

LA PRATIQUE DES INDUSTRIES MECANIKQUES

Revue pratique de l'Ingénieur, du Contremaître et de l'Ouvrier

LES GRANDES INDUSTRIES MONDIALES

LA FABRICATION MODERNE DES LAMPES ELECTRIQUES A INCANDESCENCE

L'humanité s'accoutume avec une rapidité surprenante aux plus merveilleuses créations de la science et de la technique. La lampe électrique à incandescence, aujourd'hui familière à tous, est un exemple frappant de cette accoutumance. Malgré son apparence d'extrême simplicité, la lampe actuelle est le fruit des recherches assidues et laborieuses de plusieurs générations de savants et d'industriels ; il a fallu une mise au point très ardue pour l'amener à son degré présent de perfection ; solidité, durée, économie. D'un instrument de laboratoire, fabriqué par unité au prix de grands efforts, elle est devenue une marchandise courante, fabriquée par millions chaque jour. Il a fallu naturellement, pour atteindre ce résultat, créer tout un matériel mécanique ingénieux pour exécuter les opérations complexes et délicates de la fabrication. Le but de l'étude qui suit est de décrire cette fabrication ; mais, pour donner au lecteur un aperçu des difficultés réelles qu'elle implique, la partie descriptive sera précédée d'un court aperçu de l'évolution de la lampe à incandescence depuis son invention jusqu'à nos jours.

Généralités.

Dès l'apparition de la pile électrique, on s'est rendu compte que le passage d'un courant dans un filament métallique fin peut l'échauffer au point de le porter à l'incandescence. De là à tenter d'utiliser le phénomène, il n'y avait qu'un pas. Le métal employé en premier lieu pour le filament a été, bien entendu, le platine, considéré comme pratiquement infusible à l'époque (sauf emploi de températures absolument extraordinaires). Le premier brevet de lampe à incandescence à filament de platine date de 1841, et c'est vers 1845 qu'on a pu établir la première lampe à peu près utilisable. On a compris de suite la nécessité d'envelopper le filament d'une ampoule vidée d'air, pour le protéger des influences chimiques de l'atmosphère, et, en même temps, réduire au minimum les pertes de chaleur par convection et conductibilité. La consommation était de plus de 4 watts par bougie.

Des perfectionnements importants ont été apportés à la lampe par

Edison et Maxim, vers 1878. Ils ont adopté des filaments de carbone (filament de bambou, lanière de papier mince, fil de collodion, etc.). On a ensuite imaginé des moyens ingénieux pour faire disparaître les différences de diamètre de ces filaments, qui amenaient leur destruction rapide au moindre survoltage. La consommation est alors tombée aux environs de 3 watts par bougie.

Vers 1904, la découverte de nouveaux corps métalliques à très haut point de fusion a incité à reprendre les recherches dans la voie du filament métallique (lampes au tantale, au zirconium, à l'osmium, filaments métallisés à base de terres rares, etc.). Ces métaux, durs et peu ductiles, avaient un autre inconvénient : vu leur peu de fusibilité, il était impossible de les obtenir en masse compacte pour les tréfiler ; il fallait recourir à des artifices (tréfilage d'un mélange de poudre métallique fine et d'une solution colloïde agglutinante, etc.). La fabrication était difficile, coûteuse ; ces filaments, de par leur structure, étaient très fragiles, et les lampes peu durables.

C'est vers 1909 qu'on a pu triompher de ces difficultés, avec le tungstène, métal très peu fusible, lui aussi, mais facile à obtenir à l'état de grande pureté.

Dans les débuts, on fabriquait les filaments par tréfilage d'une suspension colloïdale, comme pour les filaments de tantale de 1904. Ces filaments n'avaient pas plus de 10 cm. de long ; on les pliait en forme d'épingle à cheveux, et il fallait en assembler un certain nombre pour constituer les 70 cm. de filament nécessaires à la lampe ordinaire de 10 à 16 bougies. On conçoit la difficulté de fabrication d'un tel assemblage, et sa grande fragilité.

C'est en 1909 qu'on est parvenu pour la première fois, en Amérique, à convertir le tungstène, obtenu à l'état pulvérulent, en une masse compacte et capable d'être étirée en un fil relativement solide. C'est ainsi que la lampe à filament en zig-zag, connue de tous, est devenue d'une réalisation pratique.

Le vide, nécessaire, comme on l'a vu plus haut, a un inconvénient : il facilite la « distillation » de la matière

constituant le filament, et, pour cette raison, il était indispensable de maintenir ce dernier à une température relativement basse, d'où un rendement lumineux assez médiocre, autrement dit une consommation encore assez élevée (1-1,2 watt par bougie).

Cette évaporation diminue si l'on maintient dans l'ampoule une atmosphère gazeuse ; la lampe peut alors supporter de plus hautes températures sans noircir (ce noircissement est dû à la « distillation » du filament). Mais l'atmosphère gazeuse augmente les pertes de chaleur, toutes choses égales d'ailleurs.

On a tourné la difficulté en donnant au filament la forme d'un boudin serré, de petit diamètre. Avec un tel boudin, on peut constituer un filament ayant une grande longueur effective sous une faible longueur apparente, et, dans certaines conditions de dimensions, les pertes de chaleur causées par un filament de ce genre deviennent inférieures à celles du filament en zig-zag, à égalité d'intensité lumineuse, malgré l'emploi d'une atmosphère gazeuse pour la lampe à boudin. C'est ainsi qu'a été créée la lampe dite « demi-watt », employée couramment au-dessus de 50 bougies, et qui permet des consommations de l'ordre de 0,7 watt par bougie.

Après ces quelques explications, nous pouvons maintenant passer à l'étude de la fabrication des lampes.

Eléments constitutifs d'une lampe.

Examinons d'un peu plus près une lampe actuelle, la classique mono-watt 16 bougies, par exemple, que tout le monde connaît.

Extérieurement, nous remarquons, en premier lieu, l'ampoule proprement dite (fig. 1), terminée par le « culot » qui se place dans la douille.

Ce culot est une pièce emboutie en laiton mince ; il porte latéralement les deux tenons d'attache, sortes de petits rivets creux ; examiné en bout, il présente sur sa tranche une masse noire ou foncée, qui est du verre, et dans laquelle sont incrustées deux petites plaquettes en laiton,

par où le contact s'établit avec les pistons de la douille-support. On remarque sur ces plaquettes des plages de soudure à l'étain, et l'on distingue parfois les fils qui sont passés dans les trous des plaquettes et maintenus par ces soudures.

L'ampoule se termine généralement en pointe effilée à l'extrémité opposée, sauf pour certains types récents. Nous verrons plus loin d'où vient cette pointe.

Si nous passons maintenant aux organes intérieurs, nous remarquons

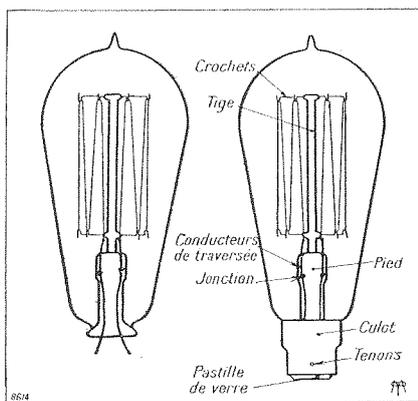


Fig. 1. — A droite, détails d'une lampe à incandescence — A gauche, lampe terminée avant mise en place du culot.

d'abord le filament, disposé de manière à former, si l'on veut, une sorte de cage d'écureuil. Ce filament, comme on l'a vu plus haut, est en tungstène. Il est supporté au moyen de deux séries de petits crochets métalliques, encastrés dans une tige pleine en verre d'environ 3 mm d'épaisseur. La tige porte ordinairement des renflements ou « perles », obtenus par refoulement, aux endroits qui reçoivent les crochets en question. Enfin, la tige est fixée à l'ampoule par un support tubulaire, dont on distingue mal la partie basse, mais dont on voit nettement le haut, aplati et formant une masse de verre pleine qui englobe le bas de la tige. Cet ensemble porte dans l'industrie des lampes le nom de « pied ».

Reste à conduire le courant des contacts du culot aux deux extrémités du filament. Ces deux extrémités sont placées sur deux crochets adjacents de la rangée la plus voisine

du culot, et la liaison est obtenue par deux fils métalliques nus, très visibles, qui sortent de la cavité principale au travers de la masse pleine du haut du pied.

Lorsqu'on y regarde de plus près, on remarque que les fils d'amenée présentent une sorte de saillie au voisinage de cet endroit. Cette saillie est une jonction ; les fils sont en effet constitués par des tronçons rapportés de nature différente ; la partie la plus voisine du culot est en cuivre ; la partie qui traverse le verre est constituée par un alliage spécial, ayant la même dilatation que le verre, de manière à permettre une étanchéité complète des traversées.

Si l'on parvenait à séparer le culot de l'ampoule sans rien briser, on constaterait que la partie qui vient se loger dans le culot a la forme indiquée à gauche dans la figure 1. Le culot est simplement collé, ou plus exactement cimenté, sur l'ampoule au moyen d'une masse généralement rose, et qui n'est autre chose qu'une solution concentrée de gomme laque dans l'alcool, dans laquelle on a incorporé du plâtre ou du marbre finement moulu.

Les crochets ou potences qui sup-

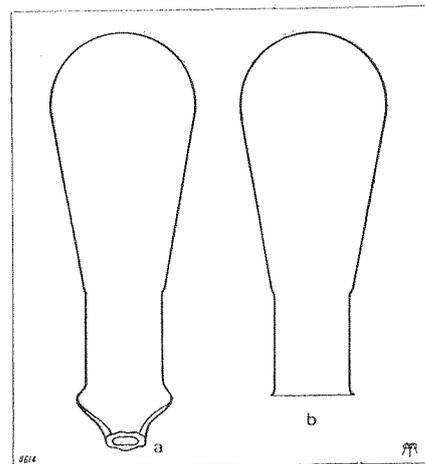


Fig. 2. — Schémas de l'ampoule brute telle que l'usine la reçoit (a) et après enlèvement du « mors de canne » (b).

portent le filament doivent être, comme ce dernier, faits d'un métal résistant aux hautes températures. Actuellement on emploie, pour cet

usage, le *molybdène*, qui fond à 2200°, soit au-dessous de la température de fusion du filament, mais offre en revanche l'avantage d'être plus malléable et moins dur, autrement dit de se laisser plus facilement plier et couper pour la formation des crochets.

Cela posé, voici l'énumération des objets nécessaires à la confection d'une lampe :

1° — Une ampoule en verre ; ces ampoules sont fabriquées chez les verriers, et l'usine de lampes les reçoit sous la forme indiquée figure 2 a. On remarque qu'elles n'ont pas encore de pointe, et portent à l'autre extrémité un large col. terminé par une sorte de masselotte de verre par où l'ampoule tenait à la canne du souffleur. Cette masselotte subsiste pour le transport des ampoules, car elle en diminue la fragilité ; il faudra l'enlever par la suite (fig. 2 b).

Les ampoules sont encore soufflées à la main en Europe. Aux Etats-

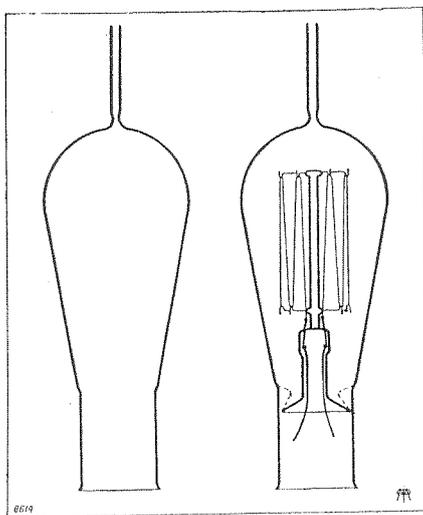


Fig. 3. — A gauche, ampoule munie de son « queusot ». — A droite, la même après insertion des organes intérieurs.

Le tracé pointillé montre la forme que prendra le verre à la fermeture.

Unis, on a créé une machine automatique qui les produit en très grandes quantités, mais dont l'installation coûte plusieurs millions.

2° — Un bout de tube de verre de 1 cm de diamètre environ sur 3 ou

3 1/2 de long, qui formera la base du « pied » ;

3° — Un bout de tige de cristal de 3 mm, pour la tige ;

4° — Le fil de molybdène pour les crochets ;

5° — Le filament de tungstène (diamètre quelques centièmes de mm, longueur 60-70 cm. par lampe) ;

6° — Les fils de traversée, sur lesquels on reviendra plus loin ;

7° — Le culot, avec sa pastille, ses tétons et ses contacts. Souvent, le culot est livré complet et prêt à servir par des fabricants spécialisés. La fabrication des fils et filaments, notamment ceux de tungstène, est également une industrie spéciale, et la plupart des fabricants de lampes, sauf peut-être les très gros, l'achètent en bobines.

Pour permettre de mieux comprendre la fabrication, il nous faut commencer par parler de la lampe presque finie, soit opérée en sens inverse de ce qui paraîtrait logique, surtout en ce qui concerne la région du col. Nous donnons donc, dès maintenant (fig. 3) une vue des éléments de la lampe entièrement terminés, prêts à l'assemblage. On voit immédiatement : d'une part le rôle du col, par où l'on introduit tout l'équipage intérieur monté ; d'autre part, l'évasement inférieur du tube de verre du « pied » ; c'est par cette partie évasée que se fera la jonction du pied à l'ampoule ; enfin, on remarque que l'ampoule porte un petit tube de verre rapporté ; c'est par ce tube qu'on pourra faire le vide dans la lampe une fois terminée de montage, et la « pointe » n'est autre chose que le bout de ce tube, après qu'on l'a scellé au chalumeau pendant le pompage.

Préparation des éléments.

Reprenons maintenant les choses dans leur ordre normal. Les figures 4 et 5 montrent les bouts de tube et de tige bruts, qui serviront à la confection des éléments du pied, ainsi que la forme qui leur est donnée par façonnage. On a à former sur la tige les deux renflements ou « perles » pour les crochets ; quant au tube, il

doit être évasé à un bout pour venir former jonction avec l'ampoule.

Pour obtenir un travail régulier et une production suffisant aux besoins du marché, il faut évidemment avoir recours à des machines. Les diverses machines employées dans l'industrie des lampes sont les unes automatiques, les autres semi-automatiques seulement (celles-ci pour certaines

Fig. 4.

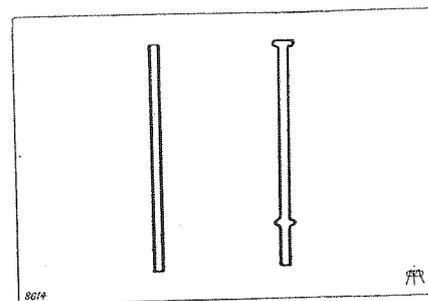
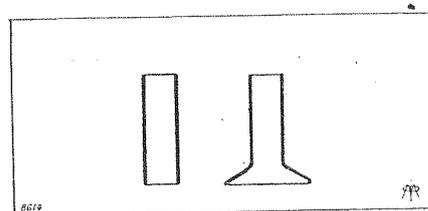


Fig. 5.

Fig. 4 et 5. — A gauche, schémas du tube et de la tige du pied bruts. — A droite schéma de la tige et du pied préparés.

opérations qui n'exigent l'intervention du personnel que pour l'appréhension de l'instant où telle opération peut être effectuée).

La nécessité de cette surveillance a une cause très simple : pour modifier la forme d'une pièce de verre quelconque, il faut la chauffer ; toutes les machines chargées de travailler le verre possèdent donc un ou plusieurs brûleurs ou chalumeaux à gaz, et l'on comprend que le résultat puisse varier suivant la pression du gaz, la nature exacte du verre, les courants d'air, etc.

Tige et tube du pied.

La baguette et le tube de verre arrivent en « barres » de quelques mètres de long ; il s'agit d'abord de les tronçonner à la longueur voulue ; la tige est simplement, cassée par

pression, au moyen d'un appareil approprié ; le tube se tronçonne au moyen d'une sorte de scie circulaire sans dents, constituée par un disque d'acier à bord mince et trempé sec.

Ces éléments sont envoyés à l'atelier chargé du travail du pied ; cet atelier reçoit, d'autre part, les fils conducteurs préparés, coupés mécaniquement à la longueur voulue.

Les bouts de tube sont empilés dans la ou les trémies de la machine à

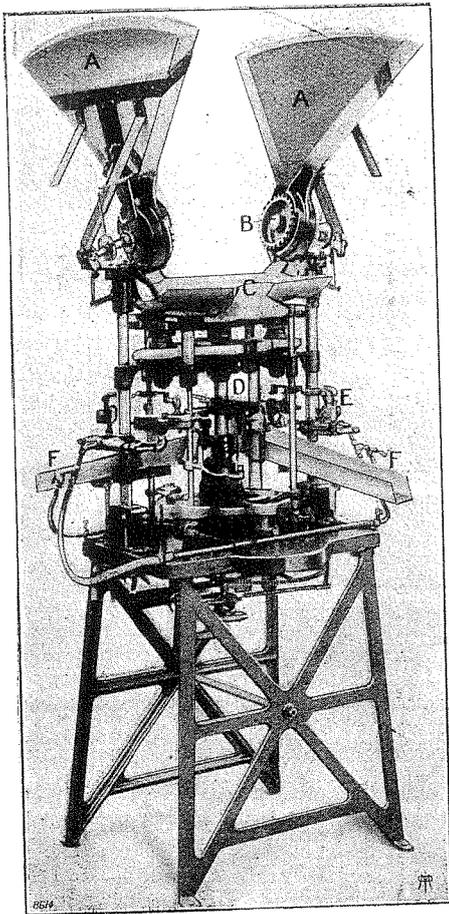


Fig. 6. — Vue d'une machine à évaser, type double, automatique.

AA, Trémies recevant les tubes bruts. — B, Roue distributrice. — C, Goulotte d'alimentation. — D, Mandrins. — E, Chalumeaux. — F, Gouttière de sortie.

évaser, machine entièrement automatique et fort ingénieuse. La machine comporte souvent deux parties identiques sur un même bâti ; tel est le cas de celle de la figure 6, où l'on remarque deux trémies A pla-

cées face à face. Les tubes, empilés dans l'un de ces magasins, de telle sorte que leurs axes soient perpendiculaires à la surface du fond, descendent par leur propre poids au contact d'une roue d'alimentation à alvéoles, très nettement visible sous la trémie arrière, en B ; grâce à cette disposition, la trémie ne peut distribuer qu'un seul tube à la fois. La roue, tournant lentement, laisse tomber à intervalles fixes un tube dans une gouttière, qui le conduit sur un mandrin vertical rotatif. Le tube se trouve alors soumis aux flammes de toute une série de chalumeaux disposés dans un plan horizontal : il tourne sur lui-même au sein de la flamme, se ramollit à l'extrémité ; au bout d'un certain temps de chauffe, un doigt manœuvré par un mouvement à came vient s'appliquer contre le bord intérieur du tube, qui continue à tourner, et orme l'évasement conique. Cela fait, le tube est éjecté avec l'aide d'un jet d'air comprimé qui le refroidit ; il tombe dans une gouttière vibrante, nettement visible à droite de la machine. La production est d'environ 1000 pièces par heure et par

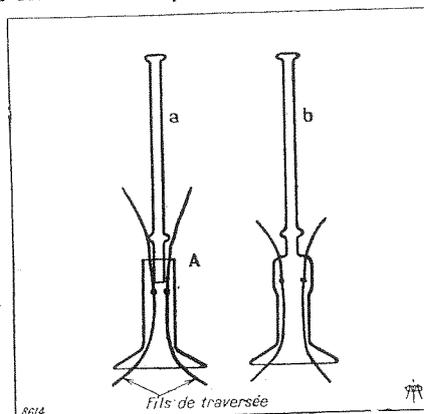


Fig. 7. — Schéma des éléments du pied, assemblés (en a) et réunis définitivement par soudure (en b).

A, Partie à souder

machine. Une machine analogue dans son ensemble permet de faire les perles des tiges. Les tiges brutes sont

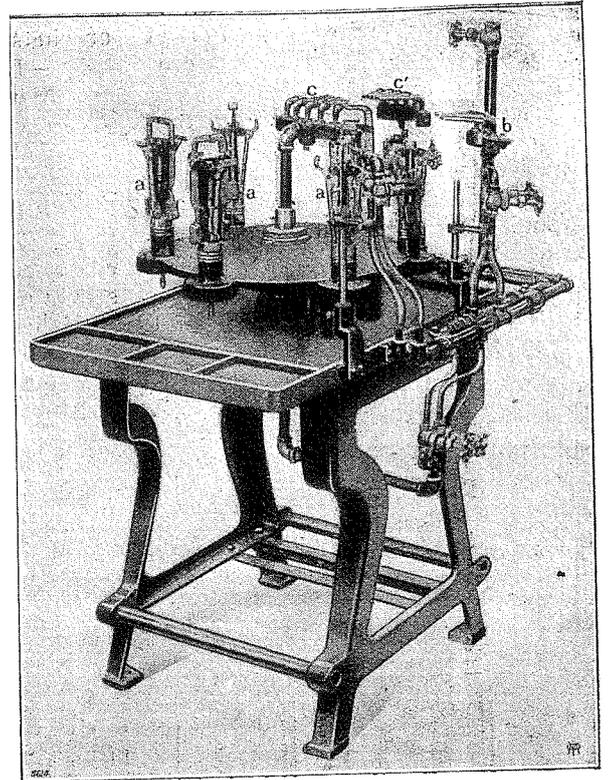


Fig. 8. — Vue d'une machine à faire le pied.
aa, Supports (v. fig. 9) montés sur plateau tournant.
b, c, c', Chalumeaux.

logées dans un magasin analogue, et viennent se placer verticalement dans la zone de flamme d'un jeu de brûleurs ; la tige est ainsi ramollie en un point convenable et sur une certaine longueur, puis elle subit une compression en bout, qui provoque le refoulement et l'aplatissement de la partie ramollie. Il existe des machines faisant simultanément les deux perles. La production d'une machine est également de 1000 pièces à l'heure environ. D'autres machines, plus récentes, font automatiquement les perles et la pose des crochets (fig. 10).

Disposant maintenant du tube évasé, de la tige perlée et des fils conducteurs, on a tout ce qu'il faut pour commencer le montage du « pied ».

La figure 7 montre les positions relatives de ces éléments dans l'as-

semblage préparé et la forme définitive à réaliser. Les éléments, disposés comme indiqué en *a*, figure 7 (les fils passés dans le tube et de part et d'autre de la tige), on pose le tout sur un support approprié de la machine (fig. 8); plusieurs de ces supports sont répartis autour d'un plateau à axe vertical. Au voisinage de chacun se trouve un jeu de chalumeaux, dont les jets convergent vers la région A (fig. 7); les pièces de verre se ramollissent en ce point. Quand l'ouvrière chargée de la machine estime le ramollissement suffisant, un coup de pédale provoque le fonctionnement d'une sorte de pince à mors plats, qui fait partie du support et vient

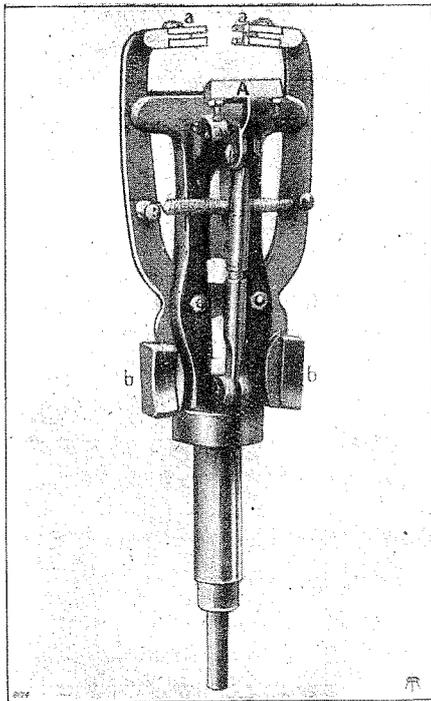


Fig. 9. — Détail d'un des supports *a* de la machine fig. 8.

aa, Mors de la pince de soutien. — *AA*, Mors de serrage qui écrasent le verre.

serrer fortement le tout dans la région chauffée (fig. 9). Le verre étant ramolli, le tube, la tige et les fils ne font plus qu'une masse compacte; les fils dépassent les quantités voulues des deux côtés, et sont intimement liés au verre.

Les fils de traversée.

On conçoit la nécessité d'une telle liaison intime et étanche. On conçoit aussi que, si le verre et les fils avaient des coefficients de dilatation diffé-

on fait un épais dépôt galvanique de cuivre, ou encore on coule du cuivre autour de ce barreau; on réduit ensuite au diamètre voulu par étirage. En Angleterre et en Amérique, on est même allé jusqu'à

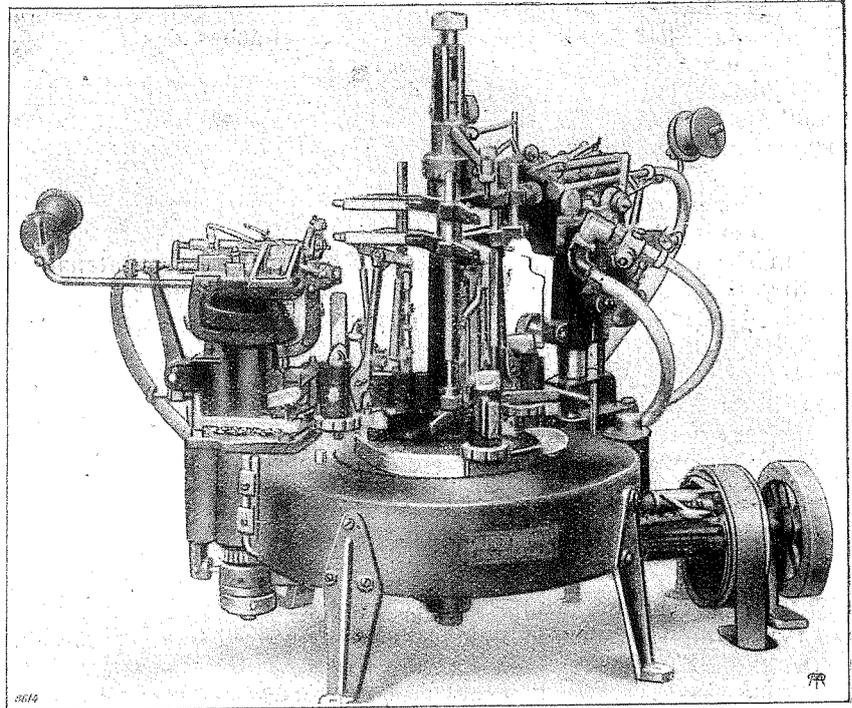


Fig. 10. — Vue d'une machine automatique à étoiler et perler.
(Remarquer les lobines de fil et les chalumeaux servant à ramollir la tige)

rents, les fils se décolleraient pendant le refroidissement, et l'on aurait des fuites qui empêcheraient l'établissement et le maintien du vide dans la lampe. Cette question des conducteurs de traversée a toujours été l'une des plus délicates. Il y a quelque dix ans, on se servait de platine pour la traversée proprement dite, et de cuivre et de ferro-nickel de part et d'autre, en raison du prix élevé du platine. Dans cette disposition, chaque fil est composé de trois tronçons soudés bout à bout au chalumeau ou à l'électricité. On a naturellement dû renoncer au platine en raison de son cours prohibitif depuis la guerre, et l'on remplace presque toujours le platine par un fil spécial en *ferro-nickel recouvert de cuivre* (fil gainé); on l'obtient à partir d'un barreau de ferro-nickel sur lequel

recouvrir le tout d'une couche de platine avant l'opération d'étirage. Ceci avait une raison: le platine se laisse mieux « mouiller » par le verre que les autres métaux, d'où une excellente adhérence, qui, jointe à l'identité des coefficients de dilatation, assure une bonne étanchéité. Mais, le plus souvent, on se dispense de l'emploi du platine, et le fil est simplement couvert d'une couche d'un fondant (borate de potassium ou borax fondu) qui assure une meilleure liaison entre le métal et le verre, et de plus préserve le cuivre de l'oxydation à chaud en formant un enduit imperméable. Comme il s'agit toujours là d'un produit coûteux, on l'emploie parfois comme le platine, en lui soudant un fil de cuivre du côté extérieur, et, pour l'intérieur, un fil de nickel, de cuivre

ou de quelque autre alliage approprié. Certains emploient le ferro-nickel gainé pour l'intérieur. Ceci a l'avantage de supprimer une soudure par fil. Mais le plus souvent, chaque fil est composé de trois tronçons soudés bout à bout, comme dans le cas du platine. Les jonctions se font avec une grande précision par soudure électrique. Les fils de la plupart des figures ci-jointes sont en deux parties seulement (cuivre et ferro-nickel gainé) avec une seule soudure.

Il reste à munir le pied de ses crochets ou potences, disposés radialement ou en étoile. Tout ce travail est fait automatiquement par une machine dite *machine à étoiler*, dont un type est illustré figure 10. Cette machine, à table-revolver, du type le plus perfectionné, fait simultanément les perles et enfonce les crochets des deux rangées, à raison de 450 pieds à l'heure. Dans d'autres types, plus simples, le travail se fait en deux fois, une opération pour chaque zone à garnir (noter qu'il n'y a pas le même nombre de crochets aux deux extrémités, et qu'un décalage est nécessaire pour donner au filament la forme connue). Pour chaque phase du travail, la machine commence par

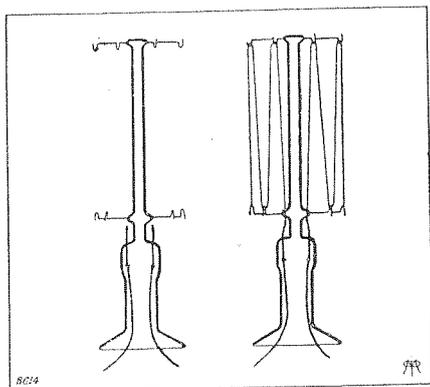


Fig. 11. — A gauche, dispositif du pied monté et étoilé. — A droite, le même entièrement achevé, avec le filament.

ramollir la zone de la perle au moyen d'un brûleur; puis, un mécanisme très ingénieux vient enfonce dans la perle l'extrémité d'un fil de molybdène que fait avancer un système à pince (le fil est emmagasiné en bobine et se déroule au fur et à mesure).

Puis, une pince coupe le fil de manière à laisser la longueur voulue, un autre dispositif forme l'extrémité en crochet, après quoi le support du pied fait une fraction de tour et la même opération recommence plus loin, etc. Il y a toujours un crochet de moins du côté culot; ce qui, avec les deux attaches des fils conducteurs, fait $(n + 1)$ points d'appui de ce côté contre n de l'autre. L'objet terminé est représenté à droite de la figure 11.

Le filament. Préparation et mise en place.

Le pied étoilé est maintenant prêt à recevoir le filament, après quoi on pourra le placer dans son ampoule. Mais le fil de tungstène, dans l'état où on le reçoit, est d'un maniement difficile; si on le déroule de sa bobine, il tend à se rouler à nouveau, d'où brouillage et déchet notable. Après diverses tentatives, la meilleure solution qu'on ait trouvée pour en permettre le montage facile consiste à le replier par avance en zig-zag, aux dimensions exactes que demande l'espacement des supports des lampes.

Pour cela, on l'enroule entre deux disques munis de broches en quinconces (soit la répétition du traitement qu'on lui fera subir pour le monter dans la lampe); les deux disques sont isolés électriquement, et, après y avoir enroulé ce qui correspond à une lampe, on les relie respectivement aux deux pôles d'une source électrique: le courant passe dans les branches rectilignes du filament, les porte au rouge vif, et ceci leur donne un recuit; on peut ensuite enlever le filament; il restera plié en zig-zag, les parties chauffées resteront droites; on a ainsi un filament « apprêté ».

L'opération doit s'effectuer à l'abri de l'air et en milieu neutre ou réducteur, car le tungstène est facilement oxydable à ces températures. L'opération de recuit se fait, pour cette raison, dans une enceinte close où l'on fait circuler, soit de l'hydrogène, soit un mélange d'hydrogène et d'azote.

L'apprêt du filament peut se faire

en continu par des moyens mécaniques. Une machine établie dans ce but par la fabrique des lampes Fotos de Lyon traite environ 1000 mètres de fil à l'heure, assez pour environ 1500 lampes.

Plus simplement, on peut enrouler le fil en boucles plates sur un tourniquet à deux broches, avec des moyens de chauffage analogues. C'est la mé-

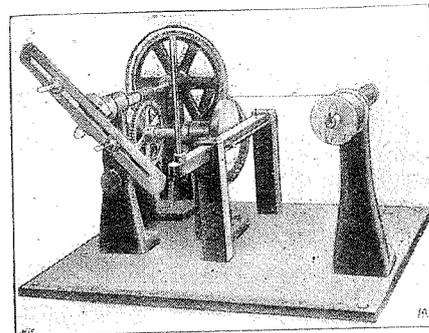


Fig. 12. — Vue d'une machine à apprêter le fil en zig-zag, pour les filaments.

thode courante aux Etats-Unis. La figure 12 montre la machine employée, et notamment les broches à écartement réglable où s'enroule le fil.

Le fil apprêté peut être ensuite rebobiné à la manière ordinaire; quand on le déroulera, il reprendra la forme en zig-zag. Avant de venir se placer sur ses supports, il doit encore recevoir une autre préparation; on le fait passer dans un bain constitué par du phosphore rouge en suspension dans un liquide (eau ou alcool). Ce phosphore est destiné à absorber les dernières traces d'oxygène qui resteront dans l'ampoule après qu'on aura fait le vide mécaniquement.

Puis, on sèche dans une petite étuve à 300°, et on rebobine après avoir fixé le phosphore au moyen d'une légère couche de vernis. Le fil bobiné est maintenant prêt au montage. L'opération s'effectue à l'aide d'une presse spéciale automatique (fig. 13) ou à pédales; il s'agit de passer le fil sur les potences, de le couper à la longueur voulue, et de serrer les bouts dans les crochets qui ont été faits aux bouts des deux conducteurs. Les organes actifs de la presse

sont des pinces ou mâchoires, commandées indépendamment ou automatiquement. Les unes serrent le filament dans les crochets formés en bout du conducteur; l'autre coupe le filament libre. L'ouvrière termine en tendant les branches du filament; pour cela, elle agit à la main sur les fils des potences à l'aide d'une toute petite pince et les plie le cas échéant, jusqu'à ce que son filament soit bien tendu. La figure 11 montre, à droite, le pied entièrement garni.

Le « pied » est alors terminé; certaines firmes préfèrent appliquer le

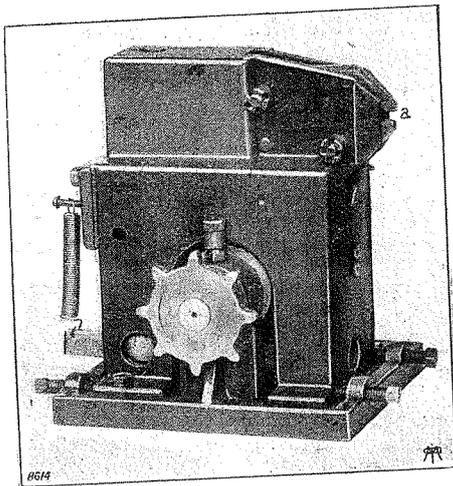


Fig. 13. — Vue d'une presse à monter le filament, type simple d'établi, commandée au moteur (par le pignon de chaîne visible devant le bâti).

phosphore à cette phase de l'opération seulement, soit en trempant le pied dans la mixture phosphorée, soit en projetant la mixture sur le filament au moyen d'un pulvérisateur.

L'ampoule. Préparation et queusotage.

L'ampoule, en arrivant à l'usine, est d'abord débarrassée de sa masselotte (visible sur la fig. 2); pour cela, on chauffe vivement le pourtour du col à cet endroit (à la flamme ou, plus récemment, à l'électricité), puis on applique un tampon de tissu mouillé sur la partie chauffée. La rupture s'amorce immédiatement, et on l'achève sans difficulté. On peut aussi faire un sillon périphérique à la meule émeri mince et chauffer

ensuite brusquement; la rupture est instantanée et la section très nette.

On rince ensuite les ampoules s'il y a lieu, on laisse ou fait sécher, puis on rapporte le petit tube appelé « queusot » destiné à l'extraction de

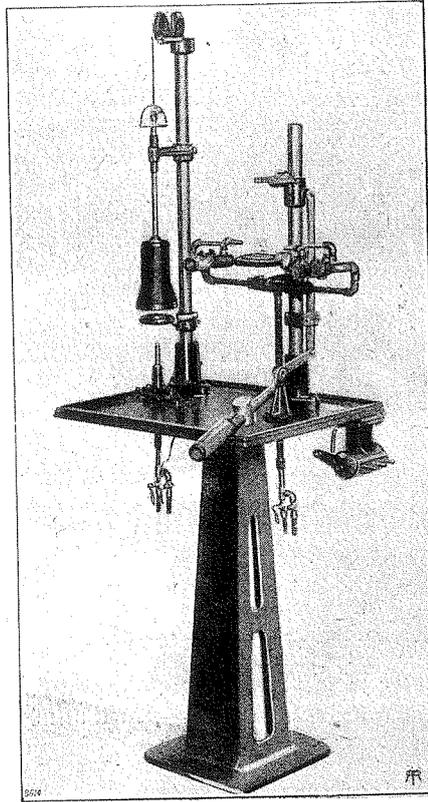


Fig. 14. — Vue d'une machine à queusoter, modèle non automatique.

A droite, support de l'ampoule pour la chauffe. — A gauche, mandrin du tube et support d'assemblage.

l'air et dont nous avons déjà parlé. Les tubes destinés à servir de queusots ont 6 mm de diamètre, et 6-8 cm de long. Ils sont emmagasinés, comme précédemment les tiges, dans la trémie de la machine spéciale à queusoter, ou placés à la main, comme dans la machine figure 14. Dans le type à magasin, une roue distributrice fait tomber les tubes un à un. Le tube vient se placer dans un mandrin vertical rotatif, où il se trouve chauffé par un chalumeau à l'extrémité inférieure, et porté à la température de ramollissement. En même temps, un autre chalumeau ramollit le sommet

de l'ampoule, montée sur un autre support porté par le même bâti (à droite de la figure).

La chauffe est localisée à une très petite surface, de sorte qu'il suffit de lancer sur la partie ramollie un mince jet d'air comprimé pour obtenir un petit trou bien net. Cela fait, l'ouvrière prend vivement l'ampoule et la transfère sur un support placé exactement au-dessous du tube en train de chauffer. Un seul coup de levier ou de pédale éteint les chalumeaux, arrête la rotation du mandrin, et fait descendre pour appliquer le tube contre la paroi ramollie. Les deux pièces se soudent immédiatement.

Production : environ 300 pièces à l'heure et par machine. L'aspect de l'ampoule ainsi préparée est celui indiqué à gauche sur la figure 3.

Montage définitif de la lampe. Fermeture.

On a donc maintenant, d'une part les pieds entièrement montés et munis des filaments, d'autre part les ampoules à large col, débarrassées de leur « mors de canne », et l'on a vu que la largeur du col est suffisante pour permettre aisément l'introduction du pied. L'évasement de ce dernier a sensiblement le diamètre intérieur du col de l'ampoule.

L'assemblage et la soudure des deux éléments s'opèrent sur une nouvelle machine à fermer (fig. 15), qui comprend un plateau pivotant (sorte de revolver à axe vertical) sur lequel se trouvent six supports verticaux qui recevront les pieds, les fils conducteurs tournés vers le bas. Ces supports sont constitués par des tubes métalliques, qui viennent se loger dans la partie tubulaire du pied; l'ouvrière chargée de cette mise en place a soin de passer les bouts libres des conducteurs à l'intérieur des tubes, afin de les soustraire à la grande chaleur; il est, en effet, bien évident qu'il va falloir fondre le tube au droit de l'évasement du pied. Les supports sont munis d'un système de commande par engrenage qui leur permettra de tourner sur eux-mêmes.

Ayant placé un pied sur un sup-

port, l'ouvrière le coiffe d'une ampoule (fig. 16), le plateau avance d'un sixième de tour, et vient lui présenter un nouveau support à garnir.

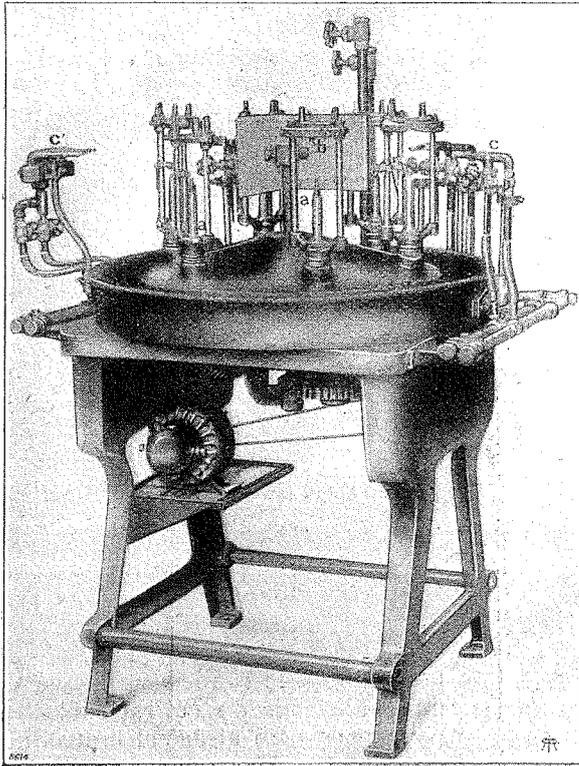


Fig. 15. — Vue d'une machine à fermer les lampes.
a, a, Supports sur plateau-revolver. — b, b, Supports réglant la position des ampoules. — c, c', Jeux de chalumeaux.

Celui qui vient d'être garni vient se placer en face d'un premier chalumeau, qui chauffe légèrement le verre dans la région de la base du pied; le support garni tourne continuellement pendant la chauffe. Le plateau, avançant par sixièmes de tour à des intervalles de temps convenablement choisis, amène ainsi la lampe successivement en regard de plusieurs chalumeaux donnant des flammes de plus en plus fortes, et finalement devant un jeu de chalumeaux convergents. On réalise ainsi un chauffage très progressif, qui est poussé presque jusqu'à la fusion au dernier jeu; celui-ci se trouve en face du poste de travail d'une seconde ouvrière.

Le verre ramolli du col s'étire sous le poids de la partie inférieure, en

diminuant de diamètre; il vient ainsi enserrer l'évasement du pied et s'y soude complètement en quelques instants (voir fig. 1, à gauche, et tracé pointillé fig. 3). Il ne reste plus qu'à faire tomber le verre en excès, soit au moyen d'un crochet métallique, soit au moyen d'un jet d'air comprimé. C'est là le rôle de la seconde ouvrière; en outre, elle profite de ce que la soudure est encore pâteuse pour redresser le pied, le mettre bien d'aplomb à l'intérieur de l'ampoule, en manœuvrant par les fils conducteurs saisis dans une petite pince. On ferme ainsi 220 à 250 lampes à l'heure par machine. Mais l'ampoule est encore pleine d'air et communique avec l'atmosphère par le petit tube.

Pompage.

Il faut maintenant faire le vide, et, on le conçoit, le vide le plus parfait possible. Il y a peu d'années encore, on se servait pour cela de la trompe à mercure, mais cet appareil est fragile et d'un débit assez limité, et reste toujours,

malgré tout, un appareil de laboratoire plus qu'une pompe industrielle. On emploie maintenant une pompe rotative, qui n'est en somme autre chose qu'une sorte de pompe à palettes, mais construite avec la plus grande précision, et où l'étanchéité des joints est maintenue parfaite à l'aide d'un bain d'huile. Chaque pompe sert à vider simultanément un certain nombre de lampes au moyen d'une rampe sur laquelle on raccorde les ampoules par les queusots, soit en les y soudant, soit en les enfilant dans des bouts de tube de caoutchouc épais, refroidis par une circulation d'eau.

Le plus souvent, on opère au moyen d'une machine-revolver (fig. 17) qui permet un travail continu. Les raccords en caoutchouc, qui reçoivent

les lampes, sont portés par une tête rotative à circulation d'eau, et un système de conduits met successivement chaque lampe en communication avec plusieurs pompes qui font un vide de plus en plus profond: les aspirations des diverses pompes aboutissent aux divers éléments d'une rampe circulaire qui vient s'appliquer sous la face inférieure du plateau tournant; les divers canaux aboutissant aux lampes se prolongent à travers celui-ci, et l'on comprend comment s'établissent les communications successives.

Le tout est disposé de telle sorte que le vide ait atteint son maximum

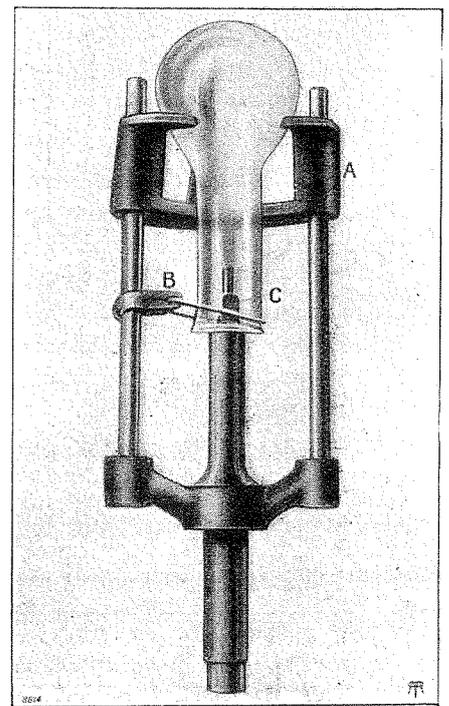


Fig. 16. — Vue d'un type de support (a, fig. 15) pour machine à fermer.

A, Bague soutenant l'ampoule. — B, Guide du col.
C, Support central recevant le pied.

quand la tête porte-lampes a fait un tour; à ce moment, un dard de chalumeau vient fermer définitivement l'ampoule en formant la pointe et en détachant le queusot.

Il est indispensable de chauffer la lampe pendant cette opération, et de la chauffer aussi fortement que l'ampoule peut le supporter sans risque d'écrasement sous la pression atmos-

érique. Seule cette méthode permet de débarrasser les parois intérieures des traces de gaz (acide carbonique et vapeur d'eau, entre autres) qui y adhèrent fortement aux températures ordinaires par suite d'attractions moléculaires. Si l'on avait pas soin de les éliminer avant de clore définitivement l'ampoule, le gaz se dégagerait ensuite, pendant le fonctionnement en service, et la durée de la lampe en serait grandement abrégée, car ils attaqueraient peu à peu le filament. Or, ces gaz occlus se dégagent d'autant plus rapidement que la température est plus élevée. Le pompage à froid ne les enlèverait pas aussi complètement, même en plusieurs semaines, que le pompage à chaud qui permet de les enlever en quelques minutes de pompage à 400° C.

C'est là la raison d'être du four à tunnel circulaire, chauffé au gaz, qu'on remarque au-dessus du plateau de la machine. Le tunnel présente une seule interruption, nécessaire pour la mise en place et l'enlèvement des ampoules. On se rendra compte de la rapidité du pompage, quand nous aurons dit qu'une telle machine, avec deux ou trois pompes, peut débiter 4 000 à 500 lampes en huit heures de travail.

Élimination des gaz résiduels.

Le vide ne peut guère être poussé au delà de 0,02-0,05 mm de mercure par simple pompage, même à chaud. La faible quantité de gaz résiduels qui subsiste est nuisible au filament, et la lampe risque d'être détruite par la décharge tant que la pression résiduelle est supérieure à 1/1000 de millimètre. C'est ici qu'intervient le phosphore qui a été déposé sur le filament au cours d'une opération précédente. C'est lui qui va absorber ces dernières traces de gaz gênants.

On met en série avec la lampe une résistance à peu près équivalente à la sienne propre, et l'on fait passer dans le tout un courant de voltage double du voltage nominal de l'ampoule. Le filament s'échauffe, et le phosphore se volatilise. On voit alors une lueur bleue dans l'ampoule, lueur due à une décharge électrique au sein de la masse de vapeur de phosphore et de

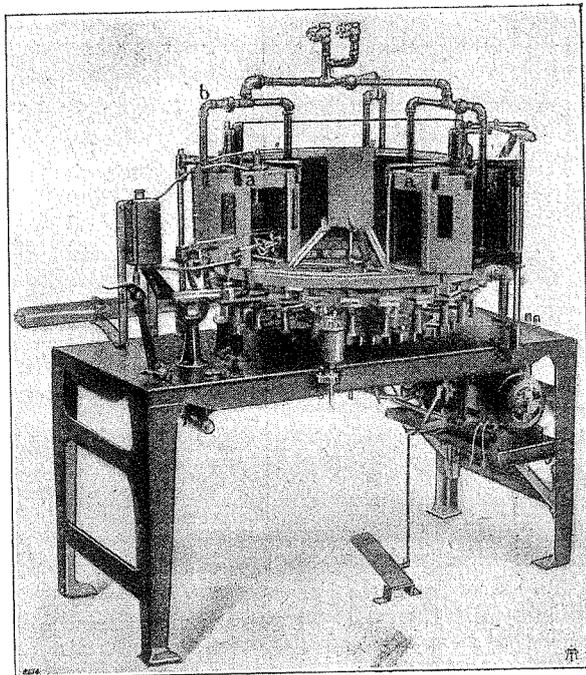


Fig. 17. — Vue d'une machine à pomper, pour faire le vide dans les lampes.

a. Four-tunnel, desservi par la tuyauterie à gaz b. — Les pompes sont derrière la machine. — Celle-ci est du type « revolver » ; on voit sous le plateau les commandes des obturateurs servant à isoler les ampoules des pompes.

gaz résiduel. Sans la résistance interposée, cette décharge détruirait immédiatement la lampe, car un arc s'amorcerait entre les conducteurs de celle-ci.

Voici comment on explique l'efficacité du procédé en tant qu'élimination des gaz résiduels : ces gaz, ainsi que le phosphore, s'ionisent par la décharge, se chargent d'électricité, et sont alors rejetés sur les parois de l'ampoule, où ils se fixent. Cette fixation ne pourrait avoir lieu si l'on n'avait précédemment chassé des parois les traces de gaz occlus ou adhérents, grâce à la chauffe qui accompagne le pompage.

La décharge, une fois amorcée, continue jusqu'à ce que la pression interne ait baissé très notablement ; dans une lampe établie pour 200 volts, la pression finale est de 2/10 000 de millimètre de mercure, et (propriété particulière au phosphore et à quelques autres substances) la décharge une fois arrêtée ne peut reprendre que sous une tension beaucoup plus forte : une lampe « vidée au phosphore » sous 240 volts peut être mise sur un circuit à 250 volts sans qu'il y ait reprise de la décharge. La couche moléculaire de phosphore qui se dépose sur les parois y fixe en même temps les gaz, et ceux-ci ne peuvent plus être mis en liberté par échauffement, si celui-ci n'atteint pas 300° C. Or, le verre de l'ampoule n'atteint jamais cette température en service normal.

Opérations de finition et de contrôle.

La lampe proprement dite est finie. Il ne reste plus qu'à la munir de son culot, pour qu'on puisse la monter dans les appareils d'éclairage. Pour cela, on passe les deux fils conducteurs dans les trous de la pastille de pâte de verre, on remplit la cavité du culot avec la composition de gomme-laque et de plâtre dont il a été parlé, et l'on applique le culot en tirant sur les fils. Cette application s'effectue mécaniquement, au moyen de machines à plateau-revolver faciles à concevoir. Puis, on met au four pour durcir la composition. La cuisson s'opère aux environs de 200°, après quoi on coupe les fils conducteurs à ras des plaquettes de laiton, et on les soude à l'étain sur ces plaquettes.

Les lampes sont ensuite essayées au photomètre (ces essais se font parfois avant le culotage) ; on n'essaie en général qu'une fraction déterminée de chaque lot de fabrication, car on peut admettre que toutes les lampes d'un lot sont identiques. Mais les opérations de contrôle ne doivent être entreprises qu'après avoir laissé la lampe allumée quelques heures, car l'absorption des gaz résiduels par le phosphore se poursuit pendant les premières heures de service. Ces essais renseignent sur la consommation exacte des lampes du lot,

leur puissance lumineuse réelle (un lot de lampes établies pour 115 volts peut exiger 120 volts pour donner les bougies voulues, et sera déclassé).

On fait enfin un *essai d'allumage*, en plaçant toutes les lampes, par séries importantes, sur des rampes alimentées au travers d'un rhéostat ; on donne d'abord un faible voltage, pour permettre d'examiner à l'œil nu les filaments et d'éliminer les lampes qui présenteraient des défauts, puis on augmente le voltage, de manière à survolter les lampes de 15 p. 100 ; celles qui résistent à cet essai sont bonnes à être vendues ; les autres sautent, mais elles auraient fatalement sauté à brève échéance en service.

On termine en marquant les caractéristiques de la lampe, et éventuellement la marque du fabricant, soit sur le culot, soit sur le verre. Le marquage se fait au moyen de timbres en caoutchouc. Pour marquer sur le laiton, on peut se servir d'une composition à base de nitrate d'argent. Pour marquer sur verre, on fait usage d'une mixture à base de fluorure et d'acide, qui met en liberté de l'acide fluorhydrique.

Certaines lampes sont dépolies sur tout ou partie de leur surface ; ceci peut s'obtenir, soit à l'acide fluorhydrique (par action lente des vapeurs de cet acide), soit en plongeant la lampe dans une composition *ad hoc*, qui est une sorte de peinture ou de peinture-émail mate ou demi-mate ; on emploie beaucoup les enduits à l'acétate de cellulose.

Il ne reste plus qu'à emballer dans les tubes de carton ondulé, que tout le monde connaît, et, finalement, dans des boîtes en carton de 25,50 ou 100. C'est le seul travail qui s'effectue entièrement à la main.

La lampe « demi-watt ».

On a vu précédemment par quels moyens on peut obtenir des lampes puissantes et économiques : leur filament est enroulé en forme de boudin de petit diamètre, et logé dans une enveloppe remplie d'un gaz sous pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique. C'est la forme donnée au filament qui

dicte la forme sphérique donnée aux ampoules de ces lampes.

A part cela, la technique d'ensemble de la fabrication reste la même ainsi que les machines employées. On trouve encore la pointe du « queusot » sur la plupart des ampoules. Toutefois, certains constructeurs ont préféré adopter,

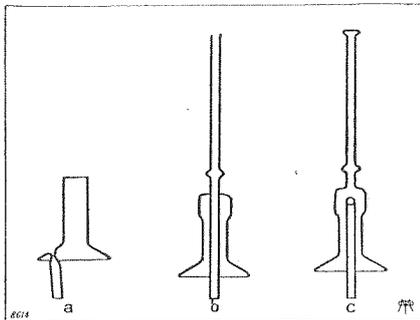


Fig. 18. — Dispositifs divers pour permettre le pompage des lampes sans pointe.

a, Queusot fixé à la base du pied. b, Pompage par la tige centrale tubulaire. — c, Pompage par tube débouchant à la base de la tige, qui est pleine.

pour des modèles récents, une ampoule de forme entièrement sphérique, et vident alors la lampe au moyen d'un petit tube analogue, mais soudé à la base du pied (fig. 18). La pointe se trouve alors masquée par le culot, et ceci donne une forme plus élégante, notamment pour les lampes mates, qui forment alors une véritable boule lumineuse.

Le filament est enroulé en hélice au moyen d'une machine spéciale, sorte de petit tour à broche évidée. L'enroulement se fait sur un mandrin en fil de laiton ou d'acier, qui passe dans la broche du tour. La bobine de fil de tungstène est placée sur le plateau tournant, et le pas de l'hélice est déterminé par la vitesse de rotation de la broche et la vitesse de la translation du mandrin à l'intérieur.

Pour faciliter le travail, on chauffe légèrement le filament et le fil-mandrin (on peut chauffer le filament par passage de courant).

Puis, on coupe le tout en tronçons de la longueur requise, et l'on fait disparaître le fil central en le dissolvant dans un bain acide, qui laisse le tungstène intact. Des machines automatiques permettent d'enrouler le filament sur le mandrin en longueurs successives et séparées (fig. 19).

Le pied se fabrique comme dans le cas de la lampe ordinaire ; il ne reçoit qu'une seule série de fils-supports, terminés par des crochets en forme de spire ou « queue de cochon ». On passe le filament dans ces supports (entièrement à la main), et on pince ses extrémités dans les crochets ménagés à cet effet aux bouts des fils conducteurs.

Le filament n'est pas enduit de phosphore ou autre composition analogue, puisqu'il n'y a pas lieu de vider entièrement les gaz de l'ampoule.

Mais, avant de placer le pied dans l'ampoule, on l'introduit dans une cloche fermée remplie d'hydrogène, et on fait passer le courant pour

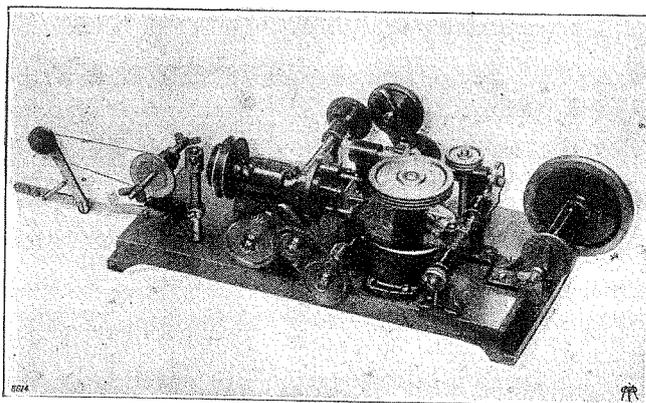


Fig. 19. — Vue d'une machine automatique américaine, type moderne et réglable, pour façonnage des filaments en boudins par longueurs séparées.

porter le filament à l'incandescence, afin de brûler toutes les poussières et de chasser les gaz occlus et autres impuretés. On coiffe immédiatement le pied avec l'ampoule, et l'on passe à la machine à fermer, comme précédemment.

On fait alors le vide, au moyen d'une machine à une seule pompe opérant sur une dizaine de lampes à la fois (rampe fixe). Pendant le pompage, les lampes sont, ici encore, chauffées au moyen d'un moufle amovible chauffé au gaz, et l'on allume les filaments par intermittences, pour vider l'air aussi complètement que possible. (Le vide se vérifie au moyen d'une ampoule à décharge, sorte de tube de Geissler, intercalée sur la canalisation de pompage; il doit être poussé jusqu'à ce que la décharge d'une bobine de Rhumkorff ne provoque plus aucune lueur dans cette sorte de jauge). Puis, on remplit avec un gaz inerte, sous une pression absolue d'environ 600 mm de mercure, et l'on ferme au chalumeau en détachant le queusot.

On a construit également des machines revolver pour ce travail de pompage et de remplissage; ces machines ressemblent beaucoup aux machines à pomper que nous avons vu employer pour la lampe monowatt.

Les gaz les mieux appropriés au

remplissage des lampes sont l'azote et l'argon; ce sont eux qui ont la plus grande inertie chimique à l'égard du filament de tungstène. Ils doivent être *parfaitement secs et parfaitement exempts de toute trace d'oxygène*. Tous deux se préparent par distillation fractionnée de l'air liquide. L'usine doit donc posséder une installation d'air liquide et de rectification, sinon il faudra faire venir les gaz en bouteilles.

Quoi qu'il en soit, le gaz est généralement mis en bouteille, et redistribué sous une pression appropriée au moyen d'un détendeur. On le débarrasse d'oxygène (la distillation en laisse toujours un peu), en faisant brûler un jet d'hydrogène pur au sein du courant gazeux; après quoi on enlève les dernières traces en faisant passer sur des copeaux de cuivre chauffés au rouge. Il se forme de la vapeur d'eau, et le gaz peut encore contenir un peu d'acide carbonique; on élimine respectivement ces impuretés en faisant passer le gaz dans la soude caustique, puis dans un tube à

anhydride phosphorique; ce dernier corps a une affinité extraordinaire pour les moindres traces d'eau.

On voit quelle complexité d'opérations et de matériel exige la fabrication d'un des objets les plus usuels de l'existence quotidienne. On comprend aussi le soin qui doit présider à chaque phase du travail et du contrôle, sous peine d'obtenir un produit invendable ou défectueux. Nous terminerons par un simple chiffre: malgré la perfection et l'ingéniosité du matériel mécanique employé, la lampe et ses éléments doivent traverser les mains d'une soixantaine de personnes au moins entre la réception des matériaux bruts à l'usine et l'atelier d'emballage (sans parler de la fabrication des filaments, qui constitue à elle seule toute une industrie délicate).

Ajoutons que cette industrie a pris en France un développement énorme, et que l'étranger ne lui fournit plus guère que quelques spécialités, dont la quantité diminue de jour en jour.

J. L.

ÉTABLISSEMENT DES MOULES DE LONGUE DURÉE (1)

Depuis quelques années, on a essayé en Amérique de diminuer les pertes dues à l'emploi des moules en sable, en employant des moules métalliques, d'ordinaire en fonte. On exécute ainsi un assez grand nombre de moulages, mais le point délicat est la durée du moule qui doit être suffisante pour que le procédé puisse réussir. On faisait habituellement des moules en fonte lourds et épais pour absorber la chaleur du métal fondu, mais ces moules criquaient rapidement en raison de la différence de dilatation entre la face et l'arrière du moule. Il semble nécessaire que la température du moule ne dépasse pas 450° pour éviter le gonflement de la fonte.

La Compagnie des moteurs Ford a beaucoup étudié le problème.

La température du moule est vérifiée au pyromètre et la surface est badigeonnée en noir de fumée.

Une autre société américaine, la Holley Carburettor Co de Détroit emploie des moules en fonte de 12 mm d'épaisseur pour fabriquer des pièces compliquées en fonte pesant 1 kg environ, dont l'épaisseur varie de 3 à 14 mm. La pièce doit être saine, sans soufflures, ni porosité, et permettre l'usinage.

Les rebuts au moulage sont en

moyenne de 7 à 8 p. 100, au lieu de 20 p. 100 pour le moulage en sable, et le déchet d'usinage est de 2,5 p. 100 au lieu de 7 à 8 p. 100.

La machine employée donne 2000 pièces en cinq heures, sans nécessiter de spécialistes. C'est une table circulaire à rotation portant 12 moules qui s'ouvrent suivant un axe horizontal et sont commandés par un jeu de cames.

Les moules, de 12 mm d'épaisseur, sont en fonte analogue à celle des pièces; ils sont munis à l'extérieur de nervures pour dissiper la chaleur, et sont soumis pendant leur fonctionnement à un courant d'air soufflé à basse pression dans le même but.

On chauffe d'abord les moules à une température convenable pour éviter les efforts de dilatation et les criques, et celle-ci se maintient ensuite pendant la durée du fonctionnement.

Le moule primitif, fait au moyen d'un modèle en bois, coûte environ 30 dollars, les moules de production reviennent à 8 dollars la paire.

Un jeu de moules permet d'exécuter en moyenne 10 000 pièces, mais on atteint parfois 25 000.

La surface interne du moule est badigeonnée avec une pâte en couches minces formée d'eau, d'argile réfractaire et de silicate. Les couches successives sont cuites l'une après l'autre jusqu'à avoir une épaisseur totale de 4/10 de millimètre.

Ce revêtement sert de calorifuge et règle la vitesse de refroidissement du moulage. Il dure un mois environ avec quelques réparations. Il est lui-même recouvert d'une couche de noir de fumée déposée à l'aide d'une flamme fumeuse; couche que l'on reforme avant chaque coulée.

Le point capital du procédé est de permettre le réglage de la vitesse de refroidissement de la pièce moulée, ce qui donne la possibilité d'exécuter certaines pièces irréalisables en sable.

Dans ces conditions, pour la fonte, le retrait de fonderie est à peu près moitié de celui des pièces coulées en sable.

Le procédé s'applique à l'aluminium et au bronze et on remarque la même différence de retrait.

On peut ainsi garantir les pièces brutes de moulage avec une tolérance sur les dimensions de 1/10 de millimètre, ce qui réduit l'usinage.

H. M.

(1) *Metal Industry* du 12 septembre 1924.