

plus de courant de charge. Il n'y a plus d'oscillations d'énergie, plus de résonances d'harmoniques, plus d'oscillations de période propre, plus de surtensions.

Seule, pourrait être à craindre une surtension consécutive à la rupture brusque d'un courant de court-circuit ; mais nous avons vu que cette surtension n'était pas proportionnelle à la tension de service. Elle sera donc moins à craindre encore à ces tensions élevées, puisque le coefficient de sécurité du câble sera plus élevé.

Enfin, en cas de rupture accidentelle de l'un des deux câbles, on peut, avec le courant continu, assurer le retour par la terre, pendant les quelques heures nécessaires à la réparation.

A 150 000 volts continu, par exemple, nous pourrions transmettre une puissance de 50 000 kw. par deux câbles de 300 mm<sup>2</sup> chacun qui paraissent réalisables.

Le coût total pourrait être, pour le câble, d'environ .....	Fr. 6 000 000
Le coût total serait pour la tranchée et la pose de .....	Fr. 600 000
SOIT AU TOTAL.....	Fr. 6 600 000

au lieu de six millions, chiffre auquel nous arrivions pour la ligne aérienne à 60 000 volts. Ces deux chiffres sont donc du même ordre.

L'absence de tous frais d'entretien et la très longue durée d'amortissement admissible pour la ligne souterraine, enfin la sécurité presque absolue rétablissant l'équilibre complet entre les deux solutions.

On peut donc dire, et ce sera notre conclusion, que l'emploi du courant continu paraît être, actuellement, au strict point de vue de la canalisation, la solution du long transport à haute tension.

Il faut considérer, par contre, la question des machines qui est beaucoup plus délicate. D'éminents ingénieurs et de puissantes Sociétés s'occupent en ce moment de résoudre cette difficulté.

Enfin, tout dernièrement, un de nos collègues les plus connus a réalisé un élévateur de tension en courant continu dont il est permis d'espérer voir sortir quelque jour la solution définitive du problème, et ce jour-là, les membres de la Société pour la protection des sites salueront, avec une joie légitime, la disparition des derniers pylônes.

## LA PRODUCTION ARTIFICIELLE DU DIAMANT

### ÉTAT ACTUEL DE LA QUESTION

L'emploi du four électrique dans les industries chimiques et métallurgiques présente deux avantages importants : l'obtention de températures très élevées avec un grand rendement et la facilité de production de ces hautes températures par l'utilisation des forces hydro-électriques. Aussi, n'est-il pas surprenant que dès l'invention de ce merveilleux appareil, on ait cherché de tous côtés à l'utiliser pour réaliser la synthèse du corps le plus infusible que l'on connaisse : le carbone sous sa forme transparente et cristallisée qui est le diamant (1).

Un grand nombre de gemmes ont déjà été obtenues arti-

ficiellement avec tous les caractères qu'elles présentent dans la nature. Il faut citer en particulier les pierres alumineuses (corindon, rubis, saphir), l'émeraude, le zircon, le spinelle.

La difficulté de préparation du diamant tient à deux causes principales : au peu de données que nous possédons sur l'origine minérale de cet élément et à son point de fusion encore inconnu. Le carbone passe en effet de l'état solide à l'état gazeux sans palier de fusion apparent et ne peut ainsi exister pratiquement et visiblement à l'état liquide.

Parmi les nombreux essais effectués depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle en vue d'obtenir artificiellement le diamant, il faut citer ceux de Silliman (1823), Cagniard de Latour et Gannal (1823), Desprez (1850), Lionnet (1866), Saix et Beghin (1880), Brachet (1880), James Mactear (1880), Hannay (1880), Marsden (1885), Friedel et Berthelot (1886), Moissan (1893), Majorana (1894), Rossel (1896), Friedlander (1898), Rousseau (1901), Burton (1905), La Rosa (1909), De Boismenu (1910), Von Bolton (1912).

Parmi tous ces noms, il nous suffit de retenir ceux de Marsden, Moissan, Majorana, Rousseau, Von Bolton et De Boismenu, dont les résultats semblent seuls indiscutables au point de vue des propriétés des cristaux obtenus : ces dernières prouvent qu'on est bien en présence de diamant et non d'une substance quelconque dure et transparente, telle que le siliciure de carbone par exemple.

\*\*

Parmi les expériences de synthèse du diamant, il en est qui font jouer à la pression un rôle essentiel alors que d'autres la font considérer comme accessoire et même comme inutile.

Le procédé de Marsden, le premier qui ait donné véritablement du diamant, consiste à chauffer pendant dix heures environ, à une température élevée, un mélange de *charbon de sucre* et d'*argent*. On laisse ensuite la masse se refroidir d'elle-même. En traitant le lingot obtenu par différents produits, on peut isoler de la masse trois variétés de carbone qui ont pris naissance simultanément : carbone amorphe, graphite et diamant.

Le procédé Moissan, qui est devenu presque classique, repose sur les faits suivants :

Lorsqu'on sature le *fer de carbone* à une température comprise entre 1 100° et 1 300° environ, on obtient, par le refroidissement de la masse, des résultats qui diffèrent suivant la température à laquelle le métal a été porté. Ainsi, vers 1 150°, on n'obtient que du graphite et du carbone amorphe ; vers 3 000°, il se produit seulement du graphite parfaitement cristallisé. Entre ces deux extrêmes de température, la fonte liquide se comporte donc comme une solution capable de dissoudre de plus en plus de carbone à mesure que la température s'élève.

Mais, si on fait intervenir la pression, les conditions de la cristallisation changent totalement. Pour obtenir cette pression, on utilise l'augmentation de volume que subit la fonte lorsqu'on la refroidit brusquement. On sait en effet que, de même que l'eau, la fonte liquide est plus dense que la fonte solide, c'est-à-dire qu'elle se dilate en se solidifiant.

Pour appliquer ces données à la préparation du diamant, on opère ainsi qu'il suit :

On comprime fortement du charbon de sucre très pur dans un petit cylindre de fer doux ayant environ 3 centimètres de hauteur et 1 centimètre de diamètre, puis on ferme ce dernier au moyen d'un bouchon à vis de même

(1) Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici que c'est en cherchant à faire cristalliser le charbon et à réaliser ainsi la synthèse du diamant qu'Acheson a obtenu la substance artificielle la plus dure actuellement connue : le *Carborundum*. Ce puissant abrasif est préparé aujourd'hui d'une façon courante et par grandes quantités au four électrique.

métal. On fait ensuite fondre au four électrique (fig. 1) environ 200 grammes de fer doux, et dans ce bain métallique on introduit rapidement le cylindre à charbon de sucre. Le creuset est aussitôt sorti du four et trempé brusquement dans un seau d'eau froide. Il y a évidemment production d'une grande quantité de vapeur, mais l'expérience n'offre aucun danger.

De cette façon, il se forme par refroidissement une couche de fer solide englobant une masse liquide qu'elle protège du contact de l'air extérieur. Quand cette couche n'est plus qu'à la température du rouge sombre, on retire le tout de l'eau, et on laisse la masse se refroidir d'elle-même. Pendant la durée de ce refroidissement, le mélange de charbon a le temps de presser contre lui-même et de donner ainsi naissance au carbone cristallisé et transparent, ou diamant.

Pour isoler celui-ci, on attaque le culot métallique au moyen d'acide chlorhydrique bouillant jusqu'à ce que tout le fer ait disparu. On est alors en présence seulement de carbone, mais sous trois états : graphite, charbon de couleur marron et carbone dense. On élimine le graphite et le charbon marron à l'aide d'eau régale et de traitements alternés à l'acide sulfurique bouillant et à l'acide fluorhydrique. Après une dernière attaque par le chlorate de potassium, l'acide nitrique fumant, l'acide fluorhydrique bouillant et l'acide sulfurique, on lave, puis finalement on sèche.

En introduisant le résidu dans du bromoforme, on isole quelques fragments microscopiques plus denses que ce liquide qui, en outre, rayent le rubis et brûlent dans l'oxygène à  $1\ 000^{\circ}$ . Ces propriétés appartiennent seulement au diamant.

Examinés sous un fort grossissement, les diamants obtenus par Moissan ont des teintes variées ; ils représentent assez bien les deux principales variétés de diamant : le diamant noir et le diamant transparent. Les diamants noirs ont un aspect grenu ou se présentent sous forme de plaques pointillées comme cela s'observe parfois dans les cristaux naturels. Parfois ils sont en masses à cassure conchoïdale et ont un aspect gras. Les diamants transparents ont aussi des aspects très variés. Ils possèdent souvent des stries parallèles et des impressions triangulaires ; leur densité moyenne est 3,5. Les plus gros diamants obtenus n'ont que  $0^{\text{mm}}75$  de longueur.

\*\*\*

La production artificielle du diamant au moyen de la fonte de fer permet de se demander si les aciers industriels ne seraient pas capables, eux aussi, d'engendrer ce même

produit. On sait en effet que les aciers durs sont généralement obtenus par le refroidissement sous pression du métal fondu. Cette hypothèse a été vérifiée par M. Rossel, professeur à l'Université de Berne, qui a effectivement isolé de certains aciers des cristaux ou des fragments de cristaux de diamant parfaitement transparents quoique toujours microscopiques (fig. 2). D'une façon générale, on constate que la quantité de diamants obtenue est d'autant plus grande que la température de fabrication de l'acier est plus élevée.

Examinés au microscope, ces diamants sont parfois nettement cristallisés en octaèdres, mais le plus souvent ils affectent la forme de lamelles : ce dernier aspect est en rapport avec les traitements (laminage) qu'ils ont subis au sortir de la fabrication et qui les ont réduits à l'état de débris plus ou moins irréguliers. Ils sont presque toujours cassants lorsqu'ils proviennent d'aciers travaillés. Les octaèdres se rencontrent seulement dans les aciers bruts, c'est-à-dire ni forgés ni laminés.

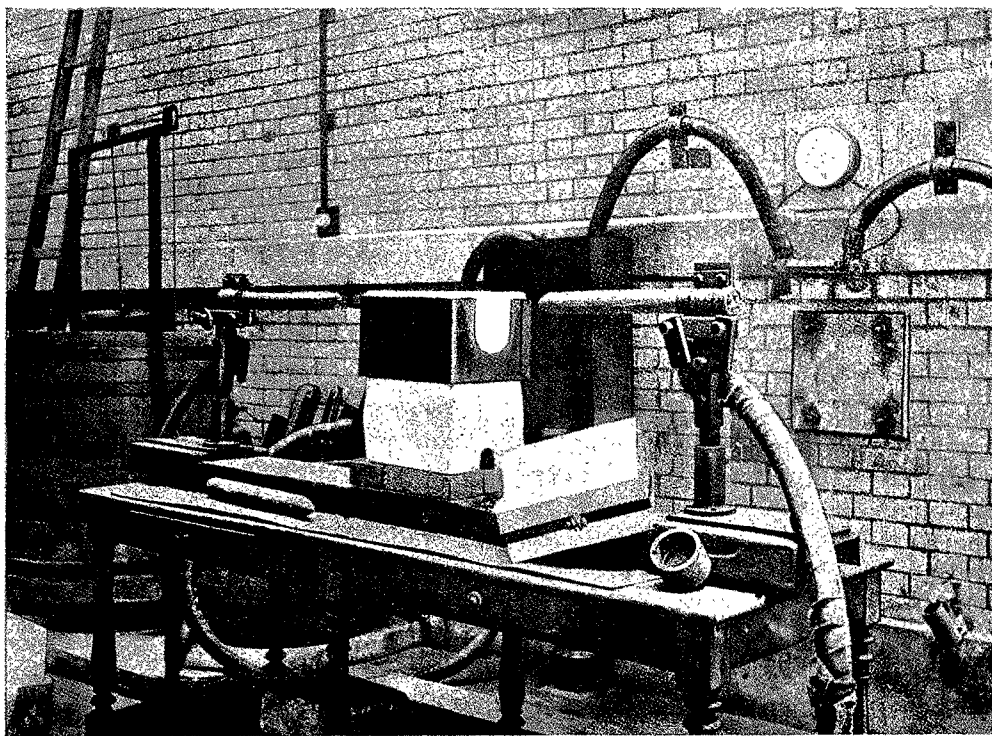


FIG. 1. — FOUR ÉLECTRIQUE A ARC, POUR EXPÉRIENCES A HAUTE TEMPÉRATURE

Le procédé de la Rosa est basé sur la grande quantité de chaleur fournie par certains arcs électriques (arcs musicaux) utilisés dans des conditions spéciales. Dans cette expérience, l'arc affecte la forme d'un éclateur à électrodes de charbon verticales. Au charbon inférieur est fixé un creuset réfractaire percé d'un trou et rempli de poudre fine de charbon de sucre jusqu'à 3 ou 4 mm. au-dessus de l'électrode. Le charbon supérieur passe à travers une autre ouverture ménagée dans le couvercle du creuset.

Dès que l'arc musical passe entre la poudre du creuset et le charbon supérieur, un petit tourbillon de carbone incandescent se forme entre les deux électrodes ; mais il se transformerait en graphite si l'on ne prenait pas la précaution de le ramener brusquement à une température suffisamment basse. On arrive à ce résultat en substituant à l'arc musical une étincelle condensée très puissante. M. La Rosa a pu ainsi isoler de la masse de charbon soumise à l'expérience des particules cristallisées ayant un poids spécifique égal à celui du diamant, qui rayent le rubis et résistent à l'action continue des acides concentrés et bouillants les plus énergiques ; à l'analyse elles ne donnent aucune trace de silice. L'un des cristaux obtenus paraît être une macle de deux tétraèdres à faces courbes, très fréquente dans les cristaux naturels ; un autre se compose d'un enchevêtrement de cristaux plus ou moins tronqués mais où l'on distingue parfaitement, sous un fort grossissement, deux tétraèdres et deux petites pyramides à base carrée. Ces cristaux sont très transparents et possèdent une grande réfringence.

L'emploi des hydrocarbures gazeux a été tenté par Rousseau et Von Bolton. Les expériences de Rousseau ont été effectuées à la pression ordinaire et à l'aide de l'acétylène. Ce composé est, parmi les hydrocarbures, celui qui semble le plus apte à réaliser cette synthèse par suite de sa polymérisation facile qui engendre toute une série de carbures de plus en plus condensés. En faisant agir directement l'arc électrique à travers certains autres hydrocarbures (gaz d'éclairage saturé de vapeurs de benzine), on obtient également de bons résultats. M. Rousseau est parvenu ainsi à préparer des petits grains de diamant noir qui tombent facilement au fond de l'iodure de méthyle.

Ces recherches permettent de supposer que le diamant peut très bien se former à la pression atmosphérique, la condition indispensable à sa production au moyen des hydrocarbures étant une très haute température, voisine sans doute de 3 000°.

Les expériences récentes de Von Bolton semblent également démontrer que la pression ne joue pas, dans la préparation du diamant, un rôle aussi important qu'on l'a supposé jusqu'à présent. Son procédé, qui date de 1911, repose sur la propriété que possède la vapeur de mercure de décomposer les hydrocarbures tels que le gaz d'éclairage, en donnant du carbone amorphe et du diamant. Les amalgames décomposent également les hydrocarbures. L'expérience est réalisée de la façon suivante :

Une éprouvette de 40 centimètres environ de hauteur et de 2 centimètres de diamètre contient 50 grammes d'amalgame de sodium à 14 %. Après avoir enduit la partie supérieure de l'éprouvette au moyen de silicate de sodium, on la saupoudre de poussière de diamant. On maintient l'éprouvette au bain-marie à 100° et on y fait circuler lentement un courant de gaz d'éclairage rendu humide par un barbotage dans l'eau.

L'examen de la partie supérieure de l'éprouvette, une fois l'expérience terminée, montre la formation de petites quantités de carbone noir. D'autre part, l'observation de la poussière initiale de diamant indique l'apparition de particules

d'un grand éclat. La couche de diamant, enlevée du tube, puis lavée successivement à l'eau bouillante, à l'acide fluorhydrique et à l'acide sulfurique, laisse voir au microscope des cristaux très nets de diamant qui se détachent parfaitement de la poussière sous-jacente. Ces cristaux disparaissent lorsqu'on les chauffe dans un courant d'oxygène.

D'après ces expériences, qui semblent être l'aurore de données nouvelles sur le problème de la « fabrication » du diamant, celui-ci pourrait se produire par la décomposition des hydrocarbures, à condition toutefois que des germes cristallins servent de substance mère et de support aux futurs diamants formés aux dépens du carbone isolé.

\*\*

M. de Boismenu, qu'une longue pratique industrielle avait fami-

liarisé avec le four électrique, a réalisé la synthèse du diamant par un procédé en apparence assez simple et reposant sur l'électrolyse du carbure de calcium.

La présence de cristaux microscopiques de diamant que Maumené avait décelée dans certains échantillons de carbure de calcium provenant de son usine de Savoie, suggéra à M. de Boismenu l'idée que la formation de ces cristaux pouvait être attribuée à des effets d'électrolyse. C'est dans ce sens qu'il orienta ses recherches.

Pensant que le carbone, qui n'a pas de palier de fusion apparent, doit cependant passer par la forme liquide pour pouvoir cristalliser sous la forme de diamant, il admit que dans les carbures métalliques fondus, le carbone à l'état de molécule isolée existe sous la forme liquide. En soumettant à l'électrolyse des bains de fu-

sion fortement carburés, on doit donc pouvoir déterminer sa cristallisation.

En 1908, il entreprit une série d'expériences dont il a communiqué les résultats à l'Académie des Sciences dans deux mémoires en date du 24 avril et du 30 décembre 1908. L'opération est effectuée à l'aide d'un four électrique à courant continu contenant un bain de 6 à 8 kgs de carbure de calcium maintenu liquide pendant plusieurs heures à l'aide d'un courant de 800 ampères sous 20 à 25 volts. Par l'action

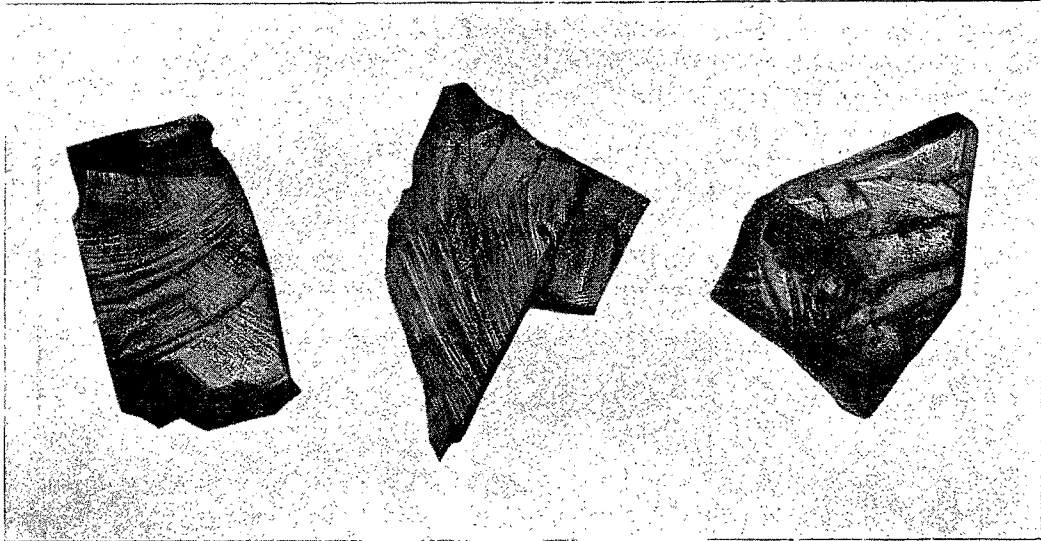


FIG. 2. — DIAMANTS DE L'ACIER (ROSSEL). GROSSISSEMENT : 25 DIAM. ENVIRON.

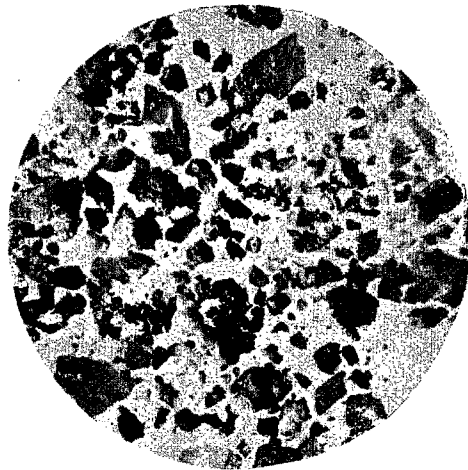


FIG. 3. — SCORIE CARBURÉE CONTENANT LES DIAMANTS.

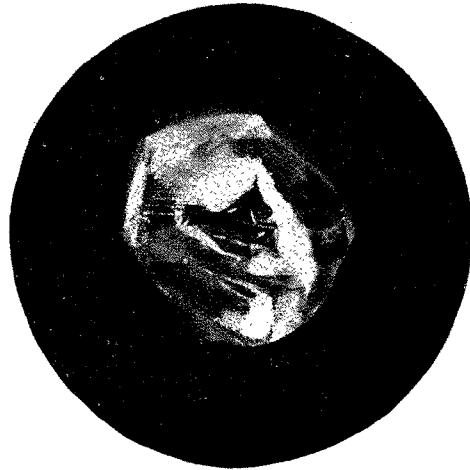


FIG. 4. — DIAMANT OBTENU PAR DE BOISMENU (GROSS. : 14 DIAM.).



de ce courant, il y a électrolyse du carbure : le calcium, appelé à la cathode, y brûle en produisant une flamme rose vif caractéristique, tandis que le carbone libéré, ne pouvant s'oxyder au sein de l'atmosphère de calcium qui l'entoure, va cristalliser dans des sortes de géodes formées dans la scorie de décomposition du carbure, à une certaine distance en arrière de la cathode.

Après l'opération, la masse de carbure refroidie et solidifiée apparaît sous un aspect indiquant nettement cet effet de décomposition électrolytique. Dans toute la région négative, il se présente sous la forme d'une scorie légère, noire, friable, ne décomposant l'eau que d'une façon insensible. En s'éloignant du foyer, cette scorie, qui se prolonge tout le long du charbon négatif, prend une couleur plus claire et se transforme peu à peu en une masse vitreuse, d'un gris bleuté, déchiquetée et dans laquelle on aperçoit distinctement des cristaux de diamant adhérents aux parois. Dans cette région, la cristallisation est tellement abondante qu'en grattant légèrement avec la pointe d'un canif, on peut recueillir par centaines de très petits cristaux de diamant.

On constate qu'il existe un rapport très net entre la gros-

seur des cristaux obtenus et la durée de l'opération. Dans les conditions où l'opérateur s'est placé, l'accroissement des cristaux semble se faire à la vitesse linéaire de deux dixièmes de millimètre à l'heure. Il est probable qu'en opérant avec plus de continuité pendant plusieurs jours, on obtiendrait des diamants de plusieurs carats.

Dans toutes les expériences réalisées par l'emploi de cette méthode, il n'y a jamais eu ni pression excessive ni refroidissement brusque. Le four a toujours fonctionné à l'air libre et s'est refroidi lentement une fois le courant supprimé.

Bien qu'obtenus au moyen de matières premières assez impures (chaux, charbon et carbure de calcium du commerce), les diamants préparés par De Boismenu sont en général très transparents ; ils se taillent et se clivent comme les diamants naturels ; l'un d'eux a pu même être taillé en rose à 32 facettes par un diamantaire de Londres. Quant à leur constitution, leur analyse chimique et l'étude de leurs propriétés optiques, effectuées par MM. Maquenne et Lacroix, professeurs au Muséum, montrent qu'ils possèdent tous les caractères du carbone pur et cristallisé naturel, c'est-à-dire du diamant.

Jean ESCARD.

## REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS TECHNIQUES

### ACADÉMIE DES SCIENCES

#### PHYSIQUE

*Sur un nouveau mode de construction des lampes en quartz à vapeur de mercure.* Note de M. A. TIAN, séance du 7 avril 1913.

L'auteur a eu l'occasion de signaler, à propos des phénomènes exercés par la lumière ultraviolette sur l'eau, l'opposition qui existe entre les propriétés chimiques des rayons de très courte longueur d'onde ( $\lambda < 1900$  angströms) et celles des autres radiations ultraviolettes, ces dernières se bornant souvent à détruire les combinaisons endothermiques produites par les premières. Cette différence d'action, d'ailleurs, a été récemment développée par M. D. Berthelot.

Il est donc nécessaire, quand on cherche à réaliser les effets chimiques des radiations extrêmes (ozonisation de l'air, peroxydation de l'eau, décomposition de l'acide chlorhydrique, etc.), d'utiliser une source de ces rayons donnant une proportion aussi faible que possible de ceux doués des propriétés inverses. En pratique, à cause de sa puissance et de sa commodité, on emploie presque toujours la lampe en quartz à vapeur de mercure ; il faut alors la soumettre à un *bas régime électrique* : l'émission totale des radiations ultraviolettes de cette source croît en effet énormément avec la tension appliquée, tandis que l'énergie des rayons les plus réfrangibles ( $\lambda < 1900$ ) varie relativement beaucoup moins.

D'autre part, à cause de la petitesse des rendements photochimiques et du peu d'énergie des radiations de très faibles longueurs d'onde, même émises par l'arc au mercure, il importe, pour obtenir des effets chimiques sensibles, de *diminuer le plus possible la distance à la source*. L'enveloppe de quartz des lampes à vapeur de mercure fonctionnant à basse tension est à une température peu élevée et l'on en pourra sans danger approcher la préparation, souvent même jusqu'au contact. Cependant, par leur forme complexe, électrodes, ailettes ou ampoule de refroidissement, les lampes en usage dans les laboratoires ne se prêtent pas simplement à une immersion dans un liquide ou un gaz, au moins dans des conditions chimiques acceptables. Il paraît donc utile de construire un modèle destiné à supporter normalement une basse tension, et dont la forme soit mieux appropriée.

La construction de pareilles lampes permet d'ailleurs une grande simplification : grâce à leur faible échauffement, facile à diminuer encore par une réfrigération convenable, on n'a plus à craindre la rupture, par inégalité de dilatation du raccord quartz-verre. On peut alors, évitant toute introduction d'électrodes à travers l'enveloppe de quartz, réunir celle-ci par un rodage, à une pièce de verre à laquelle sont soudées les arrivées de courant.

L'auteur a construit quelques lampes dont la partie en quartz transparent a la forme d'un tube à essai. Un peu de mercure placé au fond sert de cathode ; le courant lui est amené par un fil de fer protégé par un petit tube de quartz opaque occupant l'axe de la lampe ; l'anode est un petit cylindre de fer. Enfin, le support en cuivre maintenant la lampe par le haut, avant le rodage, sert en même temps à la refroidir par conductibilité : elle ne perd ainsi rien de sa forme dégagée.

Cet arc au mercure peut être alimenté par du courant alternatif : il faut, dans ce cas, mettre deux anodes constituées par des palettes de fer séparées l'une de l'autre par une lame de mica, et souder une troisième entrée de courant au bouchon de verre.

La lampe ainsi construite fonctionne dans toutes les positions, depuis la verticale jusqu'à une faible inclinaison sur l'horizontale. D'une construction simple et peu coûteuse, elle paraît se prêter particulièrement bien aux recherches de laboratoire.

#### CHIMIE-PHYSIQUE

*Sur la limite élastique des alliages.* Note de M. A. PORTÉVIN, séance du 14 avril 1913.

Parmi les diverses conventions faites dans le but d'essayer de définir expérimentalement une *limite élastique* dans les métaux et alliages, une seule conduit à une méthode permettant de s'apercevoir si cette limite élastique a été dépassée ou non *en un point* de la surface d'une éprouvette soumise à un effort ; les autres, notamment celles basées sur l'examen des courbes déformation-charge, s'adressent à l'ensemble du métal qu'on suppose implicitement homogène et isotrope. Cette méthode est celle qui découle des travaux sur les déformations microscopiques des métaux, notamment ceux d'Ewing et Rosenhain, Mügge, Osmond, etc. ; elle est basée sur l'apparition, sur la surface préalablement polie de l'échantillon des slip-bands dans les grains dès que la limite élastique se trouve dépassée.