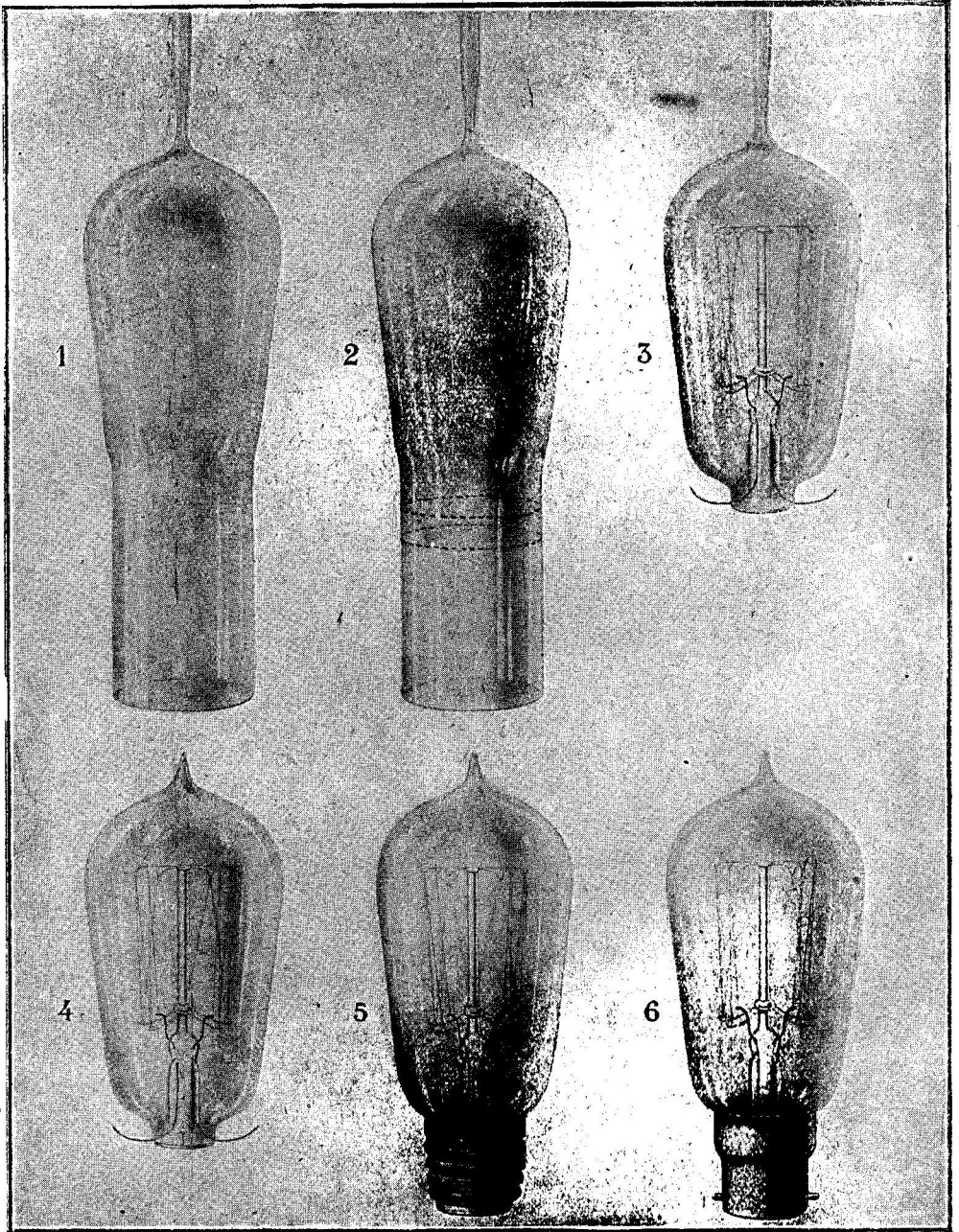


LES PHASES DE LA FABRICATION D'UNE AMPOULE ÉLECTRIQUE



1, l'ampoule avec son large col telle qu'elle est reçue de la verrerie ; 2, l'ampoule munie de son queusot (les deux lignes pointées indiquent l'endroit où les chalumeaux ramolliront le verre pour opérer sa soudure avec le pied de la lampe, après quoi tout le reste du col tombera) ; 3, l'ampoule dans l'intérieur de laquelle le pied a été introduit et fixé par la soudure du verre ; 4, l'ampoule terminée, fermée au chalumeau à la base du queusot, dont il ne reste plus qu'une toute petite pointe en saillie ; 5, lampe munie de son culot à vis ; 6, lampe avec culot à baïonnette.

LES DERNIERS PROGRÈS DANS L'INCANDESCENCE ÉLECTRIQUE

Par Camille VIOLLAND

INGÉNIEUR ÉLECTRICIEN

L'HISTOIRE du progrès de l'éclairage électrique par incandescence offre l'exemple remarquable d'une persévérante continuité dans les efforts des inventeurs et surtout ceux des constructeurs.

Depuis ses timides et difficiles débuts, en effet, le rendement utile du filament incandescent s'est si prodigieusement accru que la lumière qu'il fournit, d'abord d'un prix de revient si élevé qu'elle était pratiquement inutilisable, est arrivée à ne plus coûter aujourd'hui, pour les grands éclairages, ainsi qu'on le verra plus loin, qu'un peu moins de deux centièmes de centime par bougie-heure, soit plus de cinquante bougies-heures pour un centime. Le coût de l'éclairage avec les lampes de petite ou moyenne puissance n'est pas, il est vrai, à beaucoup près, aussi réduit, mais combien il est plus faible actuellement qu'il y a seulement une dizaine d'années ! En 1900, les lampes à incandescence se fabriquaient encore exclusivement avec des filaments de carbone, et elles étaient considérées comme un éclairage de luxe. Depuis cette époque, les travaux de divers savants ont conduit à l'adoption définitive des filaments métalliques présentant un rendement lumineux deux fois et quart plus grand (tantale) ou trois fois et quart plus grand (tungstène). Et actuellement, les nouvelles lampes à atmosphère d'azote ont presque doublé ce rendement pour les moyennes puissances, et considérablement plus pour les grandes.

Les débuts, très timides, nous l'avons dit, de cet éclairage remontent à l'année 1841, où l'Anglais de Moleyns construisit la pre-

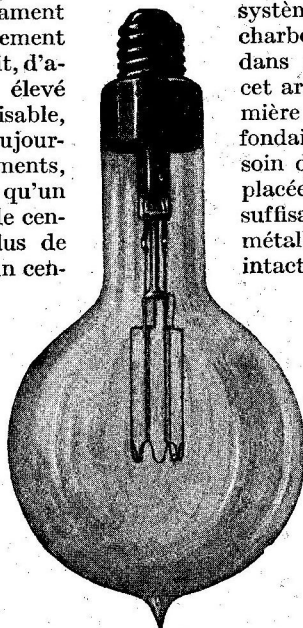
mière lampe électrique à incandescence, c'est-à-dire dans laquelle le conducteur, au lieu de se consumer, était simplement porté au rouge. Un ballon de verre était traversé par une spirale de platine que le courant rendait incandescent. Pour l'aviver, un système laissait tomber sur lui du charbon finement pulvérisé contenu dans un petit réservoir, et, grâce à cet artifice, il émettait une belle lumière blanche. Mais comme la spirale fondait assez facilement, on avait eu soin de la composer de deux parties placées côte à côte, de sorte qu'il suffisait de pousser un petit cercle métallique pour substituer la moitié intacte à la moitié endommagée. Cet

agencement était ingénieux, mais trop peu pratique pour avoir beaucoup de succès.

L'Américain Star, en 1845, composa une lampe formée d'un ballon vide d'air, traversé par deux tiges métalliques entre lesquelles se trouvait un mince fil de charbon de cornue que le courant portait au rouge-blanc. Ce fut là l'origine de la lampe à filament de carbone. Mais son charbon retenait dans ses pores de l'air qui amenait assez rapidement sa combustion.

Ces tentatives venaient, d'ailleurs, avant leur temps, car l'électricité était fournie exclusivement par des piles à un prix trop élevé pour qu'elle pût être pratiquement utilisée à fabriquer de

la lumière, et la lampe électrique n'était qu'une curiosité. On ignorait alors les sources puissantes d'électricité à bon marché dont nous disposons actuellement avec les machines génératrices. Ce ne fut que lorsque celles-ci eurent été inventées que



LAMPE « MÉTAL », DITE DEMI-WATT, A ATMOSPHÈRE GAZEUSE

Le filament à incandescence est au centre, sous la forme d'une guirlande ; il est suspendu à deux conducteurs du courant et à deux petits supports droits, coudés dans le haut.

l'heure de l'éclairage par incandescence arriva, et ce fut Edison qui en profita le premier. Le célèbre inventeur utilisa d'abord du papier bristol carbonisé ; avec huit éléments Bunsen, il obtenait une belle lumière blanche, mais son filament ne durait que quelques jours. Il fallait donc, pour réussir, trouver un filament de charbon durable. M. Swann, de Newcastle, en composa un formé de tresses de coton qu'il plongeait dans l'acide sulfurique et chauffait au rouge dans le poussier de charbon. Il les introduisait alors dans la lampe où l'on faisait le vide, tandis que le courant passait pendant une demi-heure à travers le filament. Edison expérimenta à son tour les fils de coton, puis il y renonça et essaya successivement toutes les matières végétales qu'il put se procurer, susceptibles de lui fournir un filament. Ce fut une sorte de bambou du Japon qui lui donna les meilleurs résultats. Les filaments étaient enfermés dans une ampoule de verre où l'on faisait le vide au millièmième d'atmosphère.

On sait quel fut le succès de ces lampes, que l'on employa longtemps dans le monde entier. Cependant, des perfectionnements se produisirent, donnant un meilleur rendement, notamment le filament tubulaire, que Bernstein fabriqua avec un ruban creux

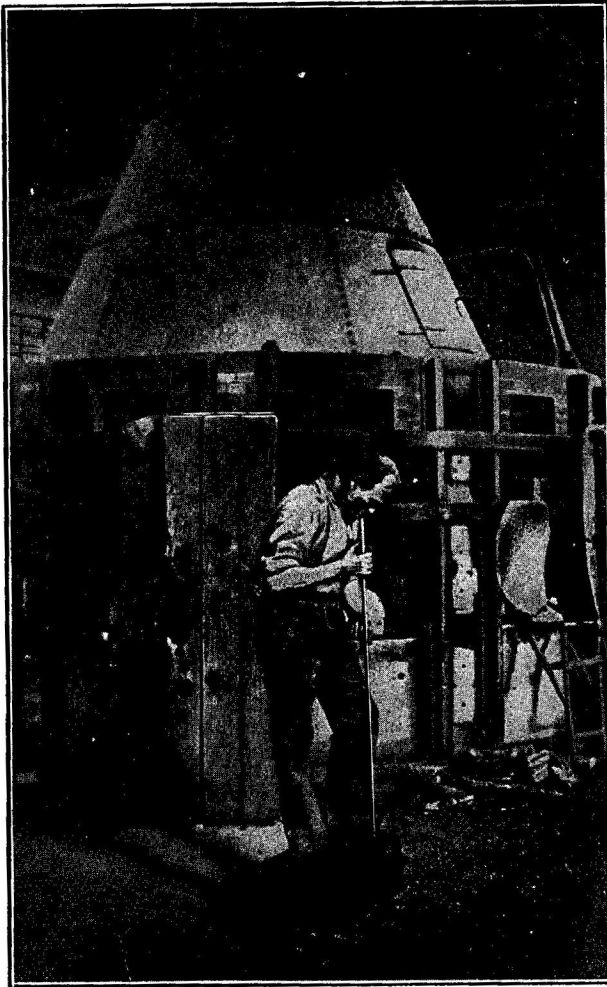
de soie blanche carbonisée. Un autre inventeur étira, sous forme de tube fin, une pâte formée de graphite, de noir de fumée et de sirop de sucre, qui était ensuite carbonisée. Edison lui-même abandonna le bambou, qui manquait d'élasticité, pour les fibres de ramie. On vit aussi paraître, entre autres,

la lampe Cruto, dont le filament était obtenu par le dépôt, sur un fil de platine maintenu incandescent, du charbon provenant de la décomposition d'un gaz hydrocarboné.

L'intensité lumineuse des lampes dépend de la résistance du filament à la rupture ou à la désagrégation par la chaleur. Lorsqu'elles sont maintenues longtemps à une température supérieure au maximum qui leur convient, le verre se recouvre intérieurement d'un voile, formé par la matière sublimée, qui, quoique infiniment mince, est très opaque et fait perdre une grande quantité de lumière.

Il est à peu près inévitable;

et rien ne peut l'enlever. La lampe est alors usée. Mais on a cherché à ralentir sa formation. Edison reconnut qu'un vide trop parfait facilitait la désagrégation et il chercha à y remédier en diminuant assez sensiblement le degré de vide par l'introduction d'une petite quantité d'azote dans l'ampoule. On verra plus loin tout le parti heureux qui fut tiré plus tard de cette amélioration.

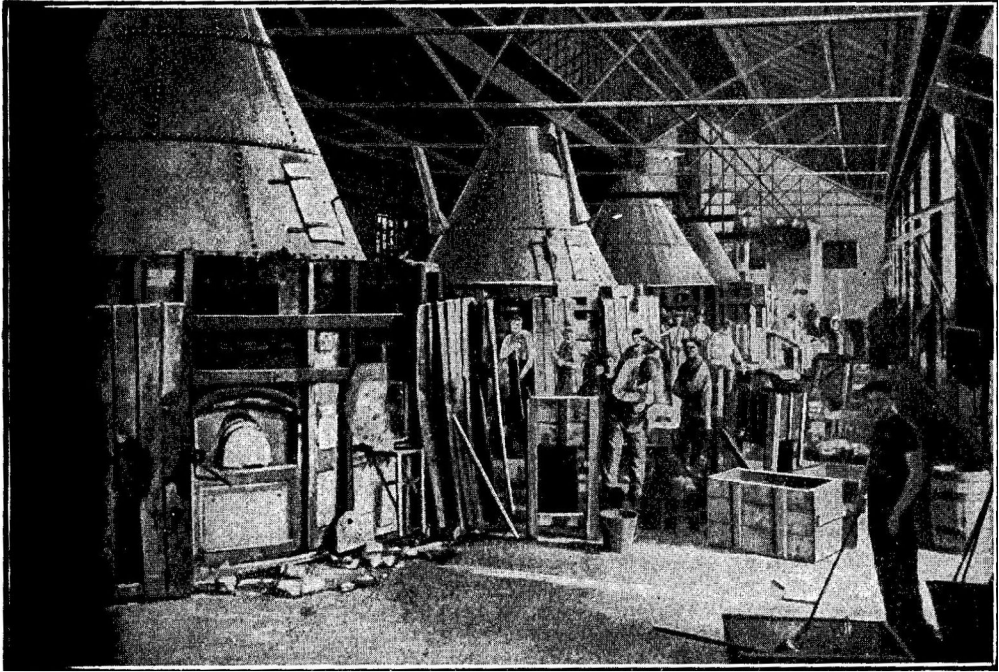


SOUFFLAGE D'UNE AMPOULE DE LAMPE « MÉTAL »

Avant qu'il fût paraitre sa remarquable lampe, Edison, lui aussi, construisit une ampoule à filament de platine, mais elle était fragile et d'un prix exagéré. Il eut l'idée de recouvrir ce filament d'une mince couche d'oxyde métallique réfractaire (chaux, magnésie, oxyde de cérium). Puis il forma, de ces oxydes, un petit bâtonnet qu'il porta à une très haute température en l'échauffant par l'action d'un fil de platine enroulé autour de lui en hélice très serrée. C'est là le principe de l'incandescence à l'air libre (car ce

tiquement quand les bâtons sont assez chauds. Le rendement lumineux de cette lampe est excellent (il est analogue à celui de la lampe au tantale). Mais l'inconvénient d'attendre une demi-minute pour que la matière fût assez échauffée afin de livrer passage au courant et donner sa pleine lumière la fit mettre vite de côté. Elle ne devait pas tarder, d'ailleurs, à être dépassée, car les recherches des ingénieurs spécialistes se portèrent, dès lors, sur le métal même.

Le carbone ne peut être porté sans incon-



INTÉRIEUR DE LA CRISTALLERIE D'UNE GRANDE FABRIQUE DE LAMPES

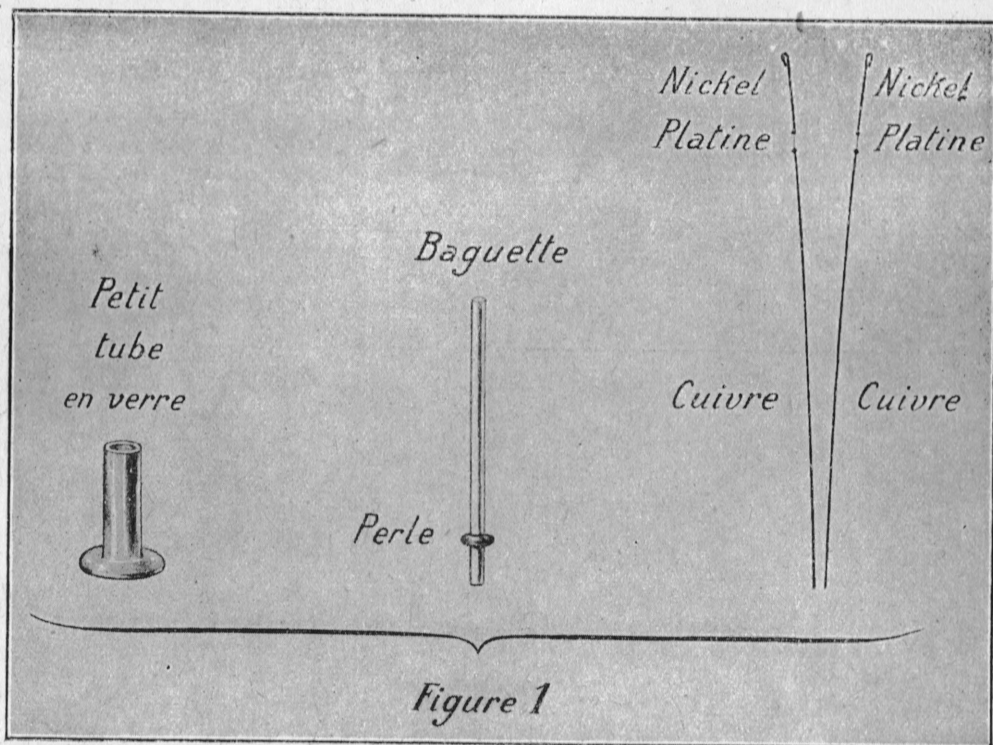
Dans les fours de fusion sont placés les pots en terre réfractaire servant à contenir le verre en liquéfaction.

bâtonnet n'était pas dans un ballon vide d'air), et la lampe Nernst, qui eut une assez grande vogue au moment de son apparition, en 1897, n'est pas autre chose, puisqu'elle se compose également de petits bâtonnets de ces oxydes de métaux des terres rares : thorium, zirconium, etc., (comme les manchons Auer pour l'incandescence par le gaz) rendus assez conducteurs à haute température pour laisser passer un courant suffisant destiné à les maintenir incandescents (à froid, ils ne conduisent pas ou très mal l'électricité). Leur chauffage préalable indispensable est obtenu par quelques spires de platine enroulées autour d'eux et parcourues par un courant qui se coupe automa-

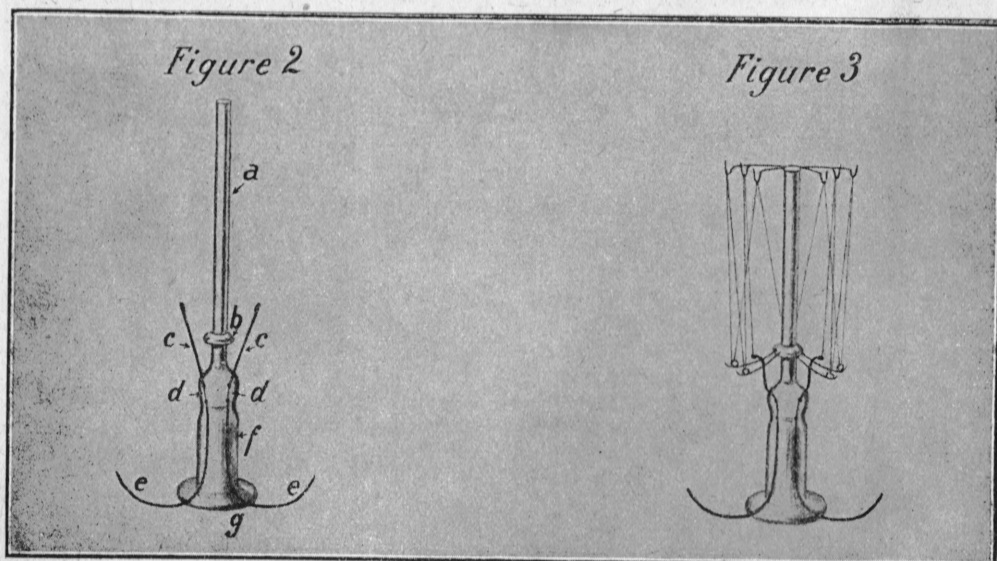
vénié au delà de 1.800° ; le tantale et l'osmium supportent 2.000° ; le tungstène 2.200° dans l'ampoule à vide et 2.700° à 2.800° dans l'ampoule à atmosphère d'azote.

C'est la raison du grand rendement lumineux, et, par conséquent, de la grande économie des lampes faites avec ces métaux. On sait que c'est en « survoltant » la lampe, c'est-à-dire en accroissant la tension, que l'on augmente la température du filament. Une lampe-tungstène donnant 16 bougies sous 90 volts en fournira 55 sous 130 volts, et les consommations par bougie s'abaisseront facilement de 1,4 volt à 0,70 volt.

Le grand succès qu'elle a obtenu dès son apparition est donc amplement justifié.



LES ÉLÉMENTS QUI ENTRENT DANS LA CONFECTION DU « PIED » D'UNE LAMPE « Z »



PIED TERMINÉ (FIG. 2) ET FILAMENT MONTÉ SUR SES SUPPORTS (FIG 3).

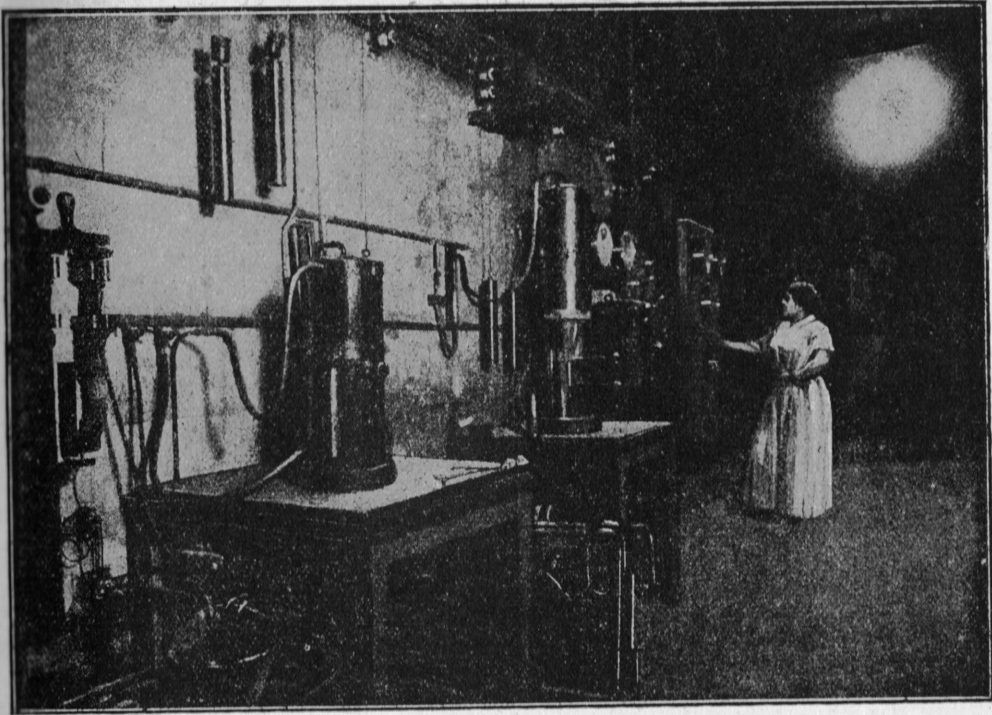
Légende de la figure 2 : a, baguette de verre ; b, petit renflement, appelé perle ; c c, partie du fil conducteur en nickel faisant saillie dans l'ampoule ; d d, partie en platine du même conducteur ; e e, partie en cuivre du fil ; f, petit tube en verre ; g, partie évasée du petit tube.

Le calcul, excellemment exposé par M. Pécheux, dans son étude sur les filaments, montre que l'élévation de température est indépendante de la longueur du fil et qu'elle croît en raison inverse du cube du diamètre.

Une fois arrivé à l'incandescence, le filament doit radier le plus de chaleur lumineuse possible. Or, la radiation lumineuse des métaux est proportionnelle à la cinquième puissance de la température, au lieu de la quatrième puissance seulement pour le

Le tantale est un peu moins réfractaire que l'osmium, qui fond à 2.500 degrés.

Le tungstène, qui ne fond qu'à 3.180 degrés, est supérieur aux deux précédents. Sa lumière est plus blanche que celle du tantale, à cause de la température plus élevée du filament à l'incandescence normale (voltage normal) qui fournit plus de radiations sélectives (spectre visible plus étendu). Sa préparation à l'état de fil était, jadis, assez difficile, et c'est peut-être à cause de ce fait



FOURS ÉLECTRIQUES POUR LA FABRICATION DU TUNGSTÈNE EN LINGOTS

On voit un four ouvert et un autre fermé, avec les tuyaux d'amenée du gaz hydrogène et de l'eau de refroidissement. Dans le fond, l'électricienne manœuvre les rhéostats.

charbon. Il en résulte que les métaux ayant le moindre pouvoir émissif pourront être portés à une température plus élevée que le charbon, et alors leur radiation lumineuse sera plus considérable (Pécheux).

C'est en 1899 que la lampe à métal provenant de la réduction des terres rares, fabriquée par Auer avec l'osmium, vit le jour ; puis vint, en 1903, le tantale, qui fond vers 2.300 degrés et s'étire bien. Il est nécessaire d'employer des filaments très fins et longs, à cause de sa faible résistance, mais celle-ci croît rapidement avec la température, ce qui est une qualité extrêmement précieuse.

que l'on ne l'emploie que depuis quelques années, malgré son très grand rendement lumineux ; mais elle a été améliorée grandement. La résistance mécanique du tungstène est considérable ; il peut être étiré en fils de 1/100^e de millimètre tout en conservant une ténacité suffisante. Les filaments, pour les lampes de petite puissance, n'ont que ce très faible diamètre. Leur résistivité croissant très vite avec la température, la lampe est, si l'on peut dire, auto-régulatrice, c'est-à-dire peu sensible aux variations de voltage. Il donne une belle lumière blanche et fixe, et sa consommation reste à peu près cons-

tante pendant toute sa vie, qui est de 1.500 heures, aussi bien sur courant alternatif que continu. L'ampoule ne noircit pas, ou très peu, après un long usage. On lui reprochait jadis sa fragilité, quoique, si un choc trop brusque venait à rompre le filament, l'accident fût facilement réparable, car on peut le ressouder en agitant doucement la lampe mise en circuit : si les deux extrémités du brin viennent à se toucher, et quoique leur contact ne dure qu'une fraction infime de seconde, le courant passe et la soudure est *instantanée*. On peut ainsi ressouder deux ou trois fois le filament d'une même lampe, qui redevient aussi bonne qu'auparavant.

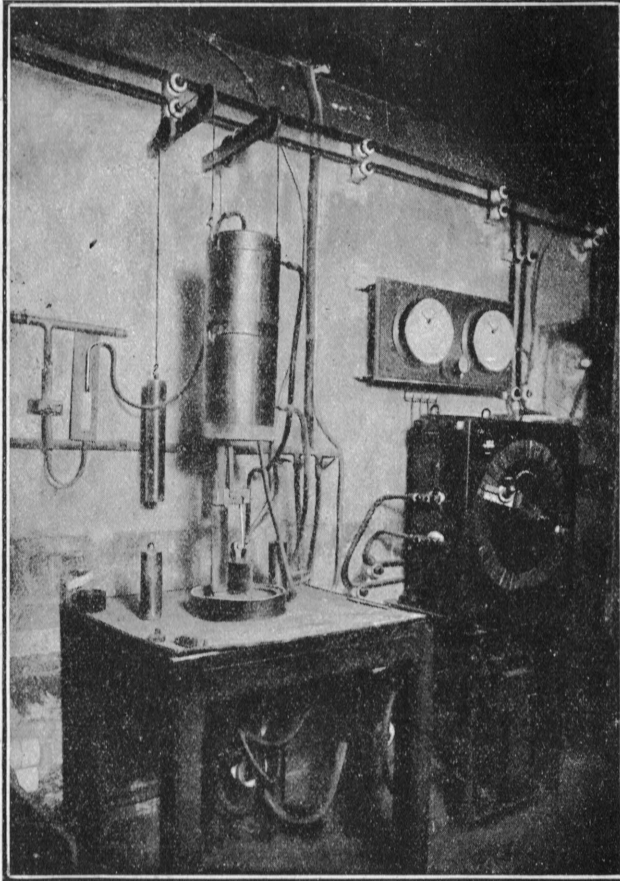
L'emploi du tungstène a permis d'abaisser la consommation spécifique à 1,5 puis à 1 watt par bougie. De plus, étant moins rare que les autres métaux de la série (120 francs le kilogramme de métal en poudre avant la guerre) on a pu fabriquer les lampes à meilleur compte, ce qui a fait baisser sensiblement les prix. La lampe qui, auparavant, valait 5 francs, est tombée à 1 franc. On les fait de tous voltages, jusqu'à 240 volts, et de toute intensité, jusqu'à 3.000 bougies.

Le tungstène forme le filament d'un cer-

tain nombre de lampes à incandescence de marque : lampes Z, Iris, « Métal », etc....

Outre ces métaux, on emploie également, pour la confection des filaments, de l'iridium, métal rare et peu ductile, du silicium, qui a un bon rendement lumineux, du titane et des alliages de tungstène-titane, d'iridium-osmium, de tungstène-tantale et d'osmium-wolfram (lampe Osram). Tous ces filaments métalliques doivent être montés dans une ampoule où l'on a fait le vide, car, dès le rouge cerise, ils s'oxydent dans l'air.

La fabrication de ces lampes présente un intérêt particulier. En dépit de sa simplicité apparente, elle est assez compliquée ; elle nécessite aussi un outillage considérable et parfaitement organisé, avec, de plus, une main-d'œuvre habile et délicate, qui est généralement fournie par des femmes. Cha-



FOUR OUVERT, AVEC SES TUYAUX D'AMENÉE DU GAZ ET DE L'EAU, SES CABLES CONDUCTEURS DU COURANT ÉLECTRIQUE ET SES CONTREPOIDS

On voit assez distinctement, sous la forme d'un large trait blanc, la petite barre de tungstène entre les électrodes. A droite, au-dessus du rhéostat, sont les cadrans indicateurs des ampères et des volts ; à gauche, sur une planchette fixée au mur, est un tube de verre indicateur du passage de l'hydrogène.

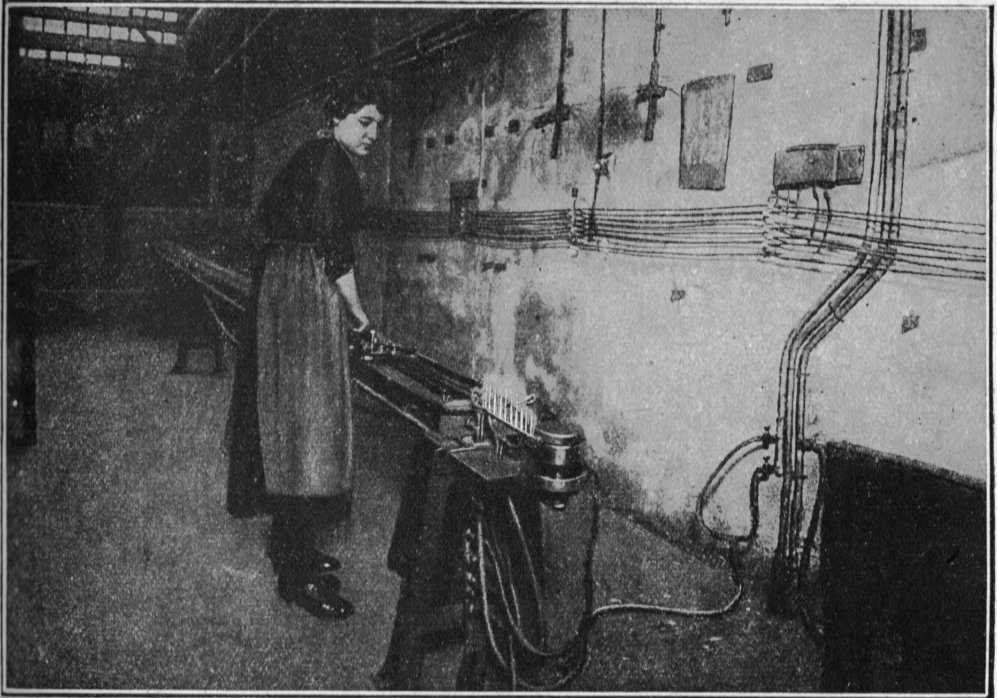
que fabricant a ses procédés particuliers, mais ils ne diffèrent guère, en somme, les uns des autres, que par des détails. Voici, d'une façon générale, comment l'on procède dans l'usine de la lampe Z : Ses trois cents diligentes ouvrières y confectionnent journellement, dans un vaste atelier, des milliers de lampes de toutes les puissances à

filament de tungstène pur étiré; chaque groupe a sa tâche bien déterminée.

Les femmes du premier « poste » préparent d'abord des tiges minces en brasant ensemble, bout à bout, trois fils de cuivre, platine et nickel, lesquels formeront les conducteurs amenant le courant de l'extérieur dans l'intérieur de l'ampoule. Le fil de nickel se termine par une pince. C'est le fil de platine, placé vers le milieu, entre le cuivre et le nickel, et qui n'a que 3 à 4

ramolli, l'ouvrière l'évase à l'aide d'un outil.

Enfin, des tiges ou baguettes de verre sont placées sur une autre machine qui les distribue automatiquement dans des rainures pratiquées sur la circonférence d'un tambour animé d'un mouvement rotatif intermittent, et la flamme d'un chalumeau les chauffe en un point convenablement choisi. Quant ce point est ramolli au degré voulu, la tige se trouve comprimée, dans le sens axial, par un petit piston, et la partie



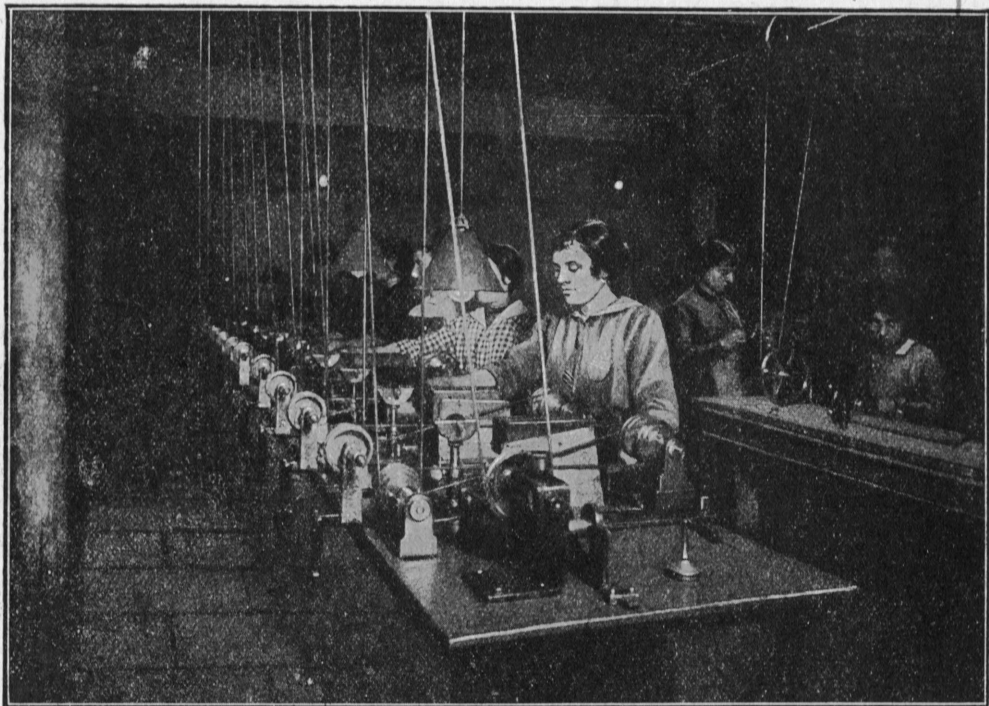
PREMIER ÉTRAGE AU BANC DU FIL PROVENANT DU MARTELAGE

Le fil passe dans une boîte à graphite et est chauffé au rouge sur une rampe à gaz avant de pénétrer dans la filière en diamant, également chauffée au rouge.

millimètres de longueur (car ce métal étant cher, on en emploie le moins possible), qui traversera la paroi en verre de l'ampoule à laquelle il sera intimement soudé. Comme ces deux corps ont le même coefficient de dilatation, la chaleur n'aura aucune influence fâcheuse sur la soudure qui doit être et rester absolument parfaite, de façon que l'étanchéité de l'ampoule soit assurée.

Un bout de tube de verre, très court et de la grosseur du petit doigt, est confié à une machine qui le fait tourner en maintenant son bord inférieur dans la flamme d'un chalumeau; puis, quand ce bord est suffisamment

ramollie du verre s'écrase, augmente de diamètre et prend une forme plus ou moins sphérique, que l'on nomme « perle » ou plus ou moins aplatie « pastille ». C'est par l'assemblage de ces trois éléments : fil conducteur, bout de tube évasé, tige de verre perlée, que sera constitué le pied de la lampe dans la machine dite « à faire le pied ». Deux de ces fils conducteurs d'amenée du courant sont introduits dans le tube, de façon que la partie en platine se trouve à un demi-centimètre environ au-dessous de son bord supérieur, et, entre eux, on place la baguette de verre perlée, qui ne s'enfonce dans le tube



LES DERNIÈRES FILIÈRES, OU LE FIL ATTEINT LE CENTIÈME DE MILLIMÈTRE

Après avoir passé dans 200 ou 250 filières, le fil de tungstène arrive ici où il sera réduit à sa plus mince expression, plus fin que le cheveu le plus fin. Toutes ces filières sont en diamant, et leur taille, ainsi que leur réparation, présentent d'assez sérieuses difficultés.

que d'un centimètre environ du côté où la perle est formée. L'ensemble, dont l'aspect est représenté par les figures de la page 36, est fixé sur la machine disposée pour bien conserver les positions respectives de ces pièces, les unes par rapport aux autres ; elle leur imprime un mouvement de rotation pendant que des chalumeaux convergents viennent ramollir l'extrémité supérieure du tube, laquelle est ensuite aplatie entre des mâchoires, faisant partie de ladite machine, de façon à emprisonner et à souder au verre la partie en platine des deux fils conducteurs qui se trouvent ainsi fixés de part et d'autre de la baguette de verre, entre celle-ci et la partie aplatie du petit tube. Du même coup, ladite baguette se trouve soudée au tube et ne forme plus qu'une seule pièce avec lui. Le pied de la lampe est ainsi constitué, et, comme cette manipulation aurait pu avoir des résultats fâcheux pour les fils conducteurs, dont la partie en nickel fait saillie en dessus et celle en cuivre en dessous, on s'assure qu'ils sont toujours en bon état en y faisant passer un courant électrique.

On forme ensuite, au sommet de la baguette perlée, une deuxième perle, ou pastille, semblable à la première, et par un procédé analogue, avant qu'elle ne soit refroidie, on y plante habilement, perpendiculairement à la tige, des petits fils très fins de molybdène (comme des rayons sur le moyeu d'une roue). Ils serviront de supports pour soutenir le filament. On en fait autant à la perle inférieure, après que celle-ci a été ramollie par un réchauffage, mais on dispose, là, les fils, qui portent une petite boucle à leur extrémité, en quinconces par rapport aux premiers. Enfin, on forme à l'extrémité de chacun des supports supérieurs un petit crochet ou *ancrer*, à l'aide d'une ingénieuse machine qui les fait tous d'un seul coup.

Il ne reste plus qu'à passer le filament dans les crochets de ces fils de molybdène, que l'on appelle parfois des potences et dans les boucles de ceux qui sont piqués dans la perle inférieure (figures 2 et 3 de la page 36).

Mais il est bon de dire ici un mot de ce filament de tungstène. Il n'y a pas encore bien longtemps, on ne pouvait le fabriquer que par agglomération de la poudre, pression

et tassement, nécessitant des opérations longues et compliquées, et les fils que l'on obtenait étaient très fragiles. Aujourd'hui, il n'en est plus ainsi, car on est parvenu à l'étirer, et toute une nouvelle métallurgie du tungstène, d'un haut intérêt, a été créée. Voici brièvement en quoi elle consiste. La poudre de tungstène, provenant du traitement de son minerai, le wolfram, est placée dans un moule en acier où elle subit une énorme compression, sous une presse hydraulique, qui en forme une barre carrée, d'une dizaine de centimètres de long et d'un centimètre environ de section, possédant assez de cohésion pour qu'elle puisse être manipulée sans accident. On la place dans cet état entre les électrodes d'un four électrique où elle sera soumise, pendant une heure, à une température de 3.000 degrés environ dans une atmosphère d'hydrogène particulièrement pur et très sec, afin d'éviter l'oxydation.

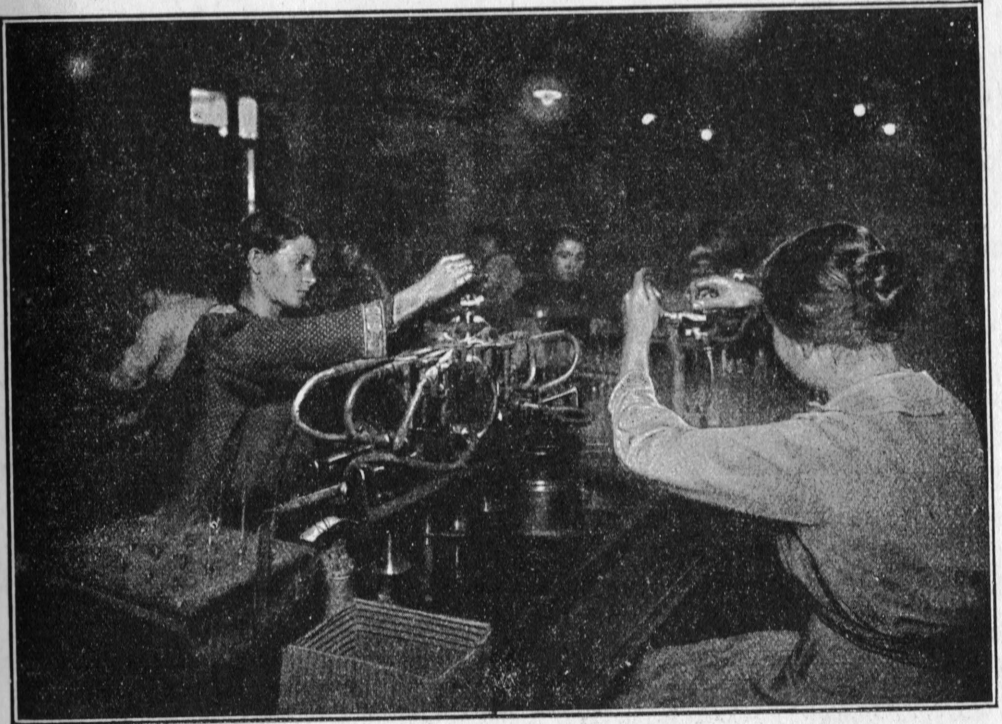
Ce four, que nos photographies des pages 37 et 38 représentent ouvert et fermé, a une double paroi sans cesse refroidie par une circulation d'eau. La tige qui soutient les élec-

trodes est creusée et est également refroidie par circulation. Deux « regards » permettent de surveiller du dehors la marche de l'opération. Afin d'éviter que l'air ne pénètre dans l'intérieur, ce qui provoquerait une explosion, le bas de la paroi extérieure plonge dans un bain de mercure qui assure une fermeture étanche.

Sorti de là, le lingot s'est plus ou moins contracté et a acquis une grande dureté. La haute chaleur a suffisamment soudé entre elles ses particules pour qu'il ait acquis les mêmes propriétés que s'il avait subi la fusion.

On le porte alors au martelage. Chauffé au rouge-blanc, il est introduit dans une machine spéciale où des marteaux automatiques, frappant avec une excessive rapidité, lui font subir progressivement un allongement résultant de la diminution de son épaisseur. Une série de passes le transforment finalement en un rondin, ou plutôt en un gros fil de quelques mètres de longueur.

Alors commencent les séries de tréfilages dans les bancs à étirer. Les filières sont en diamant et chauffées au rouge ; les fils, avant d'y être introduits, sont enduits de graphite



MACHINE SPÉCIALE A FAIRE LE PIED DE LA LAMPE A INCANDESCENCE

Une première ouvrière (à droite) monte les éléments sur l'un des trois bras de la machine qui, par un tiers de tour sur l'axe commun, passe sous la main de la deuxième ouvrière (à gauche), au centre des chalumeaux convergents qui opèrent la soudure des divers éléments.



LE MONTAGE DU FILAMENT MÉTALLIQUE SUR LES SUPPORTS DU PIED



LE QUEUSOTAGE, OU SOUDURE DU TUBE DE VERRE AU FOND EXTÉRIEUR DE L'AMPOULE

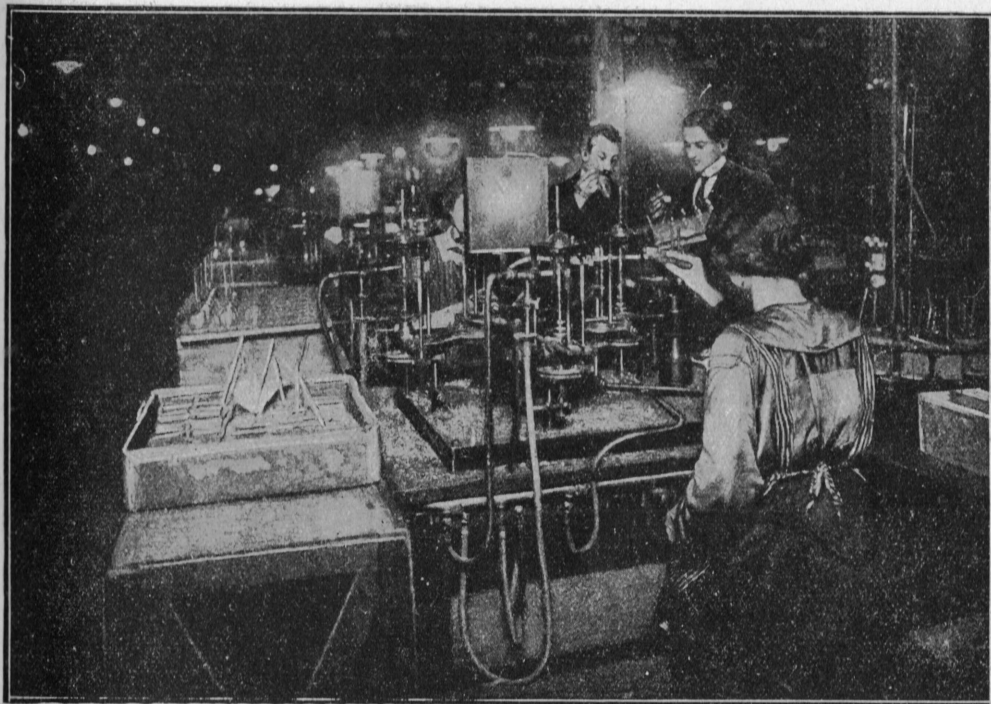
et également chauffés au rouge sur une rampe à gaz. Pour les introduire dans les filières on trempe leur extrémité dans du nitrate de potasse en fusion qui, attaquant leur surface, diminue un peu leur diamètre.

Il ne faut pas moins de 200 à 250 passes dans ces filières, progressivement de plus en plus petites, pour amener le fil à son diamètre minimum d'un centième de millimètre.

Enroulé sur une bobine — dix kilomètres de ce fil forment une bobine grosse comme

l'un des fils d'aménée du courant, puis, après avoir passé alternativement par les différents crochets supérieurs et les boucles inférieures, de façon à décrire le zigzag suivant la génératrice d'un cylindre, son autre bout sera fixé très solidement au deuxième fil conducteur par un serrage à la pince.

Une vérification très minutieuse du filament et de ses contacts se fait en y lançant un courant, toujours dans une atmosphère d'hydrogène pour éviter l'oxydation.



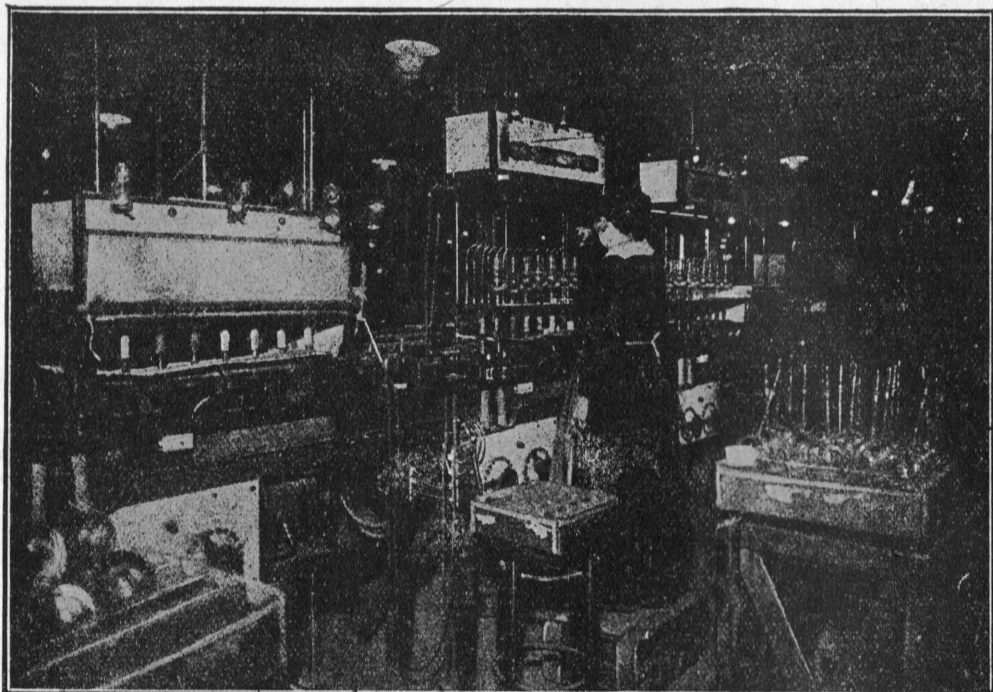
RACCORDEMENT DU PIED PORTE-FILAMENT A L'AMPOULE DE VERRE

Quand le pied portant le filament convenablement disposé sur ses supports a été introduit dans l'ampoule, on soude ledit pied au col de celle-ci. Au premier plan de la photo, l'ouvrière fait tomber, avec un outil spécial, le verre en excès du col de l'ampoule.

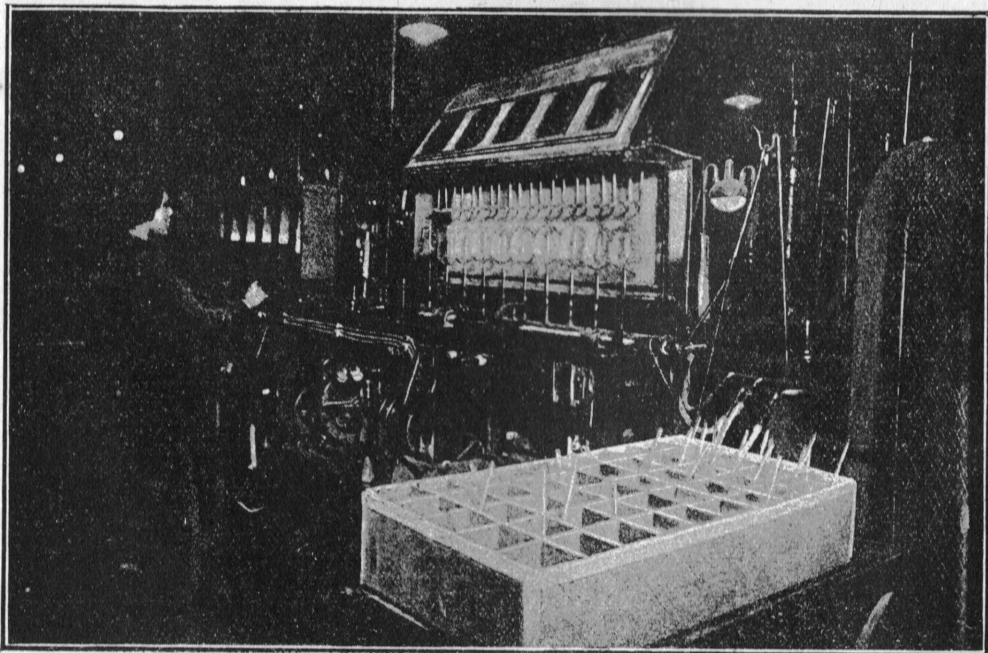
trois doigts — il est alors remis à l'ouvrière qui en prend une certaine longueur à laquelle elle donne la forme voulue en zigzag en le disposant convenablement sur les crochets de potences supérieures et inférieures d'une tige-matrice en tout semblable à celle de la lampe, mais présentant une plus grande solidité. Le passage du courant électrique dans une cloche à atmosphère d'hydrogène fera rougir le fil, qui conservera dès lors cette forme en zigzag sous laquelle on le placera dans les crochets et les boucles des petites potences en molybdène de la lampe. Une de ses extrémités sera d'abord attachée à

Il ne reste plus qu'à introduire le pied portant le filament dans son ampoule et à l'y souder. L'ampoule est munie d'un col large (voir la grande planche page 32) et, dans son fond, une ouvrière pratique un trou sur les bords duquel se soude un petit tube de verre appelé *queusot*, lequel servira à retirer l'air de l'ampoule. C'est le *queusotage*, travail assez délicat et dont ne sont chargées que les praticiennes habiles. Elles sont « aux pièces », et leur salaire quotidien peut atteindre dix et même onze francs.

Le pied tout préparé est introduit dans l'ampoule et placé sur une machine qui,



LAMPES MONTÉES PAR LEUR QUEUSOT SUR LE TUBE COLLECTEUR DE LA MACHINE A FAIRE
LE VIDE, DANS DES FOURS AMOVIBLES EN TOLE



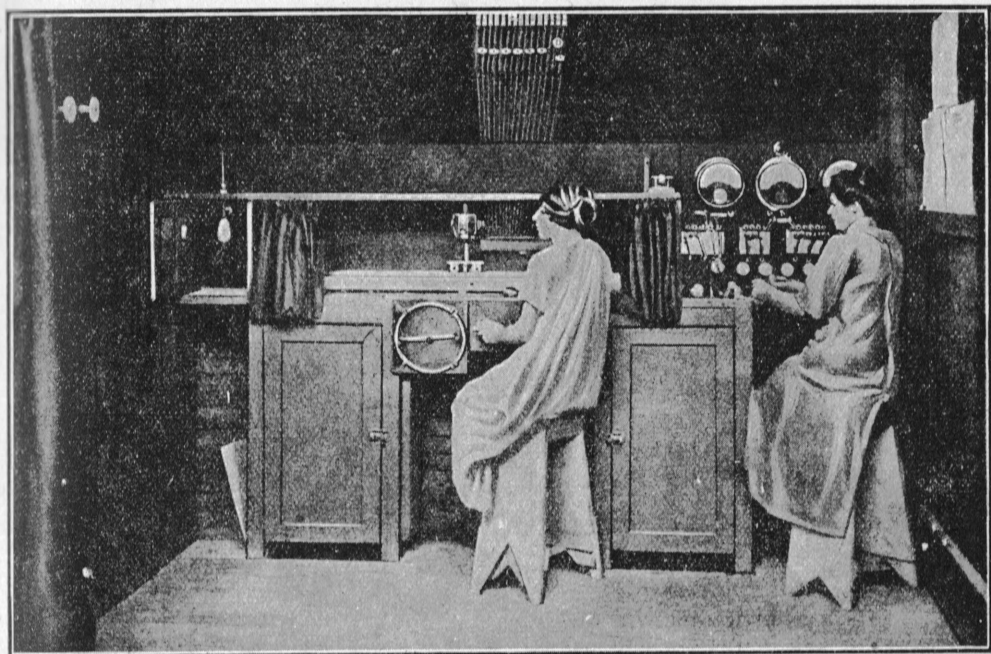
OUVRIÈRE CONTROLANT LE DEGRÉ DE VIDE DES LAMPES A L'AIDE DU TUBE DE GEISSLER

tout en maintenant les deux pièces dans une position convenable, l'une par rapport à l'autre, les fait tourner pendant que le dard d'un chalumeau chauffe le col et pousse le verre très ramolli, presque en fusion, sur le pied auquel il se soude intimement. La lampe est ainsi fermée et ne communique plus avec l'extérieur que par le queusot. On la fixe alors par ce queusot, et à l'aide d'une garniture en caoutchouc, à un tube collecteur en verre, qui en reçoit toute une série et qui est relié aux pompes pneumatiques et à la trompe à mercure. Le vide doit être aussi

à faire le vide et on la passe ensuite à la photométrie pour son étalonnage.

Après les essais photométriques, si la lampe est reconnue bonne, on fixe son culot à l'aide de ciment (c'est le culotage). Les deux fils d'aménée du courant, qui dépassent un peu, sont rognés et soudés à deux petites plaques de contact en laiton, lesquelles sont encastrées dans le couvercle en matière isolante qui recouvre le ciment et termine le culot à baïonnette. Si le culot est à vis, l'un des fils est soudé à la partie filetée.

Le pouvoir éclairant, contrôlé au banc



LA PHOTOMÉTRIE, OU LES LAMPES CONSTRUITES SONT ÉTALONNÉES

parfait que possible et inférieur au millième de millimètre de mercure. Il est contrôlé par un tube de Geissler qui s'illumine quand l'air se raréfie et redevient sombre quand ce vide est obtenu. Pendant l'opération, les lampes sont chauffées par une rampe à gaz, dans une caisse amovible en tôle, pour faire disparaître toute l'humidité qu'elles peuvent renfermer, et, vers la fin, on fait passer un courant électrique dans le filament pour chasser l'air ou les gaz occlus.

On soude alors au chalumeau la base du queusot, qui tombe, et il ne reste plus de celui-ci, sur le fond de l'ampoule, qu'une petite pointe en saillie. La lampe terminée est retirée du tube collecteur de la machine

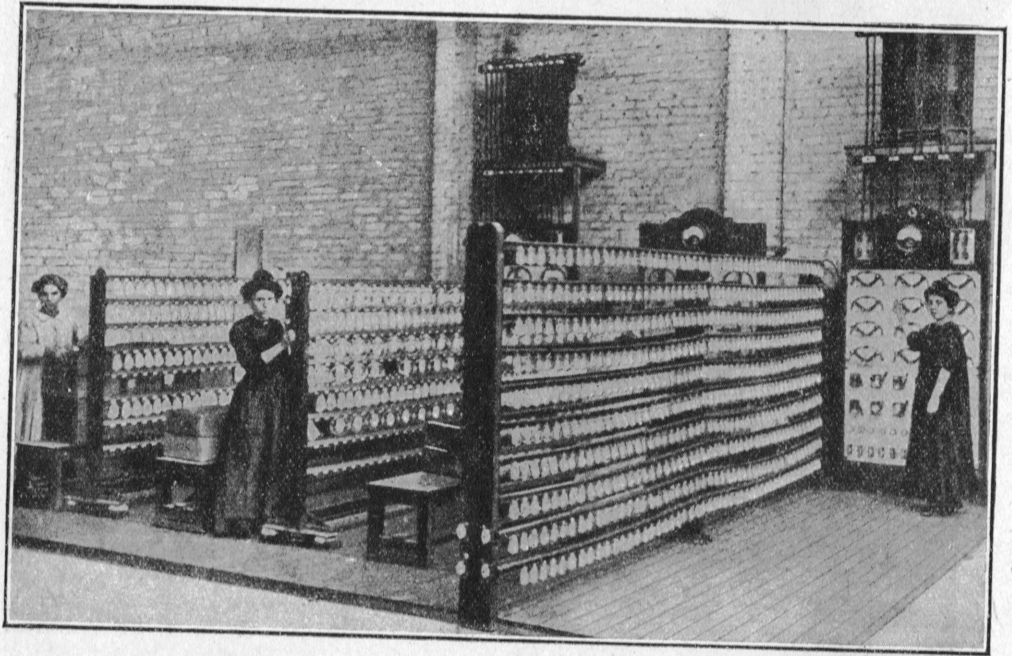
photométrique, détermine le classement selon la catégorie : 10, 20, 50... bougies, ou volts. Ces indications sont inscrites au culot, et la marque de fabrique est imprimée sur le verre à l'aide d'un vernis spécial.

Enfin, les lampes, par groupes de cent, sont allumées simultanément sur des rampes d'essais, pendant quelques heures, afin de permettre d'éliminer celles qui présenteraient le moindre défaut de fabrication.

Toutes ces lampes à filament métallique rectiligne, suspendu entre ses supports dans une ampoule où l'on a réalisé un vide pratiquement parfait, consomment d'ordinaire, au début de leur emploi, un peu plus de 1,1 watt par bougie horizontale (éclair-

rage mesuré seulement dans le sens horizontal) soit, avec la disposition la plus courante du filament, 1,4 watt par bougie sphérique (c'est-à-dire en prenant la moyenne de l'éclairage dans les sens). Au bout de 800 heures, la décroissance de l'intensité lumineuse atteint 10 %, la consommation spécifique moyenne de cette lampe est donc de 1,5 watt environ. Pour augmenter le rendement du filament incandescent, il faut, se basant sur ce que nous avons dit précédemment, augmenter sa température, d'au-

lisation afin de mieux profiter de la faible fusibilité du tungstène, qui ne fond qu'à 3.180 degrés. Comme la température du filament incandescent n'atteignait que 2.200 degrés, il y avait là une belle marge, et les recherches s'orientèrent dans ce sens. En 1912, Irving montra qu'une atmosphère d'azote dans l'ampoule diminue la désagrégation du métal (on a vu plus haut qu'Edison avait déjà trouvé cela en 1880 pour les lampes à carbone), et que, de plus, il y a grand avantage, au point de vue du rendement



LES LAMPES A INCANDESCENCE DISPOSÉES SUR LES RAMPES D'ESSAI

Par groupes de 100, les lampes sont allumées pendant quelques heures, afin d'éliminer celles qui présenteraient le moindre défaut de fabrication.

tant mieux que ce rendement croît beaucoup plus vite que celle-ci. Mais on est arrêté dans cette voie par une limite au delà de laquelle le métal se désagrège plus ou moins, diminue de diamètre, se volatilise, émettant des vapeurs qui, comme dans la lampe à filament de carbone, quoiqu'en une moindre mesure, viennent se coller sur le verre de l'ampoule, qu'elles obscurcissent, interceptant en partie les rayons lumineux. La section du fil diminuant, sa résistance augmente, et le rendement lumineux s'abaisse avec une rapidité plus ou moins grande sous l'influence de ces deux causes. Il était indiqué que l'on devait chercher à éviter cette désagrégation et cette volati-

lumineux et de la durée utile, à employer des filaments de gros diamètre. Ce fut là la base principale des nouvelles lampes intensives à incandescence que l'on avait vainement tenté de fabriquer jusqu'à ce jour.

En 1913, l'A.E.G., en Allemagne, et la General Electric Co, en Amérique, entreprirent simultanément des recherches pour la réalisation d'une telle lampe utilisable industriellement, lesquelles furent couronnées de succès, et cette lampe, fabriquée aujourd'hui dans tous les pays par d'importantes sociétés, est devenue d'un usage courant. Elle se compose d'une ampoule, généralement sphérique, remplie d'azote ou d'argon (qui est, comme l'on sait, l'un des

constituants de l'air aussi inerte que l'azote) ou d'un mélange de ces deux gaz, à une pression assez forte (deux tiers d'atmosphère à froid) contenant un filament de tungstène de gros diamètre (1 à 5 dixièmes de millimètres). On a été amené à lui donner une forme en hélice serrée, le foyer étant plus condensé, se refroidit beaucoup moins facilement, et il échauffe moins la paroi de l'ampoule, dont il est plus éloigné.

Un long col éloigne l'hélice du culot et évite que celui-ci ne soit porté à une température excessive par les gaz chauds qui circulent dans l'ampoule, lesquels, échauffés par ladite hélice incandescente et refroidis par les parois, sont soumis à de violents courants de convection. Néanmoins, la perte de chaleur par convection, favorisée par l'atmosphère d'azote, est encore considérable.

L'introduction de l'atmosphère gazeuse dans l'ampoule se fait aussitôt après que le vide le plus parfait possible y a été pratiqué, et que le filament a été débarrassé en totalité des gaz occlus.

La lumière de cette lampe est d'une blancheur éblouissante ; la température du filament est de 2.700 à 2.800 degrés. La puissance lumineuse croissant beaucoup plus vite que la température, elle est plus sensible que la lampe ordinaire aux variations de voltage,

mais, grâce à la robustesse du filament, sa durée utile n'est pas diminuée sensiblement. Elle atteint très facilement 1.000 heures. Par suite du survoltage, sa consommation

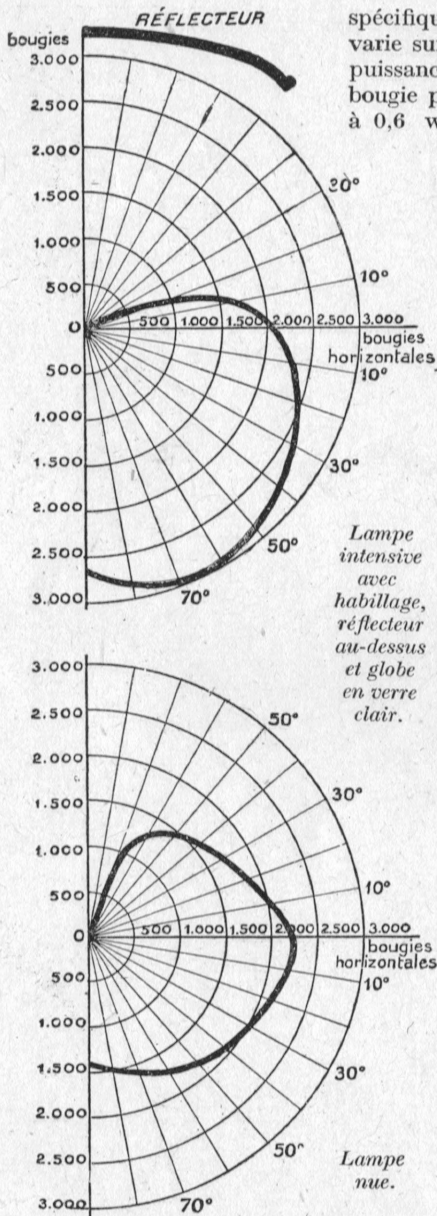
spécifique est très diminuée. Elle varie suivant les marques et les puissances : 0,6 à 0,65 watt par bougie pour 1.000 heures, et 0,55 à 0,6 watt par 600 heures. Ces rendements sont donnés pour l'intensité horizontale (bougies horizontales) toujours supérieure à la moyenne sphérique.

Le nom de lampe « demi-watt » qu'on lui a donné, s'il n'est pas tout à fait exact, est, en somme, assez justifié.

La lampe *Nitra*, de fabrication étrangère, se compose d'un fil de tungstène étiré enroulé en petit boudin serré et suspendu dans une ampoule remplie d'azote. Sa consommation spécifique est de 0,5 watt par bougie horizontale et 0,65 par bougie sphérique moyenne pour la lampe nue, dont la répartition lumineuse est donnée par les figures ci-contre. Sa durée est d'au moins 800 heures pendant lesquelles son intensité lumineuse baisse de 17 % environ. Sa consommation moyenne par bougie sphérique ordinaire est donc en réalité de 0,75 watt. Mais, avec un réflecteur, elle peut n'être que de 0,51 watt par bougie hémisphérique inférieure.

On fabrique des modèles de cette lampe de 50 à 3.000 bougies, et tous voltages usuels jusqu'à 240 volts. Mais elle n'est pratiquement économique qu'à partir de 150 à 200 bougies au moins. Elle est réservée pour l'éclairage des grands locaux, cafés, restaurants, usines, chantiers, gares, quais, voies publiques, etc. Certaines lampes françaises la remplacent très avantageusement.

CAMILLE VIOLLAND.



RÉPARTITION DE LA LUMIÈRE DANS LA LAMPE INTENSIVE « NITRA » DITE « DEMI-WATT », A ATMOSPHÈRE GAZEUSE, AVEC ET SANS RÉFLECTEUR

La plupart des photographies qui illustrent cet article ont été faites à l'usine de la lampe Z, à Courbevoie ; les autres nous ont été obligeamment communiquées par la C^{ie} générale des lampes « Métal ».