, nous avons supposé que le tuyau de caoutchouc qui traversait le fer de l'électro-aimant régulateur se recourbait au-dessous de l'armature, de manière à ne former qu'un simple et unique tuyau ; mais les exigences de la construction ont forcé de le diviser en deux parties précisément au point de sa brusque courbure. C'est alors une espèce de petit capuchon de caoutchouc disposé de manière à envelopper la partie supérieure du fer de l'électro-aimant qui continue le tuyau et qui reçoit la pression de l'armature.

Discutons maintenant les avantages de ce régulateur de lumière électrique.

Nous commencerons d'abord par constater que dans cet appareil le point lumineux se déplace puisque l'un des charbons est fixe. Sous le point de vue de son application aux expériences de l'optique il ne constitue donc pas un progrès sur l'appareil de M. Duboscq. En second lieu, la distance de séparation du charbon dépendant essentiellement de la planitude parfaite du niveau du mercure dans le vase G, les moindres trépidations apportées à cet appareil peuvent faire osciller suffisamment le charbon inférieur pour éteindre la lumière. Cet appareil ne peut donc pas être appliqué toutes les fois qu'il s'agira de le soumettre à un mouvement, par exemple, sur les navires où l'emploi de la lumière électrique serait pourtant fort utile, comme nous le verrons plus tard. D'ailleurs cette quantité de mercure qu'on est obligé d'employer, et qui s'élève au moins à un litre, ne le rend pas susceptible d'être transporté facilement.



En troisième lieu, quand les charbons sont usés, il faut, pour remettre l'appareil en état d'en recevoir d'autres, que tout le mercure soit vidé du vase G dans le vase A, ce qui, on en conviendra, n'est pas une opération qui se fasse aussi facilement et aussi promptement qu'un ou deux tours de clef. En quatrième lieu, le prix de cet appareil est exorbitant (1000 fr. environ), et ce n'est certes pas une considération sans importance.

M. Ed. Becquerel s'est servi du régulateur de MM. Lacassagne et Thiers pour faire une série de recherches fort intéressantes sur la lumière électrique, que je regrette de ne pouvoir faire connaître complètement ici, mais desquelles il résulte que la dépense d'un foyer de lumière électrique provenant d'une pile de soixante éléments de Bunsen, est en frais brut, sans parler de la mise en œuvre, 3 francs par heure. Son intensité lumineuse mesurée au photomètre est égale à celle fournie par 350 bougies. Le prix de revient d'un pareil éclairage avec le gaz dans les conditions les plus favorables serait de 0,80 cent. au taux de la concession faite à la ville de Paris. Enfin, lumière pour lumière, la dépense de l'éclairage à l'huile serait à peu près égale à celle de la lumière électrique.

Une conséquence remarquable que M. Becquerel a déduite de ses expériences, c'est que le maximum de lumière est produit quand l'arc voltaïque oppose à la conductibilité du circuit une résistance égale à celle de la pile, ce qui du reste est conforme à la théorie que nous avons exposée page 195 (1<sup>er</sup> vol.).

*Système de régulateur électrique de M. Liais.* — Pour obtenir une lumière plus régulière et moins saccadée que ne la produisent plusieurs des régulateurs précédents, M. Liais a proposé un système au moyen duquel le régulateur agirait d'une manière constante sans être soumis au caprice des charbons. — D'abord, un commutateur à ren-



versement de pôle serait appliqué à l'appareil afin de rendre égale l'usure des deux charbons, et ce commutateur serait mis en mouvement soit par un moteur électro-magnétique, au travers duquel passerait le courant, soit par un mouvement d'horlogerie. En second lieu, ce commutateur tout en renversant le courant à des intervalles très-rapprochés, le conduirait alternativement dans un double système de charbons qui composerait le foyer lumineux. Il en résulterait que pendant le temps de la permutation du courant, les charbons pourraient être sans cesse rapprochés au contact, puis écartés d'une quantité constante par le mécanisme moteur, et cette quantité pourrait être réglée suivant l'intensité de la pile que l'on voudrait employer. En troisième lieu l'ensemble de l'appareil serait animé d'un mouvement de rotation rapide pour dissimuler le passage du courant de l'un à l'autre système de charbons. Enfin les charbons eux-mêmes devraient être placés dans un globe de verre où serait fait le vide, afin d'en rendre l'usure moins prompte.

#### APPLICATIONS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

*Application à l'éclairage.* — Depuis la découverte par Davy du merveilleux pouvoir éclairant de l'étincelle électrique échangée entre deux charbons, on a fait bien des essais pour l'appliquer à l'éclairage public; mais ces essais n'ont pas fourni jusqu'à présent de résultats satisfaisants. En effet, ce n'est pas une lumière intense concentrée qu'on doit rechercher pour cette sorte d'application; outre que cette lumière devient insoutenable à la vue, quand on en est rapproché, elle ne peut éclairer une assez grande étendue autour d'elle pour présenter un réel avantage sur les lumières disséminées en grand nombre sur des points différents. On a pu se convaincre de la vérité de ce fait par les expériences qui ont été tentées il y a quelques années sur la



place du Carrousel, non; il est vrai, avec de la lumière électrique, mais avec une lumière également très-intense qui projetait autour d'elle une belle sphère lumineuse. On a reconnu finalement que ce bec unique était loin de fournir les mêmes avantages que les becs ordinaires de gaz qui s'y trouvaient placés auparavant. Or, si l'on considère que le caractère propre de la lumière électrique est précisément sa puissance de concentration, on arrivera à conclure que ce n'est pas à l'éclairage public ou privé, qu'on peut appliquer ce genre de manifestation lumineuse. Quoi qu'il en soit, nous croyons utile de rapporter ici les différents essais qu'on a tentés, et les différents moyens qu'on a proposés pour résoudre ce problème.

*Système de M. Wartmann.* — « Les efforts des personnes qui se sont occupées d'éclairage électrique, dit M. Wartmann, semblent s'être concentrés sur deux points : obtenir la lumière la plus intense et lui assurer le plus de fixité possible.

« Je pense qu'il faut résoudre autrement le problème de l'éclairage électrique. Un arc d'un éclat excessif détermine des contrastes d'ombre et de lumière très-désavantageux et qui fatiguent l'œil. Si, pour protéger celui-ci, on dispose l'appareil à une grande hauteur, on accroît la surface éclairée, mais on perd beaucoup de lumière. N'est-il pas plus rationnel d'assimiler les conditions de l'éclairage électrique à celles de l'éclairage au gaz? Pourquoi n'établirait-on pas, dans le circuit d'une pile suffisamment intense, autant de *becs électriques* qu'il y a de points à illuminer, chacun de ces becs ayant un éclat égal à celui d'un bec de gaz, par exemple? Alors la lumière électrique se rencontrera partout où les conducteurs pénètrent, dans les cours, les allées, les ateliers, les magasins, les salons, et où l'illumination produite par un phare extérieur serait sans efficacité.



« Je me suis assuré, depuis longtemps, qu'on peut faire jaillir l'arc électrique entre plusieurs points d'un même circuit. La somme des lumières émises par deux fixateurs de Duboscq, agissant ensemble, est égale à la lumière produite par un seul d'entre eux. Pour montrer la possibilité de multiplier les points éclairants, on dispose, les unes à la suite des autres, une douzaine de capsules de porcelaine remplies de mercure, et on plonge les conducteurs de la pile dans les deux extrêmes. Ces capsules communiquent deux à deux par des fils de cuivre fixés sur une traverse. Si l'on soulève celle-ci avec soin, on produit vingt-deux arcs qui brillent jusqu'à ce que la vaporisation du mercure et la combustion des fils aient altéré les conditions de passage du courant.

« Trois obstacles se présentent quand il s'agit d'*entretenir* plusieurs becs sur un même parcours galvanique. D'abord, une pile formée d'éléments très-nombreux engendre un courant qui s'affaiblit au bout de quelques heures. J'assure à ce courant la constance nécessaire par le moyen de mon *compensateur voltaïque* <sup>1</sup>.

« En second lieu, l'interruption du courant en un seul point éteindrait tous les becs à la fois. Cette interruption peut résulter de l'action d'un aimant sur l'arc lumineux, d'une trop grande distance entre les charbons, ou d'un courant d'air (on peut souffler la flamme électrique comme celle d'une bougie). Mais j'ai constaté qu'il est possible de suspendre la circulation de l'électricité pendant  $\frac{1}{20}$  de seconde sans que l'arc s'évanouisse, et je montrerai plus loin comment cette circonstance permet de lever la difficulté.

« En troisième lieu, l'éclat de chaque bec électrique variera avec le nombre des autres becs qu'on allumera dans l'intervalle des pôles. On remédie sans peine à cet inconvénient

1. Voir la description de cet appareil, 1<sup>er</sup> vol., p. 344; le dessin de cet appareil est représenté fig. 49, pl. IV, 3<sup>e</sup> vol.



par l'intercalation dans le circuit d'autant de résistances partielles qu'il y a de becs, chaque résistance équivalant à celle du passage du courant entre les charbons de chaque bec. Des conducteurs convenables obligent le courant à traverser la résistance, ou l'en débarrassent, suivant que le bec fonctionne ou non.

« Ces dispositions s'appliquent à tous les appareils régulateurs. J'ai cherché à les rendre plus efficaces, en les combinant avec un moyen nouveau de fixer l'arc électrique. On sait que le charbon positif éprouve dans le même temps des pertes beaucoup plus considérables que l'autre, par suite du transport de ses molécules sur le charbon négatif. Or, on peut compenser ces pertes en faisant tomber sur lui de la poudre de charbon ou de graphyte en quantité égale, ou un peu supérieure, à celle que lui enlèvent la combustion et le transport. De cette manière, l'usage du bec n'est plus limité, comme dans les autres appareils, par la longueur toujours restreinte des baguettes de charbon. J'entoure ce bec d'un tube de verre qui régularise le courant d'air, et empêche les vacillations de la flamme. Enfin j'adapte, s'il en est besoin, un réflecteur pour concentrer la lumière dans une direction déterminée.

« Il ne me reste qu'à décrire l'ensemble des pièces qui président au fonctionnement d'un bec électrique.

« Soit *P* le conducteur positif de la pile, qui aboutit par le fil *a* au bouton à vis *b* soutenu par l'arc métallique *gg*, et où il se bifarque. Une branche *c*, qu'on arrête par la vis *b'*, se termine par un disque de cuivre *d* dans le vase *R*. Celui-ci contient une solution de sulfate de cuivre, de longueur telle que la résistance qu'elle oppose au passage du courant soit égale à celle que le même courant éprouve à franchir l'intervalle entre les charbons. Sur le fond du vase est un disque *e* soudé au fil *f*, qui s'arrête au bouton à vis *h*. Là se réunissent deux fils : l'un, *i*, allant au bouton à vis *h* qui



maintient le ressort  $l$ ; l'autre,  $mm$ , qui se termine à un écrou dans lequel il est fixé par la vis de pression  $n$ .

« Du bouton  $b$  part un second fil  $o$ , qui s'enroule sur les deux branches de l'électro-aimant  $E$ , puis se prolonge en  $p$  jusqu'à la traverse métallique  $q$ . Cette traverse, et une autre  $q'$ , servent à maintenir une tige de laiton dentée en crémaillère, qui se manœuvre à l'aide du pignon  $r$ . La tige porte l'un des charbons  $C$ , apointi vers le haut, et dont la base est entourée d'un rebord concave  $s$ . Cette même tige présente, sur la face opposée à la crémaillère, une lame de platine  $t$ , isolée dans un cadre d'ivoire. Trois ressorts pressent cette face :  $l$  déjà indiqué,  $z$  qui est lié au pôle négatif par  $N$ , enfin  $y$  mis en relation par le fil  $u$  et la branche métallique  $v$  avec le charbon supérieur  $S$ . Les extrémités libres des ressorts et la longueur de la lame  $t$  sont combinées de manière que le ressort  $z$  communique tantôt avec  $y$ , tantôt avec  $l$ , suivant le jeu du pignon  $r$ . L'un des ressorts extrêmes touche la lame à l'instant où l'autre lui échappe, en sorte que le courant n'est jamais interrompu, et qu'il n'y a pas d'étincelles à redouter pour la conservation de ces ressorts.

« La longue branche  $v$  de cuivre s'appuie d'un côté par le tranchant d'un couteau sur la pièce fixe  $w$ ; de l'autre elle est maintenue par un léger ressort à boudin  $x$ , terminé par une vis, et dont la position se modifie à l'aide d'un écrou  $a'$ . De la pièce de métal  $w$  part un conducteur  $B$  lié à la colonne  $G$ , qui porte le couteau d'appui de l'armature de fer doux  $A$ . Le jeu de cette armature se règle par le moyen de deux ressorts à boudin  $e'$  et  $z'$  qui se tendent chacun par des tiges à vis et des écrous convenables  $a''$  et  $a'''$ . Cette disposition ressemble à celle que l'habile ingénieur  $M. Hipp$  a introduite dans les relais télégraphiques suisses dont nous avons parlé. Mais elle en diffère en ce que le jeu des deux écrous opposés permet d'amener l'armature à une



distance quelconque du pôle, tout en donnant au système des ressorts une tension plus ou moins grande. Or, on sait que, toutes choses égales, un ressort vibre d'autant plus vite qu'il est plus tendu. Rien, dès lors, de plus aisé que d'obtenir le retrait de l'armature, quand l'électro-aimant cesse de l'attirer, dans un temps beaucoup moins long que  $1/20$  de seconde.

« L'extrémité  $b''$  de l'armature P est destinée à s'appuyer contre la pointe platinée de la vis  $c$  mobile dans l'écrou isolé qui porte la vis de pression  $n$ ; l'autre,  $d'$ , à embrayer la roue dentée  $e'$  quand l'électro-aimant E ne fonctionne pas. Cette roue est portée par l'axe d'une hélice  $n'$  mue par un mouvement d'horlogerie D, qui (susceptible d'agir comme compteur si cela est utile) fait tomber la poudre de charbon dont est rempli le réservoir conique  $m'$ . Cette poudre traverse un canal pratiqué à travers le gros charbon S, et arrive sur le charbon C; l'excédant est recueilli par le rebord  $s$ . — Sur la pièce d'arrêt  $d'$  est encore fixée une chaînette  $q'$  qui s'enroule sur la petite gorge de la poulie de renvoi  $p'$ . Une autre chaînette  $h'$  s'attache sur la grande gorge de cette poulie et se termine à l'extrémité du bras  $v$ .

« Il est facile de comprendre l'action de l'appareil. Tant que le porte-charbon n'aura pas été soulevé par le pignon  $r$ , le ressort  $y$  demeurera isolé, le ressort  $l$  touchera la lame de platine  $i$ , et le courant n'aura d'autre voie que celle des conducteurs P a b d R e f h i k l t z N.

« Quand, au contraire, on aura exclu le ressort  $l$  et amené le ressort  $y$  à presser contre  $t$ , le courant se partagera entre deux routes. Une partie passera par P a b d R e f h m n c' b G B w u y t z N, en surmontant la résistance R. L'autre portion, beaucoup plus considérable, se dirigera par P a o E p q C S v w u y t z N, parce que les deux charbons se toucheront. Aussitôt, l'électro-aimant attirera l'ar-



mature A, et, ouvrant le premier circuit entre  $b''$  et  $e'$ , fera cesser la dérivation. En même temps, l'abaissement de l'arrêt  $d'$  rendra libre le mécanisme du distributeur D, et le cordon  $q'$  ayant cédé, permettra au ressort  $x$  de soulever la branche  $v$ , ainsi que le charbon S, à la hauteur nécessaire pour que l'arc soit le plus brillant possible. Cette hauteur se détermine non-seulement par la tension des ressorts  $x$ ,  $e'$  et  $z'$ , mais encore par le rapport des rayons des deux gorges de la poulie  $p'$ .

« Si une cause quelconque rompt l'arc entre C et S, le courant cessera aussitôt de circuler autour de l'électro-aimant E. Alors l'armature A, remontant de suite, rétablira la continuité du circuit par  $n e' b'' G B w u$ . Les autres becs électriques, distribués sur le parcours du conducteur général de la pile, ne seront pas éteints, et leur éclat ne sera pas modifié, car le courant traverse la résistance R. Mais le relèvement de l'armature A aura simultanément pour effet de descendre le charbon S jusqu'au contact du charbon fixe C, et le bec se rallumera ainsi d'une manière tout automatique.

« Le charbon S ne se raccourcit pas sensiblement, parce que le courant qui le traverse est peu intense (l'illumination à produire équivalant à celle d'un bec de gaz), et que ce courant y dépose les molécules enlevées à C. Je donne au tronc de cône terminal un grand diamètre, ce qui contribue encore à amoindrir la diminution de longueur. Si toutefois on veut compenser la perte minime qu'il éprouve au bout d'un grand nombre d'heures, il suffit de donner à l'écrou  $a'$  un mouvement très-lent, emprunté au mécanisme du distributeur D. L'allongement du ressort  $x$ , qui en résulte, assure la constance de l'intervalle que le courant doit parcourir entre les deux charbons. Il ne serait pas difficile de disposer ceux-ci dans le vide, ce qui annulerait la perte due à la seule combustion.



« Ainsi, quand la pile est en activité, la seule chose à faire pour allumer le bec électrique, ou pour l'éteindre, consiste à mouvoir le pignon  $r$  dans un sens ou dans l'autre. Les limites de son excursion sont réglées par les traverses  $j, j'$ , fixées à la tige. On n'a d'autres soins à prendre que de monter à longs intervalles le ressort du distributeur, de renouveler la provision de poudre dans le réservoir très-capace  $m'$ , et de remplacer le charbon  $S$ , ainsi que le disque  $d$ , qu'il convient de faire très-épais.

« On doit donner au vase  $R$  de grandes dimensions, afin d'empêcher que l'échauffement du liquide ne puisse y devenir considérable, ce qui diminuerait sa conductibilité. Dans les cas (qu'il faut éviter) où le courant posséderait une forte intensité, les conducteurs  $D$  et  $e$  se détérioreraient en donnant naissance aux fourmillements lumineux que j'ai découverts en 1847<sup>1</sup>. »

*Système de M. Quirini.* — « On peut, avec une seule pile, dit M. Quirini, faire marcher plusieurs lampes électriques à la fois, condition indispensable pour l'éclairage public.

« Pour cela il suffit de mettre le pôle zinc de la pile en contact avec le pôle zinc de la première lampe électrique, et le pôle charbon de la pile avec le pôle charbon de la dernière lampe électrique, et unir les autres lampes entre elles avec des conducteurs disposés de façon que le pôle charbon de la première lampe soit en communication avec le zinc de la seconde, et ainsi de suite.

« Toutes ces lampes électriques ne forment alors qu'un seul système. Le fluide électrique suit son chemin d'un

1. *IV<sup>e</sup> Mémoire sur l'Induction*, Bibliothèque universelle, tome V, p. 154, et *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, tome XXII, p. 17. — Des phénomènes semblables ont été décrits à la même époque par M. Maas (*Bulletin de l'Académie de Bruxelles*, tome XIV, 1<sup>re</sup> partie, page 432; 1847), — et tout récemment par M. Quet (*Comptes Rendus*, tome XXXVI, p. 1012; séance du 6 juin 1853).



pôle à l'autre de la pile, et surmonte les obstacles qu'il trouve dans sa marche aux électrodes, quand on voit jaillir la lumière électrique.

« Il n'y a point augmentation de la lumière, mais une meilleure distribution.

« Si, par exemple, avec une pile de 50 éléments de Bunsen et une lampe électrique, vous avez une intensité de lumière égale à cent, avec deux lampes vous aurez une intensité de lumière à peu près de la moitié, avec quatre une intensité à peu près d'un quart pour chacune.

« En juin 1855, j'ai fait pour la première fois, à Venise, cette expérience dans une société savante (*l'Ateneo-Veneto*), et je la publie ici, car elle n'est pas connue. Il y a de l'utilité dans ce fait, surtout quand il s'agit d'éclairer de grands emplacements, des rues, des locaux séparés les uns des autres; la lumière est mieux placée, moins forte, moins incommode.

« Il y a de plus économie, et quand la pile diminue de force, on peut très-facilement supprimer la communication avec les autres lampes, et concentrer la puissance électrique du foyer électrique sur celle qui reste en communication avec la pile.

« L'on fait cette expérience avec toutes sortes de lampes électriques; il est bon pourtant que les lampes en action soient dans le même système, afin que le courant électrique ait le moins possible d'entraves dans sa marche. »

MM. Deleuil, dans le numéro du 11 janvier 1856, du *Cosmos*, ont réclamé la priorité de ce système d'éclairage, prétendant que dès le 10 novembre 1849, ils avaient étudié les moyens de diviser la lumière électrique et d'obtenir le fonctionnement simultané de plusieurs appareils placés dans le même circuit en donnant un éclairage égal. La première de ces expériences, couronnée de quelque succès, date, disent-ils, de septembre 1850. Ils opéraient avec 80



éléments de Bunsen ; trois appareils, disposés comme ceux de M. Quirini, donnèrent pendant 5 minutes seulement, une lumière sensiblement la même pour chacun. Le 2 octobre, ils modifièrent leur combinaison. Au lieu d'une pile de 80 éléments, ils employèrent trois piles de 20 éléments chacune et formèrent le circuit dans l'ordre suivant : pôle positif de la première pile, pôle positif du premier appareil, pôle négatif du premier appareil, pôle négatif de la seconde pile, pôle positif de la seconde pile, pôle positif du deuxième appareil, pôle négatif du deuxième appareil, pôle négatif de la troisième pile, pôle positif de la troisième pile, pôle positif du troisième appareil, pôle négatif du troisième appareil, pôle négatif de la première pile : les appareils donnèrent pendant un peu plus de 5 minutes seulement une lumière égale. Le 19 et le 31 octobre, un nouvel essai semblable, fait avec deux appareils et deux piles de 30 éléments, donna un résultat satisfaisant pendant 15 minutes. Le 10 décembre enfin, avec quatre appareils et quatre piles de 20 éléments, ils éclairèrent aussi pendant un quart d'heure.

Ces expériences, comme on le voit, ne sont guère encourageantes, et si MM. Quirini et Wartmann n'ont pas mieux réussi, c'est à désespérer complètement de l'application de l'électricité à l'éclairage public.

Du reste, M. Ronalds, avant M. Deleuil, avait démontré les avantages qui résulteraient de la substitution d'un appareil multiple, d'une espèce de candélabre électrique, au simple fixateur qui absorbe à lui seul toute une pile puissante. Suivant lui, les charbons brûleraient moins vite et dureraient plus longtemps ; une des branches du candélabre pourrait s'éteindre sans qu'on s'en aperçût, et les autres pourraient continuer à fonctionner à la condition toutefois, que par un mécanisme additionnel, la branche qui s'éteindrait fermât le circuit interrompu.



Il fait, en outre, remarquer que le plus grand obstacle à l'emploi de l'éclairage électrique n'est pas sa dépense relativement minime, mais le défaut de continuité et la nécessité absolue de l'œil et de la main d'un surveillant, qui n'abandonne jamais à lui-même l'appareil unique dont les charbons peuvent se briser à chaque instant et s'usent si rapidement.

Pour résoudre le problème de la division du courant dans l'éclairage électrique, MM. Lacassagne et Thiers se sont imaginé d'ajouter à leurs régulateurs un certain appareil auquel ils donnent le nom de *diviseur* du courant, et qui doit opérer la répartition de ce courant en un nombre quelconque de courants constants ou réguliers dont les intensités soient une partie aliquote déterminée de l'intensité du courant primitif. Ils utilisent, à cet effet, leur régulateur électro-mètre que nous avons décrit. Pour en comprendre la fonction, supposons que le courant de la pile ait une intensité suffisante pour produire tous les effets qu'il s'agit d'obtenir; fixons à l'un des pôles, le pôle positif, par exemple, un rhéophore ou conducteur capable de transmettre sans résistance le courant né de la pile. Ce sera pour fixer les idées en faisceau, composé d'autant de fils individuels que l'on veut obtenir de dérivations de courant; nous couperons le faisceau, pour fixer aux deux bouts que détermine la coupure deux lames de platine, et interposer sur le passage du courant un premier régulateur électro-mètre, de manière à régulariser le courant total. Au delà du régulateur, ou si l'on peut s'exprimer ainsi, à la sortie du régulateur, le faisceau se subdivisera, c'est-à-dire que les fils individuels dont il se compose, et qui ont un diamètre proportionnel à l'intensité du courant partiel qu'ils doivent transmettre, se sépareront; chacun d'eux ira aboutir à l'appareil que le courant doit mettre en jeu.

Mais entre le point de séparation des fils et l'appareil



correspondant, on interposera sur chaque circuit un nouveau régulateur électro-métrique ou rhéostat-automoteur qui permettra de régler et au besoin de mesurer l'intensité de la fraction de courant correspondante. Des fils égaux à ceux qui ont amené le courant à l'appareil le reprendront à sa sortie; ces fils se réuniront plus tard en un faisceau unique qui viendra se rattacher au pôle négatif de la pile, et formera le circuit total; tout sera alors régularisé, égaïse, mesuré. Lors même que l'un des appareils en question cesserait de fonctionner, le jeu des rhéostats-automoteurs empêchera qu'il ne pénètre une plus grande quantité d'électricité dans les autres circuits, ou que les autres appareils cessent de fonctionner régulièrement; en effet, par les dispositions que nous avons décrites, chaque circuit partiel ne donnera passage qu'à un courant d'intensité déterminée et toujours la même.

On comprend d'après cette description que nous avons empruntée au *Cosmos*, quelle effrayante complication entraînerait un pareil système, et tout cela pour produire un effet dont on peut finalement se passer.

Pour résoudre le même problème, c'est-à-dire pour répartir la lumière électrique d'une seule pile sur plusieurs points, M. Liais a proposé un autre système qui consiste à faire passer successivement le courant d'un appareil dans l'autre, de manière que les apparitions lumineuses se succèdent à travers tous ces appareils dans un espace de temps moindre d'un dixième de seconde. Il en résulterait, suivant lui, une lumière qui paraîtrait continue sans exiger de bifurcations du circuit. Malheureusement, ce système ne résout pas mieux que les autres le problème de l'éclairage électrique, car si on gagne de la puissance électrique par l'absence des bifurcations, on en perd considérablement par la petite quantité d'électricité qui produit une action effective pendant les courts intervalles de l'apparition de la



lumière. Nous avons vu, en effet, au sujet du chronoscope de M. Pouillet (2<sup>e</sup> vol.), que les réactions des courants croissent et décroissent dans un certain rapport avec la durée de leur apparition. Par conséquent, si les interruptions nécessaires à la commutation du courant d'un appareil à l'autre sont très-rapprochées, l'effet électrique produit ne peut être que très-minime.

*Système de M. Martin de Brettes.* — Le système que M. Martin de Brettes a proposé pour éclairer un grand espace, est fondé sur ce principe, que, si un système de lentilles disposé autour d'un foyer de lumière électrique tourne assez vite dans deux directions rectangulaires pour que le passage d'une projection de lumière à l'autre soit moindre qu'un dixième de seconde, l'œil conservera l'impression d'un éclairage permanent correspondant à la réunion dans l'espace de toutes ces projections. Ainsi, en admettant que par l'intermédiaire d'une lentille, la lumière électrique éclaire à une distance triple de celle à laquelle elle pourrait le faire sans lentille, cette amplification dans le système de M. Martin de Brettes ne donnerait pas lieu à un simple cône de lumière dirigé sur un point, mais à une immense sphère lumineuse qui éclairerait l'espace à longue distance autour du point lumineux. Ce système comporte deux appareils distincts : un régulateur de lumière électrique et un appareil amplificateur à rotation.

Ce dernier consiste dans une carcasse polygonale de fonte EE, fig. 11, pl. IV, sur le pourtour de laquelle sont montées six lentilles de phare  $x, y, z$ , et dont le centre porte deux tourillons creux à travers lesquels passent les portecharbon du régulateur. Cette carcasse est montée par ses tourillons dans un cadre de fonte DD qui peut pivoter lui-même sur deux de ses côtés, dans un sens perpendiculaire à celui dans lequel tourne l'appareil lenticulaire. De plus, des engrenages  $g$  et des poulies de renvoi  $a, b$  adaptés aux



tourillons de ces deux systèmes tournants, permettent que le mouvement communiqué par la roue motrice M (laquelle est montée sur le support de tout cet ensemble mobile) soit transmis d'abord au cadre de fonte DD, et en second lieu au prisme lenticulaire EE.

Avec cette disposition, si les rouages sont combinés de manière que la roue lenticulaire EE fasse environ deux tours par seconde, tandis que le cadre qui la porte en accomplira cinq, le problème sera résolu ; car les lentilles passeront plus de dix fois par seconde dans deux directions rectangulaires, et, comme les cônes de lumière qu'elles projetteront engendreront une sphère, tout l'espace, à une grande distance autour du foyer lumineux, sera éclairé.

Ainsi, sans augmenter l'intensité de la lumière électrique, on peut l'amplifier d'une manière considérable et la projeter au loin dans toutes les directions à la fois, comme si elle passait au travers d'une sphère de verre composée d'un nombre infini de lentilles.

Le régulateur employé par M. Martin de Brettes est fondé, comme ceux que nous avons décrits, sur les effets mécaniques de l'électro-magnétisme.

Les porte-charbon passent, comme nous l'avons déjà dit, au travers des tourillons de l'appareil lenticulaire. Ils sont sollicités à marcher l'un vers l'autre par deux ressorts à boudin ; mais ils sont arrêtés à une distance convenable par deux frotteurs dentelés mis en rapport (à l'aide de leviers à bascule) avec un électro-aimant interposé dans le courant. Quand le courant passe, les frotteurs empêchent les charbons d'avancer, parce que l'électro-aimant les tient appuyés ; mais aussitôt qu'il s'affaiblit, les ressorts l'emportent et poussent l'un vers l'autre les charbons, jusqu'à ce que le courant soit rétabli dans toute sa force. En raison de la mobilité de l'appareil, tous les contacts métal-



liques ont dû se faire par l'intermédiaire de frotteurs.

Ce système de régulateur laisse sans doute beaucoup à désirer, mais, comme on peut lui substituer celui de M. J. Duboscq, l'ensemble du système de M. Martin de Brettes n'en est pas moins très-ingénieux et devrait être expérimenté. Nous verrons bientôt qu'il pourrait être d'un grand secours pour les opérations militaires auxquelles M. Martin de Brettes l'avait destiné d'une manière toute particulière.

*Application de la lumière électrique aux expériences de physique.* — Il est, comme je l'ai déjà dit, beaucoup de phénomènes physiques qui, pour être rendus palpables aux yeux de tout un auditoire, ont besoin d'être projetés sur un large écran, à la manière des sujets de la lanterne magique. Il est même quelques-uns de ces phénomènes qui tiennent à la nature propre de la lumière, qui exigent pour être perçus une lumière excessivement intense. Sans doute, avec la lumière solaire et au moyen d'un porte-lumière, le problème peut être réalisé immédiatement et à peu de frais ; mais, la plupart du temps, le soleil manque quand il en est besoin, et l'on se trouve forcément privé de ces expériences qui, non-seulement donnent à un cours une plus grande animation et un charme tout particulier, mais encore sont beaucoup mieux comprises et surtout beaucoup mieux retenues quand les yeux ont été frappés. La lumière électrique peut être substituée victorieusement au soleil pour ce genre d'application, et le régulateur de M. J. Duboscq a été disposé, comme nous l'avons vu, tout exprès dans ce but.

Les appareils destinés à projeter la lumière électrique se composent : 1° d'un fixateur de lumière électrique dont les deux charbons en s'usant ne déplacent pas le point lumineux ; 2° d'une lanterne hermétiquement fermée dans laquelle on place le régulateur ; 3° d'une lentille plan-con-



vexe destinée à rendre parallèles les rayons convergents issus du point lumineux ; 4<sup>o</sup> d'une série d'appareils d'optique dont nous ne parlerons pas ici, car nous nous écarterions complètement du sujet qui fait l'objet de cet ouvrage<sup>1</sup>. Nous décrirons seulement la lanterne, parce qu'elle est une conséquence du régulateur électrique.

La lanterne de M. Duboscq se compose d'une espèce de boîte de cuivre bronzé, qui enveloppe la partie supérieure du régulateur. Pour prendre moins d'espace, la colonne de ce dernier appareil est enfermée dans une espèce de cheminée qui termine la boîte, et le pied se trouve au-dessous, entre les quatre colonnes qui supportent la lanterne. Pour que cette boîte ferme hermétiquement, de petits volets mus par des crémaillères viennent fermer le dessus et le dessous de la boîte en même temps qu'on en ferme la porte, de sorte que les coupures faites à l'instrument, pour qu'on puisse y introduire le régulateur, se trouvent bouchées. L'intérieur de cette lanterne est muni d'un miroir réflecteur et de deux tiges plongeantes sur lesquelles peuvent s'adapter deux autres miroirs pour renvoyer la lumière dans les lentilles d'un appareil particulier que l'on adapte à la lanterne pour certaines expériences, et que l'on appelle *polyorama*. Enfin sur le côté de la lanterne se trouve un petit œil-de-bœuf muni d'un verre violet par lequel on examine la marche de la lumière électrique. Afin de régler facilement la position du point lumineux qui, dans certaines expériences délicates, a besoin d'être déterminée d'une manière tout à fait rigoureuse, le régulateur se trouve posé sur un socle qui, au moyen de deux vis de rappel, peut être déplacé dans deux directions rectangulaires (de bas en haut et de côté), comme le miroir des porte-lumières.

Les expériences de projection peuvent être faites à toute

1. Voir ma Notice sur le mode de projection des principaux phénomènes de l'optique à l'aide des appareils de Duboscq.



distance; seulement, elles perdent de leur éclat et de leur netteté quand les distances ne sont pas en rapport avec l'intensité lumineuse : cinq mètres représentent ordinairement la distance la plus convenable pour la lumière d'une pile de cinquante éléments.

Voici la liste des principaux phénomènes de la physique que l'on peut projeter avec les appareils de M. Jules Duboscq :

#### I. — EXPÉRIENCES POUR LES COURS ÉLÉMENTAIRES.

1. Projection des charbons de la lumière électrique.
2. Renvoi de cette projection au plancher par un miroir, afin de démontrer les effets de la réflexion.
3. Déviation des rayons lumineux par l'effet de la réfraction.
4. Décomposition de la lumière.
5. Recomposition de la lumière décomposée : 1° avec une lentille cylindrique; 2° avec sept miroirs, etc.
6. Coloration produite sur le champ de lumière recomposée, par l'arrêt de l'une ou de l'autre des couleurs du spectre.
7. Renvoi des couleurs complémentaires, à l'aide d'un petit prisme employé pour arrêter les couleurs dans l'expérience précédente.
8. Phosphorescence de certaines substances, telles que le sulfate de quinine dans la lumière violette du spectre ou toute autre lumière violette artificielle.
9. Polyprisme.
10. Prisme achromatique.
11. Rais du spectre solaire.
12. Rais du spectre, résultant de la fusion des métaux.



## II. — EXPÉRIENCES AMUSANTES.

13. Polyorama. — Projections d'images daguerriennes, d'effets de nuit et de jour. — Tableaux astronomiques. — Disque de Newton. — Chromatropes.
14. Microscope photo-électrique ou solaire. — Projection des images amplifiées. — Cristallisations s'opérant à vue. — Arbre de Saturne. — Monstres dans le vinaigre. — Circulation du sang dans la queue d'un têtard. — Circulation de la sève dans la chara.

III. — EXPÉRIENCES POUR LES COURS DE PHYSIQUE  
TRANSCENDANTE.

15. Expérience de Malus sur la polarisation de la lumière. — Coloration différente de la lumière polarisée.
16. Expérience du docteur Guérard, id., id.
17. Polarisation par réfraction avec les tourmalines.
18. Polarisation par la double réfraction.
19. Expérience d'Arago.
20. Croix de la double réfraction : — 1° Avec un cristal à un axe ; — 2° Avec un cristal à deux axes. — 3° Spirales d'Airy.
21. Hyperboles mobiles.
22. Parallépipèdes de Fresnel.
23. Polarisation elliptique.
24. Polarisation des lames de chaux taillées avec des épaisseurs différentes.
25. Polarisation du verre trempé ; — du verre comprimé ; — du verre courbé ; — du verre chauffé.
26. Variations subites des couleurs obtenues par les moyens précédents, en plaçant sur le trajet du rayon polarisé un quartz à faces non parallèles.



27. Interférences dans le spectre (expérience de M. Biot).
28. Anneaux de Newton.
29. Id., avec deux systèmes d'interférences.
30. Id., dus à l'insufflation sur un miroir concave.
31. Réseaux par réfraction.
32. Id. par réflexion.
33. Microscope polarisant.
34. Fontaine de Colladon.

#### IV. — EXPÉRIENCES D'ACOUSTIQUE.

35. Projections des vibrations des cordes, des lames, des plaques, etc., d'après la méthode de M. Lissajoux.

*Application de la lumière électrique aux opérations militaires.* — L'intensité prodigieuse de la lumière électrique et la facilité qui nous est donnée de pouvoir la faire naître et l'éteindre à volonté à distance, la rendent susceptible d'une application précieuse aux opérations militaires, soit pour fournir des signaux, soit comme moyen d'éclairer à longue distance un point qu'on a besoin de reconnaître pendant la nuit. Nous empruntons, à un très-intéressant mémoire de M. Martin de Brettes sur les artifices éclairants à l'usage de la guerre, les renseignements qui vont suivre :

« Les signaux, dans la guerre de campagne ou celle de siège, dit M. Martin de Brettes, ont pour objet principal la transmission d'ordres ou de dépêches urgentes. D'après cela, il est clair que le meilleur système de signaux lumineux sera celui dont chaque feu se produira avec le plus de simplicité, de certitude, sera vu de plus loin et donnera le plus de régularité à l'apparition des feux combinés pour créer les lignes nécessaires à une correspondance télégraphique.

« D'après la propriété que possède la lumière électrique de pouvoir être aperçue à une distance considérable, on ne



peut contester sa supériorité pour créer un bon système de signaux. Toutefois les fusées pourront, en général et dans les circonstances ordinaires, être employées avantageusement à cause de leur simplicité, du peu d'embarras qu'offre leur transport et de la facilité de leur emploi. Mais quand on aura besoin d'un puissant signal lumineux permanent, la lumière électrique sera d'un secours immense et pourra éviter en campagne l'emploi du ballon captif.

« D'un autre côté, il se présente à la guerre des circonstances où l'on a besoin d'un éclairage d'une durée plus ou moins longue; par exemple :

« Pour reconnaître une fortification, l'assiégeant a besoin de produire un éclairage momentané suffisant à ses projets et pas assez long pour éveiller l'attention de l'assiégé.

« Pour diriger le tir d'une batterie sur un but déterminé, il faut que ce but soit éclairé assez longtemps pour permettre un bon pointage.

« Pour n'être pas surpris lors de l'ouverture de la tranchée, l'assiégé doit éclairer d'une manière continue le terrain où cette opération a des chances d'être exécutée.

« L'éclairage d'un champ de bataille, d'une brèche lors de l'assaut, demandent aussi un éclairage d'une durée indéfinie.

« Ainsi, à la guerre on peut avoir besoin de produire ou un éclairage momentané, ou un éclairage de longue durée, dont la limite est celle de la nuit. Nous avons vu précédemment que l'on pouvait produire, sans difficulté et à volonté, ces deux éclairages avec la lumière électrique, en fermant ou en interrompant le circuit voltaïque.

« Nous allons examiner maintenant les principales circonstances de la guerre où l'éclairage est utile et nécessaire, soit en campagne, soit dans les sièges, et si les moyens d'appliquer la lumière électrique peuvent remplir l'objet qu'on se propose.



« Dans la guerre de campagne, on peut avoir besoin de produire une longue traînée de lumière, par exemple, pour éclairer un chemin dangereux sur le flanc escarpé d'une montagne, le passage d'un pont militaire ou suspendu, d'un gué, etc.

« On atteindra ce but en employant un appareil électrique éclairant avec réflecteur ou lentille, doué d'un mouvement oscillatoire autour d'un axe horizontal, car cet appareil, placé sur un lieu élevé ou au sommet d'un mât, produira un sillon lumineux d'une longueur de plusieurs kilomètres.

« On peut avoir besoin d'éclairer un terrain éloigné, plus ou moins vaste; par exemple : pour reconnaître une position de l'ennemi; s'opposer au passage d'une rivière en empêchant de construire les ponts ennemis; faciliter la construction ou le repliement d'un pont militaire; défendre les abords d'un camp, d'une position fortifiée; reconnaître la position occupée par l'ennemi sur un champ de bataille, afin de prolonger le combat et compléter la victoire, etc.

« Dans ces diverses circonstances, on emploierait l'appareil éclairant, que nous avons représenté fig. 11, pl. IV, auquel on donnerait, soit un simple mouvement autour d'un axe vertical ou horizontal, soit le double mouvement, selon la figure du terrain qu'on se proposerait d'éclairer. Il faut avoir soin de régler l'amplitude des mouvements oscillatoires d'après l'espace à éclairer, sa distance du foyer éclairant, et la hauteur de ce dernier : opérations promptes et faciles.

« Elles deviendront, du reste, le plus souvent inutiles, car, vu la faible hauteur à laquelle l'appareil éclairant sera élevé, le cône lumineux éclairera un terrain enfermé dans une vaste ellipse très-allongée.

« Enfin, il se présente des cas où il est nécessaire d'éclairer un vaste espace autour du foyer lumineux; par exemple, pour établir de nuit un camp, un parc d'artillerie,



faire prendre les armes la nuit, soit pour lever le camp, soit pour le défendre contre une attaque nocturne et imprévue, toujours dangereuse à cause du désordre qui se manifeste, etc.

« Dans toutes ces circonstances, l'appareil lumineux doué du double mouvement de rotation, placé au sommet d'un mât, remplira toujours, avec avantage et certitude, les vues du général.

« Quand on emploiera en campagne les moyens d'éclairage hors de la présence de l'ennemi, ils produiront toujours avec certitude les effets désirés.

« En présence de l'ennemi, on pourrait craindre qu'ils ne fussent très-exposés à être détruits et, par conséquent, rendus inutiles. Nous pensons qu'il serait facile de les soustraire à cet inconvénient. Nous ferons remarquer d'abord, que ces appareils présentent un très-petit but à cause de leur petit volume, ce qui diminue déjà considérablement les chances de destruction; ensuite, que l'ennemi sera en général à une distance assez grande, ce qui les diminuera encore; enfin, qu'en général on pourra les éloigner assez de l'ennemi, sans se priver de leur lumière, à cause de la grande distance à laquelle ils peuvent éclairer suffisamment.

« Dans les cas, très-particuliers, où l'appareil éclairant serait assez rapproché de l'ennemi pour être exposé, on pourrait adopter pour le défendre, entre autres moyens, un des suivants : on emploierait, pour éclairer un espace déterminé, la lumière produite successivement par divers appareils dans lesquels elle paraîtrait et disparaîtrait dans un ordre très-variable, afin de diviser l'attention de l'ennemi et rendre ses coups incertains. On augmenterait encore cette incertitude en les changeant fréquemment de place. Ce jeu de lumière peut être produit sans difficulté et avec régularité par une seule pile mise alternativement en communication avec un conducteur de chaque appareil.



On pourrait même, si les appareils étaient trop exposés, les mettre sur le sol où ils seraient parfaitement en sûreté. En les plaçant de manière que le réflecteur dirigé en l'air eût un mouvement oscillatoire et de rotation autour de la verticale, on produirait un éclairage suffisant et très-utile dans beaucoup de circonstances, entre autres, pour la défense d'un camp contre une attaque nocturne et imprévue.

« En général, dans ce cas, et il n'en peut être autrement, le désordre, la confusion causent autant de mal que le fer de l'assaillant; tandis qu'en disposant d'avance les appareils, et il ne faut qu'un instant, ces désordres ne sont plus possibles; car, à un signal donné par le général, le camp serait éclairé entièrement, de manière que les défenseurs pourraient immédiatement prendre leur place de bataille.

« On pourrait penser que ces moyens d'éclairage occasionneraient un accroissement considérable dans le poids du matériel de guerre, déjà si énorme. Mais si l'on observe qu'il suffira de transporter une ou deux piles par division et quelques centaines de kilogrammes de fils conducteurs, de zinc et d'acide sulfurique, pour produire, quand on en aura besoin, un éclairage puissant et sûr, tandis qu'aujourd'hui, avec un poids de matière plus considérable et plus embarrassant, on n'obtiendrait, par des manipulations plus ou moins longues, que des artifices éclairant faiblement et sur l'effet desquels on ne pourrait compter; on sera probablement conduit à reconnaître les avantages présentés par l'éclairage électrique en campagne.

« Nous n'avons pas parlé de l'éclairage aérien en campagne, parce que le temps nécessaire pour remplir le ballon manquerait quelquefois, et que, en général, on peut se passer de ce moyen plus compliqué que l'éclairage ter-



restre, généralement suffisant. Cependant, comme le transport d'un ballon plié ne cause aucun embarras, il serait bon d'en emporter pour s'en servir dans quelques circonstances spéciales : par exemple, pour éclairer un champ de bataille quand l'arrivée de la nuit fait cesser le combat et empêche de compléter la victoire par la déroute de l'ennemi.

« Dans la guerre de sièges, l'éclairage, comme on l'a vu précédemment, joue un rôle bien plus important encore, et, cependant, il est loin d'avoir atteint le degré d'importance qu'il pourrait avoir, surtout pour la défense des places.

« Dans l'attaque des places, l'emploi des artifices éclairants est presque nul; cependant ils pourraient rendre de grands services, par exemple : pour reconnaître la fortification, servir à diriger les tranchées, à pointer les pièces des batteries à ricochet sur le but à battre, etc. La principale cause de cet abandon des effets lumineux consiste dans le peu d'efficacité des artifices actuels, et l'impossibilité de produire les effets nécessaires pour être utiles.

« Pour reconnaître une fortification, on emploierait avec avantage une lumière produite par un foyer lumineux éloigné de la place et capable de projeter sa lumière sur les ouvrages à reconnaître. Dans ce cas, il faudrait porter la lumière successivement sur les différentes parties de la fortification, et en régler la durée à volonté, selon les circonstances.

« Alors, les officiers chargés des reconnaissances verraient parfaitement ce qu'il leur est nécessaire de connaître, et sans danger, car ils seraient dans l'obscurité.

« Un simple appareil électrique, placé au sommet d'un mât, à 1,000 mètres de la place, et plus, remplirait cet objet, en orientant convenablement le réflecteur.

« Jusqu'ici on n'avait aucun moyen d'obtenir ce résultat



important; de sorte que la reconnaissance des places, qui se faisait le matin ou le soir, a été regardée comme une des opérations les plus dangereuses; aussi ne pouvait-elle être faite en général que très-imparfaitement.

« Il arrive fréquemment dans les sièges, et il n'en peut guère être autrement, qu'on donne aux tranchées de fausses directions. Il serait facile d'éviter cet inconvénient grave : il suffirait, pour cela, d'éclairer de temps en temps les saillants des ouvrages dont on doit se défier. Cet éclairage, qui devrait être momentané et réglé selon les circonstances, tout en rendant de grands services, n'offrirait aucun danger à cause de sa faible durée.

« Avec l'appareil éclairant électrique, il serait facile de produire ces résultats avec certitude et sans danger pour l'assiégeant.

« Enfin, quand l'ennemi aura établi ses batteries dans la seconde parallèle, en dirigeant l'appareil électrique de manière à éclairer la fortification et en laissant les batteries dans l'ombre, on assurera le tir de nuit sans exposer ces dernières au feu de la place.

« Ce résultat pourrait être obtenu au moyen d'un appareil placé sur un mât; mais en général on évitera difficilement d'éclairer les travaux en avant, ce qui serait dangereux pour eux. Cependant on pourrait éviter cet inconvénient en plaçant constamment l'appareil à une petite distance en arrière des travailleurs, mais alors il serait très-exposé à être détruit par l'assiégé, s'il ne changeait fréquemment de place, et n'éclairait pendant des temps très-courts.

« Dans la défense des places, l'emploi des artifices éclairants est très-ancien, et fortement recommandé comme un puissant auxiliaire. Cet éclairage doit avoir lieu depuis les plus grandes distances jusqu'au pied de la brèche, cependant il n'offre pas la même importance aux diverses distances, comme nous le verrons.



« La plus grande distance à laquelle on a pu éclairer jusqu'ici, et encore imparfaitement, est celle de six cents mètres environ vers l'emplacement habituel de l'ouverture de la tranchée. Tout le terrain au delà ne pouvait être vu, de sorte que l'ennemi établissait à volonté ses communications entre son dépôt de tranchée et la première parallèle. Avec la lumière électrique, au contraire, on pourra éclairer le terrain jusqu'à son dépôt de tranchée, et il ne pourra faire aucun mouvement sans être reconnu.

« Le terrain situé entre la place et le dépôt de tranchée peut être éclairé, soit par zones successives, de plus en plus rapprochées à mesure que l'ennemi occupe des positions de plus en plus avancées; soit simultanément si on le juge convenable.

« Il n'y a aucune difficulté à produire l'un ou l'autre de ces éclairages; il suffit de donner à l'appareil un mouvement de rotation ou d'oscillation simple ou double, comme on l'a déjà vu. Les considérations particulières guideront dans le choix du mode d'éclairage qu'on pourra, du reste, changer à volonté en modifiant le mouvement de l'appareil éclairant.

« Avec un ballon captif portant un appareil éclairant à mouvement alternatif autour d'un axe vertical, on pourra éclairer une large et longue zone de terrain qui comprendra le dépôt de tranchées s'il est nécessaire. De cette manière, aucun préparatif, aucun mouvement de troupes ne pourra s'exécuter sans que l'assiégé n'en soit instruit aussitôt, de sorte qu'il ne sera pas surpris lors de l'ouverture de la tranchée.

« Quant aux points où l'ennemi voudra l'ouvrir, on pourra les reconnaître par la direction que prendront les colonnes sortant du dépôt pour s'y rendre; car les troupes seront obligées de traverser une longue zone de lumière. D'ailleurs on pourrait éclairer une large zone de terrain en



avant des parties de l'enceinte où l'ouverture de la tranchée est possible, ou même probable, de sorte que l'ennemi ne pourrait paraître sans être aperçu aussitôt.

« Un ballon captif portant un appareil éclairant, suffira pour cet objet, surtout dans les petites et moyennes places, et en général dans celles qui ne sont pas exposées à deux attaques isolées. Si un appareil aérien était insuffisant, on en emploierait plusieurs, ou on se servirait simplement d'appareils terrestres placés sur des points élevés et réglés, de manière à ce que leur lumière éclairât de larges et longues zones de terrain.

« Avec ces dispositions, il sera presque impossible à l'assiégeant de dérober à l'assiégé la connaissance de la nuit et du lieu de l'ouverture de la tranchée. Ce dernier sera donc toujours prêt à s'opposer à cette opération périlleuse, laquelle deviendra alors beaucoup plus meurtrière, car l'assiégeant sera obligé de travailler sans une vive lumière qui donnera probablement aux feux de la place une justesse et une efficacité suffisantes pour le forcer de renoncer à son entreprise ou, s'il y persiste, lui fera payer sa persévérance par des pertes considérables.

« La tranchée ouverte, il est inutile d'éclairer le terrain au delà : il faut, au contraire alors, concentrer l'éclairage entre cette première parallèle et la seconde, c'est-à-dire sur une zone d'une largeur moyenne de 300 mètres.

« Un seul appareil aérien suffira à cet objet, à moins de deux attaques isolées, auquel cas il en faudrait généralement deux. En l'élevant à une hauteur de 500 à 1,000 mètres, il sera à l'abri des projectiles ennemis. Rien n'empêcherait, du reste, de l'élever plus haut sans nuire à l'éclairage, si on le croyait exposé. On pourra donc toujours faire en sorte que l'appareil éclairant soit en sûreté.

« Les cheminements seront très-dangereux à cause de la



lumière qui les éclairera, et, par conséquent, avanceront lentement.

« Le terrain sur lequel on établit la seconde parallèle et les premières batteries étant parfaitement éclairé, l'exécution de cette ligne, et surtout la construction des batteries, deviendront très-meurtrières pour les travailleurs, de sorte que la durée ordinaire, qui est de trente-six heures, deviendra indéfinie.

« Quand les batteries seront construites et auront ouvert leur feu, on continuera de les éclairer, afin de pouvoir diriger des coups assurés pour les endommager et les détruire s'il est possible; mais, en même temps, on devra éclairer le terrain en avant jusqu'à la troisième parallèle, pour contrarier et ralentir la marche des cheminements. Il faudra alors rapprocher de la place la zone à éclairer.

« Quand la troisième parallèle sera faite, les batteries ne pourront plus tirer; alors on concentrera l'éclairage entre cette parallèle et le saillant des chemins couverts des demi-lunes, afin de s'opposer, au moyen de l'artillerie de la place, qui reprend alors de la supériorité sur celle de l'assiégeant, à la marche des sapes pleines. Ce résultat serait déjà très-important, si on ne pouvait les arrêter complètement, ce qui est admis comme possible par les traités spéciaux, entre autres, l'*Aide-Mémoire*<sup>1</sup>. Dans tous les cas, l'assiégeant avancera très-lentement et avec de grandes pertes jusqu'à l'emplacement des cavaliers de tranchée, dont la construction sera très-longue, très-dangereuse, et ne se terminera qu'à force de sacrifices.

« Après la construction des cavaliers de tranchée, il faudra concentrer l'éclairage dans l'angle formé par les deux demi-lunes attaquées.

« L'appareil aérien à double mouvement, réglé de ma-

1. *Aide-Mémoire d'Artillerie*, 1844, p. 359.



nière à embrasser le terrain compris dans cet angle, remplira parfaitement cet objet; sa hauteur et sa situation reculée au-dessus de la ville le mettront hors de l'atteinte des projectiles ennemis.

« Ainsi, avec l'appareil aérien on pourrait éclairer le terrain depuis le dépôt de tranchée jusqu'aux chemins couverts, par zones successives.

« L'éclairage simultané de toutes les parties du terrain compris entre le dépôt de tranchée et la place, n'offrirait pas de difficulté; il suffirait d'employer un appareil aérien à double mouvement.

« Ce mode d'éclairage serait dans quelques circonstances plus défavorable qu'avantageux, car il pourrait empêcher les assiégés de manœuvrer sur les glacis et aux environs de la place.

« Il nous reste enfin à nous occuper de l'éclairage depuis le couronnement des chemins couverts jusqu'aux brèches.

« A partir de ce moment, l'éclairage aérien peut être avantageusement remplacé par des appareils terrestres, dont il est plus facile de diriger l'emploi selon le but à atteindre. Le but le plus important devient l'éclairage des fossés, principalement vers les endroits où le débouché des descentes est probable. On pourrait employer diverses dispositions; celle qui nous paraît une des plus sûres, consisterait à disposer dans l'arrondissement de la contrescarpe, vis-à-vis du saillant, un appareil à réflecteur qui serait logé dans l'épaisseur de la maçonnerie, et mis en communication avec la place par un conducteur métallique. Ce foyer, complètement à l'abri des coups ennemis, remplirait probablement très-bien l'objet proposé. On pourrait conserver ce moyen d'éclairage pour le moment où l'ennemi débouche dans le fossé, et employer auparavant des appareils éclairants placés au fond du fossé, à l'abri des coups ennemis, de manière à éclairer le mieux possible.



« Le pied de la brèche serait éclairé avec des sacs ou des barils remplis de composition de lance à feu et de copeaux de bois goudronnés qu'on laisserait rouler après les avoir allumés.

« Ainsi, au moyen d'appareils électriques on pourrait obtenir un éclairage satisfaisant à toutes les conditions nécessitées par les opérations d'un siège jusqu'à la brèche, ce qui, jusqu'ici, n'a pu être obtenu.

« Au lieu d'employer les appareils aériens, on pourrait se servir d'appareils terrestres placés sur des points élevés, tels que des mâts, des maisons, des clochers, etc.

« Tant qu'on éclairerait à de grandes distances, il n'y aurait rien à craindre pour la sécurité de ces appareils, mais aux petites il n'en serait plus ainsi. Nous ferons remarquer que dans les sièges on pourra toujours placer les appareils éclairants de manière qu'ils n'aient rien à craindre. On admettra sans peine cette assertion, si on remarque que les maisons les plus rapprochées de la courtine, et par conséquent les mieux placées pour servir à l'établissement d'un foyer éclairant, sont déjà à plus de trois cents mètres des saillants des chemins couverts des demi-lunes, et que rien ne sera plus facile en général que de reculer l'appareil électrique de plusieurs centaines de mètres, s'il est nécessaire.

« Du reste, en supposant qu'il ne fût pas possible d'éloigner assez l'appareil éclairant pour le garantir contre les coups ennemis, on recourrait à d'autres moyens pour remédier à cet inconvénient. On pourrait, par exemple : soit changer fréquemment de place l'appareil éclairant, grâce à sa mobilité ; soit employer plusieurs appareils éclairants disposés de manière que chacun éclairât peu de temps, à tour de rôle, et cessât d'éclairer aussitôt qu'un autre s'allumerait pour le remplacer. Il y en aurait ainsi toujours un qui éclairerait, de sorte que malgré les changements mul-



tipliés de foyers éclairants, on obtiendrait un éclairage continu.

« Ce changement fréquent des foyers lumineux, éclairant chacun pendant quelques instants seulement, fera que l'ennemi ne saura où diriger ses coups, et cette incertitude protégera les appareils éclairants. La sécurité de ceux-ci sera encore augmentée si on combine cette disposition avec les déplacements fréquents des foyers lumineux.

« On pourrait produire, avec simplicité et certitude, ces changements multipliés des foyers lumineux, en adoptant la disposition suivante :

« On mettrait tous les appareils éclairants en communication avec les pôles d'une même pile, qui produirait la lumière avec chacun d'eux lorsqu'on fermerait le circuit correspondant. En interrompant ce dernier, la lumière cesserait aussitôt. De sorte qu'on obtiendrait ainsi la lumière avec chaque appareil, ou on la ferait disparaître à volonté.

« On réaliserait ces changements successifs, ou mieux ces jeux de lumière dont les combinaisons pourraient être multipliées autant qu'on voudrait, au moyen d'un clavier analogue à celui d'un piano, disposé de manière que chaque touche, selon qu'elle serait dans l'état ordinaire ou abaissée, interrompît ou fermât le circuit magnétique passant par un foyer correspondant.

« Cette disposition, facile à exécuter, donnerait le moyen de combiner à volonté les apparitions de lumière, leurs disparitions, leur durée, en un mot, de moduler, pour ainsi dire, des feux avec cette espèce de piano pyrogénique.

« Malgré toutes les précautions qu'on pourra prendre, il est probable que quelques appareils seront détruits, mais le remplacement des pièces hors de service n'offrira aucune difficulté avec l'usage traditionnel dans l'artillerie d'avoir toujours des pièces de rechange.



« En résumé, les propriétés remarquables de la lumière électrique, les principes proposés pour l'appliquer, et les aperçus généraux sur les modes d'application, paraissent satisfaire aux exigences de l'éclairage militaire, ce qui donne ainsi le moyen de réaliser les avantages précieux attribués aux artifices éclairants dans la guerre de campagne et surtout dans celle de sièges.

« La marine pourrait employer aussi utilement la lumière électrique, soit pour les signaux, soit pour éclairer l'entrée d'un port, soit pour empêcher les abordages pendant la nuit, soit pour reconnaître une flotte, soit pour éclairer pendant la nuit les vaisseaux ennemis à combattre, etc.

« En un mot, il est permis d'espérer que la lumière électrique est appelée à rendre, dans un avenir prochain, de grands services à la guerre et à la marine. Nous sommes loin d'espérer d'avoir complètement résolu le beau et difficile problème de l'éclairage électrique. Livré à nos propres ressources, nous n'avons pu qu'ouvrir la voie et indiquer des solutions théoriques. »

*Application de la lumière électrique à la navigation.* — Les tristes et lamentables récits d'abordages qui ont eu lieu en mer, depuis quelques années, entre des vaisseaux à vapeur parcourant la même route, sont plus éloquents que nous ne saurions l'être pour démontrer l'importance de la lumière électrique employée comme fanal à bord des navires, afin de signaler leur présence en mer pendant la nuit. Outre que la lumière fournie par les fanaux ordinaires peut être confondue avec mille autres lumières établies en différents points des côtes, elle est loin d'avoir une intensité suffisante pour percer les brouillards et même la pluie.

Avec la lumière électrique projetée à l'aide d'une lentille, au contraire, ce double inconvénient n'existe pas, et on peut l'utiliser encore à éclairer de loin la route que doit



parcourir le navire. Combien de fois ai-je vu des bateaux à vapeur battre toute une nuit la mer, parce qu'on n'y voyait pas assez pour entrer dans le port, devant lequel on était pourtant arrivé ! Pour peu qu'un port ait une entrée difficile et que la mer soit un peu grosse, les entrées de nuit sont en effet impossibles avec les fanaux ordinaires. Avec l'éclairage électrique il n'en est plus ainsi, et, comme on peut parfaitement projeter une lumière très-vive à une distance plus grande qu'un quart de lieue, on peut contourner toutes les sinuosités des passes presque comme en plein jour.

Le même avantage peut être appliqué à la navigation de rivière. Ainsi, il est certains fleuves qui présentent, en un ou plusieurs points de leur cours, des passages si difficiles que si les navires arrivent devant eux pendant la nuit, ils sont obligés d'attendre jusqu'au lendemain pour reprendre leur route. Le Danube, entre Lintz et Vienne, présente un passage de ce genre. Ne serait-il pas alors plus avantageux que les navires eussent un appareil de projection de lumière électrique qui leur permit d'affronter la difficulté sans être obligés de s'arrêter ?

Pour obtenir la lumière électrique à bord des navires à vapeur, on peut procéder de deux manières : soit avec la pile, comme à l'ordinaire ; soit avec les grandes machines magnéto-électriques, dont nous avons parlé page 361, 1<sup>er</sup> vol. Dans ce dernier cas, la production de l'électricité n'est plus une dépense, puisqu'on a un moteur tout installé à sa disposition et que l'on peut aisément distraire de l'action produite par ce moteur une force d'un cheval qui est plus que suffisante pour faire marcher la machine. On a encore l'avantage avec ce système de pouvoir produire l'électricité sans manipulation et instantanément, puisqu'il ne s'agit que d'un simple engrenement de poulies à effectuer. Nous avons vu qu'un régulateur de Duboscq, appliqué à cette



machine, suffisait pour produire une bonne lumière.

En employant le courant de la pile, il faudrait que celle-ci fût disposée dans le système de MM. Jedlick et Csapo, et qu'elle fût placée sur un établi basculant fixé sur le navire comme les hamacs, sans quoi tous les acides se mêleraient et se renverseraient.

On peut encore utiliser la lumière électrique à bord des navires pour l'envoi des signaux télégraphiques, comme nous l'avons expliqué précédemment à l'occasion des signaux lumineux employés à la guerre; mais on a proposé dernièrement dans ce but un nouveau système, bien préférable, que nous étudierons dans le prochain chapitre, et qui est également une application électrique.

*Application de la lumière électrique pour l'éclairage des phares.* — On a proposé, depuis longtemps, d'appliquer la lumière électrique à l'éclairage des phares; mais cette application, comme beaucoup d'autres très-bonnes, est restée à l'état de proposition. Il est facile, cependant, de comprendre qu'un foyer de lumière aussi puissant serait bien autrement visible et s'apercevrait de beaucoup plus loin que la faible lumière fournie par une lampe à huile, dont l'entretien est presque aussi cher que le serait l'éclairage électrique. On a prétendu que, pour que la lumière pût être projetée en quantité suffisante par les lentilles de phare, il fallait que son foyer présentât un certain développement, développement que ne pouvait fournir un foyer de lumière électrique, puisque celui-ci était réduit à un point; je n'opposerai pas de raison théorique à cet argument, mais je ferai simplement observer que M. Archereau a longtemps expérimenté la lumière électrique produite par son régulateur avec une lentille de phare, et que la projection de cette lumière était infiniment plus forte que celle de toutes les lampes à huile réunies, eussent-elles formé une mèche de dix centimètres de diamètre.



Dans le but d'éviter, pour les phares à feux intermittents, le mouvement communiqué à la cage portant les lentilles, mouvement qui nécessite un mécanisme d'horlogerie très-puissant, M. Petrie s'est imaginé de construire un régulateur de lumière électrique fournissant lui-même les intermittences à des périodes réglées d'avance; malheureusement la description du mécanisme employé dans ce but n'a pas été publiée, et les renseignements qui me sont parvenus ne sont pas assez complets pour que je me hasarde à le faire. Quant au régulateur, il est le même que celui de M. Foucault, qu'il a précédé, ainsi que nous l'avons dit au commencement de ce chapitre.

*Bouées lumineuses.* — M. Prosper Miller, de Bordeaux, dans une lettre écrite à l'*Ami des Sciences*, prétend que les phares existant ne sont pas suffisants pour prévenir les naufrages, et qu'il serait à propos d'établir, en bien des points de la côte où ces phares ne sont pas établis, des bouées lumineuses placées sur le point même où existe le danger. De cette manière, on pourrait éclairer ou signaler depuis la côte, les rochers, les bancs de sable, les *bas-fonds*, etc. Cette bouée, maintenue à certaine distance de la côte, devrait être surmontée d'un mât à l'extrémité duquel se verrait le foyer de lumière électrique.

« Cette espèce de phare, dit M. Miller, fonctionnerait à la volonté d'un gardien placé sur le rivage pour produire et régulariser l'électricité, qui serait transmise par des fils submergés.

« La puissance de la lumière électrique la rend préférable à celle du gaz pour cette application; mais les deux lumières employées concurremment augmentent la puissance de l'appareil et procureront d'importants avantages. Le gaz pourrait être allumé depuis la côte par l'électricité. »

*Application de la lumière électrique à la pêche.* — « La mer est inépuisable et ses poissons aussi, dit M. Jobard.



Quand il n'y aurait plus de viande ni de pain, la mer pourrait nourrir la terre..... Il ne s'agit que de savoir prendre le poisson aisément, promptement, abondamment..... Mais nos engins de pêche sont ridicules..... Il est temps que l'électricité remplace tous ces instruments enfantins. On fera descendre au fond de l'eau un globe de verre épais, muni de deux charbons de lampe électrique, et occupant le milieu d'un grand filet; par deux tubulures, fermées de bons bouchons, on fera passer deux fils de cuivre revêtus de gutta-percha, aboutissant à une grande pile électrique installée sur une barque. On ferme le courant; une lumière brillante jaillit au fond de la mer; les poissons accourent de plus d'un quart de lieue; on les voit évoluer comme des alouettes autour de cette lumière magique; on les compte, et, quand la charge est suffisante, on donne le signal de relever; les barques se rapprochent et ramènent une pêche vraiment miraculeuse..... Il n'est pas même besoin d'un globe; il suffit de deux pointes de charbon excitées par la pile..... »

« Nous sommes désolés, dit maintenant M. l'abbé Moigno, d'avoir à apprendre à MM. Scipion Dumoulin et Jobard qu'ils sont volés, ou, mieux, qu'ils nous ont volés. Il y a plus de deux ans que nous avons conçu et que nous avons exécuté leur idée, mais non pas, certes, leur pêche miraculeuse. A la demande d'un nabab anglo-français, M. Hoppe, nous avons fait construire par M. Jules Duboscq le grand globe foyer de lumière électrique, et nous l'avons expérimenté sur le lac d'Enghien, un beau soir d'été. Les eaux étaient parfaitement éclairées; mais, circonstance très-aggravante, au lieu de venir vers la lumière, comme cela aurait eu lieu peut-être si la lampe électrique avait brillé en dehors et au-dessus de l'eau, les poissons effrayés s'enfuyaient; pas un n'a montré sa queue, de sorte que l'appareil n'a pas pu servir à sa destination; nous le tenons à



la disposition des amateurs. Nous songions même alors, non pas seulement à la pêche, mais à la chasse miraculeuse. M. Hoppe était las de massacrer à coups de fusil les milliers de faisans de ses parcs anglais ; la vue du sang le dégoûtait. Nous lui proposâmes d'installer, sur un tilbury de chasse, une pile et un globe de lumière électrique ; de conduire ce char tour à tour au pied des arbres où les faisans perchaient ; éblouis par cette lumière, coqs et poules se seraient précipités sur le char : M. Hoppe, avec ses valets, les auraient étouffés entre leurs bras. »

*Application de la lumière électrique à l'éclairage des galeries de mines.* — Plusieurs savants, et, entre autres, MM. de la Rive, Boussingault et Louyet, ont revendiqué l'idée première de l'application de la lumière électrique aux travaux des mines. Ce qui paraît certain, c'est que si cette idée appartient à M. Louyet, comme cela me semble prouvé, l'application n'en a été faite qu'en 1845, par M. Boussingault.

Tout le monde sait le danger que courent les mineurs, lorsqu'un jet de gaz hydrogène, venant à se faire jour à travers les couches de terre, rencontre la flamme des différentes lampes qui éclairent les galeries de mines. Une détonation effrayante se fait entendre, et toute la galerie est mise en feu. Ces funestes accidents sont connus sous le nom de *feu grisou*. Or, la lumière électrique pouvant se produire sans renouvellement d'air, puisqu'elle peut se manifester même dans le vide, on comprend qu'il suffira de renfermer chaque foyer lumineux avec un régulateur dans des globes hermétiquement fermés, que l'on placera dans les différentes galeries où sont les travailleurs. Toutefois, il faudra que le vide soit fait dans ces globes, car la chaleur, en dilatant l'air qui s'y trouverait renfermé, pourrait les faire éclater. Dès lors, il n'y a plus à craindre



le moindre danger, puisque ces foyers lumineux sont alors complètement séparés de l'air extérieur.

*Application de la lumière électrique aux travaux sous-marins.* — Depuis que les cloches à plongeurs, et différents autres appareils propres à entretenir la respiration sous l'eau, ont permis de travailler au fond de la mer, plusieurs genres de travaux hydrauliques et de nombreux sauvetages de navires naufragés ont pu être exécutés avec facilité. Quand la profondeur d'eau à laquelle on doit s'enfoncer n'est pas considérable, la lumière du jour peut aisément traverser la couche liquide et éclairer suffisamment les travailleurs; mais, à une certaine profondeur, le jour manque, et les explorations sous-marines, qui doivent toujours précéder les travaux, deviennent impossibles. Sans doute, en adaptant à une lanterne des appareils pour renouveler l'air, on pourrait entretenir une lumière comme on entretient la respiration des hommes; mais cela nécessite une pompe supplémentaire et tout un système particulier pour empêcher le courant d'air d'éteindre la lumière. Avec la lumière électrique, le problème peut être résolu de la manière la plus simple, et l'étendue de l'espace éclairé est beaucoup plus considérable. On peut, pour cela, employer le système de globe à régulateur, dont nous avons parlé précédemment, ou un régulateur particulier pour fournir directement la lumière à travers l'eau. Cependant, comme la lumière produite dans ce dernier cas est beaucoup plus difficile à gouverner que dans le vide, le premier moyen est bien préférable.

*Application de la lumière électrique aux reproductions photographiques.* — Pour les photographies à effets énergiques et combinés, la lumière électrique a pu être d'un grand secours et suppléer avec avantage au soleil. Ce moyen a été employé par plusieurs photographes, et il a toujours admirablement réussi. M. J. Duboscq est même parvenu à



reproduire en photographie, avec l'aide de son régulateur et de ses appareils photo-électriques, des objets microscopiques de très-petites dimensions, et quelques-unes des images fournies par des effets de polarisation. Ce système de reproduction a pu être d'un grand secours pour les ouvrages d'histoire naturelle qui ont été récemment publiés par différents savants.

Si, comme l'affirme le journal *Of the Society of Arts* de Londres, M. Thompson de Weymouth a pu obtenir une image fidèle du fond de la mer par des procédés photographiques, à une profondeur de six mètres, on comprendra de quelle importance pourra être le système d'éclairage électrique, combiné à ce nouveau procédé, pour fournir une topographie exacte du fond de la mer.

Voici, du reste, comment M. Thompson a disposé son expérience : Il plaça la chambre noire dans une boîte à plaques de verre à laquelle était adapté un volet mobile facile à enlever lorsque la boîte aurait atteint le fond. Cette chambre, dont le foyer avait été réglé à terre pour des objets sur le premier plan, à environ dix mètres ou toute autre distance convenable, fut descendue d'un bateau au fond de la mer, emportant avec elle la plaque de collodion préparée par la méthode ordinaire ; lorsque la boîte fut arrivée au fond, on enleva le volet au moyen d'une corde, et la plaque resta exposée pendant environ dix minutes. On remonta alors la boîte dans le bateau, et l'on développa l'image comme à l'ordinaire ; c'est ainsi qu'on prit une vue des roches et des herbes qui sont au fond de la baie de Weymouth.

L'expérience précédente n'ayant été faite qu'à une petite profondeur, n'a pas exigé l'intervention de la lumière électrique ; mais il n'en aurait pas été de même si l'épaisseur de la couche liquide eût été beaucoup plus grande, de sorte que l'on peut considérer la lumière électrique comme le



complément indispensable de cette nouvelle et ingénieuse invention.

Pour comprendre toute la portée de cette application, il nous suffira de dire que, par les données qu'elle est susceptible de fournir, tous les travaux hydrauliques peuvent être combinés directement par les ingénieurs, comme s'ils devaient être exécutés à la surface du sol. Les ingénieurs pourront même, avec la plus grande facilité, s'assurer des points où ces constructions pourront être le mieux et le plus solidement établies. Le géologue et l'alguéologue pourront y trouver des sujets nouveaux dignes de leurs études. Enfin, on pourra savoir ce qu'il y a au fond de cette mer, encore si peu connue dans ses profondeurs.

*Application de la lumière électrique aux travaux de nuit.* — Depuis quelques années, on a fréquemment appliqué la lumière électrique aux travaux de terrassement et de maçonnerie, pour suppléer à l'absence du soleil pendant les jours si courts de l'hiver. Ce moyen a parfaitement réussi, et, d'après le calcul des ingénieurs, il n'augmentait guère que de cinq centimes la journée de chaque ouvrier. Ainsi que nous l'avons dit, page 101, 1<sup>er</sup> vol., ce système d'éclairage a été employé à Paris pour les travaux du nouveau Louvre, pour ceux du pont Notre-Dame, pour le déblaiement des docks Napoléon, enfin pour les travaux faits au Palais de l'Industrie au moment de la distribution des récompenses pour l'exposition de 1855. Ce dernier éclairage, fait par M. Duboscq, a duré treize heures consécutives, et il s'est toujours soutenu pendant ce temps avec la même activité.

Une lampe électrique avait été placée à chacune des deux extrémités de la nef, et chaque lampe était mise en action par une pile formée de cent éléments de Bunsen. La première de ces lampes a marché de cinq heures à dix heures et demie du soir; la seconde, de dix heures et demie à trois



heures du matin, et de trois à six heures. On a ensuite réuni les deux lampes, pour les faire fonctionner ensemble en envoyant parallèlement leurs rayons.

Lorsque le jour parut, la lumière était encore dans toute son intensité. Il est à regretter qu'on n'ait pas prolongé davantage encore la marche des deux appareils, afin de constater par expérience le temps pendant lequel ils pourraient fonctionner sans affaiblissement de lumière. Toutefois l'intervalle de treize heures, pendant lequel la lampe électrique de M. Duboscq a éclairé sans interruption, est le plus long que l'on ait encore obtenu depuis que la lumière électrique est mise à contribution pour les travaux de nuit.

« Ce résultat est d'autant plus satisfaisant, dit M. Figuiet, que, dans l'expérience que nous venons de rapporter, l'appareil éclairant était placé à une distance de 260 mètres de la pile voltaïque, condition qui ne peut être que défavorable. Il n'est résulté de cet éloignement aucun changement dans l'intensité de la lumière, ce qui fait espérer que l'on pourrait porter plus loin encore la distance entre la pile et les charbons éclairants. »

M. Duboscq a fait usage d'un artifice fort simple pour prolonger le temps de l'expérience. Comme les charbons finissent par s'user et par disparaître en entier au bout d'un certain temps, il dispose deux appareils sur le même fil. Quand les charbons du premier appareil sont usés, on fait passer le courant de celui-ci dans l'autre, au moyen d'un commutateur, et on replace des charbons neufs à la place des charbons usés, sans qu'il y ait pour cela interruption dans l'éclairage.

*Application de la lumière électrique aux représentations théâtrales et aux fêtes publiques.* — Ce genre d'application est une des premières qu'on ait faites de la lumière électrique. Depuis les représentations de *la Lampe merveilleuse*



jusqu'à celles du *Prophète*, de la *Filleule des Fées*, du *Corsaire*, des *Elfes*, etc., etc., nous avons tous pu voir la part remarquable que l'art du décorateur a su en tirer. Les clairs de lune surtout sont toujours merveilleusement rendus.

Si la lumière électrique a pu produire de merveilleux effets au théâtre, il n'en est pas de même de l'application qu'on a voulu en faire à l'éclairage des bals et des fêtes. Un bal ainsi éclairé a été donné, il y a longtemps, au Jardin-d'Hiver, et l'effet en a été complètement manqué. L'éclat trop éblouissant de cette lumière, la lueur blafarde et bleuâtre qui l'accompagne et qui n'est pas à l'avantage des objets éclairés, surtout quand ces objets sont de jolies femmes, feront toujours repousser ce système d'éclairage, quand bien même son prix de revient ne dépasserait pas celui de la lumière des bougies. Ainsi, si l'on veut employer la lumière électrique dans les fêtes, il faut qu'elle n'intervienne que comme effet de tableau, par exemple en la faisant apparaître sous de beaux ombrages et au milieu des fleurs. Alors, elle produit un effet véritablement fantastique.

## II.

### APPLICATIONS DES EFFETS CALORIFIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

*Inflammation des mines.* — Les nombreux accidents dont sont malheureusement si souvent accompagnées les explosions des mines quand on les fait partir par les procédés ordinaires, ont fait rechercher depuis longtemps un système d'inflammation à distance, moins dangereux et en même temps plus sûr. Ces accidents peuvent provenir de trois causes : 1<sup>o</sup> du défaut de soin des ouvriers qui, malgré les ordres qu'on leur donne, bourrent souvent les mines



avec des leviers en fer; 2° de la prompte inflammation de la fusée qui ne leur laisse pas le temps suffisant pour s'éloigner; 3° du retard trop considérable apporté à l'inflammation de cette fusée. De ces trois causes, la dernière est celle qui amène le plus d'accidents; car, comme on fait en général partir plusieurs mines à la fois, on ne peut guère savoir à un instant donné si elles ont toutes fait explosion, et il peut arriver qu'une ou plusieurs d'entre elles se trouvent en retard. Dans ce cas, les ouvriers qui ont abandonné leur abri pour reprendre leur travail, se trouvent considérablement exposés. La solution du problème de l'inflammation des mines doit donc être telle que le moyen employé pour les faire partir à distance (500 mètres environ), n'entraîne pas avec lui une cause secondaire d'inflammation.

On a bien, à diverses reprises, cherché le moyen d'appliquer à cet usage l'action calorifique des courants électriques; car on sait qu'un fil très-fin de fer ou de platine réunissant les deux branches d'un circuit de grosse section, rougit et même se brûle sous l'influence du courant. Mais il faut, pour obtenir ce résultat, de gros conducteurs et une pile excessivement puissante; or, un pareil procédé, outre la dépense qu'il occasionnerait, serait dans la plupart des cas d'une application si difficile, surtout par l'impossibilité de ramifier le courant, qu'on serait en droit de préférer les anciens moyens, sans doute plus dangereux, mais beaucoup plus expéditifs.

Heureusement les progrès de la physique dans ces derniers temps, et l'ingénieuse machine de Ruhmkorff, ont permis de résoudre le problème à la satisfaction de tous les intérêts<sup>1</sup>.

Nous avons d'abord parlé des avantages que présenterait un système d'inflammation à distance, au point de vue des

1. Voir, pour l'histoire de cette question, les *Applications nouvelles de la science à l'industrie et aux arts*, de M. Figuier.



accidents, parce que les considérations humanitaires doivent passer avant toutes les autres; mais sous le rapport des résultats matériels que l'on peut obtenir, ces avantages sont incalculables; on pourra en juger quand nous aurons exposé la manière dont les mines doivent être construites, pour qu'elles produisent le plus d'effet possible. Mais, disons le tout d'abord, l'art des mines, tel qu'il est pratiqué généralement par les ingénieurs, est dans un tel état d'enfance qu'on peut affirmer sans trop s'avancer que malgré les progrès des sciences il n'est pas plus avancé qu'il y a un siècle. A quoi faut-il attribuer ce peu de progrès dans un art qui intéresse à tant de titres non-seulement les travaux de terrassement mais encore les travaux militaires?... à plusieurs causes, d'abord au peu d'encouragement que trouvent particulièrement en France les inventeurs; en second lieu, à l'esprit de routine qui règne dans la plupart des administrations, et qui s'oppose toujours aux innovations; en troisième lieu, à l'organisation même des services, qui fait qu'une innovation, pour être admise, est obligée de passer par une filière administrative ou des commissions dont la plupart des membres ne comprennent pas ou ont oublié ce dont il s'agit, enfin à l'amour-propre de beaucoup d'ingénieurs qui rejettent à première vue tout ce qui n'émane pas de leur confrérie. Sans doute toute invention nouvelle n'est pas bonne à être mise en essai, mais quand cette invention a été sanctionnée par l'expérience, qu'a-t-on à objecter? Eh bien, quelque bonne que soit une invention, quelques avantages qu'elle fournisse, il faut en France des années avant qu'on l'adopte, et encore faut-il la plupart du temps qu'elle ait été sanctionnée à l'étranger. C'est ainsi que la plupart des grandes découvertes modernes, telles que l'application de la vapeur comme force motrice, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz, etc., bien que d'invention française n'ont été appliquées en France que



quand l'Angleterre et l'Amérique leur ont accordé leur brevet de viabilité. C'est réellement honteux. Mais quittons ces diatribes pour nous occuper de la question que nous traitons.

Je disais que l'art des mines n'est pas plus avancé en ce moment en France, entre les mains des ingénieurs, qu'il y a cent ans. Je n'en veux pour exemple que les travaux exécutés jusqu'en 1854 à Cherbourg. Dans ce port, on creuse depuis quinze ans au milieu du roc vif un bassin de près d'un kilomètre de longueur sur une profondeur de vingt mètres; et pour enlever ces masses énormes de rocher, on n'avait trouvé rien de mieux que d'employer de petites mines faites au burin, comme s'il ne s'agissait que de faire un trou dans un rocher ou de percer une galerie pour une route. Qu'en est-il résulté? qu'on a dépensé bien du temps, bien de la poudre et bien de l'argent pour arriver à un très-mince résultat. Le gouvernement actuel, ennuyé de voir que ces travaux n'avançaient pas davantage, a voulu s'assurer si l'intérêt particulier ne ferait pas mieux que l'intérêt officiel, et a mis ces travaux en adjudication. Deux entrepreneurs qui avaient déjà fait leurs preuves à Marseille et à Alger, MM. Dussaud et Rabattu, se sont chargés de l'entreprise, et, nous devons le dire, ils ont réussi au delà de toute espérance. Ainsi s'est confirmée la prévision du gouvernement.

Pour obtenir les brillants résultats auxquels ils sont arrivés, MM. Dussaud et Rabattu ont dû abandonner complètement le système de mines employé jusque-là par les ingénieurs; car ils avaient pensé avec raison que ce n'étaient pas de petites mines, contenant un ou deux kilogrammes de poudre, qui parviendraient à ébranler suffisamment le rocher pour le rendre exploitable, mais bien des *mines monstres*, contenant plusieurs milliers de poudre, et enflammées au même moment.



Une *mine monstre*, telle que celles que ces messieurs avaient déjà employées à Alger, se compose ordinairement de deux chambres carrées de la contenance de 3 à 4 mètres cubes, creusées à environ 12 mètres au-dessous de la surface du rocher, et que l'on remplit de poudre. Pour opérer ce creusement, MM. Dussaud et Rabattu ouvrent d'abord un puits AB, fig. 12, pl. IV, de 12 mètres de profondeur, puis ils font partir du fond de ce puits deux galeries horizontales BC, BD, d'environ 1<sup>m</sup>50 de hauteur, sur 5 mètres de longueur, et c'est à l'extrémité de ces galeries qu'ils creusent les chambres dont il a été question. La poudre n'est pas déversée directement dans ces chambres; car, dans le long travail du bourrage de ces mines, elle pourrait devenir humide et rester sans effet. C'est dans de grands sacs en gutta-percha, hermétiquement fermés, qu'elle est déposée avec la fusée d'explosion. Quand ce travail est fait, que les fusées sont attachées aux saucissons, on maçonne solidement à pierre et à plâtre les galeries, et on remplit de terre le puits de descente : en sorte que les mines ne sont plus en rapport avec l'extérieur que par les saucissons remplis de poudre, qui ont été eux-mêmes noyés dans la maçonnerie. Ces saucissons communiquent à la surface du sol avec des traînées de poudre qui partent des différentes mines et aboutissent à un centre commun, où se trouve une mèche d'amadou. C'est en allumant cette mèche qu'on met le feu à ces mines.

Ce système, bien que très-ingénieusement combiné, puisque la poussée de la poudre ne pouvait s'opérer qu'en soulevant la masse de rocher au-dessus de chaque mine, n'a pas donné dans l'origine des résultats aussi satisfaisants qu'on était en droit de l'espérer, précisément à cause du mode d'inflammation de la mine. On sait, en effet, d'après les expériences du général Morin, expériences d'ailleurs connues de beaucoup de chasseurs, que, dans un tube



rempli de poudre et faiblement bourré, toute la poudre ne brûle pas; de sorte qu'il peut arriver que la poudre, enflammée à la partie inférieure du tube, ne transmette pas l'inflammation à la partie inférieure. Or, c'est précisément ce qui arrivait souvent dans les saucissons de 12 mètres employés pour mettre le feu aux mines monstres de MM. Dussaud et Rabattu. D'un autre côté, la poudre ne prenant pas feu avec une égale promptitude, les différentes mines qui auraient dû s'enflammer en même temps ne parurent jamais régulièrement, et dès lors tout l'effet avantageux de ces espèces de volcans, dont les ébranlements individuels se fussent prêtés un mutuel secours, était plus que problématique.

En se reportant aux articles que j'avais publiés depuis plusieurs années, dans les journaux de la localité, sur l'importance de l'emploi de l'électricité pour l'inflammation des mines, MM. Dussaud et Rabattu virent immédiatement que toute la réussite de leur système d'exploitation par grandes mines dépendait complètement de l'application des moyens électriques, et vinrent me prier de leur organiser un système d'explosion électrique de facile manipulation, et surtout dont les effets fussent inmanquables. Pour peu qu'on réfléchisse que ces mines, qu'on fait généralement partir au nombre de six ou huit à la fois, reviennent à près de 15,000 francs; que de leur bonne ou mauvaise réussite peut résulter la perte de cette somme, ou un bénéfice considérable; on pourra comprendre que la question économique n'était que secondaire pour eux. Je m'empressai de satisfaire à leur demande, et nous pûmes faire les premiers essais le 1<sup>er</sup> septembre de l'année 1854. Les résultats en ont été merveilleux, et ont dépassé tout ce que l'on pouvait attendre. Plus de 50,000 mètres cubes de rochers ont été détachés d'un seul coup, et les six mines employées à cet effet n'ont fourni qu'une seule détonation.



Pour les mines monstres, l'emploi de l'électricité comme moyen d'inflammation présente donc à la fois : *sécurité* pour les ouvriers, *sûreté* pour l'opération, *augmentation* de force ou d'effet mécanique de la part de la poudre (dû à la simultanéité d'explosion), que MM. Dussaud et Rabattu ont estimé à  $\frac{1}{6}$ , *économie* de 60 pour 100 dans le procédé d'inflammation lui-même.

Pour les petites mines, les avantages du système électrique sont moins certains, surtout quand elles sont assez éloignées les unes des autres pour que l'instantanéité de l'explosion ne leur soit pas profitable. Les fusées d'explosion reviennent en effet à 50 centimes, et sont, par conséquent, beaucoup plus chères que les fusées ordinaires. De plus, les fils conducteurs peuvent être facilement détériorés par les éclats de pierre, qui sont plus nombreux avec ces sortes de mines qu'avec les grandes. On ne peut donc, dans ce cas, invoquer l'importance du procédé électrique que sous le rapport de la sécurité des ouvriers. Mais cette considération doit être suffisante pour qu'on renonce définitivement aux anciens procédés.

Après avoir ainsi démontré l'importance de l'emploi des moyens électriques pour l'inflammation des mines, il nous reste à faire connaître quels sont ces moyens.

Depuis longtemps, les effets de l'inflammation de la poudre par l'étincelle électrique sont connus, et, au premier abord, rien ne semble plus facile que d'obtenir l'explosion des fusées de mines, à l'aide de l'appareil de Ruhmkorff, qui a, sur les machines électriques, les immenses avantages de fournir des étincelles par tous les temps, qu'il fasse sec ou qu'il fasse humide, et d'exercer comme nous le savons, ses effets à de grandes distances. Pourtant le problème est infiniment plus complexe, et, pour le résoudre d'une manière applicable dans la pratique, bien des essais ont dû être tentés.



Un des obstacles qui se sont d'abord présentés, a été l'inertie calorifique de l'étincelle d'induction échangée à travers des corps mauvais conducteurs, inertie qui fait que l'on peut obtenir des étincelles d'induction à travers la poudre, sans que celle-ci s'enflamme, si on interpose dans le circuit une certaine résistance, par exemple si on rend l'étincelle la plus longue possible. Il arrivait donc, dans l'application, que, pour une certaine longueur du circuit, l'étincelle, bien qu'étant très-courte, ne faisait pas partir la mine, parce que la longueur du circuit représentait une résistance trop forte. On a donc dû chercher un moyen secondaire qui pût faciliter l'action calorifique, et le hasard en cela, il faut le dire, est venu au-devant de la théorie, en mettant entre les mains de M. Ruhmkorff les fusées de Stateham, dont on ne s'expliquait pas encore l'action.

La découverte de ces fusées est elle-même due à une circonstance accidentelle, qui s'est présentée dans les expériences faites à Londres, lors de l'essai du télégraphe sous-marin de Douvres à Calais.

Pour ces expériences, le câble sous-marin avait été mis à l'épreuve à une profondeur considérable dans l'eau. Quand on fit l'essai des fils, le constructeur, M. Stateham, amené à un examen minutieux de tout le câble par une solution de continuité, qu'il avait constatée dans l'un des fils, aperçut, à son grand étonnement, des étincelles passer au travers de l'enveloppe de gutta-percha, et se succéder avec une grande rapidité. Ce phénomène était un fait nouveau pour la science, car jusque-là on n'avait pas eu d'exemple d'étincelles échangées à distance, ou du moins sans friction de la part d'un conducteur de courant voltaïque. Après avoir examiné avec soin les diverses circonstances dans lesquelles le phénomène s'était produit, il crut reconnaître que c'était à la légère empreinte du fil de cuivre sur la gutta-percha vulcanisée (*souffrée*), empreinte constituée



par une couche de sulfure de cuivre, que le courant électrique devait en grande partie son effet statique, car les étincelles suivaient toujours cette empreinte. Il conçut dès lors l'idée de construire sur ce principe des fusées pour les mines.

Il ne put cependant atteindre complètement ce but, car l'un des éléments essentiels à la production des étincelles qu'il avait observées n'avait pas encore été découvert. Il était réservé à Faraday d'expliquer, quelques années plus tard, le phénomène<sup>1</sup>.

Bien que le système d'inflammation électrique de M. Stateham n'ait pas eu beaucoup d'applications, ses fusées tombées entre les mains de M. Ruhmkorff produisirent l'effet que ce physicien en attendait pour le courant de son appareil; et par cet intermédiaire il put provoquer l'inflammation de la poudre dans toutes les conditions possibles.

Les fusées de Stateham sont très-faciles à confectionner : on prend deux bouts de fil de cuivre rouge recouverts de gutta-percha ordinaire; on dégarnit de gutta-percha leurs extrémités; on les entortille, comme on le voit fig. 13, pl. IV, et on recourbe les bouts des fils métalliques, de manière à entrer dans une enveloppe AB de gutta-percha vulcanisée, que l'on a coupée et enlevée de dessus un fil de cuivre qui en avait été depuis longtemps recouvert. On pratique sur cette enveloppe une échancrure AB, et après avoir maintenu à deux ou trois millimètres l'une de l'autre les extrémités des fils de cuivre, on en recouvre les pointes de fulminate de mercure, afin de rendre l'in-

1. Ce phénomène, comme nous l'avons dit p. 151, 1<sup>er</sup> v., doit être attribué à une *réaction statique*, échangée entre l'électricité du courant et l'électricité, décomposée par induction latérale, du conducteur liquide dans lequel était plongé le câble. Je dois faire observer que, dès l'année 1852, j'avais présenté un mémoire à l'Institut, sur ces sortes de *réactions* par lesquelles j'avais expliqué la production des courants d'induction dans la machine de MM. Breton frères.



flammation de la poudre plus aisée. On remplit l'échan-  
crure de poudre et on enveloppe le tout avec un bout de  
tuyau de caoutchouc C D, ou dans une cartouche remplie  
de poudre.

Le rôle de la gutta-percha vulcanisée, dans la facilité  
qu'elle donne à l'électricité de produire des effets calori-  
fiques, peut trouver son explication dans les expériences  
sur les étincelles d'induction échangées au travers des corps  
de conductibilité secondaire, dont nous avons parlé page 388,  
1<sup>er</sup> vol., et desquelles il résulte qu'un corps de conducti-  
bilité secondaire interposé entre les électricités dévelop-  
pées des deux côtés d'une solution de continuité dans un  
courant d'induction, facilite la décharge, et par cela même  
entre facilement en ignition. Dans les fusées Stateham,  
c'est le sulfure de cuivre qui est précisément ce conducteur  
secondaire.

Quand on a préparé une fusée comme nous l'avons expli-  
qué plus haut, il ne faut pas oublier de l'essayer et de  
régler en conséquence l'étendue de la solution de conti-  
nuité. Il peut se faire en effet que tout en appartenant à la  
même enveloppe d'un fil de cuivre, la gaine de gutta-per-  
cha vulcanisée, dont on munit la fusée, soit plus ou moins  
imprégnée de sulfure de cuivre; or, si le sulfure de cuivre  
est en trop grande quantité, il devient trop bon conducteur  
et empêche l'étincelle de se produire. Si, au contraire, il  
n'est pas en assez grande quantité, il ne facilite pas suffi-  
samment la décharge. Il est facile, du reste, de voir quand  
l'étincelle atteint son maximum d'intensité.

Les premiers essais en grand de l'application de l'appar-  
eil d'induction de Ruhmkorff aux mines, ont été faits en  
1853 par le colonel espagnol Verdu, dans les ateliers de  
M. Herkmann, fabricant de fil recouvert de gutta-percha,  
à la Villette, près Paris. On a expérimenté successivement,  
sur une longueur de fil de 400 mètres, de 600, 1,000, 4,800,



5,000, 6,400, 7,600, 25,000, 26,000, et le succès a toujours été complet, soit avec un circuit composé de deux fils, soit en faisant entrer la terre dans le circuit. L'on n'avait employé, pour cela, que deux éléments de Bunsen (moyen modèle).

Ces expériences furent suivies de plusieurs autres, ayant pour but de remplacer la pile par la machine de Clarke, tout en conservant l'appareil inducteur de Ruhmkorff. Elles ont toutes également réussi à des distances de 440, 1,000, 1,800, 5,600 mètres. On ne put expérimenter au delà, mais tout porte à croire que l'expérience aurait pu réussir à une distance beaucoup plus grande. Ainsi les courants d'induction de la machine de Clarke peuvent, dans cette application, remplacer les courants voltaïques, et c'est un grand avantage dans un grand nombre de cas.

Depuis ces expériences, qui semblaient faire entrevoir dans un avenir prochain la solution complète du problème de l'explosion des mines, physiciens, officiers de génie et constructeurs se sont mis à l'œuvre pour le perfectionnement du procédé, et il est résulté de tous leurs travaux un ensemble de systèmes qui fournit, dès aujourd'hui, les moyens d'appliquer l'électricité aux mines dans les différents cas qui peuvent se présenter.

*Système de M. Savare.* — Dans leurs premières expériences, MM. Ruhmkorff et Verdu avaient cherché à obtenir l'inflammation simultanée de plusieurs fusées en les interposant sur le même circuit; ils pensaient avec raison, sans doute, que, puisque l'étincelle électrique, en parcourant le carreau étincelant ne se trouvait pas arrêtée, bien qu'elle eût à traverser plusieurs centaines de solutions de continuité, il devait en être de même de l'étincelle d'induction; mais, chose curieuse! cette étincelle, dont les effets physiologiques sont plus énergiques que ceux de la machine électrique, dont la tension est si considérable qu'on peut



les faire jaillir à travers la gomme laque, la faïence, le verre même, dont la puissance physique est si énergique à petite distance; cette étincelle, dis-je, se trouve à tel point affaiblie par les solutions de continuité successives, que le carreau magique de la plus petite dimension ne peut être entièrement traversé par elle. C'est tout au plus si les petites étincelles auxquelles elle donne naissance apparaissent quand elles sont au nombre de 120 à 150. Aussi n'a-t-on jamais pu réussir à faire partir avec ce système plus de quatre mines à la fois.

Reconnaissant cette mauvaise condition des courants d'induction, M. Savare, capitaine du génie français, a cherché à concentrer l'action du courant au lieu de la diviser, et pour cela, il a rendu impossible sa transmission par les fusées, une fois celles-ci parties. Pour arriver à ce résultat, M. Savare établit toutes ses fusées sur des dérivations d'un circuit principal et les construit de manière que les bouts du fil constituant la solution de continuité soient terminés par des pointes effilées d'alliage fusible (le métal Darcet amalgamé). Pour rendre l'inflammation plus facile, il remplace la poudre par du pyroxyle enveloppé lui-même dans une étoffe rendue inflammable, et emploie comme conducteur secondaire du sulfure noir de mercure ou du deuto-sulfure d'étain. On comprend dès lors ce qui arrive : celle des mines qui est la plus rapprochée de l'appareil, ou dont la fusée présente le moins de résistance à la transmission du courant, part de préférence aux autres; mais dans cette inflammation, le métal Darcet se trouve fondu, et si la fusée est restée dans la mine, les deux extrémités du fil sont alors trop éloignées l'une de l'autre pour que le courant passe au travers; c'est donc une issue de moins au courant, et, par conséquent, un renforcement d'action électrique pour les autres mines.

Dans la pratique on peut n'employer qu'un seul conduc-



teur, laissant au sol le soin d'achever le circuit. On fait donc partir d'un des pôles de la machine de Ruhmkorff un fil soigneusement recouvert de gutta-percha qui circonscrit les différentes mines et sur lequel on greffe les bifurcations qui doivent aller à ces mines. Ces bifurcations sont attachées à l'un des bouts des fusées, tandis que l'autre bout de celles-ci communique au sol, par l'intermédiaire d'un fil quelconque, attaché à une plaque métallique. Un pareil fil également en rapport avec la terre, part du second pôle de l'appareil de Ruhmkorff et complète le circuit.

Afin d'éviter la transmission à travers le sol une fois que les fusées ont fait explosion, M. Savare introduit la pointe de métal fusible et une portion du conducteur dérivé dans un tuyau de gutta-percha qu'il soude sur ce conducteur de manière à ce que la solution de continuité et les extrémités du fil métallique fusible, longues d'environ un centimètre, soient dans le vide. Puis il remplit cet espace vide avec du pulvérin délayé dans de l'eau gommée. Il en résulte qu'au moment de l'explosion, le métal fond jusqu'à un centimètre de profondeur dans la gutta-percha, et que la communication du conducteur dérivé avec le sol devient impossible. Avec des fusées préparées de cette manière on peut faire sauter autant de fourneaux de mine que l'on veut. Le métal fusible en s'échauffant et en fondant suffirait presque pour enflammer la poudre. La préparation est d'ailleurs facile. On achète le métal Darcet tout fait, on le fond dans un creuset, on y mêle une certaine quantité de mercure, et pour l'obtenir en fil on aspire le métal fondu dans de petits tubes en verre. Quand il est refroidi on le retire des tubes, on le soude aux conducteurs en cuivre et l'on effile les pointes à la lime. La proportion de mercure ne doit pas être grande, car alors le métal serait trop cassant.

Avec ce système, M. Savare a pu enflammer jusqu'à dix mines à la fois, à 700 mètres de distance.



*Système de M. Verdu.* — Depuis ses premières expériences avec M. Ruhmkorff, M. Verdu s'est livré à de nouveaux essais en Espagne, et il s'est assuré que de toutes les substances explosibles, telles que la poudre blanche, la poudre de chasse, le fulmi-coton, le mélange de soufre et de chlorate de potasse qu'on pouvait introduire dans les fusées, aucune n'était à beaucoup près aussi sensible que le fulminate de mercure. C'est donc aux fusées Statham chargées avec du fulminate de mercure qu'il a eu recours pour ses expériences au polygone du génie de Guadalaxara, faites à une distance de 3,000 mètres avec un seul conducteur isolé et *tendu en ligne droite*.

Avec un seul élément de Bunsen, M. Verdu est parvenu à produire l'explosion simultanée de six fourneaux de mine interposés dans le même circuit à 300 mètres de l'appareil; il n'a pas été au delà de cette limite, mais il a cherché le moyen d'agir indirectement sur un plus grand nombre de mines en les distribuant par groupes de cinq et en interposant chacun de ces groupes dans un circuit particulier<sup>1</sup>. Voici comment on opère dans ces deux cas : supposons vingt fourneaux divisés comme nous venons de le dire, en groupes de cinq, séparés les uns des autres par une distance aussi grande qu'on le voudra. On fait communiquer les cinq fusées de chaque groupe par un seul fil dont l'une des extrémités s'enfonce dans le sol et dont l'autre est près de l'appareil. En touchant successivement le pôle du courant induit avec chacun des quatre bouts libres que l'on tient ensemble à la main, ce qui exige à peine une seconde de temps, on obtient vingt explosions simultanées à des distances considérables, par exemple à 500 mètres. M. Verdu

1. J'avais proposé ce système avant M. Verdu et je l'avais combiné de manière à n'employer qu'un seul fil recouvert de gutta-percha pour franchir la plus grande distance, c'est-à-dire celle de l'appareil aux mines. (Voir mon *Traité des Applications de l'Électricité*, II<sup>e</sup> vol., p. 124, 1<sup>re</sup> éd.)



n'a, du reste, trouvé jusqu'à présent aucune limite à la distance à laquelle l'explosion peut avoir lieu, ni au nombre de fourneaux. Ainsi, dans une expérience à une distance de 3,500 mètres, l'explosion simultanée des fourneaux a été telle qu'il n'a pu percevoir que le bruit d'une détonation unique.

L'inconvénient immense de l'emploi du fulminate de mercure dans la pyrotechnie est précisément sa facilité d'explosion par le choc; il était donc à craindre que dans le bourrage des mines, le choc produit n'entraînât l'explosion de la fusée et partant celle de la mine. Mais M. Verdu s'est assuré que ces inconvénients n'existaient pas dans le cas en question, si l'on avait soin d'introduire l'extrémité des fusées dans un petit tube de gutta-percha fermé par le bout. Après avoir rempli de poudre cette espèce de petite boîte et l'avoir fermée hermétiquement, on peut transporter les fusées, les manier, les laisser tomber, les choquer même assez fortement, sans danger. La nature un peu élastique et corroyée de la gutta-percha qu'on a eu soin de ramollir un peu au feu préserve le fulminate de toute chance d'accident.

*Système de M. Th. du Moncel.* — Comme nous l'avons déjà dit, le problème à résoudre, pour l'explosion des mines monstres par l'électricité, était moins de rechercher l'économie dans les organes électriques destinés à agir, que de fournir un système immanquable dans ses effets. Or, les systèmes précédents, bien que très-ingénieux, ne me paraissaient pas donner une garantie suffisante, eu égard à l'importance des résultats négatifs ou positifs qui pouvaient être la conséquence de la mauvaise ou bonne réussite de ces mines. Au lieu donc de faire partir six ou huit mines qui composent ordinairement chaque système de ces mines monstres, j'ai mieux aimé les diviser par groupes de deux, et avoir recours à trois ou quatre circuits. Bien plus



même, craignant, en raison du contact si intime des fils avec la terre et le plâtre, dans les galeries et le puits de descente, un isolement insuffisant du courant, j'ai supprimé la communication par le sol, et j'ai préféré employer deux conducteurs au lieu d'un, ce qui d'ailleurs ne m'occasionnait qu'une dépense très-minime, puisque l'un de ces fils pouvait être commun à tous les circuits en rapport avec les trois ou quatre grandes mines qui devaient partir en même temps.

Avec cette disposition, commandée par la prudence, le problème se réduisait pour moi à obtenir la simultanéité d'explosion à travers ces différents circuits. J'ai eu pour cela recours à deux systèmes de commutateurs, d'une construction particulière, que nous avons représentés fig. 14 et 15, pl. IV.

Le plus simple de ces commutateurs, fig. 14, s'applique dans les cas où les mines sont peu éloignées du lieu où l'on opère: il se compose d'une planche d'acajou dans laquelle sont incrustés: 1° un cadre *abcd* de caoutchouc durci; 2° une glace de verre assez épaisse. Sur deux des côtés de ce cadre isolant sont fixées 8 ou 10 lames de cuivre *ef*, *gh*, *ij*, etc., arrondies sur les carres de manière à présenter une surface légèrement convexe; et des boutons d'attache *e*, *g*, *i*, qui leur sont adaptés, permettent de les réunir à des fils faisant partie de circuits spéciaux. Cette planche est supportée sur quatre pieds pointus afin d'être solidement fixée quand on doit faire fonctionner le manipulateur.

Celui-ci consiste dans une lame flexible de cuivre *AB*, fig. 14 bis, soudée à l'extrémité d'un gros fil recouvert de gutta-percha et adaptée par l'intermédiaire de ce fil à un manche de bois. Comme celui-ci n'adhère qu'à la gutta-percha dont est recouvert le fil, cette lame *AB* se trouve complètement isolée et l'on est à l'abri des commotions quand on



met ce manipulateur en rapport avec la machine d'induction.

Pour faire fonctionner cet appareil, rien de plus simple : on met les différents circuits sur lesquels on a à agir en rapport avec les lames de cuivre du commutateur et on attache l'extrémité libre du fil du manipulateur à celui des pôles de l'appareil de Ruhmkorff qui donne des étincelles à distance ; comme les différents circuits mis en rapport avec le commutateur le sont déjà avec le second pôle de l'appareil d'induction par un fil spécial, il suffit de faire passer le manipulateur plusieurs fois de suite à travers les lames de cuivre *ef*, *gh*, *ij*, pour produire les différentes fermetures de courant nécessaires à l'explosion des fusées.

Les précautions d'isolement que nous avons indiquées pour la construction du commutateur sont essentielles parce qu'avec ces sortes de courants le bois n'est pas un isolateur suffisant, surtout dans le cas en question, à cause de l'étendue assez considérable qu'occupent les points de contact des lames de cuivre du commutateur, laquelle suffit comme je l'ai démontré dans ma notice sur l'appareil de Ruhmkorff, pour rendre le bois conducteur. D'un autre côté, l'emploi de la glace de verre empêche la trainée demi-conductrice qui accompagne toujours le frottement d'un métal sur le bois et même sur le caoutchouc durci.

Enfin les points d'attache du circuit avec l'appareil d'induction ne sont pas du tout indifférents, car il arriverait souvent, si on attachait au pôle de l'appareil qui donne des étincelles à distance le fil se rendant directement aux fusées, que plusieurs des mines partiraient avant qu'on ait fermé les circuits au moyen du manipulateur. Dès lors on ne pourrait plus compter sur la sûreté de l'opération. En attachant, au contraire, le manipulateur à ce pôle, cet effet ne peut jamais se produire.

Pour plus de sûreté, MM. Dussaud et Rabattu ont de-



mandé à M. Ruhmkorff de leur faire ce commutateur double afin de pouvoir diriger à la fois sur les mêmes mines les courants issus de deux appareils différents. Ces commutateurs doubles ne sont autre chose que deux séries de plaques de cuivre disposées comme nous l'avons vu précédemment et séparées par un rebord de caoutchouc durci. Alors le manipulateur a la forme d'une fourche que l'on place à cheval au-dessus de ce rebord quand on opère, en ayant soin d'appuyer également de part et d'autre. Je crois que cette précaution est superflue quand on a pris tout le soin convenable pour bien isoler les circuits et pour mettre l'appareil en bon état.

Le second commutateur, représenté fig. 15, pl. IV, peut être employé avec avantage quand la distance entre les mines et le lieu où doivent être placés les appareils électriques est considérable; il épargne beaucoup de fil recouvert de gutta-percha et rend les circuits que doit parcourir le courant d'induction beaucoup moins longs.

Ce commutateur n'est, à proprement parler, que mon Relais rhéotomique que j'ai décrit page 303 (1<sup>er</sup> vol.). Seulement le mouvement du frotteur du rhéotome doit être moins prompt et les conditions de l'isolement mieux observées. L'appareil que nous avons représenté fig. 15 est renfermé dans une boîte de chêne assez forte pour recevoir, sans se briser, le choc des petites pierres lancées par la mine. Il se compose d'un mécanisme d'horlogerie M à quatre mobiles, susceptible d'être réglé dans sa vitesse au moyen d'un modérateur K. Sur le troisième de ces mobiles est adapté un levier A armé d'un frotteur à piston F qui tourne autour d'une circonférence composée de plaques de cuivre et de plaques de glaces alternées et placées au même niveau. Les plaques de cuivre, comme dans le commutateur précédent, sont fixées sur une circonférence de caoutchouc durci et correspondent par des boutons d'at-



tache aux fils des différents circuits. Au-dessus du troisième mobile du mécanisme d'horlogerie se trouve un électro-aimant E dont l'armature porte une dent servant de détente d'encliquetage à ce mobile. Enfin les différentes pièces qui composent le mécanisme, se trouvent renfermées dans une enveloppe épaisse de gutta-percha ou de caoutchouc durci.

On peut se servir de cet appareil de deux manières : 1° en employant une pile auxiliaire pour la manœuvre à distance du commutateur. Alors l'appareil d'induction peut être placé sous un abri, très-près des mines, et les fils, reliant le commutateur au poste où l'on expérimente, peuvent n'être que de simples fils de fer ; 2° en n'employant qu'une seule pile pour l'appareil d'induction et le commutateur. Alors celui-ci épargne le prolongement des différents fils spéciaux allant aux mines.

L'usage de ce commutateur se comprend aisément, puisqu'il ne fait que reproduire à distance, comme un relais, l'action que l'on effectuerait à la main au moyen du premier commutateur. Il suffit donc, au moment de faire partir les mines, de fermer le circuit correspondant à l'électro-aimant du commutateur, et alors celui-ci opère les fermetures successives des circuits induits, qui sont en rapport avec les mines. Quand on emploie deux piles distinctes, rien n'est plus facile que cette manœuvre ; mais, dans le cas où l'on ne veut agir qu'avec une seule, un commutateur particulier doit être ajouté à l'appareil d'induction. Ce commutateur peut consister simplement dans une lame de ressort qui serait mise en rapport avec l'un des deux fils allant au commutateur mécanique, et qui serait placée de manière à rencontrer une cheville de cuivre fixée sur l'une des plaques du commutateur de l'appareil d'induction, un peu avant que cette plaque fût dans la position voulue, pour que l'appareil d'induction marchât. Il faudrait seulement que



le fil, en rapport avec ce ressort additionnel, fût relié à la fois à l'électro-aimant du commutateur mécanique et au massif métallique de ce commutateur, de telle manière que le mécanisme d'horlogerie, étant une fois dégagé, pût couper les communications établies entre l'électro-aimant et le circuit des mines. Avec cette disposition, une première fermeture du courant de la pile précéderait l'envoi du courant d'induction, et cette première fermeture ferait réagir le commutateur mécanique, qui distribuerait alors le courant induit aux différentes mines. Il serait bon, dans ce cas, de tourner plusieurs fois de suite le commutateur de l'appareil de Ruhmkorff, pour provoquer plusieurs révolutions de la part du frotteur du commutateur mécanique.

Le commutateur mécanique que nous venons de décrire pourrait être substitué avantageusement au commutateur simple, que nous avons considéré comme devant s'appliquer aux petits circuits. Il aurait sur lui l'avantage d'un fonctionnement régulier, et l'on n'aurait pas à craindre, en l'employant, d'agir ou trop lentement ou avec trop de précipitation.

La disposition des fils et des appareils dans mon système est indiquée dans la fig. 16. M représente l'appareil de Ruhmkorff placé à 4 ou 500 mètres des mines; OP est le commutateur placé tout près de l'appareil d'induction; enfin les puits de descente des mines sont figurés en Q, R, S, T, U, etc. Le pôle extérieur du courant communique au ressort AB (fig. 14 bis) du commutateur, et le pôle intérieur, celui qui ne fournit pas d'étincelle à distance avec un conducteur isolé du circuit, est en rapport avec un long fil recouvert de gutta-percha vulcanisée qui circonscrit les différentes mines. Sur ce fil on pratique des dérivations qui vont rejoindre l'un des deux fils, + et —, fig. 12, ressortant de chaque mine; l'autre fil de ces mines, le fil +, par exemple, est relié séparément à un fil particulier, également recouvert de gutta-percha vul-



canisée, qui va s'attacher à l'une des lames de cuivre du commutateur; il va sans dire qu'il y a autant de ces fils particuliers qu'il y a de mines. Telle est l'organisation du système d'explosion quant à sa liaison avec les appareils. La disposition des fils, à l'intérieur des mines, est indiquée fig. 12. Ces fils, en raison de leur peu de longueur, peuvent être choisis, par économie, d'un diamètre beaucoup plus petit, car ils ne peuvent pas resservir; ils disparaissent même entièrement pendant le travail de l'explosion. Deux de ces fils, + et —, après être descendus d'abord verticalement dans le puits de descente, se recourbent brusquement pour passer par les galeries horizontales et viennent s'attacher à l'un des bouts des deux fusées d'explosion C et D; les autres bouts de ces fusées sont ensuite reliés directement par un troisième fil.

Dans l'organisation de ces différents fils il faut avoir soin de recouvrir tous les points de jonction d'une épaisse couche de gutta-percha ou, à défaut de gutta-percha, de plusieurs doubles de taffetas gommé. Il convient même, pour plus de sûreté, de soutenir extérieurement ces points de jonction au-dessus du sol à l'aide de petites fourchettes de bois.

L'effet d'explosion de ces mines *monstres* est tout à fait différent de celui des petites mines. Peu de fragments de pierres sont projetés en l'air, mais on voit le terrain se soulever comme une enveloppe qui se gonfle. Quand ce soulèvement a atteint une hauteur de un à deux mètres, des déchirures se forment de tous côtés, et la fumée, quelques instants comprimée, en s'échappant à travers ces fissures, donne à ces mines l'apparence d'un cratère de volcan en éruption. La détonation n'est pas extrêmement forte, c'est un bruit sourd, qui semble venir de loin, et à la suite duquel se produit un petit tremblement de terre qui, du reste, ne se





propage pas assez loin pour endommager les bâtiments dans le voisinage.

L'explosion de ces mines est, du reste, un spectacle curieux qui attire toujours, dans le port militaire de Cherbourg, un grand nombre de spectateurs. Ordinairement les entrepreneurs chargés de ces travaux en font partir tous les trois mois.

Il serait bien long d'énumérer la foule d'applications que l'on peut faire de cette propriété inflammable des courants d'induction, car l'explosion des mines n'est qu'une bien petite face de la question. Son emploi dans l'artillerie, soit pour la décharge instantanée d'une batterie, composée de plusieurs pièces d'artillerie, soit pour l'explosion des brûlots, soit pour la démolition des navires sous l'eau, ou pour les mines sous-marines, serait un progrès immense réalisé dans l'intérêt de la défense et de la sécurité des hommes préposés à ces différentes manœuvres.

Dans l'artillerie ordinaire, même, ce procédé pourrait être utilement employé. En effet, la lumière par laquelle s'opère la transmission du feu dans les canons, est une cause perpétuelle d'accidents pour les chargeurs de pièces, car l'air qui entre par cette lumière peut entretenir incandescentes les flammèches restées au fond du canon. Avec le procédé électrique, la lumière peut être supprimée, car on la remplace par une fusée qui peut facilement être disposée de manière à rester fixe et à servir toujours.

Enfin, pour les feux d'artifice, les travaux de siège qui demandent la simultanéité dans les explosions, aucun moyen ne pourrait remplacer l'effet électrique. Espérons donc que l'artillerie française qui, jusqu'à présent, a toujours été la première de l'Europe, ne se laissera pas devancer par les autres nations, et qu'elle sera la première à faire des expériences qui, jusqu'à présent, sont restées seulement dans le domaine de la science.





APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A L'INFLAMMATION  
DES GAZ.

Depuis la découverte de la bouteille de Leyde, on a bien souvent appliqué l'étincelle électrique à l'inflammation des gaz inflammables et autres substances combustibles ; mais les applications utiles de ce genre de réactions électriques n'ont été combinées que depuis fort peu de temps. Nous allons passer en revue quelques-unes de ces applications ; mais nous ferons observer tout d'abord qu'entre l'expérience en elle-même et ses applications, il y a tout un monde.

*Procédé électrique pour allumer à distance un bec de gaz.*

— Il y a trois ans, M. Liás et moi, cherchant le moyen d'allumer à distance la mire de nuit de l'Observatoire de Paris, avons été conduits à combiner un système fort simple d'allumage électrique pour le gaz, qui a été récemment appliqué avec beaucoup de succès dans la marine, comme nous allons le voir à l'instant. Voici comment je décrivais ce procédé, dans le 2<sup>e</sup> volume, page 208, de la première édition de mon ouvrage, publié en 1854 :

« Cette mire (la mire de l'Observatoire établie suivant le  
« nouveau système) n'est autre chose qu'un bec de gaz  
« établi à l'extrémité d'un mât et renfermé dans une espèce  
« de lanterne disposée à cet effet. A travers cette lanterne  
« et précisément au-dessus du bec de gaz se trouvent fixés,  
« à une très-petite distance l'un de l'autre, deux fils de  
« platine suffisamment isolés et en communication avec  
« deux fils recouverts de gutta-percha. Ces fils aboutissent  
« à l'appareil de Ruhmkorff placé dans la salle des observa-  
« tions, et cet appareil marche sous l'influence d'une ma-  
« chine de Clarke. Enfin le robinet du tuyau pour le gaz est  
« placé également dans la salle des observations, de sorte  
« que sans bouger de cette salle on peut faire arriver en



« temps voulu le gaz à l'extrémité du mât et l'allumer en tournant la machine. »

On voit par cette description que c'est bien à M. Liais et à moi que revient la priorité de ce moyen d'illumination, qui pourtant a été breveté il n'y a que quelques mois.

*Télégraphe nautique de M. Tréve.* — « Les signaux de nuit dans une flotte, ou en général entre bâtiments de guerre, s'effectuent au moyen de feux placés les uns au-dessus des autres au point le plus élevé et le plus apparent du navire. Le nombre des feux employés ne dépasse jamais six, et c'est sur une combinaison de ces six feux, un à un, deux à deux, etc., hissés sur une ou deux drisses, qu'est basée une table de signaux. Dans le but de s'approprier un nombre d'avis ou ordres différents à transmettre plus en rapport avec les besoins du service, on imagina de donner à chacune des vingt premières combinaisons six significations différentes suivant qu'on les ferait précéder ou suivre de fusées et de feux de Bengale. De l'application de cette idée, il est résulté six chapitres de vingt ordres, partant 120 signaux de nuit.

Les feux de signaux sont transmis par des fanaux dits *fanaux de combat*, dont la disposition a été l'objet de nombreuses recherches et de nombreuses expériences. Celle qui a été définitivement adoptée est représentée vue en coupe, fig. 17, pl. IV. Un fanal de ce genre n'est autre chose qu'une lanterne ordinaire dont les parties transparentes ont été remplacées par des *lentilles à échelons* analogues à celles dont on se sert avec tant de succès pour projeter la lumière des phares. Cette disposition a donné aux signaux de nuit, à bord des navires, une puissance lumineuse, sinon suffisante, du moins la plus considérable possible, avec le système d'éclairage adopté jusqu'à présent pour ces fanaux et qui est fait avec de la bougie.

« Dans les conditions actuelles, s'agit-il de faire un si-



gnal? dit M. Tréve. Il faut allumer un nombre suffisant de fanaux, les porter là où doit monter le signal, les fixer sur une ou deux drisses les uns à la suite des autres et les placer dans l'ordre indiqué sur le tableau. Cette manœuvre, toujours lente, en cas imprévu surtout, même dans les conditions favorables de vent et de mer, exige des précautions souvent inefficaces pour soustraire les fanaux aux effets de mouvement désordonnés et qui rendent incertaine l'exécution complète du signal.

« Un premier signal étant exécuté, convient-il de le faire suivre d'un second? Il faut, 1<sup>o</sup> amener les fanaux pour pouvoir en augmenter ou en diminuer le nombre; 2<sup>o</sup> laisser s'écouler un certain laps de temps entre le premier et le second signal, pour ne pas donner lieu à une interprétation erronée quand on a dû employer des fusées.

« Comme la distance qui sépare les fanaux les uns des autres ne peut jamais être relativement considérable, et que par suite de leur faible éclat il devient difficile de loin de les distinguer individuellement, on a cherché à colorer ces feux d'une manière différente pour chaque fanal. Malheureusement les couleurs qui peuvent être transmises à de longues distances sont très-réduites. Ainsi le jaune, le bleu, le violet, ces couleurs que l'on voit si resplendissantes et si bien nuancées dans les belles pharmacies ne sont pas régulièrement transmissibles dans l'air. Le vert et le rouge seuls peuvent se prêter à une transmission lointaine. En employant ces dernières on pourra pourtant réduire le nombre des fanaux, et ce sera toujours un avantage surtout pour rompre la ligne lumineuse que présentent de loin tous ces fanaux superposés. »

Tel est jusqu'à ce jour l'état de la télégraphie de nuit à bord des navires. On voit qu'elle réclame de notables améliorations, et ce sont ces améliorations que M. Tréve a réalisées dans son télégraphe électro-nautique.



Ces améliorations consistent : 1<sup>o</sup> à remplacer l'éclairage à l'huile ou à la bougie des fanaux par un éclairage au gaz ; 2<sup>o</sup> à établir ces fanaux dans une position fixe et à ne réagir que sur la lumière qu'ils projettent ; 3<sup>o</sup> à employer l'électricité pour cette réaction sur la lumière ; 4<sup>o</sup> à simplifier les signaux par l'emploi de cinq fanaux seulement dont deux sont colorés en vert et en rouge.

La figure 18, pl. IV, représente l'ensemble du télégraphe électro-nautique. Les fanaux n<sup>os</sup> 1, 3 et 5 fournissent de la lumière blanche, le fanal n<sup>o</sup> 2 est coloré en rouge et le fanal n<sup>o</sup> 4 en vert. Ils sont tous reliés les uns aux autres par des chaînes à crochet et sont en communication avec l'appareil d'induction de Ruhmkorff placé dans la chambre du commandant, par deux fils recouverts de gutta-percha qui se bifurquent d'un fanal à l'autre pour aboutir aux deux fils de platine placés au-dessus de chaque bec de gaz et destinés à l'allumer, comme nous l'avons expliqué précédemment. Cinq tuyaux de plomb ou de caoutchouc de 1 centimètre de diamètre, partant d'un tonneau rempli de gaz, aboutissent à ces différents fanaux et sont munis, à leur sortie du réservoir à gaz, de robinets au moyen desquels on peut arrêter ou laisser écouler ce gaz. Ces robinets jouent en quelque sorte le rôle du manipulateur dans les télégraphes électriques. Car en les ouvrant et les fermant alternativement pendant que l'appareil d'induction fonctionne, on peut distribuer la lumière sur tels ou tels fanaux et obtenir ainsi les combinaisons lumineuses nécessaires pour l'envoi des signaux. Une chose assez curieuse, que l'expérience a démontrée, c'est que, malgré le gaz qui existe encore à l'intérieur des tuyaux après que les robinets ont été fermés, l'extinction des lumières est immédiate. Cela vient sans doute de ce que la pression qui sollicite le gaz à sortir, n'existant plus, l'équilibre entre la force élastique du gaz restant dans les tuyaux, et la pression atmosphérique s'éta-



blit d'autant plus vite que ce gaz est par sa nature d'une faible densité.

« De toutes les méthodes pour reproduire la pensée au moyen de signaux télégraphiques, dit M. Trêve, la plus féconde et la plus complète est, sans contredit, la méthode dite numérique; car si les signaux représentent des nombres, on peut les combiner et les multiplier comme les nombres eux-mêmes. On peut les appliquer à des mots, à des phrases, ou parties de phrases toutes préparées, de façon à exprimer beaucoup de choses avec peu de signes. Le nombre des phrases d'un vocabulaire dépend évidemment de celui des signaux primitifs; ainsi, les cinq fanaux disposés comme le montre la figure, nous donnent 18 signaux différents ou signaux primitifs (encore les signaux de même couleur ont dû être écartés pour éviter les erreurs d'interprétations).

« Consacrant donc ces 18 signaux primitifs à l'expression des 18 premiers nombres, nous ferons un vocabulaire de 18 pages renfermant chacune 18 mots ou phrases.

« Des conventions sont nécessairement à établir: le premier signal donné par le télégraphe indiquera, par exemple, la page du vocabulaire, tandis que le second indiquera le numéro de cette page répondant à la phrase.

« Cette combinaison de deux à deux nous fournit donc un vocabulaire de 324 numéros répondant à un nombre égal d'avis ou ordres différents. Les 18 signaux primitifs, hissés isolément, rempliront le rôle des pavillons de notre tactique quand on les hisse isolément. C'est donc 324 plus 18 ou 342 signaux.

« De plus, aujourd'hui, pour atteindre un nombre de signaux égal à 120, il faut nécessairement avoir recours aux fusées ou aux feux de Bengale: en réservant ces excellents moyens pour tel objet que l'on se proposera, on aura la faculté d'agrandir le cadre de signaux d'une ma-



nière presque illimitée. — Je n'ai fait ici que rappeler la méthode des télégraphes aériens, et en indiquer la facile application à nos signaux de nuit. 342 combinaisons attendent une signification et peut-être une classification. C'est aux travaux tout spéciaux d'une commission qu'il appartient de donner à ces combinaisons tout leur effet utile, et de répondre d'une manière efficace aux besoins du service dans la mesure qu'elles viennent de tracer.

« Il nous reste maintenant à étudier la question du gaz et de sa dépense.

« La fabrication de plus en plus étendue du gaz comprimé, son application journalière à Paris dans tous les établissements qui veulent se signaler par leur brillant éclairage, l'installation dans leurs caves d'énormes gazomètres destinés à distribuer la lumière dans tout l'intérieur, répondent surabondamment aux craintes que l'on pourrait peut-être concevoir sur son admission à bord de nos navires. — Les bonnes mesures que l'on prend aujourd'hui, ainsi que l'usage qui en est fait par les Américains pour l'éclairage intérieur de beaucoup de leurs navires, en font au reste bon marché. D'ailleurs, pas un atome de gaz ne se répandra dans l'intérieur de nos navires, puisque c'est en plein air, sur la dunette d'un navire, que je place le gazomètre.

« Que peut-il donc arriver? Qu'il y ait fuite si l'on n'y a pas veillé, le gaz se répand alors dans l'air; il est perdu, voilà tout.

« Quant à une explosion, on sait qu'il faut un volume d'air cinq fois plus grand que le volume de gaz dans un cylindre à gaz comprimé; elle est matériellement impossible.

« La faculté de comprimer ce gaz à 10 ou 12 atmosphères et même bien au delà, si on le veut (ce n'est qu'une affaire d'épaisseur de tôle), répond admirablement aux questions de convenance à bord des navires. Ainsi, deux



cylindres en tôle de la dimension de nos petits barils de galère renfermant du gaz à 12 atmosphères, nous donnent tout de suite l'énorme approvisionnement de 720 litres de gaz. Or, il n'est pas de navire de guerre, grand ou petit, qui ne puisse, sans gêner aucunement ses mouvements, loger ces deux petits barils sur sa dunette, ou à la partie arrière de son pont. Placés ainsi d'une manière convenable, ils serviront longtemps, comme nous allons nous en convaincre, à tous les besoins de la télégraphie de nuit qu'ils vont rendre désormais presque infaillible dans la majorité des cas.

« La consommation d'un bec de gaz dont l'intensité égale celle de 12 bougies, est de 30 litres par heure. Or, il faut en convenir, ces nuits sont rares où les besoins imprévus du service exigent un nombre de signaux qui atteigne le chiffre 6. Donc, en admettant que chaque signal dure 3 minutes, et en mettant à 15 le nombre de fois que l'on aura fait de la lumière, il est presque permis d'assurer que la dépense n'atteindra tout au plus que 23 à 24 litres. C'est là la dépense la plus forte; car, dans les nuits où l'obscurité est profonde, qui sont, on le sait, les plus favorables à la transmission des feux, il suffira bien souvent de produire une lumière ne valant que 4 ou 5 bougies; c'est ce dont on est parfaitement et très-facilement le maître en n'ouvrant le robinet que d'une petite quantité.

« Quelque incertain que puisse paraître le résultat de ces calculs, il peut néanmoins, je le crois, donner de l'autorité à cette première assertion que 720 litres de gaz formeront un approvisionnement considérable.

« Cette question de dépense touche, au reste, d'une manière beaucoup plus particulière les navires qui font partie d'une escadre; pour ceux-là, l'approvisionnement de 720 litres peut très-certainement n'être pas inépuisable, mais il suffira, on peut le dire, à de larges besoins. Il n'y aura



aucun inconvénient à ce que ces bâtiments prennent 1,440 litres ; la place sur le pont ne leur manquera pas pour loger deux autres petits barils de galère. La question de fuite du gaz est écartée, d'abord, par les bonnes conditions de fabrication de ces petits cylindres, puis par le petit manomètre qui y est adapté et qui indique toujours la pression : dans le cas de fuite, on boucherait alors facilement l'issue.

« Les procédés de fabrication de ce gaz, sont extrêmement simples et permettent de livrer les 1,000 litres de gaz au titre 40 à 3 francs au plus. C'est là un dernier renseignement qui facilitera l'appréciation des conditions dans lesquelles se présente le télégraphe de nuit.

« Pour terminer la question de dépense, une escadre restant généralement peu de temps hors de France, aura toujours la faculté de renouveler son gaz, ou (en tous cas) de le faire renouveler.

« Si le remplacement du gaz devenait impossible, rien n'empêcherait chaque navire de faire son gaz lui-même ; il l'extrairait alors de l'eau ; la simplicité de cette préparation chimique le place dans de très-bonnes conditions de fabrication. Dans un cylindre de 30 à 40 litres, on met de l'eau, de la vieille ferraille ou du vieux zinc, on y ajoute de temps en temps quelques gouttes d'acide sulfurique et l'hydrogène se dégage, préparation connue de tous et donnée par tous les chimistes. Au moyen d'une petite pompe aspirante et foulante, un homme peut donc comprimer ce gaz dans nos petits gazomètres de dunette. Ceci peut se faire en plein air, sur le pont et sans le moindre danger pour qui que ce soit. Dans tout pays, on pourra trouver ces matières-là, si on ne les avait à bord.

« Enfin, si ceci encore ne se pouvait plus, s'il y avait épuisement complet de gaz, comme je ne modifie en rien les fanaux actuels, il n'y aurait qu'à substituer à l'appareil



à gaz, celui à bougies qui le suivra toujours : on ferait alors les signaux à l'ancienne mode. »

*Moteurs électro-chimiques.* — La propriété que possède l'électricité de déterminer la combinaison des gaz hydrogène et oxygène quand ils sont mêlés l'un à l'autre dans des proportions convenables pour la formation de l'eau, a été utilisée pour mettre en jeu des moteurs que l'on a appelés pour cela *Moteurs électro-chimiques*. — La fameuse pile hydrodynamique du docteur Carrorio, que nous avons étudiée dans notre premier volume, page 123, était destinée à faire marcher un moteur de cette nature. Il en est de même du moteur électro-chimique de M. A. Moëff, qu'il décrit en ces termes, dans le journal *l'Électricité*, du mois de septembre 1852 :

« En ce moment, nous pouvons le dire, notre machine fonctionne, et, sauf quelques imperfections qu'il est impossible d'éviter dans de premiers essais, la régularité de sa marche est parfaite, et sa force, que nous avons eu tant de peine à régulariser, est aussi facilement extensible que celle de nos machines à vapeur.

« Notre but a été de remplacer la vapeur, moyen trop dispendieux, entraînant surtout la nécessité de poids trop considérables de combustible. Nous avons tenté bien des modes de machines électro-motrices; les électro-aimants n'ont jamais pu nous donner une somme de force assez considérable pour les grandes machines; nous sommes bien loin cependant de proscrire leur usage. D'autres, plus savants ou plus heureux, feront peut-être ce que nous n'avons pu faire.

« Vous vous rappelez les nombreuses expériences sur la propulsion par les poudres fulminantes produisant des gaz extensibles (fulmi-coton, etc.)? Il nous a été impossible de régulariser cette force d'une extrême énergie; jamais la multiplicité des chocs ne nous a donné la continuité d'action.



« Un jour, dans un cylindre, muni de son piston, qui nous avait servi à des expériences, nous remplaçâmes les poudres fulminantes ou plutôt les gaz extensibles produits par leur combustion, par un mélange d'oxygène et d'hydrogène dans leurs proportions relatives pour former de l'eau. Le piston que l'on retirait pour former le vide, facilitait l'introduction des gaz par une lumière étroite... Bien que le cylindre fût fort étroit, la détonation fut assez forte; le vide y était presque complet, le piston plongea dans le cylindre avec une force invincible et n'en fut retiré que difficilement. Dans une seconde expérience, le mélange de gaz étant composé d'hydrogène et d'air atmosphérique, la détonation et la course du piston furent moins puissantes, moins rapides; mais le piston vint rebondir au fond du cylindre sur la couche d'azote restée libre après la combinaison de l'oxygène chimique et de l'hydrogène.

« Voilà la base réelle, fondamentale, de notre machine; la force est le résultat de la raréfaction produite par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène pour former de l'eau. Cette combinaison s'opère, comme on le sait, sous l'influence du contact d'un corps en ignition ou du passage d'une étincelle électrique. C'est ce dernier moyen que nous avons employé, et c'est lui qui nous a fait donner à notre moteur le nom de moteur électro-chimique.

« Chacun sait avec quelle facilité on peut obtenir des quantités immenses d'hydrogène; les matières premières nécessaires à son dégagement sont, dans le commerce, au prix le plus réduit; nous oserions même dire que, par leur combinaison, elles ne font qu'acquérir une valeur nouvelle, car les sels de zinc ou de fer sont tous d'une valeur commerciale bien supérieure à celle de ces métaux.

« La série d'étincelles nécessaires se produit avec la plus extrême facilité, presque sans frais. Nous avons des machines pour lesquelles le courant électrique nécessaire est



entièrement produit par les décompositions chimiques qui s'opèrent dans nos gazogènes. La moindre connaissance des théories physiques et chimiques pourra faire comprendre facilement la formation de ces électro-gazogènes.

« Rien n'est plus facile à régler que le développement des gaz. Il est clair que leur détonation, ou pour mieux dire leur combinaison, car ici la détonation est à peine perceptible, n'ayant lieu qu'au passage des étincelles électriques, le moindre régulateur du courant, avec un interrupteur que l'on peut diriger au moyen d'une simple aiguille de contact, suffit pour régulariser d'une manière absolue leur nombre, la fréquence de leur passage. Nous employons comme régulateur un mouvement électro-magnétique mis en jeu par le courant lui-même, ou un simple mouvement d'horlogerie.

« Nous eussions vivement désiré décrire les modifications nombreuses que nous avons dû faire subir aux cylindres, aux pistons, le mode de disposition de l'appareil, les diverses modifications qui nous permettent de l'adapter aux machines destinées à être mues par la vapeur.

« Néanmoins ce retard dans notre publication, nous ne saurions le regretter d'une manière absolue, car nos machines sont loin d'être parfaites encore, et nous osons espérer que d'autres expérimentateurs, inspirés par le présent article, pourront marcher sur nos traces, nous devancer peut-être... Nous les verrons progresser sans jalousie; nous ne pouvons, nous, dans l'intérêt de tous, que désirer une communauté de lumières et d'énergie, capables de nous faire atteindre le but le plus tôt possible. »

ALBERT MOEFF ET C<sup>e</sup>.

*Fabrication électrique du diamant.* — Il n'y a pas longtemps encore que les alchimistes, recherchant la pierre philosophale, passaient, sinon pour sorciers, du moins pour



des fous. Que devra-t-on dire aujourd'hui de ceux qui transformeront une poudre noire, produit de la fumée ou de la carbonisation, en corps bien plus précieux que l'or, le diamant ! Pourtant le fait existe ; il est vrai que les diamants obtenus sont très-petits, mais ce sont des diamants. Or, en admettant que les moyens employés puissent, par l'intermédiaire de machines plus puissantes, avoir un effet plus énergique, qui empêche de croire à la solution complète du problème ? Ces machines n'existent pas, dira-t-on, mais elles pourront être construites, et la construction actuelle d'une machine d'induction, pouvant échanger l'étincelle à quarante centimètres de distance, serait bien moins étonnante que ne l'a été celle de la machine Ruhmkorff qui, pour la première fois, a pu transformer l'électricité dynamique en électricité statique. Le diamant, comme on le sait, n'est autre chose que du carbone cristallisé. Comment cristalliser le carbone ? Tel était donc le problème à résoudre. Or, tous les degrés possibles de chaleur n'avaient pu, jusqu'à présent, produire cette cristallisation ; l'on n'obtenait toujours que du graphite amorphe quand le carbone était fondu, ou une poussière noire quand il était volatilisé. M. Despretz a eu alors l'idée de faire réagir d'une manière continue, sur le carbone lui-même, l'étincelle électrique ou tout au moins le courant électrique, et c'est ainsi qu'il est arrivé au résultat curieux que nous avons énoncé.

Les procédés d'expérimentation qu'il a employés sont de plusieurs sortes ; mais, dans tous ces procédés, le charbon employé était du sucre candi carbonisé ; c'est celui qui est le plus pur ; il brûle, pour ainsi dire, sans résidu. Le procédé qui a le mieux réussi est fondé sur la volatilisation lente produite par le courant d'induction. Voici comment on dispose l'expérience : on prend un ballon à deux tubulures, disposé comme l'œuf électrique. A la tige inférieure on



attache le cylindre de charbon pur qu'on veut soumettre à l'expérience; il ne doit avoir que quelques centimètres de longueur sur un centimètre à peine de diamètre. On fixe à la tige supérieure du ballon une douzaine de fils de platine qu'on place en face du charbon, à environ cinq ou six centimètres de distance, puis on fait le vide dans le ballon, et l'on fait passer à travers le système le courant électrique de la machine de Ruhmkorff, de manière que le pôle où se produit la lumière bleue, corresponde aux fils de platine. Ce pôle, comme l'a démontré M. Despretz, est précisément le pôle de la chaleur.

La pile, dans l'expérience de M. Despretz, se composait de quatre éléments de Daniell, réunis deux à deux, et l'expérience a duré plus d'un mois, sans interruption. Au bout de ce temps, il s'est déposé une légère couche noire de charbon sur les fils de platine, et c'est sur cette couche noire que se sont trouvées fixées les cristallisations, très-petites il est vrai, du carbone volatilisé.

Ces cristallisations étaient de deux espèces; les unes étaient des octaèdres noirs, les autres des octaèdres blancs opalins, reposant sur un sommet.

Essayés par M. Gaudin, lapidaire très-distingué, ces cristaux ont présenté tous les caractères des diamants. Ainsi on a pu polir des rubis, *dans un temps très-court*, avec la poussière provenant de ces cristaux, et ces cristaux eux-mêmes ont pu être brûlés sans résidu sensible.

Dans un autre procédé employé par M. Despretz, le charbon pur est déposé directement et lentement par la voie humide, mais il ne donne pas lieu à des cristallisations parfaitement définies, comme dans le procédé par les courants d'induction, et la dureté du dépôt est moindre. Dans un troisième procédé, M. Despretz décompose les combinaisons carbonées par des courants faibles. Dans un quatrième, la machine à deux électricités de Nairne a été employée.



Enfin, dans un cinquième, M. Despretz a fait des mélanges chimiques, sous les conditions les plus propres à donner les résultats cherchés.

*Applications des effets calorifiques des courants à la fusion des métaux.* — Nous avons vu que l'immense chaleur développée par l'étincelle électrique la rendait susceptible, non-seulement de fondre tous les métaux, même les plus infusibles, mais encore de les volatiliser et de les faire disparaître complètement, par suite du transport de leurs molécules par le courant. Cette propriété a pu être mise à profit dans les arts pour extraire des fragments métalliques d'endroits où il aurait été impossible de les faire déloger. On a usé de ce moyen pour dégager les trous, faits dans le roc vif par des tarières de puits artésiens, lorsque la pointe de ces tarières venait à se rompre à l'intérieur des trous. Dans ce cas, le métal qu'on veut extraire doit constituer le pôle positif du courant, et le fil négatif doit être muni d'un charbon. De cette manière, les particules du métal, au fur et à mesure de leur fusion, se trouvent entraînées et rejetées à l'état pulvérulent.

Dans d'autres cas, on peut employer les effets calorifiques de l'électricité à la simple fusion des métaux réputés jusqu'à présent infusibles, tels que le platine, l'iridium, l'osmium, l'osmiure d'iridium, etc.; ils doivent alors être placés dans un creuset de charbon de cornue, et constituer le pôle négatif du circuit. Il faudrait même que cette opération s'effectuât dans le vide, afin d'éviter le contact des particules carbonisées entraînées par le courant, qui pourraient carburer le métal pendant sa fusion. Jusqu'à présent, ces sortes d'applications n'ont pas été nombreuses dans les arts industriels; mais il est évident que, dans l'avenir, les arts métallurgiques en tireront un bon parti.

*Défense des issues.* — Il arrive malheureusement quelquefois, dans certains pays et dans des temps de commo-



tions politiques, que des domiciles privés se trouvent envahis par des bandes errantes, dont le but, avant tout, est le pillage. Ni grilles, ni portes ne peuvent les arrêter, et l'on se trouve pris chez soi à l'improviste, sans avoir eu le temps de songer à se défendre. Au moyen d'un système électrique bien simple, on peut rendre difficile, sinon impossible, ces sortes de coups de main. Supposez, en effet, que ce soit la grille d'une cour qu'il s'agit de défendre.

Une machine de Ruhmkorff sera installée dans l'une des pièces de la maison, et deux fils, couverts de gutta-percha, iront, par-dessous terre, établir une relation entre la machine et la grille, afin de communiquer à celle-ci l'effet foudroyant du courant d'induction. Pour cela, l'un de ces fils sera soudé en un point quelconque de la grille, tandis que l'autre sera en rapport avec une grande plaque de zinc, placée devant son seuil. Alors ceux qui viendraient pour forcer l'entrée de la cour se trouveraient dans le même cas, en touchant la grille, que s'ils tenaient entre les mains les deux manipules d'une machine à commotion. Or, comme les commotions de la machine de Ruhmkorff sont intolérables, ils auraient bien vite lâché prise.

Cependant, comme ce moyen pourrait ne pas être suffisant en cas d'une attaque sérieuse, on pourrait faire réagir le courant de la machine pour faire sauter une mine ou des obus qu'on aurait eu soin de préparer à l'avance, à cet effet, sous le seuil de la porte, et, comme ce moyen pourrait être répété plusieurs fois sur le chemin qu'auraient à parcourir les bandits, ils pourraient être cruellement punis de leur audace.

Il est facile de comprendre qu'en garnissant une porte de bois de feuilles de papier d'étain, que l'on pourrait même peindre afin de les dissimuler à la vue, on mettrait cette porte dans les mêmes conditions qu'une grille pour agir électriquement.



*Machines infernales russes.* — On a beaucoup parlé, il y a dix-huit mois, de certains brûlots ou fulgurateurs électriques immergés en différents points de la mer Baltique, dans le but de faire sauter les navires qui viendraient à les rencontrer. Ces appareils qui ont même été représentés dans plusieurs journaux politiques n'ont pas encore été parfaitement expliqués, et le rôle de l'électricité n'y est pas bien déterminé. Si l'on en juge par les descriptions qui en ont été publiées, ce genre de machine infernale n'aurait rien de bien redoutable. C'est tout simplement un cône renversé, la base en haut, la pointe en bas, lesté par des blocs arrondis de granit, divisé en deux compartiments, l'un inférieur contenant 6 à 8 livres de poudre, l'autre supérieur plein d'air qui fait flotter l'appareil. Un tube rempli de poudre coton traverse le compartiment supérieur et pénètre au sein de la poudre dans le compartiment inférieur. Son autre extrémité est en communication avec une fiole en verre rempli d'acide sulfurique, supportée par des barres de zinc, et qui doit se briser quand un vaisseau vient heurter ces barres. — « L'acide, dit *le Cosmos*, coule alors dans le tube, « enflamme la poudre coton ; le coton enflammé met à son « tour le feu à la poudre à canon du réservoir inférieur et « l'appareil saute. » Reste à savoir maintenant comment l'acide sulfurique, en s'écoulant sur la poudre coton, peut l'enflammer, car je ne suppose pas que ce soit son action directe puisqu'on fait la poudre coton au moyen d'acide sulfurique uni à de l'azotate de potasse. Je crois plutôt que ce système est disposé de manière à constituer un élément de Wollaston non chargé quand la fiole est intacte, mais se chargeant au moment où l'acide vient à se répandre sur les barres de zinc. De cette charge résulte un courant suffisant pour rougir un petit fil de fer très-fin placé au sein de la poudre coton et provoquer l'explosion de la machine. La communication de la fiole d'acide avec le fulmi-coton pour-



rait aussi avoir pour but de dessécher cette poudre afin de la rendre toujours susceptible de prendre feu. Cette explication, toutefois, n'est qu'une simple supposition qu'il serait facile d'éclaircir en étudiant de plus près ces appareils.

*Application de l'électricité à la pêche d'objets en fer.* — On a souvent appliqué la force attractive des électro-aimants à la pêche d'objets en fer perdus soit dans la mer, soit dans des rivières profondes. On comprend, en effet, qu'en promenant au fond de l'eau un électro-aimant en activité, il attirera à lui tous les objets de fer qu'il rencontrera sur son passage, et, dès lors, on pourra ramener ceux-ci hors de l'eau. Un électro-aimant, disposé dans ce but, doit être enveloppé dans une petite boîte en cuivre ne laissant sortir extérieurement que ses deux pôles; encore faut-il que ces pôles soient soigneusement soudés sur la paroi de la boîte de cuivre qu'ils traversent, pour empêcher l'introduction de l'eau. Les fils de l'électro-aimant doivent aboutir, à l'intérieur de la boîte, à deux gros fils de cuivre recouverts d'une couche épaisse de gutta-percha, et qui ressortent de la boîte de cuivre par deux trous entourés de rondelles de caoutchouc durci. Ces fils, au sortir de ces trous, doivent s'enrouler autour de deux crochets, afin que ce soient ces crochets qui supportent l'effort de la traction exercée sur l'électro-aimant quand on le ramène hors de l'eau. Il est bon même de n'opérer cette traction que par l'intermédiaire d'une corde que l'on accroche directement à la boîte de cuivre.

### III.

#### APPAREILS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

L'évaporation, l'acte de la végétation, la combustion et la plupart des effets physiques ou chimiques qui se mani-



festent à la surface de notre globe, donnent lieu à un dégagement permanent d'électricité qui est plus ou moins abondant, suivant les différentes saisons. Ainsi, par les plus beaux temps, quand le ciel est sans nuages, toutes les couches de l'air atmosphérique sont chargées d'électricité. Ce fait constaté pour la première fois en 1752, par Le Monnier, membre de l'Institut, a été confirmé ensuite par Saussure et par tous les physiciens qui ont fait des recherches sur l'électricité atmosphérique. Il est, de plus, résulté de leurs savantes et ingénieuses expériences :

1° Que l'air serein en pleine campagne, loin des arbres et des maisons, est presque toujours chargé d'électricité positive, très-rarement d'électricité négative ;

2° Que dans le cours de la journée, l'électricité atmosphérique atteint deux maxima et deux minima. Les maxima ont lieu quelques instants après le lever du soleil et quelques instants après son coucher. L'un des minima se montre en général vers deux ou trois heures de l'après-midi, tandis que l'autre a lieu pendant la nuit ;

3° Que l'électricité atmosphérique augmente à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère ;

4° Qu'en hiver, l'électricité atmosphérique paraît beaucoup plus intense que pendant l'été ;

5° Que quand le ciel est couvert de nuages, l'électricité atmosphérique change souvent de signe dans le cours de la journée, sans doute parce que les nuages sont chargés, les uns d'électricité positive, les autres d'électricité négative.

Dans ces derniers temps, on a fait des recherches plus minutieuses encore, et on a constaté dans l'atmosphère, en outre de cette électricité qui la remplit et qui se trouve à l'état statique des courants électriques atmosphériques. M. de la Rive, de Genève, a même établi sur tous ces phénomènes une théorie très-ingénieuse à laquelle serait lié le



phénomène des aurores boréales. Nous n'entrerons dans aucun détail à cet égard, car ce serait nous écarter considérablement du but que nous nous sommes proposé; qu'il nous suffise d'ajouter à ces quelques considérations sur l'électricité atmosphérique, quelques détails sur les effets de la foudre auxquels se rapportent la plupart des appareils dont nous allons maintenant parler.

Ce n'est qu'en 1749 que Franklin commença à expliquer les phénomènes de la foudre d'après les principes électriques, et pour prouver d'une manière indubitable son hypothèse, il lança dans l'année 1752 son fameux cerf-volant électrique qui fut sur le point de lui coûter la vie. Avec cet appareil, il attaqua les nuages orageux eux-mêmes, et put leur pomper une assez grande quantité d'électricité pour obtenir des étincelles d'une certaine longueur. En 1757, M. de Romas employant un moyen analogue put tirer des lames de feu de trois à quatre mètres de longueur sur dix à douze centimètres d'épaisseur. Ces lames de feu qui se succédaient avec une grande rapidité, produisaient à chaque décharge un bruit semblable à un coup de pistolet. Après ces expériences et beaucoup d'autres encore, les phénomènes de la foudre purent être facilement expliqués, et ce fut alors que Franklin conçut la magnifique idée d'annuler les effets désastreux de ce terrible élément, en lui opposant ses réactions physiques elles-mêmes.

Ainsi l'atmosphère, en outre de l'électricité à l'état libre qui s'y trouve en tous temps répandue, peut se trouver chargée, dans certaines circonstances et sur des points limités de son étendue, d'une dose considérable d'électricité, et cette électricité dégagée sous l'influence de réactions physiques toutes locales, se trouve portée par les nuages orageux.

Comme les circonstances dans lesquelles s'opèrent ces dégagements subits d'électricité sont différentes, et que des



souvent encore des fonctionnaires publics, des maires de villages et même de villes qui non-seulement ne veulent pas établir les paratonnerres suivant les règles de la science, mais encore se refusent aux avis des hommes compétents, au risque d'attirer la foudre sur les édifices qu'ils croient protéger.

Comme un paratonnerre installé dans de mauvaises conditions est infiniment plus dangereux qu'utile, nous croyons devoir reproduire ici les deux instructions publiées par ordre du gouvernement et qui ne seront certainement jamais assez répandues.

*Première instruction sur la construction et l'installation des paratonnerres, rédigée par M. Gay-Lussac*<sup>1</sup>. — Un paratonnerre est une barre métalliques'élevant au-dessus d'un édifice et descendant, sans aucune solution de continuité, jusque dans l'eau d'un puits ou dans un sol humide. On donne le nom de *tige* à la partie verticale qui se projette dans l'air au-dessus du toit, et celui de conducteur à la portion de la barre qui descend depuis le pied de la tige jusque dans le sol.

*De la tige.* — La tige est une barre de fer carrée, amincie de sa base à son sommet, en forme de pyramide. Pour une hauteur de 7 à 9 mètres (21 à 27 pieds), qui est la hauteur moyenne des tiges qu'on place sur les grands édifices, on lui donne à sa base de 54 à 60 millimètres de côté (25 à 26 lignes); on lui donnerait 63 millimètres (28 lignes), si elle devait s'élever à 10 mètres (30 pieds)<sup>2</sup>.

Le fer étant très-exposé à se rouiller par l'action de l'eau

1. Nous avons supprimé toute la partie théorique de cette instruction, car elle est en dehors du but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage.

2. La manière la plus avantageuse de faire une barre pyramidale est de souder bout à bout des morceaux de fer, chacun d'environ 80 centimètres (2 pieds 1/2) de longueur, et d'un calibre décroissant.



et de l'air, la pointe de la tige serait bientôt émoussée ; pour obvier à cet inconvénient, on retranche de l'extrémité de la tige une longueur d'environ 55 centimètres (20 pouces), et on la remplace par une tige conique de cuivre jaune, dorée à son extrémité, ou terminée par une petite aiguille de platine de 5 centimètres (2 pouces) de longueur<sup>1</sup>. L'aiguille de platine est soudée, à la soudure d'argent, avec la tige de cuivre. Celle-ci se réunit à la tige de fer au moyen d'un goujon qui entre à vis dans toutes deux ; il est d'abord fixé dans la tige de cuivre par deux goupilles à angle droit, et on le visse ensuite dans la tige de fer, dans laquelle il est aussi retenu par une goupille. On peut, sans aucun inconvénient, ne point employer de platine et se contenter de la tige conique de cuivre, et même ne pas la dorer si on n'en a pas la facilité sur les lieux. Le cuivre ne s'altère pas profondément à l'air ; et, en supposant que sa pointe s'émoussât légèrement, le paratonnerre ne perdrait pas pour cela son efficacité.

Une tige de paratonnerre, de la dimension supposée, étant d'un transport difficile, on la coupe en deux parties, D et E, fig. 20, pl. IV, au tiers ou aux deux cinquièmes environ de sa longueur, à partir de sa base. La partie supérieure s'emboîte exactement, par un tenon pyramidal de 19 à 20 centimètres (7 à 8 pouces), dans la partie inférieure, et une goupille l'empêche de s'en séparer. On doit cependant, autant qu'on le pourra, ne faire la tige que d'une seule pièce, parce qu'elle aura plus de solidité.

Au bas de la tige, à 8 centimètres (3 pouces) du toit, est une embase soudée au corps même de la tige ; elle est destinée à rejeter l'eau de pluie qui coulerait le long de la tige,

1. On peut remplacer l'aiguille de platine par une aiguille faite avec l'alliage des monnaies d'argent, qui est composé de 9 parties d'argent et 1 de cuivre.



et à l'empêcher de s'infiltrer dans l'intérieur du bâtiment, et de pourrir les bois de la toiture<sup>1</sup>.

Immédiatement au-dessus de l'embase, la tige est arrondie sur une étendue d'environ 5 centimètres (2 pouces), pour recevoir un collier brisé à charnière, portant deux oreilles, entre lesquelles on serre l'extrémité du conducteur du paratonnerre, au moyen d'un boulon; on voit le plan de ce collier au-dessous de la tige, fig. 23, pl. IV. Au lieu du collier, on peut faire un étrier carré qui embrasse étroitement la tige. Enfin on peut encore, pour diminuer le travail, souder un tenon à la place du collier; mais il faut avoir soin de ne pas affaiblir la tige en cet endroit, qui est celui où elle doit opposer le plus de résistance, et le collier ou l'étrier sont préférables.

La tige du paratonnerre se fixe sur le toit des bâtiments, selon les localités. Si elle doit être posée au-dessus d'une ferme, on perce le faitage d'un trou dans lequel on fait passer le pied de la tige, et on l'assujettit contre le poinçon au moyen de plusieurs brides. Cette disposition est très-solide, et doit être préférée lorsque les localités le permettent.

Lorsqu'on doit fixer la tige sur le faitage, on le perce d'un trou carré de mêmes dimensions que le pied de la tige, et, par dessus et en dessous, on fixe, avec quatre boulons ou deux étriers boulonnés qui embrassent et serrent le faitage, deux plaques de fer de 2 centimètres (9 lignes) d'épaisseur, portant chacune un trou correspondant à celui fait dans le bois. La tige s'appuie, par un petit collet, sur la plaque supérieure, contre laquelle on la presse fortement au moyen d'un écrou se vissant sur l'extrémité de la tige contre la plaque inférieure; mais, si on pouvait s'appuyer

1. Pour faire l'embase, on soude un anneau de fer sur la tige, et on l'étire circulairement sur l'enclume en inclinant ses bords de manière à obtenir un cône tronqué très-aplati.



sur un support, on souderait à la tige deux oreilles qui embrasseraient les faces supérieures et latérales du faitage, et descendraient jusqu'au support, sur lequel on les fixerait au moyen d'un boulon.

Enfin, si le paratonnerre devait être placé sur une voûte, on le terminerait par trois ou quatre empâtements ou par des contre-forts qu'on scellerait dans la pierre, comme d'ordinaire, avec du plomb.

*Du conducteur du paratonnerre.* — Le conducteur du paratonnerre est, comme on l'a dit, une barre de fer partant du pied de la tige et se rendant dans le sol. On donne à cette barre 15 à 20 millimètres (7 à 8 lignes) en carré; mais 15 millimètres (7 lignes) sont réellement suffisants. On la réunit solidement à la tige en la pressant entre les deux oreilles du collier O (fig. 23, pl. IV), au moyen d'un boulon; ou bien on la termine par une fourchette qui embrasse la queue de l'étrier, et on boulonne les deux pièces ensemble.

Le conducteur ne pouvant être d'une seule pièce, on réunit plusieurs barres bout à bout pour le former. La meilleure manière est celle représentée par la figure 21, pl. IV. Il est soutenu à 12 ou 15 centimètres (5 ou 6 pouces), parallèlement au toit, par des crampons à fourche, auxquels, pour empêcher l'infiltration de l'eau par leur pied dans le bâtiment, on donne la forme suivante :

Au lieu de se terminer en pointe, ils ont une patte (fig. 22 et 24) formée par une plaque mince de 25 centimètres de long sur 4 de large, à l'extrémité de laquelle s'élève la tige du crampon, en faisant avec la plaque ou un angle droit (fig. 22), ou un angle égal à celui que forme le toit avec la verticale (fig. 24). La patte se glisse entre les ardoises; mais, pour plus de solidité, on remplace par une lame de plomb l'ardoise sur laquelle elle reposerait, et on cloue ensemble, au-dessus d'un chevron, cette lame et la patte du crampon. Le conducteur est retenu dans chaque fourchette



par une goupille rivée, et les crampons sont placés à environ 3 mètres les uns des autres.

Le conducteur, après s'être replié sur la corniche du bâtiment sans la toucher, s'applique contre le mur le long duquel il doit descendre dans le sol, et se fixe au moyen de crampons que l'on fiche ou que l'on scelle dans la pierre. Arrivé dans le sol, à 50 ou 55 centimètres (18 ou 20 pouces) au-dessous de sa surface, il se recourbe perpendiculairement au mur, se prolonge dans cette nouvelle direction l'espace de 4 à 5 mètres (12 à 15 pieds), et s'enfonce ensuite dans un puits ou dans un trou fait dans la terre, de la profondeur de 4 à 5 mètres (12 à 15 pieds) si l'on ne rencontre pas l'eau, mais à une profondeur moindre si on la rencontre plus tôt.

Le fer enfoncé dans le sol, en contact immédiat avec la terre et l'humidité, se couvre d'une rouille qui gagne peu à peu son centre, et finit par le détruire. On évite cette altération en faisant courir le conducteur dans un auget rempli de charbon. On construit l'auget de la manière suivante :

Après avoir fait une tranchée dans le sol de 55 à 60 centimètres (20 à 22 pouces) de profondeur, on y pose un rang de briques à plat, sur le bord desquelles on en place d'autres de champ; on met une couche de *braise de boulanger* de l'épaisseur de 3 à 4 centimètres (1 à 1 pouce et demi) sur les briques du fond; on pose le conducteur par-dessus; on achève de remplir l'auget de braise, et on le ferme par un rang de briques. La tuile, la pierre ou le bois peuvent également être employés pour former l'auget. On a l'expérience que le fer, ainsi enveloppé de charbon, n'éprouve aucune altération dans l'espace de trente années. Mais le charbon n'a pas seulement l'avantage d'empêcher le fer de se rouiller dans la terre; comme il conduit très-bien la matière électrique quand il a été rougi (et c'est pour cela que nous



avons recommandé d'employer la braise de boulanger), il facilite l'écoulement de la foudre dans le sol.

Le conducteur, sortant de l'auge dont on vient de parler, perce le mur du puits dans lequel il doit descendre, et s'immerge dans l'eau de manière à y rester plongé de 65 centimètres (2 pieds) au moins dans les plus basses eaux. Son extrémité se termine ordinairement par deux ou trois racines, pour faciliter l'écoulement de la matière électrique du conducteur dans l'eau. Si le puits est placé dans l'intérieur du bâtiment, on percera le mur de ce dernier au-dessous du sol, et on dirigera, par l'ouverture qu'on aura faite, le conducteur dans le puits.

Lorsqu'on n'a pas de puits à sa disposition pour y faire descendre le conducteur du paratonnerre, on fait dans le sol, avec une tarière de 13 à 16 centimètres (5 à 6 pouces) de diamètre, un trou de 3 à 5 mètres (9 à 15 pieds) de profondeur; on y fait descendre le conducteur, en le tenant à égale distance de ses parois, et on remplit l'espace intermédiaire avec de la braise que l'on comprime autant que possible. Mais, lorsqu'on voudra ne rien épargner pour établir un paratonnerre, nous conseillons de creuser un trou beaucoup plus large, au moins de 5 mètres de profondeur, à moins qu'on ne rencontre l'eau plus tôt; de terminer l'extrémité du conducteur par plusieurs racines, de les envelopper de charbon si elles ne plongent pas dans l'eau, et d'en entourer de même le conducteur au moyen d'un auge de bois que l'on en emplira.

Dans un terrain sec, comme, par exemple, dans un roc, on donnera à la tranchée qui doit recevoir le conducteur une longueur au moins double de celle qui a été indiquée pour un terrain ordinaire, et même davantage, s'il était possible d'arriver jusque dans un endroit humide. Si les localités ne permettent pas d'étendre la tranchée en longueur, on en fera d'autres transversales, dans lesquelles



on placera de petites barres de fer entourées de braise, que l'on fera communiquer avec le conducteur. Dans tous les cas, l'extrémité de ce dernier doit s'enfoncer dans un large trou, s'y diviser en plusieurs racines, et être recouverte de braise ou de charbon qui aura été rougi.

En général, on doit faire les tranchées pour le conducteur dans l'endroit le plus humide autour du bâtiment, les placer, par conséquent, dans les lieux les plus bas, et diriger au-dessus les eaux pluviales, afin de les tenir dans un état plus constant d'humidité. On ne saurait trop prendre de précautions pour procurer à la foudre un prompt écoulement dans le sol, car c'est principalement de cette circonstance que dépend l'efficacité des paratonnerres.

Les barres de fer qui forment le conducteur présentant, en raison de leur rigidité, quelque difficulté pour leur faire suivre les contours d'un bâtiment, on a imaginé de les remplacer par des cordes métalliques qui, indépendamment de leur flexibilité, ont encore l'avantage d'éviter les raccords et de diminuer les chances de solution de continuité. On réunit quinze fils de fer pour faire un toron, et quatre de ces torons forment la corde, qui alors a 16 à 18 millimètres (7 à 8 lignes) de diamètre. Pour prévenir sa destruction par l'air et l'humidité, chaque toron est goudronné séparément, et la corde l'est ensuite avec beaucoup de soin. On l'attache à la tige du paratonnerre de la même manière que le conducteur fait avec des barres de fer, c'est-à-dire qu'on la pince fortement au moyen d'un boulon entre les deux oreilles d'un collier, qui sont à cet effet un peu concaves et hérissées de quelques pointes pour mieux embrasser et retenir la corde. Les crampons qui la supportent sur le toit, au lieu d'être terminés en fourche, le sont par un anneau O (fig. 24) dans lequel passe la corde. Parvenue à 2 mètres (6 pieds) du sol, on la réunit à une barre de fer de 15 à 25 millimètres (6 à 9 lignes) en carré qui termine le con-



ducteur; car, dans le sol, la corde serait promptement détruite. On assure que des cordes ainsi employées n'ont pas éprouvée d'altérations sensibles pendant trente années. Néanmoins, comme il est incontestable que les barres de fer bien assemblées sont beaucoup moins destructibles, nous conseillons de leur donner la préférence autant qu'on le pourra. Si les localités obligeaient à employer des cordes, on pourrait les faire en fil de cuivre ou de laiton, qui est beaucoup moins destructible, et qui, étant aussi meilleur conducteur, permettrait de ne donner aux cordes que 16 millimètres (6 lignes) de diamètre. C'est surtout pour les clochers que les cordes métalliques peuvent être d'une grande utilité, à cause de la facilité de leur pose.

Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme des pièces métalliques un peu considérables, comme des lames de plomb qui recouvrent le faitage et les arêtes du toit, des gouttières en métal, de longues barres de fer pour assurer la solidité de quelque partie du bâtiment, il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec le conducteur du paratonnerre; mais il suffira d'employer, pour cet objet, des barres de 8 millimètres (3 lignes) de côté, ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion n'avait pas lieu, et que le conducteur renfermât quelque solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très-librement avec le sol, il serait possible que la foudre se portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des parties métalliques. Plusieurs accidents ont eu lieu par cette cause; nous en avons cité deux exemples au commencement de cette instruction<sup>1</sup>.

*Paratonnerres pour les églises.* — Le paratonnerre dont

1. Nous devons plusieurs des détails de construction que nous venons de donner à M. Mérot, habile constructeur de paratonnerres, qui, à notre demande, nous a communiqué avec empressement les résultats de sa pratique.



on vient de donner les détails de construction, et que l'on a pris pour type, est applicable à toute espèce de bâtiments, aux tours, aux dômes, aux clochers et aux églises, avec de très-légères modifications.

Sur une tour, la tige du paratonnerre doit s'élever de 5 à 8 mètres (15 à 24 pieds), suivant l'étendue de sa plateforme; 5 mètres suffiront pour les plus petites, et 8 pour les plus grandes.

Les dômes et les clochers, dominant ordinairement de beaucoup les objets circonvoisins, un paratonnerre placé à leur sommet ne doit pas être très-grand pour étendre son influence au loin, et n'a pas besoin, par conséquent, de s'élever à la même hauteur que sur les édifices terminés par un toit très-étendu. D'un autre côté, l'impossibilité d'établir solidement des tiges de 7 à 8 mètres (21 à 24 pieds) sur les dômes et les clochers, sans des dépenses considérables, doit faire renoncer à en employer dans ces dimensions. Nous conseillons donc, pour ces édifices, et surtout pour ceux dont le sommet est d'un accès difficile, de n'employer que des tiges minces, s'élevant de 1 à 2 mètres (3 à 6 pieds) au-dessus des croix qui les terminent. Ces tiges étant alors très-légères, il sera facile de les fixer solidement à la tête des croix, sans que la forme de ces dernières paraisse altérée de loin, et sans que le mouvement des girouettes qu'elles portent ordinairement en soit gêné.

Nous pensons même que, pour peu qu'on éprouve des difficultés à placer ces tiges sur un dôme ou sur un clocher, on peut les supprimer entièrement. Il suffira, pour défendre ces édifices des atteintes de la foudre, d'établir, comme pour le cas où ils sont armés de tiges, une communication très-intime entre le pied de chaque croix et le sol. Cette disposition, qui est très-peu dispendieuse et qui offre également une très-grande sûreté, sera surtout avantageuse pour les clochers des petites communes rurales.



Quant aux églises, lorsqu'elles ne seront pas protégées par le paratonnerre de leur clocher, il sera nécessaire de les armer avec des tiges de 5 à 8 mètres (15 à 24 pieds) de haut, semblables à celle qui a été décrite pour un édifice aplati.

*Paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières.*— La construction des paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières ne diffère pas essentiellement de celle qui a été décrite comme type pour toute espèce de bâtiment; on doit seulement redoubler d'attention pour éviter la plus légère solution de continuité, et ne rien épargner pour établir entre la tige du paratonnerre et le sol la communication la plus intime. Toute solution de continuité donnant lieu, en effet, à une étincelle, le pulvérin qui voltige et se dépose partout dans l'intérieur et même à l'extérieur de ces bâtiments serait enflammé, et pourrait propager son inflammation jusqu'à la poudre. C'est par ce motif qu'il serait très-prudent de ne point placer les tiges sur les bâtiments mêmes, mais bien sur des mâts qui en seraient éloignés de 2 à 3 mètres. Il sera suffisant de donner aux tiges 2 mètres de longueur; mais on donnera aux mâts une hauteur telle, qu'avec leur tige ils dominent les bâtiments au moins de 4 à 5 mètres. On fera aussi très-bien de multiplier les paratonnerres plus qu'on ne le ferait partout ailleurs; car ici les accidents sont des plus funestes. Si le magasin était très-élevé, comme, par exemple, une tour, les mâts seraient d'une construction difficile et dispendieuse pour leur donner de la solidité: on se contenterait, dans ce cas, d'armer le bâtiment d'un double conducteur, sans tige de paratonnerre, qu'on pourrait faire en cuivre. Ce conducteur, n'étendant pas son influence au delà du bâtiment, ne pourrait attirer la foudre de loin, et il aurait cependant l'avantage de garantir le bâtiment de ses atteintes s'il en était frappé; de sorte que



ceux-là même qui rejettent les paratonnerres parce qu'ils croient qu'ils déterminent la foudre à tomber sur un bâtiment qu'elle eût épargné sans eux, ne pourraient faire aucune objection fondée contre la disposition qui vient d'être indiquée. On pourrait armer d'une manière semblable un magasin ordinaire ou tout autre bâtiment. A défaut de paratonnerres, des arbres élevés, disposés autour des bâtiments à 5 ou 6 mètres de leurs faces, les défendent efficacement de la chute de la foudre.

*Paratonnerres pour les bâtiments de mer.* — Pour un vaisseau, la tige du paratonnerre se réduit à la partie en cuivre AC (pl. IV, fig. 20) qui a été décrite pour le paratonnerre type. Cette tige est vissée sur une verge de fer ronde, qui entre dans l'extrémité de la flèche du mât de perroquet, et qui porte une girouette. Une barre de fer, liée au pied de la verge, descend le long de la flèche et se termine par un crochet ou anneau, auquel s'attache le conducteur du paratonnerre, qui est ici une corde métallique; celle-ci est maintenue, de distance en distance, par un cordage, et, après avoir passé dans un anneau fixé au porte-hauban, elle se réunit à une barre ou plaque de métal qui communique avec le doublage en cuivre du vaisseau. Sur les bâtiments de peu de longueur, on n'établit ordinairement qu'un paratonnerre au grand mât; sur les autres, on en met un second au mât de misaine.

*Disposition générale des paratonnerres sur un édifice.* — On admet, d'après l'expérience, qu'une tige de paratonnerre protège efficacement contre la foudre autour d'elle un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. Ainsi, d'après cette règle, un bâtiment de 20 mètres (60 pieds) en long ou en carré n'aurait besoin, pour être défendu, que d'une seule tige de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, élevé sur le milieu de son toit.

Un bâtiment de 40 mètres (120 pieds), d'après la même



règle, serait défendu par une tige de 10 mètres (30 pieds), et on en place effectivement de semblables; mais il serait préférable, au lieu d'une seule tige, d'en élever deux de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, et de les disposer de manière que l'espace autour d'elles fût également protégé de toute part, ce à quoi on parviendrait en les plaçant, chacune, à 10 mètres (30 pieds) de l'extrémité du bâtiment, et par conséquent à 20 mètres (60 pieds) l'une de l'autre. Pour trois ou un plus grand nombre de paratonnerres, on suivrait la même règle.

Les paratonnerres des tours et des clochers, en raison de leur grande élévation, doivent certainement étendre leur sphère d'action plus loin que s'ils étaient moins élevés, mais cette action s'étend-elle, comme on l'a supposé pour des tiges de 5 à 10 mètres, à une distance double de hauteur de la pointe au-dessus des objets qu'ils dominent? Il est possible qu'elle s'étende même plus loin; mais l'expérience ne nous ayant encore rien appris à cet égard, il sera prudent de disposer les paratonnerres des églises, dans l'hypothèse qu'ils ne protégeront efficacement autour d'eux qu'un espace d'un rayon égal à leur hauteur au-dessus du faitage du toit de ces églises. Ainsi le paratonnerre d'un clocher, s'élevant de 30 mètres au-dessus du toit d'une église, ne la défendrait plus à 30 mètres de l'axe du clocher; et, si le toit s'étendait au delà, il serait nécessaire d'y placer des paratonnerres, d'après la règle que nous avons prescrite pour les édifices peu élevés.

*Disposition générale des conducteurs des paratonnerres.*— Quoique nous ayons déjà beaucoup insisté sur la condition d'établir une communication très-intime entre les tiges des paratonnerres et le sol, son importance nous détermine à la rappeler encore. Elle est telle que, si elle n'était pas remplie, non-seulement les paratonnerres perdraient beaucoup de leur efficacité, mais même ils pourraient devenir



dangereux, en appelant la foudre sur eux, quoique dans l'impuissance de la conduire dans le sol. Les autres conditions dont il nous reste à parler sont, sans doute, moins essentielles que cette dernière, mais elles n'en méritent pas moins qu'on y ait égard.

On doit toujours faire parvenir la foudre depuis la tige du paratonnerre jusque dans le sol par la voie la plus courte.

Conformément à ce principe, lorsqu'on placera deux paratonnerres sur un édifice et qu'on leur donnera un conducteur commun, ce qui est, en effet, suffisant, on fera concourir en un point sur le toit, à égale distance de chaque tige, les portions des conducteurs qui ne peuvent être communes; et, à partir de ce point, une barre de fer, de la même dimension que pour un seul paratonnerre, servira de conducteur aux deux.

Lorsqu'on aura trois paratonnerres sur un édifice, il sera prudent de leur donner deux conducteurs. En général, chaque paire de paratonnerres exige un conducteur particulier.

Quel que soit le nombre des paratonnerres placés sur un édifice, on les rendra tous solidaires, en établissant une communication intime entre les pieds de toutes leurs tiges, au moyen de barres de fer de mêmes dimensions que celles des conducteurs.

Lorsque les localités le permettront, on placera les conducteurs sur les murs des bâtiments qui font face au côté d'où viennent le plus fréquemment les orages dans chaque lieu. En effet, ces murs, étant exposés à être mouillés par la pluie, deviennent des conducteurs, imparfaits sans doute, en raison de la mince nappe d'eau qui les couvre; et, si le conducteur du paratonnerre n'était pas en communication intime avec le sol, il serait possible que la foudre l'abandonnât pour se précipiter sur la face mouillée. Un autre



motif encore, c'est que la direction de la foudre peut être déterminée par celle de la pluie, et qu'en outre la face mouillée peut, comme conducteur, appeler la foudre de préférence au paratonnerre. C'est surtout pour les clochers que cette observation est importante et qu'il est nécessaire d'y avoir égard.

*Observations sur l'efficacité des paratonnerres.* — Une expérience de cinquante années sur l'efficacité des paratonnerres démontre que, lorsqu'ils ont été construits avec les soins convenables, ils garantissent de la foudre les édifices sur lesquels ils sont placés. Dans les États-Unis d'Amérique, où les orages sont beaucoup plus fréquents et plus redoutables qu'en Europe, leur usage est devenu populaire; un très-grand nombre de bâtiments ont été foudroyés, et l'on en cite à peine deux qu'ils n'aient pas mis entièrement à l'abri des atteintes de la foudre. Tout le monde sait que les parties métalliques sur un édifice sont frappées de préférence par la foudre, et ce fait seul démontre l'efficacité des paratonnerres, qui ne sont que des barres métalliques disposées de la manière la plus avantageuse, d'après les connaissances acquises sur la matière électrique par la théorie et l'expérience. La crainte d'une chute plus fréquente de la foudre sur les édifices armés de paratonnerres n'est pas fondée, car leur influence s'étend à une trop petite distance pour qu'on puisse croire qu'ils déterminent la foudre d'un nuage à se précipiter dans le lieu où ils sont établis. Il paraît, au contraire, certain, d'après l'observation, que les édifices armés de paratonnerres ne sont pas foudroyés plus fréquemment qu'avant l'établissement de ces appareils. D'ailleurs, la propriété d'un paratonnerre d'attirer plus fréquemment la foudre supposerait aussi celle de la transmettre librement dans le sol, et dès lors il ne pourrait en résulter aucun inconvénient pour la sûreté des édifices.

Nous avons recommandé l'usage des pointes aiguës pour



les paratonnerres, parce qu'elles ont l'avantage, sur les barres arrondies à leur extrémité, de verser continuellement dans l'air, sous l'influence du nuage orageux, un torrent de matière électrique de nature contraire à la sienne, qui doit très-probablement se diriger vers celle du nuage et en partie la neutraliser. Cet avantage n'est point du tout à négliger; car il suffit de connaître le pouvoir des pointes, et les expériences de Charles et de Romas avec un cerf-volant sous un nuage orageux, pour rester convaincu que les paratonnerres en pointe, s'ils étaient multipliés et placés sur des lieux élevés, diminueraient réellement la matière électrique des nuages et la fréquence de la chute de la foudre sur la surface de la terre.

Cependant, lorsque la pointe d'un paratonnerre aura été émoussée par la foudre ou par une cause quelconque, il ne faudra pas croire, parce qu'elle aura perdu l'avantage dont on vient de parler, qu'elle ait aussi perdu son efficacité pour protéger le bâtiment qu'elle est destinée à défendre. Le docteur Rittenhouse rapporte qu'ayant souvent examiné et passé en revue, avec un excellent télescope de réflexion, les pointes des paratonnerres de Philadelphie, où ils sont en grand nombre, il en a vu beaucoup dont les pointes étaient fondues, mais qu'il n'a jamais appris que les maisons où ces paratonnerres étaient établis eussent été frappées de la foudre depuis la fusion de leurs pointes. Or cela n'aurait pas manqué d'arriver à quelques-unes, au moins au bout d'un certain temps, si leurs paratonnerres n'avaient pas continué de bien remplir leurs fonctions; car on sait, par nombre d'observations, que, lorsque le tonnerre est tombé en quelque endroit, il n'est pas rare de l'y voir retomber encore.

Pour que le fruit que l'on doit retirer de l'établissement des paratonnerres soit aussi grand que possible, et que l'on puisse profiter de l'expérience acquise sur une localité



pour la faire tourner à l'avantage général, nous formons le vœu que Son Excellence le ministre de l'intérieur, après avoir ordonné l'exécution d'une mesure réclamée depuis longtemps et dont elle sent toute l'utilité, invite les autorités locales à lui transmettre fidèlement tous les renseignements relatifs à la chute de la foudre sur un édifice armé de paratonnerres. Ces renseignements seraient la source d'améliorations importantes, et contribueraient, en faisant connaître les avantages d'un préservatif aussi simple et aussi sûr, à en rendre l'adoption plus générale.

*Deuxième instruction sur les paratonnerres, rédigée par M. Pouillet.* — En 1823, l'Académie des sciences avait chargé la section de physique de rédiger une instruction spéciale sur les paratonnerres; M. Gay-Lussac fut choisi pour préparer ce travail, et son rapport reçut bientôt l'approbation de la section et celle de l'Académie. Depuis cette époque, l'instruction sur les paratonnerres est devenue en quelque sorte un manuel populaire par la grande publicité qu'on lui a donnée de toutes parts. En France, l'administration supérieure, qui avait demandé ce document, s'empressa de le répandre dans toutes les parties des services publics, afin que peu à peu on parvint à protéger plus méthodiquement, contre les effets de la foudre, les cathédrales et les églises, si souvent menacées à cause de leurs dispositions architecturales, les fabriques de poudre, les magasins et les arsenaux, les bâtiments à voile ou à vapeur, enfin les édifices de toute espèce et les habitations privées. A l'étranger, ces préceptes généraux et pratiques, approuvés par l'Académie, furent de même accueillis avec empressement et confiance.

Il y a maintenant un siècle que pour la première fois on essaya les paratonnerres; mais leur efficacité ne pouvait pas être admise sans contradiction: les ignorants ne pouvaient pas croire que quelques baguettes de fer, ajustées



d'une certaine manière, fussent capables de maîtriser la puissance de la foudre ; et, parmi les savants, il se trouva aussi, sur ce point, bon nombre d'incrédules. De longues épreuves étaient donc nécessaires pour faire prévaloir cette vérité qui avait contre elle tout le monde, hormis Franklin et quelques physiciens d'Europe. Les contradicteurs scientifiques ne se bornaient pas à dire que les paratonnerres étaient inutiles ; ils trouvaient des raisons de croire et de faire croire au public que les paratonnerres étaient nuisibles ; que, loin d'arrêter la foudre, leur présence en pouvait déterminer l'explosion et la rendre plus funeste. Ainsi, au lieu de rassurer les esprits, on ajoutait encore à la terreur si naturelle qu'inspire ce double météore.

Ces objections n'ont pas empêché la vérité de se faire jour, mais elles en ont retardé le développement ; elles sont bien vieilles aujourd'hui, bien timides à se montrer ; cependant elles agissent encore, on les rencontre de temps à autre, sinon dans le chemin de la science, du moins dans quelques sentiers voisins. L'instruction publiée en 1823 n'a pas peu contribué à les affaiblir, non-seulement à cause de l'autorité que lui donnait le suffrage de l'Académie, mais encore par les règles pratiques qu'elle indiquait et qu'elle expliquait d'une manière si claire et si précise, qu'il n'y avait plus moyen de les mal interpréter. Les ouvriers eux-mêmes, avec un peu d'attention, parvenaient à comprendre ce qu'ils avaient à faire, et dès lors on n'avait plus à craindre dans la pose des paratonnerres ces erreurs qui auparavant étaient assez communes et qui suffisaient pour en paralyser l'efficacité.

Depuis trente et un ans de grands changements sont survenus, d'une part dans la science de l'électricité, d'autre part dans l'art des constructions, et l'on pourrait croire que les enseignements donnés à cette époque sur le sujet qui nous occupe sont aujourd'hui trop arriérés, qu'il faut



les faire passer dans le domaine de l'histoire, et les recommander sur de nouvelles bases. Mais les sciences ne procèdent pas ainsi, elles aiment les progrès, chaque jour elles en donnent la preuve, et cependant il est rare qu'elles aient à démolir; les agents naturels restent fidèles à leurs lois, l'action de l'électricité est aujourd'hui ce qu'elle fut toujours, seulement nous la connaissons un peu mieux; les faits observés de notre temps sont venus s'ajouter aux faits antérieurs sans leur porter la moindre atteinte. En 1823, la découverte de l'électro-magnétisme n'avait que trois ans de date; on était loin de prévoir les grands résultats dont elle devait si rapidement enrichir la science; cependant, malgré ces progrès considérables, inespérés, l'instruction sur les paratonnerres n'a aucun besoin d'être réformée, du moins dans ses principes les plus essentiels. Pour ce qui tient à la nature des constructions, c'est un élément nouveau dont il faut tenir compte: en effet, dans un grand nombre de cas, les métaux remplacent aujourd'hui la pierre et le bois; nos édifices deviennent, en quelque sorte, des montagnes métalliques sur lesquelles les nuages orageux ont incomparablement plus de prise. Le palais de l'Industrie, qui s'élève aux Champs-Élysées, en est un exemple; il occupe près de 3 hectares qu'il va couvrir d'une immense construction ayant 40 mètres de hauteur, où il entre partout, depuis la base jusqu'au sommet, des masses énormes de fer, de fonte et de zinc. La compagnie qui a entrepris ce grand monument a désiré obtenir l'avis de l'Académie sur l'ensemble des moyens qu'il y aurait à employer pour le garantir des effets de la foudre. L'Académie a chargé la section de physique d'examiner cette demande et de lui en faire un rapport; à cette occasion, nous avons dû reprendre l'instruction de 1823, afin d'y introduire les modifications dont elle pourrait être susceptible.

C'est seulement d'une manière accidentelle que l'instruc-



tion s'occupe des édifices où il entre des métaux ; le seul passage qui s'y rapporte est le suivant :

« Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme  
 « des pièces métalliques un peu considérables , comme des  
 « lames de plomb qui recouvrent le faitage et les arêtes du  
 « toit, des gouttières en métal, de longues barres de fer  
 « pour assurer la solidité de quelques parties du bâtiment,  
 « il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec  
 « le conducteur du paratonnerre ; mais il suffira d'employer,  
 « pour cet objet, des barres de 8 millimètres (3 lignes) de  
 « côté, ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion  
 « n'avait pas lieu, et que le conducteur renfermât quelque  
 « solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très-  
 « librement avec le sol, il serait possible que la foudre se  
 « portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des  
 « parties métalliques. Plusieurs accidents ont eu lieu par  
 « cette cause ; nous en avons cité deux exemples au com-  
 « mencement de cette instruction. »

Telles sont les indications qui avaient été données : bien qu'elles soient très-générales et peut-être un peu succinctes, elles pouvaient être suffisantes pour leur époque ; mais nous pensons que le moment est venu d'entrer, à cet égard, dans de plus amples détails.

Autrefois, dans les constructions ordinaires, l'emploi des métaux était, en effet, restreint presque exclusivement aux faitages, aux gouttières, aux tirants de consolidation ; ce n'était que bien rarement, et comme par exception, que l'on rencontrait, soit une couverture de plomb, de cuivre ou de zinc, tandis que maintenant le métal prédomine de plus en plus ; on le met partout, et, ce qui est un point important, on le met en grandes superficies et en grandes masses : couvertures de métal, charpentes de métal, poutres de métal, croisées de métal, colonnes de métal, et et quelquefois peut-être murailles de métal. Alors les



nuages orageux décomposent, par influence, des quantités d'électricité décuples et centuples de celles qu'ils aaraient décomposées sur les corps moins bons conducteurs, comme l'ardoise ou la brique, le bois, la pierre, le plâtre, le mortier et tous les anciens matériaux de construction. Ce nouveau système réalise donc sur une immense échelle ce que l'on objectait d'abord aux paratonnerres : il attire la foudre.

Quand l'objection s'appliquait aux paratonnerres, elle n'avait qu'une apparence de vérité ; car il est vrai que le paratonnerre attire la foudre, mais il est vrai aussi que, obéissant aux lois qu'elle a reçues, elle lui arrive en général, sans bruit, sans éclat, et toujours infailliblement domptée et docile, ayant perdu toute sa puissance originale de destruction. Quand l'objection, au contraire, s'applique à ces amas de substances métalliques qui entrent dans nos constructions actuelles, elle n'est pas seulement spécieuse, elle est juste, profondément juste, fondée sur les lois les mieux établies : ces constructions attirent, en effet, la foudre, et rendent ses coups plus désastreux.

Deux édifices, pareils pour la grandeur et la forme, étant situés sur le même sol et disposés de la même manière par rapport à un nuagé orageux, l'un construit en pierre et bois d'après l'ancien système, l'autre en pièces métalliques d'après le nouveau, si les paratonnerres manquent, et que les conditions soient telles que la foudre doive éclater, elle frappera toujours ce dernier et jamais le premier, celui-ci se trouvant protégé par son voisin, dont les fluides sont influencés plus vivement. Il arriverait là ce qui arrive quand on présente en même temps aux conducteurs d'une machine électrique, à la même distance et de la même manière, une boule de pierre ou de bois et une boule de métal ; c'est toujours celle-ci qui reçoit l'étincelle dès qu'on l'approche assez près pour qu'elle éclate. Les paratonnerres sont donc d'autant plus indispensables que les édi-



fices contiennent de plus grandes superficies et de plus grands volumes de substances métalliques.

— Pour se faire une idée juste de toutes les causes qui concourent à l'explosion de la foudre, il ne faut pas considérer seulement les constructions, et en général tous les objets qui s'élèvent au-dessus du sol; il faut tenir compte encore du sol lui-même et de toutes les substances qui le constituent depuis sa surface jusqu'à de grandes profondeurs dans les entrailles de la terre. Un sol aride, composé d'une couche mince de terre végétale, sous laquelle se trouvent d'épaisses formations de sables secs, de calcaire ou de granit, n'attire pas la foudre, parce qu'il n'est pas conducteur de l'électricité; s'il est exposé à ses coups, ce n'est qu'accidentellement après les pluies qui en ont imbibé la surface. Là, les bâtiments participent, jusqu'à un certain point, au privilège du sol, à moins qu'ils ne soient construits dans le nouveau système et qu'ils n'occupent une étendue assez considérable. Mais sous ce sol aride et sec y a-t-il, à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, de grands gisements métalliques, de vastes cavernes, des nappes d'eau ou seulement des fontaines abondantes, les nuages orageux exercent leur action sur ces matières conductrices, la foudre est attirée, elle éclate en franchissant l'intervalle; la croûte sèche n'est pas un obstacle insurmontable, elle peut être percée, fouillée, fondue, à peu près comme l'est une couche de vernis par l'étincelle électrique. Alors, malheur aux constructions qui se trouvent sur son passage; fussent-elles de pierre ou de bois, elles sont brisées comme le reste, à moins qu'elles n'aient à opposer pour défense un paratonnerre bien établi. Si ces couches humides ou métalliques se trouvent cachées à des profondeurs plus grandes, le danger de l'explosion diminue par deux causes: d'une part, l'enveloppe qui les couvre devient plus difficile à traverser; d'une autre part, l'action des nuages s'affaiblit par



l'augmentation de la distance. On peut citer, en preuve, les vallées étroites qui ont quelques centaines de mètres de profondeur : la foudre n'y pénètre jamais ; elle peut frapper les crêtes des collines, mais il est sans exemple qu'elle soit descendue jusqu'aux habitations, aux arbres ou aux ruisseaux qui en occupent les parties basses. Ces faits constants donnent en quelque sorte la mesure de l'accroissement de distance aux nuages qui est nécessaire pour être à l'abri du danger.

Il importe de bien remarquer que jamais la foudre ne s'élançe sans savoir où elle va, que jamais elle ne frappe au hasard ; son point de départ et son point d'arrivée, qu'ils soient simples ou multiples, se trouvent marqués d'abord par un rapport de tension électrique, et au moment de l'explosion, le sillon de feu qui les unit, allant à la fois de l'un à l'autre, commence en même temps par ses deux extrémités. Les herbes, les buissons, les arbres même sont des objets trop petits pour la foudre, ils ne peuvent pas être son but ; s'ils sont frappés c'est parce qu'ils se trouvent sur son chemin, c'est parce qu'il y a, au-dessous d'eux, des masses conductrices plus étendues qui sont le but caché d'attraction, qui reçoivent au large l'influence et déterminent l'explosion.

Ainsi les lieux les plus exposés sont les lieux qui, étant les plus rapprochés des nuages, sont en même temps découverts, humides et bons conducteurs ; les arbres élevés sur les sommets des coteaux sont soumis à la première condition, les vaisseaux au milieu de la mer sont soumis à la seconde, et il se peut trouver à une hauteur moyenne des localités qui tiennent assez de l'une et de l'autre pour recevoir à la fois les coups les plus fréquents et les plus terribles, car le coup d'un même nuage orageux peut être fort ou faible, suivant l'étendue grande ou petite du corps conducteur qui le fait éclater.



Nous citerons ici quelques faits qui nous paraissent propres à faire mieux comprendre ces principes généraux, et en même temps à justifier les modifications que nous avons à proposer dans la construction du paratonnerre.

Le 19 avril 1827, le paquebot le *New-York*, de 520 tonneaux, venant de New-York à Liverpool, reçut deux coups de foudre; il était alors par 38 degrés de latitude nord et 63 degrés de longitude occidentale, par conséquent à 600 kilomètres des terres les plus voisines.

Au premier coup, n'ayant point de paratonnerre, il eut à éprouver de graves dégâts, comme on en peut juger par ce seul fait bien digne de remarque : un tuyau de plomb communiquant du cabinet de toilette à la mer fut mis en fusion; il avait cependant *huit centimètres* de diamètre et *treize millimètres* d'épaisseur.

Au deuxième coup, le paratonnerre était établi; il se composait d'une baguette de fer conique ayant 1<sup>m</sup>,20 de longueur, 11 millimètres de diamètre à la base, et d'une chaîne d'arpenteur longue d'environ 40 mètres, établissant la communication entre la mer et le pied du paratonnerre. Cette chaîne était faite avec du fil de fer de 6 millimètres de diamètre; les chaînons avaient 45 centimètres de longueur, terminés en boucles; aux deux bouts, ils étaient réunis par des anneaux ronds.

A l'instant de l'explosion, tout le bâtiment fut éclairé d'une vive lumière; en même temps la chaîne était dispersée de toutes parts en fragments brûlants ou en globules enflammés; le paratonnerre lui-même était fondu sur une longueur de 30 centimètres à partir de la pointe, la fusion s'arrêtant au diamètre de 6 millimètres. Ces globules de fer en combustion, gros comme des balles, mettaient le feu sur le pont en cinquante endroits, malgré une couche de grêle qui le couvrait, malgré la pluie qui tombait à flots. Le reste du paratonnerre était en place,



avec un bout de chaînon de 8 centimètres, et le plus gros fragment de la chaîne retrouvé sur le pont n'avait pas 1 mètre de longueur; il portait des boursoufflures qui accusaient l'action du feu.

A ce premier fait nous en joindrons un second plus récent; nous l'empruntons encore aux événements de la mer, parce qu'en général ils sont décrits, à l'instant même et avec précision, par des hommes qui ont l'habitude d'observer. Celui-ci est extrait de la relation que M. le ministre de la marine a adressée dernièrement à l'Académie des sciences.

Le 13 juin 1854, dans la baie de Baltchick, à sept heures du soir, le tonnerre est tombé sur le vaisseau à deux ponts *le Jupiter*, faisant partie de l'escadre de la mer Noire.

Les chaînes des paratonnerres étaient en place; celle du grand mât, qui a reçu le coup, plongeait dans la mer de 2 mètres, portant à son extrémité un boulet de 2 kilogrammes.

Au moment de l'explosion, on a vu une vive lumière; l'intensité du bruit et les tourbillons de fumée ont fait supposer d'abord que c'était un coup de canon parti de l'une des batteries, mais l'erreur n'a duré qu'un instant; la chaîne du paratonnerre avait disparu, on en voyait partout les débris; le gaillard d'arrière, la dunette, le porte-hauban en étaient couverts; plusieurs hommes de l'équipage en avaient reçu dans leurs vêtements, trois d'entre eux en étaient légèrement blessés.

Cette chaîne, d'environ 70 mètres de longueur, qui descendait du pied du paratonnerre jusqu'à la mer, en suivant d'abord la flèche du cacatois, puis en passant dans de larges anneaux de cuivre le long du galhauban de perroquet, n'était autre chose qu'un câble à trois torons, formé en tout d'une soixantaine de fils de laiton: chacun pouvait avoir d'un demi à deux tiers de millimètre d'épaisseur.



La foudre en avait fait des milliers de morceaux plus petits que des épingles; cependant, au milieu de cet amas de fragments épars, on trouvait encore, çà et là, quelques bouts du câble lui-même; ceux-ci avaient tout au plus quelques décimètres de longueur; on voyait à leur surface ces couleurs violettes que le feu donne au métal, et en effet les premiers qu'on a touchés étaient encore brûlants.

Ces deux exemples suffisent pour faire connaître que, dans quelques circonstances, un paratonnerre peut être foudroyé; mais ils font connaître aussi que, même dans ce cas, le paratonnerre n'est pas absolument inutile, puisqu'il reçoit la décharge, puisqu'il la dirige encore, et, par là, détourne les coups qui, en tombant à côté de lui, auraient fait sans doute beaucoup plus de mal.

En définitive, *le Jupiter* n'a eu aucune avarie, tandis que, non loin de lui, d'après la même relation, un vaisseau turc qui avait aussi un paratonnerre, mais dont la chaîne n'était pas à l'eau, ayant reçu pareillement un coup de foudre pendant le même orage, a eu dans son flanc, un peu au-dessus du cuivre et près de la flottaison, un trou de plus de 30 centimètres de profondeur, et tel à peu près qu'aurait pu le faire un boulet de canon.

Cependant un paratonnerre, au lieu d'inspirer la confiance, ferait naître des craintes trop légitimes si, lorsqu'il est bien établi et en bon état, il y avait la moindre probabilité qu'il pût être ainsi frappé, rompu en pièces brûlantes, et lancé au loin comme une mitraille ou comme une pluie de feu.

La question est donc de savoir si de tels accidents sont inévitables, s'ils tiennent essentiellement à la nature des choses, ou s'ils dépendent seulement de quelques vices de construction particuliers aux appareils dont un seul éclat de tonnerre fait tant de débris.

Or les faits que nous venons de rapporter, et tous les au-



tres faits plus ou moins analogues que l'on pourrait trouver dans l'histoire de la foudre et de ses phénomènes si souvent extraordinaires, ne laissent aucun doute sur ce point; tous les paratonnerres qu'elle a détruits étaient de mauvais appareils, insuffisants, mal construits, non conformes aux principes que la théorie a pu déduire de l'expérience. Ce n'est pas que le paratonnerre soit fait pour n'être jamais foudroyé; au contraire, il est fait pour l'être souvent, mais pour l'être à sa manière, et pour résister toujours aux coups les plus violents.

Examinons, en effet, les appareils du *New-York* et du *Jupiter*.

Le paratonnerre du *New-York* avait plusieurs vices de construction : sa tige était trop mince et trop effilée; son conducteur était d'une section beaucoup trop petite; de plus, la forme de chaîne n'est jamais admissible, elle doit être exclue très-sévèrement de tout emploi de cette nature. En voici les raisons : les anneaux ne se touchent qu'imparfaitement, à cause des altérations du métal et des souillures diverses qui s'y attachent; et, en admettant même que les surfaces des points de contact soient bien nettes et métalliques, il arrive toujours qu'elles sont trop étroites, et qu'une faible décharge, resserrée sur ces points, suffit pour y mettre le fer en fusion et en combustion.

La nature de ces défauts indique la nature du remède; seulement on pourrait craindre qu'il ne fallût porter la section des tiges et celle des conducteurs à de telles dimensions, que l'établissement d'un bon paratonnerre ne fût une chose très-difficile et à peu près impraticable dans un grand nombre de cas. Ces craintes sembleraient même justifiées par la première décharge électrique qui tomba sur le *New-York*, puisqu'elle fut capable d'y fondre un tuyau de plomb qui avait une section métallique de près de 30 centimètres carrés. Mais ce fait ne prouve rien autre chose que ce qui



était déjà parfaitement prouvé par les expériences de laboratoire, savoir : que le plomb est le plus mauvais métal que l'on puisse employer comme conducteur de paratonnerre, parce qu'il est trop fusible et trop mauvais conducteur de l'électricité. Ces mêmes expériences indiquent qu'il faut, au contraire, choisir le fer et le cuivre rouge : alors on arrive à des dimensions éminemment praticables et à des prix de revient qui n'ont rien d'exorbitant. Il n'y a pas d'exemples qui montrent que la foudre ait jamais été capable de mettre en fusion des tringles de fer de deux centimètres de diamètre ou 3 centimètres carrés de section, et, bien que le cuivre rouge soit beaucoup plus fusible que le fer, il peut être employé en dimensions encore plus réduites, parce qu'il est, avec l'or, l'argent et le palladium, parmi les meilleurs conducteurs des fluides électriques.

Le paratonnerre du *Jupiter*, quoique mieux établi que le précédent, avait aussi un vice radical de construction. Nous ne dirons rien de la tige, faute de détails suffisants sur les modifications que la décharge a pu y produire; on se borne à dire qu'elle a été tordue; nous ne parlerons que du câble de fil de laiton qui formait le conducteur. Nous avons dit quels phénomènes singuliers de brisement et de projection il a présentés; on peut se rendre compte de ces effets de la manière suivante; on peut croire d'abord qu'il avait simplement une section trop petite, et qu'il a été dispersé par cette cause à peu près comme la chaîne du *New-York*; car il a été bien démontré par Van-Marum, en 1787, que le laiton jouit particulièrement de la propriété d'être brisé en mille pièces par une décharge électrique. Cependant les nombreux fragments du câble qui nous sont parvenus, et que nous avons pu examiner sous tous les aspects, ne portent que quelques traces de fusion; de plus, il arrive qu'aucune de ces traces ne s'étend à l'épaisseur entière du



câble, toutes sont limitées à un groupe de quelques-uns des soixante fils qui le constituent. Cette circonstance nous semble démontrer que la décharge ne s'est pas propagée également par tous les fils, que ceux qu'elle a suivis étant insuffisants pour la transmettre, ont dû être, les uns fondus, les autres brisés ou volatilisés avec cette vive explosion qui accompagne toujours les volatilisations électriques. De là cette rupture du câble et cette projection en fragments de quelques décimètres de longueur qui, brûlants à la main, n'étaient pas cependant chauffés au point d'enflammer le bois et les autres corps combustibles.

Cette explication, toutefois, soulève une question singulière, la question de savoir si, dans un câble de fils pareils, réunis et tordus ensemble, la foudre peut, en effet, choisir quelques fils de préférence au reste, surtout quand leur entière réunion est à peine suffisante pour lui donner un libre passage. Nous n'hésitons pas à répondre affirmativement, du moins sous certaines conditions. Sans doute, si aux deux extrémités du câble, sur une longueur d'environ 1 décimètre, les fils, d'abord étamés séparément, étaient ensuite soudés ensemble pour former, en quelque sorte, un cylindre métallique, jamais il n'arriverait que l'électricité naturelle ou artificielle, ayant à circuler dans la longueur entière du câble, montrât quelque préférence pour l'un ou pour l'autre de ces fils pareils : devenus solidaires, ils subiraient la même loi, ils résisteraient ensemble, ils seraient fondus, volatilisés ensemble. Mais si cette condition n'est pas remplie, si aux deux extrémités, ou plus généralement aux deux points de jonction avec les autres conducteurs, les fils se trouvent isolés entre eux par des couches de poussière ou d'oxyde; si, de plus, le câble ne touche ces conducteurs que par ces fils superficiels, alors les choses se passent tout autrement : les fils ne sont plus égaux ni solidaires, l'électricité choisit ou plutôt elle prend



ceux qui sont en contact avec les conducteurs, et que la torsion du câble amène tantôt à la surface, tantôt au centre du faisceau; ces fils, réduits en petit nombre, deviennent incapables de supporter l'effort, et le câble entier, brisé par l'explosion, présente infailliblement tous les phénomènes qui se sont produits à bord du *Jupiter*, et qui ont été bien décrits par le commandant M. Lugeol.

Ces imperfections graves que nous venons de signaler dans deux paratonnerres foudroyés, bien qu'elles soient différentes à quelques égards, remontent cependant à la même origine et dépendent de la même cause : *l'insuffisance de section*. Dans le premier, cette insuffisance est apparente et en quelque sorte constitutive : un fil de fer de 6 millimètres d'épaisseur ne présente qu'une section neuf ou dix fois trop petite; dans le second, cette insuffisance est plutôt cachée et accidentelle, parce qu'elle résulte de jonctions mal faites. C'est sur ce dernier point que nous devons surtout appeler l'attention.

Les deux règles les plus fondamentales de la construction du paratonnerre et de ses conducteurs sont :

- 1° Qu'ils aient partout une section suffisante ;
- 2° Qu'ils soient continus et sans lacune depuis la pointe de la tige jusqu'au réservoir commun.

Mais il faut bien expliquer ce que doit être cette continuité, car on peut, à la rigueur, l'entendre de deux manières : on peut admettre que deux pièces de métal qui se touchent forment un ensemble assez continu pour l'électricité; on peut admettre, au contraire, que le plus souvent ce simple contact est l'équivalent d'une lacune, à cause de l'oxydation qui se produit avec le temps et des corps étrangers qui se déposent entre les surfaces.

L'instruction de 1823, sans avoir adopté la première opinion, nous paraît n'avoir pas assez recommandé la seconde, qui, à notre avis, doit être exclusivement mise en



pratique dans tout ce qui appartient aux paratonnerres.

Nous ne nierons pas, sans doute, qu'en multipliant les précautions et les soins on ne puisse parvenir à joindre et à boulonner deux pièces de fer ou de cuivre assez étroitement pour qu'elles offrent au fluide électrique un assemblage véritablement continu; mais, quand les joints doivent se multiplier, nous craignons quelques négligences des ouvriers, et par-dessus tout nous craignons les altérations chimiques des surfaces, les dépôts des diverses matières étrangères, enfin les dislocations mécaniques qui se produisent aussi avec le temps et par des secousses répétées. En conséquence, nous regardons comme indispensables les deux règles pratiques suivantes :

*Première règle.* — Réduire autant que possible le nombre des joints sur la longueur entière du paratonnerre, depuis la pointe jusqu'au réservoir commun.

*Deuxième règle.* — Faire, au moyen de la soudure à l'étain, tous ceux de ces joints qu'il est nécessaire de faire sur place, soit à cause de la forme, soit à cause de la longueur des pièces.

Ces soudures à l'étain, qui devront toujours se faire sur des surfaces ayant au moins 10 centimètres carrés, seront, en outre, consolidées par des vis, des boulons ou des manchons.

Ces précautions nous semblent commandées par la prudence, surtout pour les édifices où il entre beaucoup de métal, pour ceux qui sont placés sur un vaste sol bon conducteur, enfin pour les bâtiments de mer, parce que ce sont là, comme nous l'avons dit, les conditions qui donnent, pour un même nuage orageux, les flux électriques les plus considérables.

*Troisième règle.* — Une troisième règle, à laquelle nous attachons aussi de l'importance, est de ne pas amincir, autant qu'on le fait en général, le sommet de la tige du



paratonnerre. A notre avis, l'extrémité supérieure du fer ne doit pas avoir moins de 3 centimètres carrés de section, par conséquent 2 centimètres de diamètre : on y fera à la lime et dans l'axe un cylindre ayant 1 centimètre de diamètre et 1 centimètre de hauteur, qui sera ensuite taraudé ; sur cette vis saillante on adaptera un cône de platine de 2 centimètres de diamètre à la base et d'une hauteur double, c'est-à-dire de 4 centimètres ; l'angle d'ouverture à la pointe aiguë étant ainsi de 28 à 30° ; ce cône de platine, d'abord plein, sera creusé et taraudé pour faire écrou sur la vis, ensuite il sera soigneusement soudé au fer, à la soudure forte, pour composer avec lui un tout continu et sans vides.

Indiquons les raisons de ce changement.

Quelque grand que soit un nuage orageux, quelque considérable que puisse être son intensité électrique, il est certain que, s'il était assez loin du paratonnerre et que s'il s'en approchait assez lentement, il n'y aurait aucune explosion de la foudre : le paratonnerre exercerait d'une manière efficace son *action préventive* ; sans neutraliser complètement la puissance électrique du nuage, il la réduirait dans une énorme proportion ; et, dans ce cas, il ne protégerait pas seulement un cercle restreint autour de lui, il aurait, de plus, protégé par anticipation, dans une certaine mesure, tous les objets au-dessus desquels ce nuage doit passer dans sa course ultérieure. C'est pour augmenter encore cette action préventive si remarquable que nous donnons au paratonnerre, dans toute sa longueur, cette continuité métallique absolue qui la favorise à un haut degré. La pointe aiguë d'un angle de 30 degrés, que nous substituons à la pointe aiguë et beaucoup plus effilée dont on se sert généralement, n'empêche pas cette action, bien qu'elle soit moins propre à la favoriser quand les distances sont petites et les intensités faibles ; mais elle a une incon-



testable supériorité par la résistance incomparablement plus grande qu'elle oppose à la fusion, résistance que nous jugeons nécessaire.

En effet, il faut bien se poser cette question : un bon paratonnerre peut-il être foudroyé, à la manière d'un mauvais paratonnerre, à la manière des autres objets terrestres, c'est-à-dire par un éclair, par une explosion soudaine? Or, à cette question nous ne trouvons, dans les faits jusqu'à présent connus, rien qui nous autorise à faire une réponse négative absolue; nous dirons seulement que ce phénomène, s'il se produit, ne peut se produire que sous la condition qu'une force électrique considérable se développe subitement dans le voisinage du paratonnerre. C'est là tout ce que nous pouvons déduire aujourd'hui des lois encore imparfaitement connues de l'électricité atmosphérique; et il n'est pas impossible que cette condition se trouve quelquefois remplie, soit par des condensations rapides analogues à celles qui donnent tout à coup des masses d'eau ou de grêle, soit enfin par d'autres causes dont notre ignorance actuelle ne nous permet pas d'apercevoir l'origine.

Ce phénomène, nous n'en doutons pas, sera très-rare et, si l'on veut, tout exceptionnel; mais il suffit qu'il ne soit pas impossible pour que nous en tirions cette conséquence pratique : qu'il est indispensable de constituer le paratonnerre, non-seulement pour qu'il ne soit pas détruit par la foudre, mais encore pour qu'il n'en puisse éprouver aucun dommage capable d'affaiblir sa puissance protectrice.

La pointe mince et effilée ne remplit pas cette condition; car il ne faut pas un coup de foudre bien vif pour qu'elle soit émoussée, ou même pour que la tige qui la porte soit ramollie à un tel point que, par son poids, elle se courbe en forme de crosse, et, s'il arrive que le coup soit violent, la pointe et une longueur plus ou moins considérable de



tige tombent en globules enflammés. Après de tels accidents, si le conducteur lui-même n'a reçu aucune atteinte, il est vrai que le paratonnerre n'est pas précisément hors de service, mais il est certain aussi qu'il a perdu tout l'avantage que l'on avait recherché en lui donnant une pointe à angle très-aigu. Un appareil ainsi dégradé reste encore très-propre à recevoir d'autres coups de foudre et à protéger autour de lui dans un certain rayon; mais il est devenu impropre à exercer aucune action préventive, puisque le sommet de la tige n'est plus qu'une masse informe recouverte d'une couche épaisse d'oxyde.

Dans ses deux états, il représente les deux opinions extrêmes qui, à divers époques, ont été émises sur les paratonnerres : avant le coup de foudre, il représente l'opinion de ceux qui demandent exclusivement au paratonnerre une action préventive ; après le coup de foudre, il représente l'opinion de ceux qui, ne comptant pour rien l'action préventive, demandent seulement que le paratonnerre puisse être foudroyé sans dommage. Nous ne prétendons pas donner satisfaction à tout le monde, mais nous avons la ferme confiance qu'il est possible de constituer un paratonnerre qui résiste parfaitement aux plus violents coups de foudre et qui possède, après comme avant, une action préventive très-efficace.

Tel est le but des trois règles pratiques que nous venons de donner.

Pour le surplus, nous renvoyons à l'instruction de 1823, car il n'est venu à notre connaissance aucun fait qui conduise à modifier les règles générales qu'elle propose.

1<sup>o</sup> Pour la section des conducteurs, qu'elle fixe à 2<sup>es</sup>,25 (2 centimètres carrés et  $\frac{1}{4}$ ), c'est-à-dire à 15 millimètres de côté pour le fer carré et 17 millimètres de diamètre pour le fer rond ;



2° Pour la manière d'établir les conducteurs sur les couvertures des divers édifices ;

3° Pour la manière de les mettre en communication avec le réservoir commun.

Après avoir examiné tout ce qui appartient à la construction et à la pose du paratonnerre, le sujet qui nous occupe n'est pas épuisé ; il reste encore une question importante et difficile à résoudre : c'est la question de savoir à quel point il faut multiplier les paratonnerres, ou, en d'autres termes, quel est le *cercle de protection* qu'il est permis d'attribuer à un paratonnerre bien établi.

Quelques anciennes observations paraissent avoir constaté des coups de foudre sur des parties de bâtiments qui se trouvaient à une distance de la tige égale à trois ou quatre fois sa hauteur au-dessus de leur niveau. En conséquence, à la fin du siècle dernier, c'était une opinion généralement reçue, que le cercle de protection du paratonnerre n'avait pour rayon que deux fois la hauteur de la tige. L'instruction de 1823, ayant trouvé cette pratique établie, a cru devoir l'adopter ; cependant elle y apporte quelques restrictions : par exemple, en ce qui regarde les paratonnerres des clochers, elle admet, s'il s'élève à 30 mètres au-dessus du comble des églises, que, pour ces combles, le rayon du cercle de protection se réduit à 30 mètres, au lieu de 60.

Il importe de rappeler que ces règles, bien qu'elles soient appliquées depuis longtemps, reposent sur des bases où il entre beaucoup d'arbitraire ; et, si nous faisons cette remarque, ce n'est pas pour les condamner, mais seulement pour empêcher qu'on ne leur attribue une valeur qu'elles sont loin d'avoir. Ne suffirait-il pas, en effet, que, d'époque en époque, elles fussent ainsi admises traditionnellement et de confiance, pour que l'on se crût dispensé de les soumettre à quelque contrôle, pour que l'on négligeât de



faire, sur ce point, des observations qui pourraient se présenter et qui fourniraient à la science des documents qui lui manquent presque complètement?

Ce n'est qu'avec des réserves, et faute de données assez nombreuses et assez certaines, que nous admettons ces règles reçues sur la grandeur du cercle qu'un paratonnerre protège autour de lui. Nous ajouterons de plus, pour ceux qui pourront observer des faits qui s'y rapportent, qu'elles ne peuvent pas être générales et absolues; qu'elles dépendent d'une foule de circonstances, et particulièrement des matériaux qui entrent dans les constructions. Nous croyons, par exemple, que le rayon du cercle de protection ne peut pas être aussi grand pour un édifice dont les couvertures ou les combles sont en métal, que pour un édifice qui n'aurait, dans ses parties supérieures, que du bois, de la tuile ou de l'ardoise. En effet, dans ce dernier cas, la portion active du nuage orageux, quoique notamment plus éloignée du paratonnerre que de la couverture, exerce cependant sur le paratonnerre une action plus vive; tandis que, dans le premier cas, ces deux actions doivent être à peu près égales pour une distance égale.

En terminant ici le développement de ces principes généraux, nous profiterons de l'occasion qui nous est offerte pour appeler de nouveau l'attention sur tout ce qui se rattache aux effets de la foudre et sur la nécessité de les bien observer. Chaque fois que le tonnerre tombe, près ou loin des paratonnerres, près ou loin des habitations, dans les plaines ou sur les montagnes, il est presque certain qu'il y a des observations importantes à faire sur les phénomènes qui se manifestent. On connaît, il est vrai, un grand nombre, malheureusement un trop grand nombre, d'exemples de personnes tuées ou de maisons incendiées; on connaît aussi des exemples très-divers de métaux fondus, de charpentes brisées, de pierres ou même de mu-



railles transportées au loin, enfin beaucoup d'autres effets analogues; mais ce qui manque, en général, ce sont des mesures précises relatives aux distances, aux dimensions, aux positions des objets, soit des objets atteints, soit de ceux qui ne le sont pas : car il faut connaître aussi bien ce que le tonnerre épargne que ce qu'il frappe. C'est à tous les observateurs, et particulièrement aux officiers de la marine, de l'artillerie et du génie, aux professeurs, aux ingénieurs, aux architectes, qu'il appartient de bien constater ces phénomènes au moment même où ils se produisent, et de les bien décrire, au profit de la science comme au profit de l'économie publique. De telles descriptions, quand elles se rapportent à un coup de foudre, doivent, autant que possible, indiquer les traces de la foudre à son point le plus haut et à son point le plus bas; ensuite, par des sections horizontales bien répétées et assez multipliées, faire connaître les positions relatives de tous les objets dans un cercle assez étendu autour de ceux qui portent la marque de son passage.

L'Académie des sciences recevra toujours des travaux de cette espèce avec un véritable intérêt.

*Note spéciale pour les bâtiments de mer.* — Le cuivre rouge a une grande supériorité sur le fer et le laiton dont on fait usage trop souvent pour composer le câble qui forme le conducteur du paratonnerre; il est moins altérable sous l'influence des agents atmosphériques, et surtout il peut être employé avec une section trois fois plus petite. Nous conseillons donc exclusivement les câbles de cuivre rouge; ils devront avoir un centimètre carré de section métallique : ainsi leur poids sera d'environ 900 grammes par mètre courant, ou 90 kilogrammes les 100 mètres; les fils auront de 1 millimètre à 2<sup>mm</sup>,5 de diamètre : ils pourront être cordés à trois torons, comme à l'ordinaire.

Le paratonnerre peut n'avoir que quelques décimètres



de longueur, y compris sa pointe, composée comme nous l'avons dit. Sa jonction avec le câble sera faite dans l'atelier, à la soudure à l'étain; pour cela, on pourra, par exemple, ménager dans la tige un trou convenable, y passer le câble et ramener le bout de 3 à 4 décimètres de longueur, pour le corder et l'arrêter avec le reste; ensuite le trou sera rempli d'une soudure qui imprègne tous les fils, et qui forme, aux points d'entrée et de sortie du câble, une sorte de large hémisphère.

Avec cette disposition, la tige du paratonnerre ne peut plus se visser elle-même au sommet de la flèche qui le reçoit; il faudra donc lui donner une forme qui permette de la boulonner solidement avec son support.

A son extrémité inférieure, le câble sera ajusté d'une manière analogue dans une pièce de cuivre de forme convenable, et il faudra nécessairement que cette pièce soit mise elle-même en permanente communication avec le doublage du navire.

La précaution dont on use quelquefois d'isoler la chaîne du porte-hauban est inutile, et l'habitude de jeter la chaîne à la mer au moment de l'orage est dangereuse : 1° en ce qu'il est possible que l'on oublie de le faire; 2° en ce que souvent il ne suffit pas que la chaîne communique à l'eau de la mer par 2 à 3 décimètres carrés de surface.

*Note spéciale pour le palais de l'exposition.* — Les constructions du palais de l'exposition couvrent un rectangle de 100 mètres de largeur sur 250 mètres de longueur, sans compter les pavillons qui se trouvent en dehors et sur les quatre faces. La galerie centrale a 25 mètres de largeur, et la galerie rectangulaire qui lui est contiguë et qui l'enveloppe toutes parts, seulement 28 mètres. Les fermes de cette grande charpente de fer sont à 8 mètres l'une de l'autre; elles sont reliées entre elles par des pannes en forme de cornières, par des moises et des entretoises, et



ce vaste ensemble est supporté par plusieurs centaines de colonnes de fonte, indépendamment du mur extérieur.

Le système de construction ne permet pas que les paratonnerres aient plus de 6 à 7 mètres de hauteur, et qu'ils soient posés ailleurs que sur les sommets des fermes. En conséquence, on les établira de trois en trois fermes, c'est-à-dire à 24 mètres l'un de l'autre. Ainsi la galerie rectangulaire aura trente paratonnerres, la galerie centrale neuf ou dix; quant aux pavillons, ils en recevront plus ou moins, suivant leur étendue et leur position.

Un grand conducteur commun sera établi dans toute la longueur du chéneau qui fait le tour de la galerie centrale, ayant ainsi 500 mètres de développement; il sera formé avec du fer portant 8 ou 9 centimètres carrés de section, et métalliquement continu. Chaque paratonnerre sera muni d'un conducteur particulier qui viendra se souder au conducteur commun. Enfin le conducteur commun lui-même sera mis en communication avec le sol au moyen de quatre puits au moins, qui seront creusés vers les quatre angles du rectangle ou vers les milieux des côtés, et qui devront être assez profonds pour avoir toujours 1 mètre d'eau. Il importe que ces puits soient éloignés les uns des autres; il importe pareillement que les conducteurs qui viennent y perdre la foudre se trouvent en contact avec le liquide par de grandes surfaces, soit qu'on les ramifie de diverses manières, soit que l'on y soude des feuilles larges et épaisses de tôle étamée, de zinc ou de cuivre.

Les paratonnerres des pavillons seront de même reliés au conducteur commun, ou au plus voisin de ses embranchements qui se dirigent vers les puits.

On doit remarquer qu'il se trouve environ 40 mètres de distance entre les pieds des paratonnerres correspondants de la galerie centrale et de la galerie rectangulaire, tandis que, d'après les règles reçues par rapport au cercle de



protection, les paratonnerres de 7 mètres ne comporteraient qu'une distance de 28 mètres. Mais ces conditions sont imposées par la nature de la construction, qui ne permet, comme nous l'avons dit, de placer des paratonnerres qu'au sommet des fermes; au reste, il nous paraît que cet excès de distance ne peut pas avoir grand péril, puisqu'à partir du pied des paratonnerres la couverture, ayant la forme d'un cylindre horizontal à base circulaire, va en s'abaissant rapidement.

*Observations présentées par M. le baron CHARLES DUPIN, au sujet du rapport de la section de physique de l'Académie des Sciences, sur l'établissement des PARATONNERRES à bord des vaisseaux.* — M. le baron Charles Dupin croit devoir indiquer les beaux travaux de sir William Snow Harris, membre éminent de la *Société royale de Londres*. Son système de paratonnerre est officiellement adopté par toute la marine militaire britannique. L'amirauté d'Angleterre, justement satisfaite de ce système, après en avoir vérifié la bonté par voies d'expériences, a récompensé magnifiquement l'auteur.

A l'exposition universelle de 1851, le VIII<sup>e</sup> jury, celui des arts maritimes et militaires, présidé par M. le baron Charles Dupin, a proposé la récompense de premier ordre, et le conseil des présidents l'a votée pour sir William Snow Harris.

La section de physique de l'Académie rend elle-même hommage au système de sir William Snow Harris, en proposant des dispositions qui se rapprochent beaucoup des siennes: on en jugera par l'extrait suivant du rapport fait par M. le baron Charles Dupin au nom du VIII<sup>e</sup> jury, en 1851, rapport que l'auteur met à la disposition de la section de physique.

« Une source de salut capitale pour les navires est l'application la plus efficace des conducteurs métalliques



« destinés à les garantir contre le tonnerre. Franklin a fait  
« la découverte immortelle du caractère identique de l'élec-  
« tricité que l'homme produit artificiellement, et de celle  
« qui jaillit du ciel sous la forme des éclairs et de la foudre.  
« Par le moyen du paratonnerre à conducteurs métalliques  
« qu'il a proposé, on a pu conserver contre les accidents  
« des orages les édifices de terre et de mer. Cependant les  
« circonstances si variables et si compliquées dans lesquelles  
« les navires se trouvent forcément placés rendent l'usage  
« de ces conducteurs très-difficile et presque impossible.  
« Les mâtures, les seules pièces le long desquelles on puisse  
« les appliquer, sont composées d'un grand nombre de  
« parties très-distinctes, qu'il faut souvent mouvoir les unes  
« contre les autres et parfois retirer, *amener*, tout à fait ;  
« les mâts peuvent encore être endommagés par le vent et  
« par d'autres causes perturbatrices. La protection des  
« navires contre l'électricité du ciel avait été confiée à une  
« faible chaîne ou à une corde métallique temporairement  
« appliquée le long des haubans. Par la force des choses un  
« tel conducteur ne pouvait pas offrir la sécurité complète  
« qui doit résulter d'un conducteur plus puissant, inamo-  
« viblement fixé le long des mâts.

« Sir William Snow Harris a conçu l'idée de rendre  
« de forts conducteurs métalliques partie intégrante des  
« mâts et de la coque du bâtiment. Il établit ainsi le  
« navire entier dans un état de parfaite conductibilité, eu  
« égard à la matière de l'électricité céleste, comme  
« si toute la masse était métallique. Il remplit cet objet  
« en incorporant avec les mâts et la cale une série de  
« plaques en *cuiivre* disposées de manière qu'elles se prêtent  
« à toutes les positions variables de la mâture ; elles sont  
« tellement unies entre elles, qu'une décharge électrique  
« frappant le navire, n'importe en quel endroit, ne puisse  
« pas entrer dans un circuit, quel qu'il soit, dont les conduc-



« teurs ne formeraient point partie. Par ce moyen, le  
 « navire est préservé de l'effet destructeur résultant de  
 « l'électricité céleste, dans toutes les circonstances et par  
 « tous les temps, *sans que les officiers ni l'équipage s'en*  
 « *mélangent en aucune manière.* En définitive, sir William  
 « Harris a démontré que, en quelque position que les  
 « mâts calés soient placés, une ou plusieurs lignes de ses  
 « conducteurs passent à travers le navire pour se rendre  
 « à la mer ; elles présentent moins de résistance au passage  
 « de la décharge électrique qu'aucune autre disposition  
 « qu'on pourrait imaginer.

« Sir Baudouin Walker, inspecteur général de la marine  
 « britannique et l'un de nos honorables collègues, a lui-  
 « même éprouvé les précieux avantages du système que  
 « nous venons de décrire. Ce fut à bord d'une frégate qu'il  
 « commandait, dont le grand mât et le mât de misaine  
 « furent frappés par de très-vives décharges de la foudre,  
 « sur la côte du Mexique. Dans cette occurrence, la force  
 « de la décharge était si puissante, qu'elle a fondu presque  
 « en entier la partie métallique sur laquelle l'éclair vint  
 « frapper, et qu'elle a laissé des marques de fusion sur la  
 « surface des plaques conductrices ; mais grâce aux conduc-  
 « teurs de sir William Snow Harris, sans que le moindre  
 « dommage fût fait aux mâts non plus qu'à la coque, et cela  
 « lorsque les mâts de cacatois étaient amenés.

« Nous avons décerné notre récompense la plus élevée à  
 « ce système, que nous considérons comme le meilleur  
 « qu'on ait encore imaginé contre les effets de la foudre. »

#### ÉLECTRO-SUBTRACTEURS

Tout le monde connaît l'ingénieuse théorie de Volta sur  
 la grêle, et le petit appareil au moyen duquel cet illustre  
 savant croyait démontrer ce phénomène ; mais ce que l'on



sait moins, c'est que, d'après des recherches nouvelles faites par les plus habiles météorologistes modernes, la grêle ne se forme pas dans les circonstances qu'avait supposées Volta. Il paraît même que l'action électrique n'est pas une cause déterminante de sa formation, mais seulement une suite ou plutôt un accompagnement de sa création. Quoi qu'il en soit, tous les savants ne sont pas encore convaincus, et la théorie positive de ce phénomène si curieux et en même temps si terrible est loin d'être établie d'une manière incontestable.

M. Dupuis-Delcourt, l'habile aéronaute, est de ceux qui croient que l'électricité joue le plus grand rôle dans la formation de la grêle, et, en conséquence, il a pensé que si l'on trouvait moyen de soutirer incessamment l'électricité de l'atmosphère, on préviendrait la naissance et par suite les ravages de ce fléau destructeur; mais pour cela il faut, dit-il, atteindre constamment à des hauteurs de 1500 à 2000 mètres en l'air et même quelquefois plus, enfin il faudrait habiter la région où se forment les nuages.

Dans ce but il propose un instrument auquel il a donné le nom d'*électro-substracteur*, et qui selon lui réunit toutes les conditions voulues pour soutirer l'électricité atmosphérique d'une manière constante et efficace dans le cas en question. Quoique n'étant pas de l'opinion de ceux qui croient à la théorie de Volta, et par conséquent n'étant pas convaincu de l'efficacité du moyen proposé par M. Delcourt, j'ai pensé que les considérations curieuses qui accompagnent la description de cet instrument seraient fort intéressantes à connaître même de ceux qui ne partagent pas son opinion; en conséquence, j'ai cru devoir reproduire ici une partie de l'article publié dans l'*Illustration* du 8 juin 1850, sur cet instrument.

*Électro-substracteur de M. Dupuis-Delcourt.* — Cet électro-substracteur consiste principalement dans un cylindre



étroit et long, garni de pointes métalliques et terminé par deux formes coniques. Rempli de gaz hydrogène, il s'élève dans l'air à mille ou quinze cents mètres de hauteur, quelquefois plus; il est retenu captif par une ou plusieurs cordes semi-métalliques, établissant, à la façon des paratonnerres, la communication libre et non interrompue du fluide électrique entre l'atmosphère et la terre. Toute autre forme que celle du cylindre terminé par les cônes pourrait être employée : celle-ci cependant offre l'avantage de permettre à la machine tous les mouvements que pourraient lui imprimer les vents et l'état de l'atmosphère. L'instrument est réuni aux cordes par un système de suspension libre et articulée, et, grâce à ce système, il pivote librement sur son axe, comme le fait une girouette. Ainsi que le cerf-volant de l'enfant, par le fait de son inclinaison calculée, il résiste et tend à s'élever sous l'effort du vent.— Les cordes de soutienement sont passées en double dans des anneaux fixés à la quille et aux autres parties solides de la machine, de manière à se régler d'elles-mêmes. La quille est une tringle en bois fort et léger de 5 à 7 centimètres de largeur, régnant à la base du cylindre sur toute sa longueur et servant à relier entre eux les cercles également en bois qui le revêtent et le divisent extérieurement. L'instrument peut être construit en métal, fer étamé ou galvanisé, en cuivre ou en carton continu, ou bien en toile, en soie ou toute autre étoffe flexible, caoutchoutée ou vernie. L'emploi de ces différentes enveloppes dépend des dimensions de l'instrument et de l'application qui doit en être faite.

L'articulation qui relie l'électro-subtracteur aux cordes de retenue, établissant la communication entre l'atmosphère et le sol, est une pièce analogue à celle qui termine le porte-mousqueton. Elle se compose de deux anneaux de forme différente adhérant entre eux par une queue rigide— ment fixée à l'anneau supérieur et rattachée à l'anneau



inférieur par un boulon et une clavette qui lui laisse la liberté de se mouvoir en tous sens.

Voici donc le ballon construit; il est lancé et va occuper dans l'atmosphère la place que la science lui a assigné : mais la température veut varier, les vents peuvent souffler violemment et enlever l'instrument dans une région supérieure: comment résistera-t-il? Comment surtout restera-t-il en communication avec la terre, et comment pourra-t-on s'opposer à ce qu'il s'élève de telle sorte que l'air se raréfiant, le gaz contenu dans l'enveloppe cédant à sa force d'expansion, ne fasse pas explosion? Nous avons dit qu'il était muni de cordes destinées à le mettre en communication avec le sol. Ces cordes sont terminées par une série de chaînons d'un poids considérable que M. Dupuis-Delcourt nomme *lest mobile*. Ces chaînons reposent dans les puits destinés à condenser et à retenir, pour en régler l'écoulement, le fluide soustrait à l'atmosphère. Ce lest mobile se soulève ou s'abaisse par la dilatation ou la condensation de l'hydrogène contenu dans la machine, ou par l'effet momentané du vent sur sa surface, et ramène invariablement à sa place l'électro-subtracteur. — Dans les machines de petites dimensions, un ressort à boudin, d'une force proportionnée à celle de l'instrument, remplace ce lest mobile. — L'électro subtracteur enfin est muni d'une soupape de sûreté fonctionnant d'elle-même et s'ouvrant du dedans au dehors sous la pression d'un ressort. Cette soupape, analogue à celles qu'on voit sur les générateurs des machines à vapeur, est destinée à empêcher la rupture de l'enveloppe dans le cas d'une dilatation subite et imprévue du gaz qu'elle contient.

Si l'on a bien saisi la description de la machine de M. Dupuis-Delcourt, on comprendra qu'elle doit agir tout à la fois comme un paratonnerre et comme un cerf-volant électrique! si donc on peut s'élever à 1,500 mètres, comme



le paratonnerre préserve de la foudre les objets qui se trouvent à une distance égale à deux fois sa hauteur, le terrain préservé serait compris dans un cercle dont le diamètre serait de 6,000 mètres. Il suffirait donc d'un nombre limité de ballons convenablement espacés pour garantir du fléau toute une contrée. Notre conviction est qu'il y a là une expérience d'une haute portée à tenter.

Mais ici se présente la question de dépense, et c'est la grosse question : car dès que l'on veut sortir des expériences de laboratoire ou de cabinet de physique, la dépense nécessaire s'accroît dans une proportion qui la rend trop souvent inaccessible à la plupart des expérimentateurs. Cependant, pour le cas qui nous occupe, la question est assez grave pour justifier un sacrifice pécuniaire de tous ceux qui ont à cœur l'amélioration des conditions générales d'existence de la France. La grêle, nous l'avons dit, est un fléau destructeur, et certaines contrées semblent vouées périodiquement à ses ravages ; mais ce que peu de personnes savent, c'est le chiffre des pertes annuelles dues à la grêle. Ce dommage s'élève annuellement en France, en moyenne, de 30 à 40 millions de francs. En 1845, dix compagnies d'assurance contre la grêle ont couvert 192 millions de valeurs, et le chiffre des sinistres éprouvés par les assurés s'est élevé à 4,837,960 fr. : c'est donc à peine le vingtième des dégâts causés par la grêle.

Dans cet état de choses, M. Dupuis-Delcourt s'est adressé au gouvernement et lui a proposé l'application de son électro-subtracteur. Il pose en fait qu'un seul de ses instruments peut préserver 100,000 hectares de terrain ; il est facile de voir combien il en faudrait pour toute la France, dont la superficie est de 52 millions d'hectares. Il n'en faudrait que 520. Chaque instrument ayant des dimensions convenables coûte environ 30,000 fr. Ce serait donc une somme totale de 15,600,000 fr. à dépenser. Ne pourrait-on



imaginer une assurance omnibus qui couvrirait la surface entière de la France, et dont le chiffre, minime pour chacun, permettrait de faire cette construction? En imposant chaque hectare à 30 centimes, on arrive exactement à ce chiffre : mais cette somme ne serait nécessaire qu'une seule fois; l'absence de sinistres permettrait de la réduire beaucoup et de ne prélever que ce qui serait indispensable pour le renouvellement des instruments.

*Électro-subtracteurs utilisés à l'agriculture.* — Les curieuses expériences faites dès 1746 par M. Maimbury, d'Édimbourg, et répétées depuis par MM. Jallabert, Bose et l'abbé Menon, sur les effets de l'électricité par rapport à la végétation, expériences qui ont prouvé de la manière la plus claire l'activité merveilleuse que cet élément si extraordinaire donne aux végétaux, ont fait penser à appliquer en grand l'électricité à l'agriculture, et on a cherché pour cela à la soutirer de l'atmosphère, par l'intermédiaire de paratonnerres nombreux implantés à l'extrémité de longues perches en différents points des champs cultivés. Plusieurs expériences ont été faites en Angleterre et ont été couronnées de succès; mais celles qu'on a faites en France, à la ferme de Grignon, sont demeurées sans résultat. Quoi qu'il en soit, le principe étant vrai en lui-même, on peut en conclure que si les expériences tentées n'ont pas toujours réussi, c'est que l'on ne s'était pas placé dans des conditions convenables. Il ne faudrait donc pas se décourager dès le début sur une application dont les résultats seraient immenses puisqu'il y aurait à la fois accélération dans la poussée des plantes, accroissement dans leur volume et supériorité dans leur qualité. M. Dupuis-Delcourt prétend qu'avec ses électro-subtracteurs le fluide électrique se trouverait emmagasiné en si grande quantité à l'extrémité des chaînes de retient des appareils, qu'il pourrait servir d'engrais et d'amendement pour la petite et la grande culture.



## LIVRE V

### APPLICATIONS PHYSIOLOGIQUES

#### DE L'ÉLECTRICITÉ

---

##### APPLICATIONS A LA MÉDECINE.

Les réactions physiologiques du fluide électrique et particulièrement les commotions auxquelles il donne lieu lorsqu'il se trouve développé en quantité suffisante, furent un des premiers effets observés et exploités de cet étrange élément. On trouve en effet que dès 1746, un certain physicien appelé Galath donna un choc à vingt personnes à la fois et à une grande distance de la machine; quelque temps après, Mallet, en France, tua des poissons et des oiseaux par des décharges de la bouteille de Leyde. Enfin l'abbé Nollet donna, en présence du roi Louis XVI, un choc à cent quatre-vingts gardes, et au couvent de Cartésiens, à Paris, l'assemblée entière formant une ligne de 1,005 mètres de long, unie par des conducteurs, tressaillit en même temps à la décharge de la bouteille.

Ces effets si extraordinaires, qui semblent démontrer une certaine liaison entre le fluide électrique et le système nerveux des êtres animés, durent, dès l'origine, être étudiés au point de vue médical; et, bien qu'alors les instruments dont on était en possession fussent d'un usage diffi-



cile, d'un effet fort capricieux, une foule d'expériences furent tentées et beaucoup de guérisons purent consacrer l'efficacité de ce genre de médication. C'est ainsi que, dès l'année 1748, le docteur Jallabert, de Genève, put reconnaître que l'électrisation avait pour effet médical : 1° d'activer la circulation du sang et d'élever, par cela même, la chaleur du corps ; 2° d'accélérer le retour périodique des femmes ; 3° de réveiller la sensation assoupie ou de provoquer dans les muscles une contraction susceptible de rappeler au mouvement un organe paralysé ; 4° enfin de faciliter par l'activité qu'elle donne à la circulation du sang et la transpiration, la résolution des engorgements sanguins et glandulaires. Malgré les nombreux cas de réussite que ce médecin obtint, la médication électrique tomba quelque temps après en discrédit, et il fallut tous les succès de l'abbé Sans pour la remettre en honneur, et démontrer que les cas d'insuccès qu'on avait signalés devaient plutôt être attribués à une mauvaise application des effets électriques, qu'à la médication en elle-même<sup>1</sup>. D'autres essais tentés par MM. Bertholon, Mazars de Cazèles, Sigaud de Le Fond, Sauvage de Haën, de Lindulf et autres prouvèrent que l'électrisation convenablement appliquée pouvait guérir des sciatiques, des douleurs chroniques, des crampes, des rhumatismes articulaires et goutteux, des tumeurs lymphatiques, des engorgements scrofuleux, des hémiplegies, des luxations, des hydarthroses, des amauroses, des oph-

1. L'abbé Sans fit, au convent des Augustines de Perpignan, une si belle cure sur une des religieuses de cette communauté, qu'après une délibération très en règle qu'on a conservée, celles-ci lui firent des remerciements au nom du *Chapitre*, et lui remirent une attestation relatant que quatre-vingt-une heures une minute  $\frac{1}{2}$  d'électricité distribuée en soixante-deux jours, ont produit 46 *marcs*, 3 *onces*, 7 *gros*  $\frac{1}{4}$  de force, et une entière guérison de la paralysie de M<sup>me</sup> d'Esprey, religieuse chanoinesse de l'ordre de St-Augustin de Perpignan. (C'était en 1768.)



thalmies, des fistules lacrymales, des engelures, des glaucônes, des fièvres tierces et quartes, des ankiloses, des gales suppurantes, la dysménorrhée, les courbatures, les convulsions, vapeurs, enfin différents cas de surdité et de cécité.

A cette époque on n'employait que trois instruments en dehors de la machine électrique et de son conducteur. C'étaient une bouteille de Leyde avec l'électromètre de Lanes, une jarre, un fauteuil ou un tabouret isolé sur des pieds de verre et des directeurs ou excitateurs en bois ou en métal. Mais on pouvait électriser de six manières : 1° par *souffle* ; 2° par aigrettes ; 3° par étincelles ; 4° par commotions ; 5° par frictions ; 6° par bain. De ces différents modes d'électrisation, M. Sigaud de Le Fond en recommandait trois : 1° le bain électrique pour accélérer la circulation des fluides ; 2° les étincelles pour donner de l'action à certains muscles relâchés ; 3° la commotion pour agir dans le même cas que les étincelles, lorsque celles-ci ne suffisaient pas. Du reste, il attribuait à chacune des deux électricités une vertu différente. Suivant lui l'électricité négative serait favorable dans une foule de maladies nerveuses, qui ont pour cause une surabondance du fluide électrique, elle ralentirait les pulsations dans un rapport de 2 à 80, tandis que l'électricité positive les accélérerait dans un rapport de 6 à 80. Enfin l'électrisation, toujours d'après le même auteur, disposerait à la sueur, augmenterait la salive, donnerait des urines troubles et provoquerait des diarrhées.

Convaincu que l'état de santé chez l'homme et chez les animaux était le résultat d'un équilibre bien établi entre les deux électricités dégagées en eux par l'action vitale, M. l'abbé Bertholon proposa, en 1780, un genre de médication qui consistait à ingérer celle des deux électricités qui était en moins chez les malades et dont l'absence, sui-



vant lui, était l'unique cause des maladies. Pour apprécier la nature de cette électricité manquante ou excédante, il consultait les causes extérieures qui avaient pu influencer sur le malade, la nature du climat, le pays, l'état électrique de l'atmosphère, puis il étudiait les prédispositions et le caractère du malade lui-même, car, disait-il, toutes ces causes extérieures qui agissent, comme tout le monde le sait, sur notre moral, réagissent également sur notre physique et tendent, suivant la disposition des individus, à rompre l'état d'équilibre électrique qui constitue leur état normal ou de santé. Il appliquait alors suivant que la rupture de cet équilibre s'était effectuée dans un sens ou dans l'autre, le traitement par l'électricité résineuse ou par l'électricité vitrée.

Suivant l'abbé Bertholon les maladies qui peuvent provenir de cette rupture d'équilibre dans l'état électrique du corps humain seraient : 1° les affections de la superficie ; 2° les fièvres ; 3° les inflammations ; 4° les spasmes ou les convulsions ; 5° les disponoïques ou essoufflements ; 6° les faiblesses ou paralysies ; 7° les douleurs ; 8° les folies ; 9° les flux ; 10° les cachexies. La première catégorie de ces maladies exigeant une espèce d'évaporation des parties liquides des organes, devrait être traitée par l'électricité positive. Dans la seconde, où deux effets diamétralement opposés sont produits, on pourrait employer alternativement les deux électricités, l'électricité vitrée ou positive dans la période du froid et l'électricité négative dans la période chaude. La troisième catégorie résultant de la présence d'une trop grande quantité d'électricité positive, comme l'atteste le mouvement du sang dans les parties enflammées, exigerait une électrisation négative. Il en serait de même de la quatrième catégorie, mais il faudrait employer alors l'électrisation la plus douce, celle par le souffle ou par les aigrettes. La cinquième catégorie réclamerait l'électricité



positive ainsi que la sixième. La septième catégorie pouvant provenir tantôt d'une grande quantité d'électricité, tantôt d'une trop faible, devrait être traitée tantôt par l'électricité positive, tantôt par l'électricité négative. La huitième exigerait la commotion négative. Enfin les deux dernières catégories auraient une électrisation variée suivant les circonstances.

Comme on le voit, l'abbé Bertholon avait bâti, non-seulement tout un système médical, mais encore une théorie électro-physiologique qui était loin d'être démontrée. Pourtant de nos jours un médecin italien d'une certaine réputation, M. Poggioli a émis les mêmes idées théoriques. Que doit-on croire? et n'est-ce pas le cas de dire comme l'abbé de Lateignan :

Que l'homme est grand! qu'il est petit!  
 Qu'il est borné! qu'il a d'esprit!  
 Prodigeux problème?  
 Des astres il connaît le cours,  
 Celui des saisons et des jours,  
 Et s'ignore lui-même!

L'une des principales causes qui firent abandonner le traitement par l'électricité, à la fin du siècle dernier, fut le charlatanisme qui s'empara de cette branche de la science et alla même jusqu'à l'exploiter en place publique au grand désespoir des médecins progressistes. C'est ce que constate ce reproche du docteur Van-Troostwyski : « si l'on demande à présent, dit-il, si l'électricité a été de quelque utilité à la médecine et, par conséquent, au genre humain, il faudra convenir que le charlatanisme de quelques physiiciens italiens a été plus nuisible qu'utile..... peut-être même n'eût-on plus songé à l'électricité médicale, s'il ne se fût trouvé des savants qui la relevèrent avec éclat de l'abaissement où elle se trouvait. » Fort heureusement alors Galvani et Volta firent la découverte de l'électricité dynamique et



ouvrirent ainsi un nouveau champ aux expériences médicales.

S'il faut s'en rapporter aux nombreuses expériences faites par MM. Humboldt, Aldini, Labaume, Fabré-Palaprat, Ritter, Bichoff, Majon, Rossi, Grapengiesser, Baudelocque, Bermundi, Pravaz, Le Roy d'Étiolle, Andrieux, Fozembas, Matteucci, Bailly et Meyraux, Prevost et Dumas, Récamier, Tavignot, etc., la galvanisation aurait sur les êtres animés et dans son application aux maladies, des effets analogues à ceux de l'électricité et une efficacité généralement plus décisive; on pourrait par conséquent, en l'appliquant, accélérer la circulation du sang, augmenter la transpiration, opérer l'excrétion de certains fluides et l'expulsion des matières alvines, coaguler le sang, troubler la limpidité de la bile et des urines, enfin guérir ou tout au moins soulager une foule de maladies telles que : affections rhumatismales, sciatiques, goutte, asphyxies, certains genres de folies, spasmes, hernies scrotales, tumeurs inflammatoires, dyspepsie, maladies de foie, maladies des viscères abdominaux, maladies de reins, diabète, maladies de vessie, paralysies, paraplégies, hypocondre, asthmes, atrophies, phthisie, hydrocèles, hydatides, scrofules, maladies mercurielles, varicocèles, sarcocèles, aménorrhée, dysménorrhée, déviations de l'utérus, tic douloureux, goitres, entorses, relâchements musculaires, cécité, amaurose, surdité, invaginations intestinales, accouchements dont le travail se ralentit, hémorragies, etc., etc.

D'après les médecins que nous avons précédemment nommés, la galvanisation aurait encore des caractères particuliers qui la rendraient susceptible d'une application spéciale; par exemple, la contraction musculaire s'effectuerait toujours en sens inverse du courant, c'est-à-dire dans le sens du pôle négatif au pôle positif, d'où il résulterait qu'on pourrait, en variant le sens du courant, provoquer de la part du



tube intestinal des vomissements ou des évacuations alvines ou, en d'autres termes, déterminer le mouvement péristaltique ou antipéristaltique du tube digestif. D'un autre côté le galvanisme réagirait au suprême degré sur la rétine en produisant la sensation de l'éclair; stimulerait la moelle épinière, les filets nerveux mêmes isolés, le système ganglionnaire et lymphatique; modifierait dans certaines circonstances les sensations, le goût et l'odorat surtout, enfin pourrait être employé comme emménagogue.

Suivant Labaume, il ne faudrait pas employer le galvanisme pour les maladies inflammatoires aiguës et les excitations nerveuses, mais bien comme topique dans quelques infirmités locales qui ne tiennent pas à un état constitutionnel ou à un changement organique des parties, ou comme palliatif dans le cas des lésions fonctionnelles. Ce fluide, dit le même auteur, est stimulant, dérivatif et désobstruant; il a une action puissante sur les nerfs, les muscles et le système circulatoire, il tonifie les organes chylifères et devient très-efficace dans les maladies du foie. La guérison qu'il procure est généralement durable parce qu'il est un excitant naturel. Les contractions qu'il provoque sont beaucoup plus générales que celles de l'électricité statique et s'étendent beaucoup plus loin; mais les muscles répondent plus longtemps que le cœur à cet excitant: enfin les stimulants ordinaires associés au galvanisme en augmentent beaucoup l'énergie.

Tant à cause de ses effets continus que de son action plus douce et de son administration plus facile, la galvanisation n'eut pas de peine à détrôner l'ancienne électrisation, et même à la faire complètement oublier. Pourtant, comme on l'a reconnu depuis, chacun de ces deux modes de traitement électrique a, dans certains cas, des avantages particuliers qui ne peuvent être remplacés. Aussi, maintenant les médecins considèrent-ils l'électrisation statique (par les



machines) comme pouvant être employée concurremment avec la galvanisation. Du reste, il était réservé au galvanisme d'être détrôné à son tour par l'électrisation d'induction, de sorte qu'en ce moment le traitement électro-médical se compose de trois genres d'électrisation : *électrisation statique, galvanisation, électrisation par induction*. Ce dernier tient le milieu entre les deux autres, c'est-à-dire que ses effets, par rapport à la commotion, sont plus énergiques que ceux de la pile et ont l'avantage d'être continus, ce que n'ont pas ceux de l'électricité statique.

Un des caractères principaux de l'électricité d'induction est d'agir avec énergie sur la contraction musculaire, sans avoir une action aussi forte sur la rétine que le galvanisme. C'est donc le mode d'électrisation le plus convenable pour les maladies nerveuses de la face. Quoique son action calorifique ne soit pas aussi puissante que celle de la pile, ce fluide fait éprouver quelquefois une sensation de brûlure, surtout quand il est mis en action par l'intermédiaire d'un excitateur pointu et qu'on provoque son effet stimulant sur le rachis. Dans ce dernier cas, cette sensation de brûlure est insupportable. Dirigée sur la masse cérébrale, l'électricité d'induction y produit : céphalalgie, défaillances, douleurs lancinantes, troubles de l'intelligence et des sens. Des bourdonnements d'oreille et une surdité momentanée sont les conséquences de son application aux oreilles. La sensation tactile est tantôt exagérée, tantôt abolie. Enfin, son application sur la langue fait éprouver une sensation salée, tandis qu'avec la pile, cette sensation est acide.

Il n'est pas indifférent de faire les électrisations d'une manière ou d'une autre, c'est-à-dire de placer les excitateurs en tel ou tel point. Ainsi, il existe trois procédés d'électrisation qui ont chacun un effet différent : 1° l'électrisation musculaire directe, qui s'obtient en plaçant les



deux excitateurs sur deux points très-rapprochés d'un muscle ou sur les deux extrémités; 2<sup>o</sup> l'électrisation musculaire indirecte, par laquelle le fluide parcourt le trajet des nerfs principaux de la partie affectée; 3<sup>o</sup> l'électrisation musculaire mixte, qui consiste à appliquer un excitateur sur un tronc nerveux principal, tandis que l'autre passe successivement sur chacun des points des muscles auxquels ce nerf distribue des rameaux. On peut encore électriser par simple friction (c'est ainsi qu'il est toujours bon de commencer), par courant continu, par saccades et par intermittences qui peuvent être plus ou moins rapprochées et plus ou moins longues. En général, il faut que le courant traverse dans son trajet la partie malade.

Par un mode d'électrisation particulier, M. Duchenne est parvenu à limiter à volonté l'effet électrique, soit à la peau, soit dans les organes qu'elle recouvre, c'est-à-dire dans les nerfs, les muscles et les os. Ce procédé permet, dans certains cas de paralysies, d'exciter les parties malades et peu à peu de faire mouvoir les membres qui avaient perdu toute faculté de contraction.

Enfin un certain M. Rouillon prétend qu'en introduisant à l'intérieur du corps ou en appliquant sur la peau deux substances chimiques capables de se combiner, on provoque un dégagement électrique qui peut être utilisé avec avantage dans les maladies.

Les accidents qui peuvent résulter de l'électrisation mal appliquée sont de trois sortes; les plus faibles et les plus inoffensifs sont les *tremblements électriques*: ils sont caractérisés par un tremblement convulsif de la partie électrisée qui se manifeste après l'électrisation; d'autres entraînant des troubles de l'intelligence, la céphalalgie, les vertiges, la démarche chancelante, constituent l'*ivresse électrique*. D'autres, enfin, ont pour effet une véritable paralysie, éphémère à la vérité, comme les deux autres genres d'acci-



dents, quoique plus tenace ; on leur a donné le nom de *paralysie électrique*.

#### DES DIFFÉRENTES MANIÈRES D'APPLIQUER L'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

*Électrisation des machines.* — Nous avons vu que les médecins du siècle dernier avaient six manières d'appliquer l'électrisation. De ces six manières nous en étudierons seulement cinq : le bain, les pointes, l'étincelle, la commotion, et la friction. Sans doute les moyens électriques que nous possédons aujourd'hui pourraient rendre inutile l'explication de ces anciens procédés ; mais comme il n'est pas encore démontré que les effets opérés par les moyens électriques modernes doivent être employés exclusivement de préférence aux moyens anciens et que beaucoup de médecins habiles prétendent le contraire, nous étudierons successivement les différents modes d'application de l'électrisation.

*Bains électriques.* — Le bain électrique, la plus ancienne de toutes les méthodes, consistait à isoler le malade et à le plonger dans une atmosphère électrique. Il avait pour résultat l'accélération du pouls, l'augmentation de la transpiration et des autres sécrétions. Le bain pouvait être positif ou négatif. Dans le premier cas, il avait, disait-on, une action limitée sur la peau ; dans le second, il avait, d'après Giacomo, une action hyposthénisante, en soustrayant une dose plus ou moins considérable de l'électricité naturelle du corps ; ce qui n'est pas prouvé.

*Électrisation par pointes.* — Avec ce genre d'électrisation, le malade, d'après M. Thillaye, peut être isolé ou en communication avec le sol ; les effets physiques sont les mêmes. Le malade éprouve un vent frais, agréable, applicable même aux organes les plus délicats.



Les pointes peuvent être métalliques, en bois sec ou humide, elles peuvent être aiguës ou émoussées; mais il en résulte, bien entendu, des variations dans la rapidité et l'intensité de l'action. Une des modifications de cette méthode consiste à placer le malade entre deux pointes dont une isolée apporte le fluide, tandis que la seconde le soutire pour le rendre au réservoir commun. Certains auteurs prétendent même qu'il existe une différence entre le souffle électrique dirigé par une pointe isolée et en communication avec la machine, et celui que fait éprouver une pointe en communication avec le sol, le corps étant en rapport direct avec la machine. Quoi qu'il en soit, il faut pour que ce genre d'électrisation s'effectue, que la pointe soit suffisamment éloignée pour qu'il n'y ait pas décharge ou étincelle.

*Électrisation par étincelles.* — On peut isoler ou non le malade. L'intensité des étincelles dépend du diamètre des excitateurs physiques qu'on présente au malade, de la rapidité de rotation de la machine et de la communication avec le sol, ce qui transforme l'étincelle en commotion. L'étincelle peut produire la contraction du muscle qui la reçoit, la rougeur de la peau et quelquefois des pustules plus ou moins nombreuses; mais le plus souvent son action est limitée à la peau. Le malade éprouve une sensation de chaleur et de cuisson au point de contact. L'étincelle négative donne une sensation plus cuisante que l'étincelle positive.

*Électrisation par commotions.* — Elle ne diffère de la précédente que par la quantité plus grande du fluide mis en mouvement et par la direction déterminée qu'on lui fait suivre entre deux surfaces dont l'équilibre a été rompu. La force des commotions est en rapport avec l'étendue des surfaces métalliques du condensateur que l'on emploie. Plus la bouteille, de Leyde sera grande, plus, par conséquent, la commotion sera forte.



Ce genre de commotion émeut davantage et frappe plus fort que les décharges galvaniques, mais il pénètre moins que ces dernières. Il est nécessaire de graduer la commotion; Cavallo, Wilkinson et Mauduyt recommandent de ne jamais excéder le degré que le malade peut supporter sans peine.

*Électrisation par frictions.* — On se sert pour l'administrer de brosses métalliques mises en communication par une chaînè avec la machine et que l'on tient à l'aide d'un manche de verre.

Voici les conclusions de M. Thillaye relativement aux modes d'électrisation qu'il faut employer suivant les circonstances.

L'expérience a démontré, dit-il, qu'il y a certaines précautions à prendre dans l'administration de l'électricité : 1° Il faut voir si l'électrisation ne pourra pas influencer facilement sur quelque autre maladie concomitante ou intercurrente. 2° L'on donnera d'abord l'électricité *la plus faible*, et l'on augmentera jusqu'à la dose convenable à la maladie et au tempérament du malade. 3° Il faut continuer *assez longtemps* quand même on n'aurait pas *tout d'abord* des succès bien marqués; beaucoup d'autres remèdes n'opèrent aussi qu'avec le temps. 4° L'on n'emploiera jamais un traitement vigoureux lorsqu'un plus faible pourrait suffire. 5° L'électrisation ne devra jamais empêcher l'administration d'autres remèdes agissant dans le même sens, tels que frictions, vésicatoires purgatifs et désobstruants.

Ces préceptes donnés par M. Thillaye, en 1803, sont encore ceux qu'il convient de suivre aujourd'hui dans l'administration de l'électricité, car cet agent n'est pas, comme certains médecins l'ont avancé, *inoffensif*; on pourrait citer plusieurs exemples où son application a provoqué des maladies.

M. Thillaye prétend que dans le rhumatisme il convient



d'employer le bain, la pointe, de légères étincelles et très-rarement de faibles commotions ; qu'il faut traiter les ophthalmies par la pointe aussi bien que les suppressions ; que contre les épilepsies, les mouvements convulsifs et le tétanos, il faut appliquer des commotions vigoureuses, mais toujours en rapport avec l'âge, la sensibilité de la peau, la susceptibilité et la constitution du malade ; qu'il faut donner aux hémiplegiques des bains, des étincelles et des commotions ; que pour la paralysie des sens on se trouvera bien des pointes en bois et de faibles commotions ; qu'enfin pour l'asphyxie il ne faut pas craindre d'agir vigoureusement et d'user du moyen qui donne le plus d'ébranlement de toute la machine.

**GALVANISATION.** — Le galvanisme, comme l'électricité des machines, peut s'administrer de plusieurs manières différentes : 1° par bains ; 2° par le simple courant ; 3° par commotions ; 4° par l'acupuncture ou galvano-puncture ; 5° par moxas ; 6° par cautérisation ; 7° par applications galvaniques, telles que cataplasmes galvaniques, tissus galvaniques, chaînes galvaniques, etc.

*Galvanisation par bains.* — On fait communiquer par l'intermédiaire d'une grande plaque métallique l'un des pôles d'une pile à auge d'un plus ou moins grand nombre d'éléments, suivant la force électrique que l'on veut obtenir, au liquide de la baignoire que l'on a préalablement acidulé ou salé, en ayant soin que le fil qui supporte cette plaque soit isolé du métal de la baignoire elle-même. L'autre pôle est en contact avec cette baignoire, de telle sorte que le courant galvanique passe forcément par le liquide et le corps du malade qui s'y trouve plongé. Les effets physiologiques de ce genre d'électrisation sont doux et peu marqués, ils provoquent la transpiration et le sommeil et favorisent les sécrétions. Dans le cas où l'on voudrait par ce moyen localiser l'effet électrique, on supprimerait la communication avec



la baignoire et on appliquerait sur la partie malade le pôle libre de la pile. En retirant de l'eau la plaque qui s'y trouve plongée et en la plongeant de nouveau à plusieurs reprises plus ou moins rapprochées, on obtiendrait de la part du bain certaines commotions douces qui peuvent être d'un effet avantageux.

Il y a environ deux ans, MM. A. Poëy et Vergnès se sont imaginé d'utiliser les bains galvaniques à l'extraction des corps métalliques qui peuvent se trouver accidentellement dans le corps humain. Ils composent à cet effet le bain galvanique comme un bain pour la galvanoplastie, en ayant soin de mettre le corps de la personne sur laquelle on expérimente en rapport avec le pôle positif de la pile et de placer en face d'elle à petite distance une plaque métallique communiquant à l'autre pôle. De cette manière le corps du malade constitue l'électrode soluble du bain galvanoplastique, et si quelques parties métalliques se trouvent introduites à l'intérieur des chairs et même à l'intérieur du corps, elles se trouvent dissoutes et filtrent à travers les tissus pour venir se déposer sur la plaque immergée dans le bain. Ce système de bain peut être appliqué aux personnes qui ont fait usage de mercure, ou à celles qui, par leurs travaux, sont exposées à en absorber une certaine quantité, soit par les pores de la peau, soit par la respiration. Pour certaines blessures dans lesquelles sont restés des morceaux de métal dont on n'a pu opérer l'extraction, ces sortes de bains répétés fréquemment et durant un certain temps, pourraient être une médication efficace et n'ayant rien de nuisible. M. Turk, médecin à Plombières, a eu occasion d'exercer une fois ce mode de traitement et les résultats ont été des plus satisfaisants.

*Galvanisation par simple courant.* — Les effets physiologiques du courant continu de la pile dépendent essentiellement de son énergie, de la surface des plaques métalliques



en contact avec les différentes parties du corps et de l'état plus ou moins humide de la peau. En conséquence, les pôles de la pile doivent être fixés, soit à des plaques de métal peu oxydable que l'on adapte à des ceintures ou à des bandages, ou dont on fait des manipules, soit à des boules, pointes ou pinceaux métalliques, soit enfin à des éponges que l'on imbibe d'eau rendue conductrice par quelques gouttes d'acide sulfurique. Les effets physiologiques sont, à ce qu'il paraît, très-différents, suivant qu'on fait usage de ces divers accessoires. Avec les pointes ou les boules, on concentre l'action électrique; avec le pinceau métallique, on l'étend et on la divise; avec les plaques, on la disperse; enfin avec l'éponge ou la brosse imbibée, on détruit l'effet calorifique ou de brûlure qui se manifeste avec les autres excitateurs, pour ne laisser subsister que l'action purement surexcitante. Ce dernier système d'excitateur a d'ailleurs l'avantage de permettre l'introduction des courants dans la bouche et les oreilles. Ces accessoires peuvent, comme on le comprend aisément, s'adapter à tous les courants électriques, qu'ils soient simplement voltaïques ou d'induction, qu'ils proviennent de piles à auges ou de chaînes galvaniques. Nous verrons bientôt comment ils ont été combinés par MM. Boulu et autres, pour la confection de cataplasmes, ventouses et sacs électriques.

Suivant M. Duchenne, si la peau est sèche, ainsi que les excitateurs, l'électricité ne traverse pas le derme et produit des étincelles sans phénomène physiologique; si l'un des excitateurs est humide et l'autre sec, le point touché par l'excitateur éprouve une sensation superficielle cutanée; lorsque la peau est légèrement mouillée, la sensation superficielle cutanée est sensiblement plus forte; mais, en rendant humides la peau et les excitateurs, il se produit des phénomènes de contraction et de sensibilité très-variables, suivant qu'on agit sur un muscle, sur un nerf ou sur une



surface osseuse. Dans ce dernier cas, on détermine une douleur vive.

Quand la pile est forte, l'application du galvanisme a pour effet physiologique des contractions assez énergiques, sans commotions, avec un sentiment d'engourdissement qui n'a rien de douloureux, car les commotions violentes ne sont pas le propre des courants continus. Quand la pile est faible, ce sentiment d'engourdissement se change en un chatouillement qui n'a rien de désagréable, avec un accompagnement de chaleur douce. L'action prolongée du courant avec les plaques métalliques entraîne une irritation marquée des parties de la peau où elles sont appliquées, comme le démontrent les pustules blanches qui en sont la conséquence. Ce dernier effet peut être attribué soit à l'excitation résultant de la circulation du courant, soit à son action décomposante, qui produit des principes acides et alcalins réagissant directement sur les parties avec lesquelles ils sont en contact. On peut tirer un parti avantageux de cette réaction pour dénaturer des plaies. C'est ce qui est arrivé à M. Becquerel dans une expérience faite par lui, conjointement avec M. Breschet, à l'Hôtel-Dieu de Paris, sur un homme ayant à la jambe un ulcère rebelle.

Quand on fait passer le courant des nerfs dans les muscles, ces derniers ne se contractent qu'en fermant et en ouvrant le circuit, et aucun effet apparent n'est produit tant que le courant circule. Si le circuit reste fermé pendant quelque temps, le repos seul ou l'action d'un courant dirigé en sens inverse peut leur rendre leur propriété contractile. Ce fait indique que le passage continu du courant dans les nerfs peut être employé utilement dans certaines maladies nerveuses résultant d'un état de surexcitation, attendu que les nerfs, qui ont été parcourus par un courant pendant un certain temps, perdent momentanément la faculté de faire contracter les muscles correspondants. Dans ce cas, l'élec-



tricité, au lieu de réagir comme *excitant*, ce qui arrive avec les courants discontinus, et particulièrement les courants d'induction, réagit comme *calmant*.

*Galvanisation par courant interrompu.* — Ce système de galvanisation produit un effet précisément inverse à celui des courants continus que nous venons d'étudier. Les réactions d'induction, qui se manifestent au moment de la fermeture et de la rupture du circuit voltaïque, donnent lieu à des commotions plus ou moins vives, dépendant non-seulement de l'intensité du courant, mais encore de la fréquence des interruptions, et réagissent sur les nerfs et les muscles comme *stimulant*. C'est en se fondant sur cette propriété que M. Pulvermacher a adapté à ses chaînes galvaniques l'interrupteur mécanique, que nous avons décrit page 254, 1<sup>er</sup> vol. Avec ce système, les commotions se succèdent sans interruption, et produisent sur l'économie animale un effet beaucoup plus important que celui des bouteilles de Leyde; elles excitent plus vivement la sensibilité cutanée, désorganisent moins la peau, et suscitent des contractions musculaires plus prolongées.

Les courants interrompus, suivant leur direction à travers les muscles et les nerfs, produisent soit des effets de contraction, soit des effets qui affectent douloureusement la sensibilité. Ces effets ont été analysés avec soin par M. Marianini et plusieurs autres physiciens, et on a constaté qu'il y a sensation de douleur toutes les fois que ces courants traversent les nerfs dans une direction opposée à leurs ramifications, c'est-à-dire allant des extrémités à la tête, tandis qu'il y a contraction quand le courant suit une direction opposée. Les effets subséquents de ces courants sont : le développement de l'énergie générale, une transpiration légère avec calme et une diminution des douleurs.

*Galvano-puncture.* — L'acupuncture, due aux Chinois, et en grande vogue à Paris à une certaine époque, se pra-



tique, comme on le sait, au moyen d'aiguilles très-fines en or, en argent ou en acier, que l'on enfonce dans les chairs et qui peuvent atteindre, sans inconvénients, les organes les plus profondément situés. En mettant ces aiguilles en rapport avec un courant électrique très-faible, on doit donc avoir une action beaucoup plus directe, beaucoup plus énergique, sur ceux de nos organes qui sont profondément cachés, que par une électrisation superficielle. La galvano-puncture et l'électro-puncture ont donné de fort belles cures à MM. Sarlandières, Magendie, Fabré-Palapat, Person, Ferro, Récamier, Eber, etc. Pour bien pratiquer l'électro-puncture, dit M. Massé, il faut implanter les aiguilles en leur imprimant un mouvement de rotation, il faut procéder par saccades, contrairement aux préceptes de Labaume, et donner des interruptions successives au courant pour empêcher les escarres gangréneuses aux points d'implantation. Enfin, règle générale, l'organe malade doit se trouver au milieu d'une ligne qui réunirait les deux conducteurs.

Pénétré de cette idée que ce serait rendre un très-grand service aux malades en substituant une opération simple, unique et sans dangers, aux opérations si fréquentes, toujours douloureuses et quelquefois dangereuses, qu'exige l'électro-puncture, telle qu'on la pratique encore aujourd'hui, M. Boulu a imaginé un système de sétos électriques qu'il décrit de la manière suivante :

« On construit les sétos électriques avec des fils très-fins ou des chaînes très-petites et très-flexibles, en argent ou en platine. Si on se sert de fils fins, il faut en placer deux près l'un de l'autre pour avoir les deux courants ; si, au contraire, on se sert de petites chaînes, il est préférable de les faire à deux courants, ce que l'on obtient en les séparant par le milieu avec un petit morceau d'ivoire.

« Afin d'obvier aux inconvénients causés par les aiguilles



constamment en contact avec la peau, pendant toute la durée de l'opération, nous avons fait établir des sétons isolant parfaitement le tissu dermoïde, qui est, comme l'on sait, très-avide d'électricité; ces sétons isolants portent avec eux leurs deux courants bien distincts. Ils se font avec des fils métalliques très-fins, passés dans de petites sondes de gomme élastique très-flexible, et percée au milieu et d'un seul côté de quatre petits trous destinés à donner passage aux fils dans une étendue d'un centimètre environ pour chacun. Le reste du tube sert à isoler la peau et laisse dépasser de deux centimètres environ les fils métalliques qui sont destinés à conduire le fluide galvanique dans l'intérieur des organes.

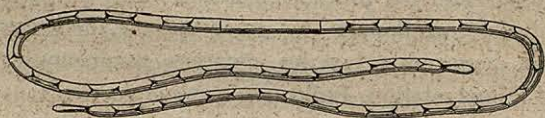


Fig. 6.

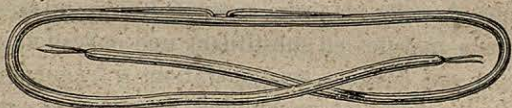


Fig. 7.

« Il est bien entendu que pour l'introduction de ces petits sétons, nous nous servons encore des aiguilles de notre honorable confrère, M. Bouvier, et nous ne pouvons mieux faire que de citer ici les sages conseils qu'il donne à ce sujet : « Les aiguilles à séton, dit-il, doivent être très-  
« étroites, terminées en fer de lance pour mieux pénétrer  
« dans les tissus. Elles doivent être droites ou courbes, sui-  
« vant la direction transversale ou longitudinale que doivent  
« avoir les sétons; afin de rendre leur introduction plus  
« facile, les aiguilles doivent porter du côté opposé à la



« pointe, au lieu de chas, une fente ou pince faisant ressort, dans laquelle se trouve fixée l'extrémité du fil métallique ou de la chaîne. »

« Nous ajouterons que, pour l'usage auquel nous destinons nos sétons, les aiguilles devront avoir une longueur, une courbure et une épaisseur, qui varieront suivant les cas dans lesquels on les emploiera.

« Le seton électrique peut avoir des applications thérapeutiques; il peut être d'un grand secours dans le traitement des adénites rebelles, qui ne pourront être entièrement guéries par l'application du fluide électrique, au moyen de nos appareils. On comprend, en effet, tous les résultats avantageux que pourra produire le fluide électrique, tout à la fois appliqué à l'extérieur et conduit à volonté jusque dans la profondeur des organes. Le seton électrique pourra encore être employé avec avantage dans les goîtres, dans certaines tumeurs du sein, de l'ovaire, dans quelques cas d'anévrismes, dans les paralysies en général.

« On pourra multiplier, au besoin, le seton électrique sur une seule ou plusieurs parties du corps, et rendre à volonté le courant permanent, dans l'intervalle des secousses; à l'extérieur comme à l'intérieur, en faisant usage de la nouvelle pile que vient d'imaginer M. Breton, sous forme de mixture galvanique. Pour arriver à ce résultat si avantageux, il suffira de fixer l'une des extrémités des sétons au *pôle positif* de la mixture, et l'autre à son *pôle négatif*.

« Le seton électrique sera d'un emploi facile et peu douloureux, puisque avec les isoloirs, la peau sera toujours garantie, et, qu'une fois le seton en place, le médecin pourra faire à son gré toutes les applications du fluide électrique. Enfin, les malades n'ayant plus à endurer des piqûres renouvelées sans cesse, l'électro-puncture, pratiquée au moyen



du séton métallique, ne sera plus un épouvantail pour eux. Aussi se soumettront-ils volontiers au traitement électrique pratiqué de cette manière, quelle qu'en soit la durée.

« Enfin, le séton électrique pourra être encore d'un grand secours chez les sujets atteints d'engorgements ganglionnaires liés à un état diathésique. L'excitation produite par le fluide électrique à courants continus ou intermittents, et la chaîne métallique qu'on peut enduire au besoin d'une pommade, amèneront plus promptement la fonte purulente des tubercules, s'il y en a, et, à mesure que la suppuration s'établira, le pus trouvera une issue facile et permanente par les bords du séton.

« De cette manière, nous évitons des opérations, des désordres extérieurs qui amènent si souvent l'amincissement de la peau, sa chute, et, par conséquent, des cicatrices plus ou moins difformes.

« La chaîne galvanique, flottant au milieu des ganglions suppurés, fera l'office des petites mèches que nous avons vu employer depuis quelque temps par plusieurs chirurgiens distingués, entre autres par MM. Bonnafont et Guersant, pour vider certains abcès, principalement ceux du cou. »

*Moxa-galvanique.* — Quand les décharges électriques appliquées sur le rachis n'ont pas un effet d'excitabilité suffisant, il est nécessaire de faire réagir la galvanisation de manière à produire l'effet des moxas. Pour cela, deux vésicatoires sont appliqués à une certaine distance l'un de l'autre, mais de manière à ce que l'un d'eux soit dans le voisinage du membre ou de l'organe paralysé. Sur ce dernier vésicatoire est placé un disque de zinc attaché à un fil de cuivre, sur l'autre est appliqué un disque d'argent. Ils sont tous deux recouverts d'une compresse mouillée, couverte elle-même de taffetas gommé, et les deux fils métal-



liques attachés à chaque disque sont mis en contact pour fermer le circuit. Le malade éprouve alors une sensation particulière, seulement sous le disque d'argent; mais il se forme sous le disque de zinc une couche de matière blanche assez épaisse, semblable à la lymphe, qui n'existe pas sous l'autre, et qui finit par former une escarre plus ou moins épaisse, qui tombe bientôt. M. Bird a obtenu par ce moyen des guérisons remarquables.

On a appliqué encore les moxas électriques d'une autre manière, pour réagir dans les régions les plus profondes du corps. Pour appliquer ce genre de moxas, on introduit dans la partie affectée une aiguille de platine que l'on met en communication avec l'un des pôles d'une pile composée d'éléments à large surface, tandis que l'autre pôle est en relation, à l'aide d'une plaque métallique, avec une partie du corps voisine de celle où se trouve l'aiguille. À l'instant de la fermeture du circuit, l'aiguille s'échauffe jusqu'à l'incandescence et brûle les chairs contiguës, en produisant une très-vive douleur de courte durée. Il ne tarde pas à se développer une inflammation, comme dans l'application du moxa, puis une escarre qui finit par tomber sous forme de tuyau de plume. On pourrait aussi se servir d'un fil conjonctif en platine reployé en un point, de manière à former une sonde ayant un plus petit diamètre que le reste du circuit.

*Application des effets calorifiques des courants aux opérations chirurgicales.* — La propriété qu'ont les courants électriques de rougir instantanément des fils métalliques de petite section, a été employée avec succès dans la médecine pour cautériser certaines fistules, plaies ou autres maladies de ce genre, et dans les opérations chirurgicales pour la section des chairs et leur cautérisation.

Il faut pour cela de grandes piles de Grove ou de Bunsen à large surface, car dans ce cas c'est de l'électricité de



*quantité* qui est nécessaire. L'effet cautérisant des fils de platine ainsi rougis, a été reconnu exister sur toute la longueur du fil ; mais l'épaisseur des escarres est quelquefois plus grande aux points d'entrée et de sortie que vers le milieu du trajet. On s'est ensuite assuré que cette épaisseur des escarres était en rapport avec la grosseur du fil employé, la durée et l'intensité du courant, et que la cautérisation était obtenue dans peu de secondes. M. Crussel, de Saint-Pétersbourg, a pu cautériser ainsi un fungus hématoïde. M. Marshall, de Londres, en a fait autant à l'égard d'une fistule salivaire consécutive à plusieurs abcès de la joue ; il lui a suffi d'introduire dans le trajet fistuleux un fil de platine très-fin, et de mettre en rapport les deux extrémités de ce fil qui ressortaient, l'une en dehors de la joue, l'autre dans la bouche, avec le circuit de la pile. Au bout de neuf secondes, le trajet fistuleux était cautérisé, et le malade n'avait ressenti qu'une sensation de brûlure à la joue et de piqure à l'intérieur de la bouche, sans aucune douleur dans le trajet fistuleux. L'escarre tomba le cinquième jour, l'ouverture était fermée le huitième, et, onze jours après, la cautérisation était complète.

En employant le même procédé, M. Amussat fils a pu : 1<sup>o</sup> cautériser l'intérieur d'une grenouillette, du volume d'une grosse amande, et la guérir ; 2<sup>o</sup> cautériser l'intérieur d'une vaste cavité anfractueuse, occupant toute la face postérieure de la glande mammaire droite, chez une femme de 24 ans, et la cicatriser ensuite ; 3<sup>o</sup> cautériser extérieurement et intérieurement le col de l'utérus dans le cas d'engorgement avec ulcération de cette partie de l'organe ; 4<sup>o</sup> faire l'ablation de deux tumeurs cancéreuses, l'une siégeant dans la paume de la main et ayant 10 centimètres en longueur et 8 en largeur, l'autre, plus volumineuse, dans la région mammaire. Du reste, plusieurs médecins à Vienne ont employé ce moyen, et il a toujours réussi.



M. J. Regnauld a employé aussi avec succès la galvanisation cautérisante dans plusieurs cas où le cautère actuel ne pouvait être employé. L'instrument dont il a fait usage avait la forme suivante : un manche cylindrique en buis de 20 centimètres de longueur et de 15 millimètres de section est creusé dans le sens de son axe de deux gouttières cylindriques séparées par un espace central plein de 5 millimètres d'épaisseur. Dans ces deux gouttières d'un diamètre de 5 millimètres s'engagent à frottement deux tiges de cuivre qui dépassent le manche de 3 centimètres à chacune de ses extrémités. D'un côté ces tiges sont fendues et creusées d'un pas de vis sur lequel s'adapte un écrou mobile, de l'autre elles sont aplaties et supportent chacune une vis de pression.

Les dernières extrémités sont destinées à mettre le cautère en relation avec les deux rhéophores d'une pile; les premières à porter un fil de platine offrant la forme d'un stylet, et dont chacun des bouts s'engage dans les rainures des tiges de cuivre et y est maintenu solidement par les écrous. Le diamètre, la longueur, la forme du stylet peuvent être modifiés suivant les besoins de l'opérateur. Celui-ci ne doit pas toutefois oublier que pour une pile dont l'intensité serait toujours la même, il doit faire varier dans un rapport inverse la longueur du fil et sa section; sans cela il s'expose, soit à le fondre, soit à ne pas attendre l'incandescence.

« Les avantages de cet appareil, dit M. Regnauld, naissent, d'une part, de la très-haute température que peut atteindre le stylet, et d'autre part, de sa masse peu considérable. Voici, d'après M. Nélaton les indications de son emploi en chirurgie.

« 1<sup>o</sup> Cautérisation exercée sur un point très-limité à l'aide d'un instrument dont la température est très-élevée, cas



dans lequel on veut obtenir une destruction complète dans un espace bien circonscrit.

« 2° Cautérisation au fond d'une cavité naturelle (pharynx, isthme du gosier, fosses nasales, conduit auditif externe, etc.).

« 3° Cautérisation étendue se faisant à travers un orifice étroit et permettant la conservation du tégument externe (destruction des tumeurs érectiles sous-cutanées à travers une perforation très-étroite des téguments).

« 4° Excision périphérique tendant à produire, sans hémorragie, l'ablation de certaines tumeurs dans les régions où l'écoulement sanguin pourrait rendre l'opération difficile ou dangereuse. »

M. Middeldorp, professeur de pathologie chirurgicale à l'Université de Breslau, va plus loin, et prétend que des fils ou des lames de platine portés au rouge-blanc, par le courant électrique, peuvent remplacer *le plus grand nombre des instruments actuels de la chirurgie et servir à presque toutes les opérations*, de manière à constituer un art entièrement nouveau.

Les instruments qu'emploie M. Middeldorp sont : 1° différents cautères (cautère simple, cautère à coupole, en porcelaine, cautère du sac lacrymal, cautère pour les rétrécissements; ce dernier instrument est droit ou courbe); 2° le séton galvanique; 3° le porte-ligature galvanique ou anse coupante, susceptible de pénétrer là où l'accès est interdit à tout autre instrument tranchant, et réunissant à la fois les avantages de l'incision, de la ligature et de la cautérisation. Les instruments s'adaptent à la pile à l'aide des fils conducteurs; un mécanisme particulier permet d'exciter ou de suspendre le courant, et, par conséquent, de faire naître dans les instruments une chaleur intense ou de les refroidir à volonté.