

## SEPTIÈME PARTIE

### APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ.

#### CHAPITRE PREMIER.

##### APPLICATIONS PHYSIQUES.

##### § 1. Application de l'électricité à la production de la lumière et de la chaleur.

Les applications de l'électricité, longtemps réduites à quelques essais thérapeutiques et à des recherches purement scientifiques en chimie, ont pris depuis quinze à vingt ans un immense développement, et sont destinées probablement à s'étendre encore beaucoup. Nous les avons classées dans trois grandes divisions fondées, non sur leur propre nature, mais sur la nature des propriétés de l'électricité. Nous suivrons dans leur étude le même ordre que nous avons suivi dans l'examen des propriétés elles-mêmes qui ont fait l'objet de la 4<sup>e</sup> partie (2<sup>e</sup> volume). Ainsi, nous nous occuperons d'abord des applications fondées sur les propriétés physiques de l'électricité, savoir sur la faculté que possède l'électricité en mouvement de produire de la lumière et de la chaleur, et d'exercer une action électro-magnétique. Puis viendront les applications chimiques dans lesquelles c'est la propriété du courant d'agir chimiquement sur le corps qu'il traverse, qui est mise à contribution. Enfin nous terminerons par les applications physiologiques qui consistent à utiliser pour l'art de guérir les effets physiologiques si remarquables que peut produire l'électricité.

Nous commencerons, dans ce premier chapitre, consacré aux applications physiques, par celle qui a pour objet la production de la lumière et de la chaleur.

Nous avons vu que l'électricité en mouvement peut produire beaucoup de chaleur et beaucoup de lumière; nous avons analysé les lois de cette production en même temps que nous avons étudié les propriétés particulières de cette lumière et de cette chaleur. Nous avons décrit un appareil destiné à donner plus de fixité qu'elle n'en a naturellement à la lumière qui jaillit entre deux pointes de charbon communiquant respectivement avec les deux pôles d'une pile<sup>1</sup>. Cet appareil est celui de M. Jules Duboscq; mais il est juste de reconnaître que la première idée de ces appareils appartient à MM. Staite et Petrie, qui en ont construit, en 1848, à peu près en même temps que M. Foucault en construisait de son côté en France. Ce n'est qu'après ces premiers essais que MM. Breton frères, M. Duboscq, M. Martin de Brette et M. Liais ont successivement imaginé aussi des appareils fondés sur le même principe, mais avec quelques modifications dans les détails.

Le plus simple de ces appareils est celui de M. Staite, surtout depuis les modifications que lui a apportées M. Archereau. Deux colonnes ou tiges métalliques, auxquelles on peut donner les formes que l'on veut, sont unies entre elles par trois traverses, 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 placée parallèlement entre les deux colonnes, et qui doit être faite d'un fil assez gros pour que le courant, en la traversant sans la fondre, puisse agir sur une tige de fer doux placée à l'intérieur de la bobine. Cette tige de fer est soudée à une tige de cuivre de même calibre et de même longueur, portant à son extrémité libre une petite poulie. Du côté opposé le fer porte un petit tube de cuivre, avec vis de pression, dans lequel on introduit l'un des charbons, lorsque la tige entière a été placée dans l'intérieur de la bobine. Alors, une corde, fixée à la traverse inférieure, et s'enroulant sur une poulie d'un grand diamètre, peut servir de support à la tige mobile de fer, en s'enga-

<sup>1</sup> Voyez tome II, page 267, figure 220.

geant dans la gorge de la petite poulie. Il suffit pour cela qu'un contre-poids, 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 qui descend perpendiculairement en face du charbon que porte la tige électro-aimant, et dans laquelle 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'a-

bord 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.

L'inconvénient de l'appareil précédent, qui a du reste l'avantage d'être très-simple, et, par conséquent, moins susceptible de se déranger, est que le point lumineux se déplace à mesure que les charbons s'usent. 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; condition d'autant plus difficile à remplir que les charbons s'usent inégalement. C'est à des moyens mécaniques qu'il faut avoir recours pour obtenir le résultat désiré. Ces moyens sont tous fondés sur l'emploi d'un rouage d'horlogerie mu par des ressorts ou par des poids, qui donne aux charbons le mouvement nécessaire pour les rapprocher l'un de l'autre, dès qu'à cause de leur trop grand écartement, le courant, ne passant plus, la lumière cesse d'être produite. Or, l'appareil est combiné de façon que ce même courant traverse le fil qui entoure 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 enraye le rouage ou le laisse défilier 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 entre les charbons diminue ou augmente, on comprend que les charbons acquièrent la propriété 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'ai-

mantation croissante qui en résulte leur oppose bientôt un obstacle insurmontable, lequel disparaît 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.

L'appareil que nous venons de décrire est celui de M. Foucault; celui de MM. Breton n'en diffère qu'en ce qu'au lieu de ressorts pour rapprocher les charbons on s'est servi des 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 deux charbons.

Dans l'appareil de M. Duboscq, que nous avons déjà décrit dans la quatrième partie de ce Traité, le mécanisme, comme nous l'avons vu, est combiné de façon que le charbon positif soit animé d'un mouvement plus rapide que le négatif, pour satisfaire à l'usure plus grande qu'il éprouve de la part du courant. Ce mécanisme est assez compliqué; mais, cependant, en ayant soin de le régler convenablement dans chaque expérience, c'est-à-dire de donner aux ressorts antagonistes de la détente le degré de tension convenable, et à la poulie de diamètre variable, le diamètre voulu pour que le rapprochement des charbons soit le plus régulier possible, on réussit à obtenir une lumière d'une régularité et d'une fixité remarquables.

M. Martin de Brette a imaginé d'ajouter au régulateur de la lumière électrique un appareil amplificateur à rotation, qui permet de projeter d'une manière continue, et dans toutes les directions, à plusieurs kilomètres de distance, une lumière excessivement brillante. Cet appareil renferme six lentilles de phare montées sur une roue en fonte, laquelle est ajustée sur un cadre aussi en fonte, mobile comme la roue elle-même. Au moyen d'un mécanisme particulier, un mouvement est imprimé d'abord au cadre, ensuite au système des lentilles, et ce double

mouvement, convenablement calculé, suffit pour diriger un faisceau lumineux successivement dans différents points de l'espace, et les éclairer d'une manière continue. Il suffit, pour cela, que les lentilles passent dix fois par seconde dans une même direction; pour obtenir ce résultat, il faut que la roue qui porte les lentilles fasse environ deux tours par seconde, tandis que le cadre qui la porte en accomplit cinq. Quant au régulateur lui-même, qu'emploie M. Martin de Brette, il diffère des autres en quelques points peu importants sur lesquels il est inutile de nous arrêter.

Nous nous bornerons encore à signaler le système d'éclairage électrique proposé par M. Liais, dans lequel, pour obtenir une lumière plus régulière et surtout moins saccadée, le régulateur agirait d'une manière constante et indépendante des charbons. Un commutateur mu, soit par un moteur électrique, soit par un mouvement d'horlogerie, serait appliqué à l'appareil afin de rendre, en renversant à des intervalles très-rapprochés le sens du courant, l'usure des charbons aussi égale que possible; puis ce même commutateur conduirait le courant alternativement dans un double système de charbons, qui composerait le foyer lumineux. Il en résulterait que pendant le temps du changement 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. Enfin 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. M. Liais propose encore de placer les charbons eux-mêmes dans un globe de verre rempli d'un gaz impropre à la combustion, afin d'en rendre l'usure moins prompte; procédé que j'avais déjà indiqué en 1846 à l'occasion de l'annonce que j'avais faite d'un appareil propre à l'éclairage des mines.

La lumière électrique, quoique supérieure à toutes les autres lumières artificielles par son éclat et son rayonnement, qui lui donnent l'apparence de la lumière solaire, a un effet bleuâtre assez désagréable à l'œil qu'on peut rendre rosé, il est vrai, en

employant pour construire les pointes entre lesquelles l'arc électrique doit jaillir des charbons de bois de *bourden*. Toutefois cette lumière serait trop éblouissante et trop peu favorable aux objets éclairés pour être employée avec avantage pour l'éclairage ordinaire, lors même que son prix de revient ne la ferait pas repousser. Elle n'est donc utile que dans des cas exceptionnels. Ainsi on peut s'en servir avec avantage pour l'éclairage des phares, pour se procurer une lumière artificielle destinée, à défaut de la lumière solaire, à reproduire de manière qu'elles soient visibles pour plusieurs personnes à la fois, les principales expériences d'optique, comme le fait avec le plus grand succès M. Duboscq. M. Foucault avait déjà, conjointement avec M. Donné, employé cette lumière à éclairer plusieurs microscopes destinés à des démonstrations dans un cours public. On s'en sert encore avec succès pour l'éclairage des travaux de nuit dans les grandes entreprises de terrassements ou de maçonnerie, et pour les effets de décor dans les représentations théâtrales. Au moyen de fils de cuivre recouverts de gutta-percha, on peut conduire le courant dans l'eau jusqu'à de grandes profondeurs, et produire un éclairage applicable à des travaux sous-marins, principalement quand il s'agit d'explorations au fond de la mer ou de sauvetage d'objets submergés. Les pointes de charbon peuvent être renfermées dans un ballon de verre à l'abri du contact de l'eau, ou être plongées dans l'eau elle-même, car, comme nous l'avons vu, la lumière électrique jaillit même dans ce cas, entre les deux pointes; seulement l'arc est moins long. On a proposé dernièrement de se servir de ce mode d'éclairage pour porter dans l'eau une lumière destinée à la pêche des poissons.

Mais de toutes les applications de la lumière électrique, celle qui présente le plus d'intérêt est l'éclairage des mines. Tout le monde sait le danger que courent les mineurs par l'effet du feu *grisou*, c'est-à-dire de l'explosion qui a lieu quand un jet de gaz hydrogène carboné venant à se faire jour à travers les différentes couches, rencontre la flamme des lampes qui éclairent les galeries de la mine. Or, comme la lumière électrique n'a point besoin d'oxygène ni d'aucun gaz pour se produire, puis-

qu'elle a lieu sans combustion, on peut renfermer les pointes de charbon dans un globe hermétiquement clos, et alors il n'y a plus à craindre le moindre danger, le foyer lumineux étant complètement isolé de l'air extérieur. La première idée de cette application appartient à M. Louyet et à M. Boussingault; ce dernier physicien l'a fait connaître à la suite de quelques recherches sur la lampe de Davy, où il montre que la sécurité que présente cette lampe, quoique très-grande, n'est pas absolue, puisqu'un courant de gaz hydrogène animé d'une certaine vitesse, et probablement d'autres causes encore indéterminées, peuvent anéantir momentanément l'efficacité de l'enveloppe protectrice, et faire naître des accidents que l'on est peut-être trop disposé à attribuer, dans toutes les circonstances, à l'imprudence des ouvriers ou à l'imperfection des appareils. M. Boussingault propose une pile fixe, munie de longs conducteurs qui permettent de porter le courant, et par conséquent la lumière qu'il dégage, partout où l'on en a besoin. J'avais, en même temps que M. Boussingault, songé à la même application, et j'avais proposé d'adapter à un ballon hermétiquement fermé, dans lequel se trouvent les deux pointes de charbon disposées et préparées convenablement, une petite pile portative, mais très-forte (amalgame de potassium, et platine avec acide sulfurique étendu, et chlorure de platine), dont les deux pôles sont respectivement mis en communication, au moyen de fortes tiges de cuivre scellées au ballon, avec les charbons intérieurs. M. Grove a objecté à cette disposition la difficulté de sceller le récipient dans lequel la lumière électrique est dégagée, assez hermétiquement, pour que, sous l'influence de la haute température qui s'y développe, il ne s'établisse aucune communication avec l'air extérieur. Aussi propose-t-il de substituer à la lumière des pointes de charbon, celle qui provient d'un fil de platine tourné en hélice et rendu incandescent par le passage d'un courant voltaïque. Le fil est placé au-dessus de l'eau, dans l'intérieur d'un tube de verre. La forme en hélice présente l'avantage qu'en diminuant les causes de refroidissement, elle permet à la même batterie voltaïque de tenir en ignition un fil beaucoup plus long; il en résulte non-seulement un accrois-

sement de lumière, mais une diminution dans la dépense de la batterie à cause de l'augmentation de la résistance. L'accroissement dans l'intensité de la chaleur, en augmentant la résistance, diminue également la consommation des matériaux de la pile, de sorte que, contrairement à ce qui se passe ordinairement, l'augmentation de dépense diminue avec l'accroissement de l'effet qui est produit, du moins dans une certaine limite.

M. Grove a voulu se faire une idée exacte de cette dépense; dans ce but, il a introduit un voltamètre dans le circuit, sachant qu'à un équivalent d'hydrogène recueilli dans le voltamètre correspond la consommation d'un équivalent de zinc, d'un équivalent d'acide sulfurique, et de  $\frac{1}{2}$  d'équivalent d'acide nitrique. En tenant compte de l'état d'hydratation des acides, on trouve que les frais d'une batterie de cinquante couples, à acide nitrique et platine, de huit pouces carrés de surface, se monteraient à 4 schellings, soit 5 francs par heure, pour produire une lumière dont l'intensité serait à celle d'une bougie, comme 1444 : 1. Les frais de la lumière électrique seraient donc peu considérables, eu égard à son intensité; toutefois, M. Grove estime que c'est surtout pour l'éclairage des phares qu'elle peut être employée avec avantage.

La chaleur qui se dégage dans un conducteur qui, tout en transmettant un courant, présente quelque résistance à son passage, a trouvé également des applications importantes. Ce mode de production de la chaleur présente, en effet, un caractère particulier qui permet son emploi dans beaucoup de cas où les autres modes ne seraient pas applicables. Ce caractère, c'est que la chaleur peut être transportée à une distance aussi grande que l'on veut de la source qui la produit, pour n'agir que sur un point déterminé sans se manifester le moins du monde entre ce point et le lieu de son origine. C'est particulièrement à l'art de faire sauter les mines qu'on a appliqué avec succès la propriété que possède le courant électrique de rendre incandescent un fil de métal qu'il traverse. M. Hare est le premier qui ait eu cette idée, mais c'est M. Roberts qui a imaginé le procédé le plus simple pour la réaliser.

Afin de ne pas être appelé à refaire un nouvel appareil pour

chaque explosion, M. Roberts a inventé des cartouches qu'on peut construire d'avance. On se procure dans ce but deux fils de cuivre de 2 à 3 millimètres de diamètre, et de 3 mètres de longueur environ, bien recouverts de soie ou de coton goudronné, afin que leur isolement soit très-bon. On les tord ensemble (fig. 363) sur une longueur de 16 centimètres en ayant soin de laisser libres, en les écartant de 1 à 2 centimètres, leurs extrémités inférieures sur une longueur de 1 centimètre  $\frac{1}{2}$  environ, dont on enlève l'enveloppe isolante pour tendre entre elles un fil de fer fin, après avoir eu soin de les bien décaper. Les extrémités supérieures des deux fils de cuivre sont également écartées pour pouvoir être mises respectivement en communication avec les conducteurs qui aboutissent aux pôles d'une pile. Le corps de la cartouche est un tube d'étain de 8 centimètres de longueur et de 2 de diamètre, dont les soudures sont très-bien faites afin qu'il soit parfaitement imperméable à l'eau<sup>1</sup>. On introduit le système des fils de cuivre dans le tube, en les fixant au moyen d'une tige qu'il traverse à une hauteur telle que le fil fin de fer se trouve au milieu du tube d'étain, disposé de façon que les bouts du fil de cuivre ne touchent nulle part les parois du tube (fig. 364). On consolide le liège à l'extrémité supérieure du tube avec un bon ciment<sup>2</sup>, puis on remplit le tube de poudre par son autre extrémité, qu'on bouche également par un liège qu'on cimente de la même manière. La figure 365 indique comment l'on place la cartouche dans le trou de cuivre après



Fig. 363.



Fig. 364.

<sup>1</sup> On pourrait également employer un tube de verre, n'était sa fragilité qui a fait préférer un tube d'étain.

<sup>2</sup> M. Roberts recommande pour cette opération un ciment composé de une partie de cire d'abeilles et de deux parties de résine.

en avoir chassé avec soin toute la poussière et l'humidité; il faut avoir soin que la cartouche se trouve au milieu de la charge de poudre qu'on a introduite dans le trou. Au-dessus de la poudre, on place un bouchon de paille ou de filasse, de manière à laisser entre la poudre et lui un petit espace rempli d'air, et par dessus le bouchon on verse du sable sec jusqu'à ce que le trou en soit rempli. Puis on fait communiquer les deux extrémités des fils de cuivre qui sortent de la cartouche avec les pôles de la pile, au moyen de conducteurs assez longs pour qu'on soit à l'abri de tout danger provenant de l'explosion de la mine.



Fig. 365.

La méthode que nous venons de décrire présente l'avantage de pouvoir être employée à faire sauter des rochers ou autres objets sous l'eau, aussi bien que sous terre; seulement il faut dans ce cas pour construire des cartouches des boîtes de tôle imperméable à l'eau, et pour conducteurs des fils de cuivre recouverts de gutta-percha.

M. Ruhmkorff, et après lui M. Verdu, ont essayé avec succès de substituer à l'incandescence d'un fil métallique l'étincelle d'induction pour déterminer l'inflammation de la poudre. Ce procédé, outre l'économie considérable qu'il présente, puisqu'au lieu de 15 à 20 couples de Bunzen, nécessaires pour faire rougir un fil, il n'en exige qu'un seul pour produire l'étincelle d'induction, a l'avantage d'être moins susceptible de dérangement. Seulement il a fallu imaginer un artifice pour déterminer l'inflammation de la poudre; il arrive en effet que, lorsque, par l'effet de la longueur des conducteurs qui aboutissent à la mine, le circuit présente une résistance trop forte, l'étincelle d'induction peut passer à travers la poudre sans l'enflammer. M. Ruhmkorff a eu l'heureuse idée de chercher un intermédiaire qui, plus facilement inflammable par l'étincelle, pût provoquer

l'inflammation de la poudre dans toutes les conditions possibles. Il l'a trouvé dans les fusées de Stateham, qu'on prépare en prenant deux bouts de fil de cuivre rouge recouverts de gutta-percha ordinaire; on dégarnit de gutta-percha leurs extrémités; on les entortille (fig. 366), et on recourbe les bouts de manière à les faire entrer dans une enveloppe de gutta-percha vulcanisée (soufrée), que l'on a coupée et enlevée de dessus un fil de cuivre, qui en avait été recouvert depuis longtemps. 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'inflammation de la poudre plus aisée. On remplit l'échancrure de poudre, et on enveloppe le tout avec un bout de tuyau de caoutchouc *cd*, ou bien on le place dans une cartouche remplie de poudre.



Fig. 366.

Dans les fusées de Stateham, c'est le sulfure de cuivre adhérent à la couche de gutta-percha vulcanisée qu'on enlève au fil de cuivre qu'elle recouvrait, qui, en s'enflammant sous l'action de l'étincelle d'induction, détermine l'explosion<sup>1</sup>. Mais il faut

<sup>1</sup> La découverte de ces fusées est 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 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. Après avoir examiné avec soin les diverses circonstances dans lesquelles le phénomène s'était produit, il crut reconnaître que c'était la légère empreinte du fil de cuivre sur la gutta-percha vulcanisée (soufrée), empreinte due à une couche de sulfure de cuivre, qui déterminait les étincelles qui accompagnaient la propagation du courant électrique, car les étincelles suivaient toujours cette empreinte. Il conçut dès lors l'idée de construire sur ce principe des fusées pour les mines.

avoir soin, quand on a préparé la fusée comme nous l'avons indiqué, de l'essayer, afin de régler en conséquence l'étendue de la solution de continuité. Il peut se faire en effet que, tout en appartenant à la même enveloppe d'un fil de cuivre, la gaine de gutta-percha 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 suffisamment la décharge.

Les premiers essais en grand de l'application du procédé que nous venons de décrire ont été faits avec l'appareil d'induction de Ruhmkorff par le colonel espagnol Verdu, dans les ateliers de M. Herkman, fabricant de fils recouverts de gutta-percha à la Villette, près Paris. On a expérimenté successivement sur une longueur de fil de 400 mètres, de 600, de 1000, de 5000, et jusqu'à 26000, et le succès a toujours été complet, soit avec un circuit composé de deux fils, soit en remplaçant l'un des fils par la terre; deux couples de Bunzen ordinaires étaient suffisants pour produire avec l'appareil de Ruhmkorff l'étincelle d'induction. Depuis ses premières recherches avec M. Ruhmkorff, M. Verdu s'est livré à de nouvelles expériences en Espagne, et il s'est assuré, après beaucoup d'essais, que de toutes les substances explosibles, aucune n'était à beaucoup près aussi sensible que le fulminate de mercure; seulement pour éviter le danger qui résulte de la facilité d'explosion de ce composé, il a 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 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. Ajoutons qu'avec un simple couple de Bunzen, et au moyen de l'appareil d'induction de Ruhmkorff, 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 grand nombre de mines en les distribuant par groupes de cinq, et en interposant chacun de ces groupes dans un circuit particulier. On fait communiquer les 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 l'appareil d'induction avec chacun des bouts libres que l'on tient à la main, ce qui exige à peine une seconde de temps s'il y a quatre fils, c'est-à-dire quatre groupes et par conséquent vingt mines, on obtient vingt explosions simultanées à des distances considérables. Il n'y a pas de limites ni à la distance à laquelle l'explosion peut avoir lieu, ni au nombre des mines qu'on peut faire sauter ainsi.

M. Dumoncel, afin d'obtenir plus de sécurité et un système inmanquable dans ses effets, préfère diviser les mines par groupes de deux, supprimer la communication par le sol et emploie ainsi pour chaque groupe deux conducteurs au lieu d'un (ce qui n'augmente pas beaucoup la dépense puisque l'un des fils peut être commun à tous les circuits), et les met en rapport avec les trois ou quatre grandes mines qui doivent partir en même temps. Pour obtenir avec cette disposition la simultanéité d'explosion à travers ces différents circuits, M. Dumoncel emploie un commutateur à rotation construit au moyen d'une roue épaisse de gutta-percha dont la circonférence porte cinq plaques métalliques, séparées les unes des autres par un intervalle de 2 centimètres environ; sur cette circonférence appuie un frotteur qui, par l'intermédiaire d'un bouton d'attache et d'un fil, communique avec celui des pôles de l'appareil de Ruhmkorff, qui fournit l'étincelle à distance. Les plaques elles-mêmes communiquent, par l'intermédiaire de lames métalliques placées sur les surfaces planes de la roue, à cinq ressorts frotteurs mis en relation par des boutons d'attache avec les cinq fils des circuits. M. Dumoncel a appliqué son procédé avec succès à l'explosion de mines *monstres* dans le port militaire de Cherbourg.