

Dispositifs de protection contre les accidents dûs à la rupture des Câbles électriques à haute tension

Les dispositifs qui ont pour objet d'atténuer, sinon de supprimer complètement pour les tiers, le danger des canalisations électriques aériennes à haute tension en cas de rupture des fils sont nombreux. On peut les classer en deux catégories bien distinctes, savoir :

Les dispositifs à action purement mécanique ;

Les systèmes agissant sous l'action du courant électrique.

Les premiers présentent sur les seconds l'avantage d'un fonctionnement plus sûr et d'un entretien plus facile à contrôler ; par contre, tous ceux expérimentés jusqu'à ces temps passés, ont l'inconvénient d'enlever à la ligne une grande partie de sa solidité (leur principe excluant toute liaison rigide entre le conducteur et le poteau à l'endroit du dispositif), inconvénient auquel il faut ajouter l'élévation du prix d'établissement de la ligne en raison du grand nombre d'appareils à installer.

Dans les nouveaux dispositifs récemment brevetés que nous allons décrire, dont l'un est plus spécialement destiné aux lignes de transport d'énergie électrique à haute tension, et l'autre aux lignes de tramways, nous avons cherché à réaliser des appareils appartenant à la première catégorie, c'est-à-dire à action purement mécanique, mais ne comportant pas les inconvénients qui viennent d'être énumérés, par conséquent d'un rôle efficace, n'enlevant rien de sa solidité à la ligne et n'élevant pas sensiblement son prix d'installation. Ils présentent, au surplus, l'avantage de ne craindre ni la neige ni le givre et de fonctionner d'une façon également certaine par tous les temps.

Le premier de ces dispositifs — plus spécialement applicable aux lignes à haute tension — est caractérisé essentiellement par un support isolateur qui peut tourner sur son axe au moment de la rupture d'un câble, sous l'influence de la différence de tension des fils de part et d'autre de l'isolateur ; par cette oscillation, le câble rompu est mis en communication, au moyen d'une fourche ou d'un anneau fixé sur la tige de l'isolateur, avec un câble voisin, ou avec un conducteur auxiliaire mis à la terre.

La figure 1 ci-jointe montre l'un des moyens les plus simples de réaliser ce dispositif. Le fil de ligne L est fixé à la manière ordinaire sur un isolateur à cloches A. Celui-ci, au lieu d'être monté sur un support fixé d'une manière rigide au poteau, est porté par une ferrure C munie d'un axe B traversant le poteau et disposé de telle sorte, qu'en cas de rupture du fil, à droite ou à gauche, le système oscille autour de cet axe, sous l'effet de l'inégalité de tension des brins. Sur la ferrure C sont fixés, d'une part, l'extrémité a d'un conducteur auxiliaire allant à la terre, et d'autre part, deux cornes métalliques b et c. En supposant que c'est le brin de droite (en faisant face à l'isolateur) du fil L qui vient à se rompre, on voit le système pivoter autour de l'axe B et de telle façon que l'amplitude de son oscillation, est limitée par la butée de la corne c contre le brin de gauche qui reste tendu. Du fait de ce mouvement, le fil de ligne est mis à la terre par l'intermédiaire de la corne c, de la ferrure C et du conducteur auxiliaire a. Le brin rompu reste alors sans courant et devient inoffensif.

En employant le même mode de support des fils d'une ligne à plusieurs conducteurs, sur isolateurs oscillants

ils, mettre celui-ci en circuit sur le fil voisin, au lieu de le mettre à la terre. Il suffit pour cela de remplacer les cornes b et c par des anneaux, réunis sur chaque isolateur au conducteur porté par ce dernier. Pour deux conducteurs voisins situés dans un même plan vertical, les deux anneaux passent l'un dans l'autre sans se toucher. Si l'un des conducteurs vient à se rompre, l'un des isolateurs pivote et met en contact les deux anneaux qui ferment alors en circuit le câble rompu sur l'autre.

autour d'un axe B, on peut, en cas de rupture de l'un des

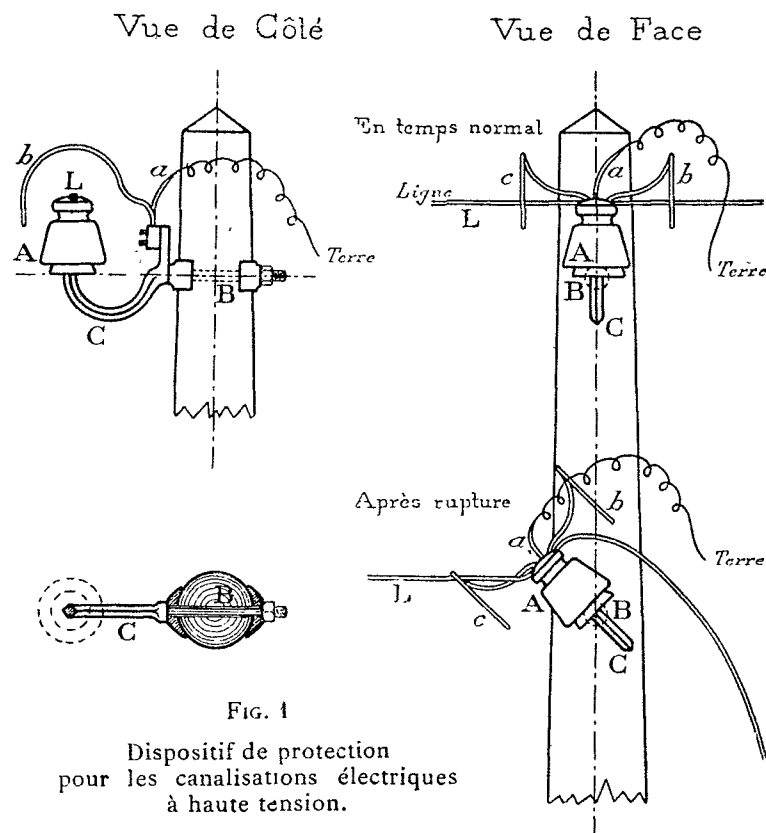


FIG. 1

Dispositif de protection
pour les canalisations électriques
à haute tension.

Le même dispositif s'applique également aux conducteurs tendus sur traverses horizontales. Dans ce cas, la ferrure de l'isolateur a la forme d'une manivelle disposée pour tourner dans un plan horizontal. L'un des axes de cette manivelle (dont l'autre axe porte l'isolateur) tourne verticalement dans la traverse horizontale, comme l'axe B tournait horizontalement dans le poteau vertical. Que les fils de ligne soient disposés dans un même plan vertical, ou dans un plan horizontal, il est très simple de les mettre soit à la terre individuellement, soit deux en circuit, l'un sur l'autre, grâce à des combinaisons de fourchettes reliées à des prises de terre ou à des anneaux fixés comme précédemment (1).

Comme on le voit, le dispositif est de la plus grande simplicité. Les ferrures porte-isolateurs étant, à très peu de modifications près, d'un type courant, ce système de protection peut toujours être réalisé sans augmentation sensible de prix, dans l'établissement des lignes à haute tension. Les attaches des conducteurs sur les isolateurs sont fixes ; quant aux liaisons mobiles entre les ferrures et les poteaux ou traverses, elles n'enlèvent rien à la solidité de la ligne. Il faut, en effet, remarquer que la tension d'un brin de câble, lorsque l'autre vient à se rompre, exerçant toujours un effort

(1) Pour le détail de ces dispositifs, voir le brevet n° 355.586 du 2 septembre 1905.

très grand sur le bras de levier formé par la ferrure, celle-ci pivote forcément sur son axe de rotation, quel que soit le serrage du boulon l'assujettissant sur le support. La ligne conserve donc toute sa solidité avec ce système, dont le fonctionnement est certain. Il a été expérimenté avec succès et d'ailleurs il est facile de se rendre compte de ce fonctionnement par des dispositifs d'expérience bien simples à réaliser sur des fils de fer tendus, et dans le détail desquels nous ne croyons pas nécessaire d'entrer.

Le deuxième dispositif qui convient plus spécialement pour la protection des fils de trolley des lignes de tramways, est essentiellement basé sur le principe suivant : Utiliser l'inertie d'une masselote qui, n'obéissant pas, comme l'ensemble de l'appareil, au mouvement de réaction de l'isolateur produit par la brusque traction d'un brin du fil, lorsque l'autre brin vient à se rompre, actionne le déclenchement d'un interrupteur ordinaire, mettant ainsi le conducteur rompu en communication, soit avec la terre, soit avec un conducteur voisin.

La figure 2 montre des coupes de l'appareil que nous avons réalisé et fait fonctionner d'après ce principe. Il est composé d'une douille métallique M en bronze (ou mieux en aluminium), fermée à ses deux extrémités par deux

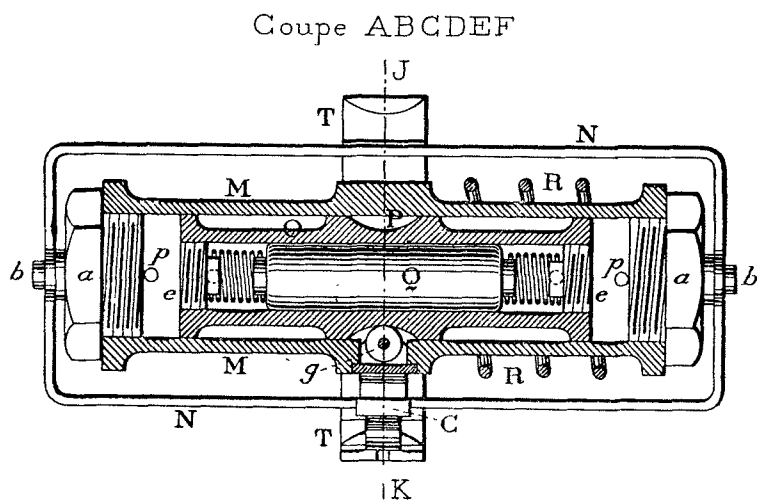
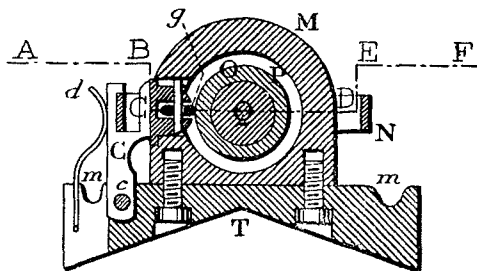


FIG. 2

Coupe JK



Dispositif
de protection
pour
les canalisations
électriques
aériennes.

Appareil plus spécialement destiné aux fils des lignes de tramways

bouchons filetés *a*, portant chacun vissés en leur centre, suivant l'axe même de la douille, des goujons *b*. Ils servent d'axe de rotation à un cadre métallique rigide *N*, qui tend à tourner autour de cet axe sous l'action d'un ressort *R* ayant l'une de ses extrémités attachée à la douille. En position normale le cadre *N* et le ressort *R* sont maintenus enclenchés dans une encoche appropriée d'un cliquet *C* oscillant autour d'une goupille *c* et lui-même maintenu

dans la position d'enclenchement par la poussée de la lame de ressort *d*. On voit de suite que si l'on fait porter au cadre *N* la tige d'un interrupteur, et que le cliquet *c* *C* *d* vienne à se déclencher au moment de la rupture d'un brin du fil de ligne, le ressort *R* en se détendant va venir fermer l'interrupteur.

Dans la douille *M* peut se mouvoir à frottement doux une seconde douille *O*, également fermée à ses extrémités par des bouchons à vis *e*; elle présente une gorge circulaire *P*, dans laquelle s'engage un galet *g* porté par un bouchon mobile dans un logement de la douille extérieure. Dans la position de repos, ce bouchon est maintenu dans son logement et le galet *g* est appuyé au creux de la gorge *P* par la pression de la lame de ressort *d*; cela a pour effet de tenir au milieu de *M* la douille *O*. A l'intérieur de cette dernière est placée une masselotte cylindrique *Q* qui est maintenue en équilibre au milieu de l'appareil par l'antagonisme des deux ressorts qu'on voit sur la coupe longitudinale, entre les extrémités de cette masselotte et les bouchons *e*. Des orifices *p* convenablement disposés dans les deux douilles laissent échapper l'air dont la compression paralysait le mouvement des pièces.

La figure 3 représente une vue photographique des pièces de l'appareil démonté.

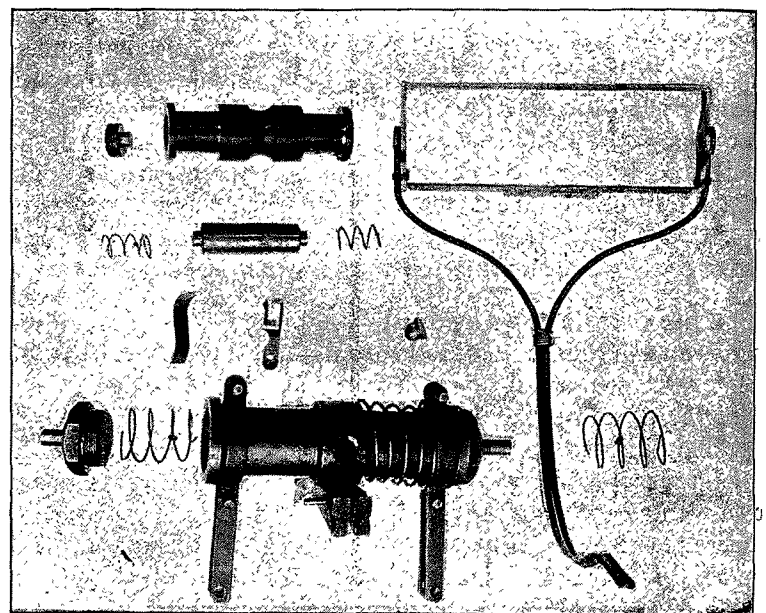


FIG. 3. — Dispositif de protection pour lignes électriques.
Vue des pièces de l'appareil démonté.

La douille extérieure *M* supportant le cadre *N*, est portée elle-même par une pièce de bronze *TT* rectangulaire et dont la surface inférieure affecte la forme d'un *V* renversé de façon à pouvoir toujours s'appuyer par deux points sur n'importe quelle surface sphérique; des encoches *m* aident à la fixer sur les têtes d'isolateurs. On voit sur la photographie de la figure 4, un appareil de ce genre fixé sur un isolateur et actionnant un interrupteur à levier: deux brides métalliques entourent d'une part la douille en passant dans ses gorges extrêmes et d'autre part pincent le fil de ligne; la fixation est complétée par une ligature embrassant le col de l'isolateur et venant passer dans les encoches *m* de la pièce *TT*. La pièce femelle de l'interrupteur est fixée, comme le montre la photographie, sur la ferrure même de l'isolateur préalablement mise à la terre; lorsque le cadre mobile est déclenché sous l'effet de la rupture d'un fil, le levier qu'il porte vient introduire le couteau de l'interrupteur

teur dans cette pièce femelle et le brin du conducteur qui reste tendu est alors mis à la terre avant même que le brin rompu ait le temps de toucher le sol.

Voici, en effet, comment fonctionne cet appareil :

Supposons-le en place sur un isolateur et son cadre mobile armé prêt au déclenchement. Quand le fil vient à se rompre, cette rupture est toujours brusque et le brin intact du conducteur, exerçant un effort violent sur l'isolateur, le tire brusquement et instantanément de son côté. Que cet isolateur soit monté sur une ferrure à rotation comme dans le dispositif précédent, ou qu'il soit fixe, la traction énergique et brusque du câble imprime inmanquablement à cet isolateur et par suite à l'appareil qu'il porte, un mouvement

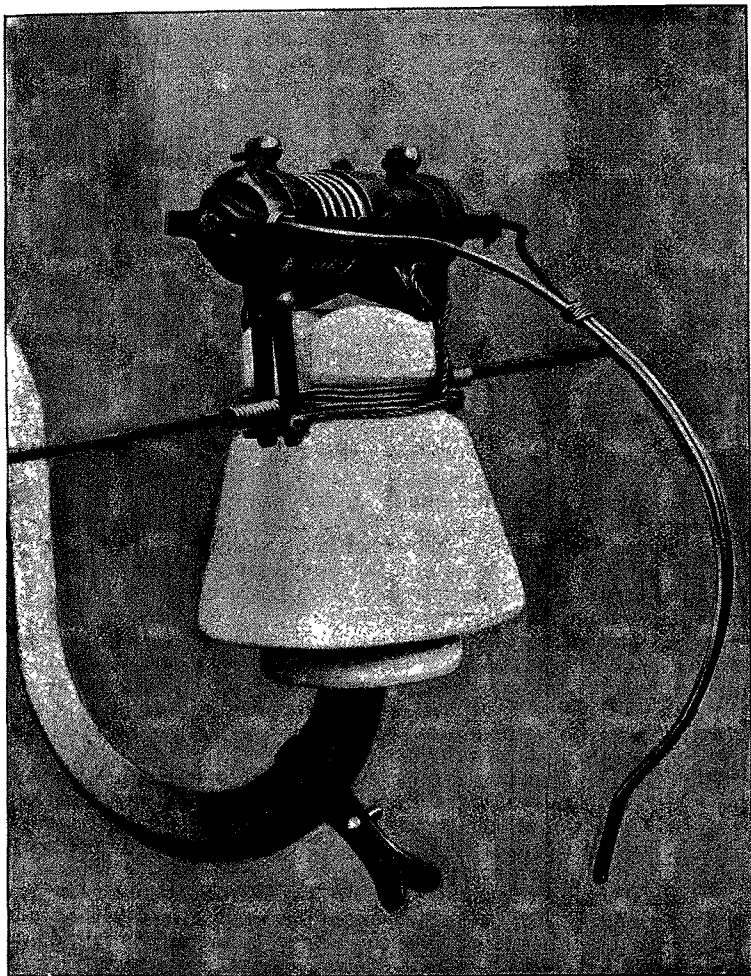


FIG. 4. — Dispositif de protection pour lignes électriques.
Vue d'un appareil en place.

de réaction sensible. Dans ce mouvement les douilles M et O et tout le système d'interrupteur à levier se déplacent du côté du conducteur intact. Seule la masselotte Q (qu'on fait aussi lourde que possible, tandis que la douille O est au contraire très légère), reste en place grâce à son inertie, comprime l'un des ressorts qui la maintenaient précédemment en équilibre au milieu de l'appareil, et vient frapper l'un des bouchons filetés de la douille O. Celle-ci est entraînée sous le choc dans le même sens que la masselotte, et la gorge P se déplaçant oblige le galet *g* à monter la rampe de cette gorge. Il en résulte un mouvement de recul du cliquet *c C d* sur lequel s'appuie ce galet, ce qui a pour effet de déclencher le cadre M fermant alors l'interrupteur. L'expérience a démontré qu'il est très facile de régler l'appareil pour que ce mouvement de fermeture se produise presque instantanément et par suite avant que le brin rompu n'arrive à terre. Il est d'autre part à remarquer que les faibles

mouvements de l'isolateur en temps ordinaire, sous l'influence du vent, des pierres lancées sur le fil, etc. . . n'ont pas d'action sur la masselotte ; ces trépidations relativement légères sont amorties par les ressorts antagonistes maintenant la masselotte dans la position d'équilibre.

L'appareil peut être fixé soit sur isolateurs mobiles, soit sur isolateurs fixes, montés sur poteaux, consoles, ou scellés dans les murs, à condition toutefois que dans ce dernier cas la distance de l'isolateur au mur soit d'au moins 15 centimètres, longueur suffisante pour permettre un jeu de 1 centimètre à l'isolateur, en cas de rupture. Si le système est appliqué à un isolateur-mobile, il faut prendre soin de disposer le couteau de l'interrupteur dans l'axe de rotation de cet appareil.

Le dispositif peut s'appliquer à toutes les lignes aériennes à basse ou à haute tension, bien entendu quel que soit le nombre de leurs conducteurs.

Le dispositif que nous venons de décrire est susceptible de recevoir dans ses détails de construction un certain nombre de variantes. En voici une à titre d'exemple qui permet de simplifier le mécanisme tout en lui conservant la même sûreté de fonctionnement.

La douille intérieure est supprimée et la masselotte, de même diamètre que l'intérieur de la douille extérieure, est maintenue en équilibre dans la partie médiane de cette dernière par deux ressorts à boudin emprisonnés dans les espaces libres entre les bouchons de l'unique douille et les extrémités de la masselotte. Celle-ci est évidée en son tiers médian, et suivant deux génératrices diamétralement opposées, des mortaises faisant office de coulisses, laissent passer un axe sur lequel est callé un losange métallique lui-même logé dans l'évidement de la masselotte. Cet axe fixé à la douille actionne extérieurement par l'une de ses extrémités un enclenchement constitué de la manière suivante : l'axe est aplati à cette extrémité laquelle tourne dans un évidement circulaire pratiqué dans le bras latéral du cadre mobile ; cet évidement est ouvert d'une fente égale à l'épaisseur de la partie aplatie de l'axe portant le losange à l'intérieur de la masselotte ; tant que cette partie aplatie est par suite de la position du losange orientée suivant un diamètre de l'évidement circulaire qui ne coïncide pas avec la fente, le système reste armé ; mais, dès que cette coïncidence a lieu, la partie aplatie de l'axe se trouvant en face de la fente du cadre, celui-ci se dégage et entraîne l'interrupteur. Le losange, dans sa position normale, a son grand axe incliné sur l'axe longitudinal de la masselotte ; quel que soit le sens du déplacement de cette dernière, l'une ou l'autre des faces de son évidement intérieur en venant frapper sur les pointes du losange tend toujours à faire tourner l'axe de déclenchement dans le même sens. C'est comme précédemment la réaction de l'appareil sous la violence du choc produit par la rupture d'un brin de câble qui, entraînant l'appareil dans la direction du brin intact, fait buter l'une des pointes du losange contre la masselotte restant en place par l'effet de son inertie.

Nous avons toujours essayé ces appareils sur des *isolateurs fixes* et le plus souvent avec des fils de 40/10 et des portées de 25 à 30 mètres. Ils ont toujours fonctionné à notre complète satisfaction. Mais, où nous estimons qu'ils pourraient rendre le plus de services, c'est sur les fils aériens de tramways qu'il a été jusqu'ici bien difficile de protéger par les autres moyens. Et à ce sujet, il convient de remarquer qu'étant donné le mode de suspension de ces conduc-

teurs par d'autres fils transversaux laissant à l'ensemble beaucoup d'élasticité, les appareils de protection pourraient être très espacés, la rupture d'un fil se répercutant toujours très loin. Le prix d'établissement des réseaux de conducteurs aériens n'en serait que très insensiblement majoré, et, avec beaucoup de personnes qui, dans les grandes villes, regardent ces réseaux de fils aériens comme une épée de Damoclès sans cesse suspendue sur nos têtes, nous pensons que la sécurité qui en résulterait vaudrait bien cette faible dépense. Puisse nous avoir contribué à obtenir cette sécurité; c'est le but qui nous a guidé dans la création de ces appareils que, sur la demande de notre Rédacteur en chef, nous sommes heureux de présenter au public de *La Houille Blanche*.

Jules CHEVRIER.

Ingenieur des Arts et Manufactures

LE MOIS HYDRO-ÉLECTRIQUE

ACADÉMIE DES SCIENCES

CHIMIE ET ÉLECTROCHIMIE

Sur la distillation du cuivre — Note de M. HENRI MOISSAN.
Seance du 27 novembre 1905.

Dans l'ensemble de nos recherches sur l'étude des réactions chimiques aux températures élevées, nous avons démontré qu'il n'existait plus de corps refractaires et que tous ces corps, soit simples, soit composés, pouvaient prendre l'état liquide, puis l'état gazeux. Un certain nombre de composés sont détruits par simple élévation de température, mais, par contre, d'autres combinaisons sur lesquelles, avant nos recherches, on n'avait que des idées peu précises, pouvaient se former à des températures élevées : tels les carbures, les siliciures et les borures, pour se décomposer enfin à une température qui est voisine de 3 500 degrés d'après les recherches de M. Violle (1).

Dans nos premières notes, datant de 1892 et 1893, nous avons indiqué que tous les métaux pouvaient être volatilisés au four électrique. Nous avons pensé qu'il était utile de reprendre les expériences réalisées à cette époque afin de chercher à classer les points d'ébullition d'un certain nombre de métaux, en attendant que les physiciens puissent déterminer rigoureusement ces températures.

Distillation du cuivre. — La volatilisation de petites quantités de cuivre par la chaleur de l'arc électrique à la pression atmosphérique a déjà été obtenue par Despretz (2) en 1859, puis par Siemens et Huntington (3) en 1882. En 1905, MM. Krafft et Bergfeld (4) ont démontré que le cuivre entraînait en ébullition dans le vide cathodique à 1600 degrés.

L'expérience de la distillation du cuivre à la pression atmosphérique a été réalisée de la façon suivante : Nous avons placé dans le creuset de notre four électrique 300 gr. de cuivre pur, coupés en fragments cylindriques, de 2mc³ environ de volume. Un tube de cuivre traversé par un courant rapide d'eau froide, ainsi que Deville l'avait fait dans ses expériences sur la dissociation, passait au milieu du four à quelques centimètres au-dessus du creuset et de l'arc.

Il permettait de condenser rapidement une partie des vapeurs. Enfin, lorsque nous voulions recueillir une plus grande quantité de ces vapeurs, on perçait le couvercle du four et l'on disposait, au-dessus de cette ouverture, une cloche cylindrique en verre mince, ainsi que nous l'avons indiqué à propos de notre expérience sur la distillation de la silice (5).

Nous avons cherché à rendre le courant aussi constant que possible, dans nos expériences, en écartant plus ou moins les électrodes au fur et à mesure que l'atmosphère intérieure du four devenait plus conductrice par suite de l'abondante formation des vapeurs métalliques. Nous tenons à faire remarquer, à ce propos, que les électrodes cylindriques étaient terminées par des cônes de façon à donner de la fixité à l'arc et que nous utilisions le courant alternatif.

(1) J. Violle, Sur la température de l'arc électrique. *Comptes rendus* t. CXV, 1892, p. 1273.

(2) Despretz, Expériences sur quelques métaux et sur quelques gaz. *Comptes rendus*. t. XLVIII, 1859, p. 362.

(3) W. Siemens and Huntington, On the electric furnace *Chemical News*, t. XLVI, 1882, p. 163.

(4) Krafft et Bergfeld, *Berichte*, t. XXXVIII, 1903, p. 254.

(5) H. Moissan, *Le four électrique*, p. 51-1879, et *Traité de Chimie minérale*, t. II, p. 453.

Les expériences d'une même série sont donc suffisamment comparables entre elles.

Nous rappelons que, depuis nos premières expériences, M. Féry, en utilisant notre four électrique, a indiqué, au moyen de sa lunette pyrométrique (1), que le point d'ébullition du cuivre était voisin de 2 100 degrés.

Suivant les expériences de MM. Krafft et Bergfeld, cette température déterminée d'après les points de vaporisation et d'ébullition du métal dans le vide serait de 2 240 degrés.

Dans la première expérience, nous avons chauffé 300 gr. de cuivre pendant 5 m. avec un courant de 300 A sous 110 V. On voit nettement le métal fondre, puis, après 3 m., entrer en ébullition. Le tube froid se recouvre de métal et la cloche d'un mélange de globules métalliques et d'oxyde. Le culot métallique, après l'expérience, ne pesait plus que 250 gr. Après 5 minutes de chauffe, nous avons donc distillé 50 gr. de cuivre.

Une deuxième expérience, faite avec le même poids de cuivre et la même intensité de courant, ne nous a donné, après 6 m., qu'un résidu de 140 gr.; ce qui nous indique une volatilisation de 160 gr. de métal.

Enfin une troisième expérience, d'une durée de 8 m., nous a fourni, en partant du même poids de cuivre et d'une même densité de courant, un résidu de 67 gr., c'est-à-dire une volatilisation de 233 gr. de métal....

Si l'on examine le dépôt condensé sur le tube froid, on remarque que, en particulier dans la dernière expérience, il est formé d'un feutrage de filaments de cuivre de 5 mm. à 7 mm. d'épaisseur. L'aspect de ces derniers rappelle celui de l'argent filiforme. Ce feutrage présente, à la loupe, des ramifications légères, brillantes et irisées, qui donnent à la masse l'aspect de velours. Certains de ces filaments ont l'aspect de feuilles de fougères dont les frondes seraient arrondies. Leur couleur varie du rouge au jaune et présente de beaux phénomènes d'irisés. La densité de ce cuivre distillé, lorsqu'on l'a traité par l'acide acétique pour enlever une petite quantité de chaux qui le souille, est de 8,16. Cette densité est plus faible que celle du cuivre fondu, ce qui tient à l'occlusion d'une petite quantité de gaz (2). D'après Kahlbaum, Roth et Siedler, la densité du cuivre distillé est de 8,932. Notre échantillon donne à l'analyse : cuivre : 99,76 et ne renferme comme impureté qu'une très petite quantité de chaux et de graphite. La surface de cette masse poreuse s'altère plus rapidement à l'air humide que la surface polie du cuivre fondu. Mais ses propriétés chimiques, vis-à-vis du chlore, de l'acide chlorhydrique, de l'hydrogène sulfuré ou de l'acide sulfurique sont identiques à celles de la limaille de cuivre. Dès que le métal est traité par l'acide azotique étendu, les irisations superficielles disparaissent aussitôt et la couleur rouge du cuivre apparaît.

La matière pulvérulente, qui s'est déposée en abondance sur la cloche de verre, est formée surtout d'oxyde de cuivre, de chaux vive et de sphérules noires. Par conséquent, la vapeur de cuivre, au contact de l'air, a brûlé rapidement en fournissant de petits globules d'oxyde noir dont quelques-uns renferment encore au centre une très petite sphère de métal rouge.

Enfin, entre la surface du four et celle du couvercle, ainsi que sur les électrodes, on rencontre un grand nombre de petites gouttelettes de cuivre métallique d'un rouge plus ou moins foncé. On trouve parfois quelques petites aiguilles déliées de cuivre ou de petits cristaux sous forme bien nette.

Le métal qui restait dans le creuset a fixé une petite quantité de fer, de chaux et d'alumine provenant des impuretés des électrodes. Mais, ce qui est beaucoup plus important, ce métal contient du graphite.

Lorsque le courant vient d'être arrêté et que le cuivre est en pleine ébullition, si l'on sort le creuset du four, et qu'on le laisse refroidir lentement, on voit bientôt apparaître une croûte qui flotte sur le cuivre en fusion. Dès que la solidification commence sur le pourtour, on voit nettement de petits cristaux de graphite sortir du métal, puis la masse en fusion se hoursoufle et il se produit un abondant dégagement gazeux. Différents observateurs ont déjà appelé l'attention sur cette solubilité des gaz dans le cuivre liquide (3). Lorsque le culot métallique est complètement refroidi, si l'on a évité un accès trop rapide de l'air, on voit qu'il est recouvert d'une couche onctueuse de graphite, comme ces fontes mangonnées produites par un haut fourneau marchant à une allure trop chaude.

Ce graphite, soit amorphe, soit cristallisé, séparé par un traitement à l'acide azotique étendu, puis lavé et séché, a une densité de 2,12. Sa température d'inflammation dans l'oxygène est de 680°. Il renferme comme impuretés, du silicium, du fer et du magnésium qui proviennent du creuset et des électrodes. Sa composition est la suivante : carbone 96,25 ; cendres 3,36 ; hydrogène 0,21. Les cristaux de graphite et les impuretés se sont concentrés entre les

(1) Féry, Détermination des points d'ébullition du cuivre et du zinc. *Ann. de chim. et de phys.*, 7^e série, t. XXVIII, 1903, p. 428.

(2) Caron *Comptes rendus*, t. LXIII, 1886, p. 1129.

(3) Caron *De l'absorption de l'hydrogène et de l'oxygène de carbone par le cuivre en fusion* (*Comptes rendus*, t. LXIII, 1866, p. 1129). Hampe, *Chem. centr.* Bl., t. V, p. 104.