

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Claude, André (19..-....)
Titre	L'évolution des sources de lumière par incandescence et luminescence : les guides théoriques et les progrès possibles : conférence faite au Conservatoire national des arts et métiers le 31 Janvier 1945
Adresse	Paris : [CNAM], 1945
Collation	1 vol. (24 p.) ; 27 cm
Nombre de vues	28
Cote	CNAM-BIB Br 465
Sujet(s)	Sources de lumière Luminescence Lampes à incandescence
Thématique(s)	Énergie Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/134999126
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?BR465

ANDRÉ CLAUDE

L'ÉVOLUTION
DES SOURCES DE LUMIÈRE
PAR INCANDESCENCE
ET LUMINESCENCE

LES GUIDES THÉORIQUES
ET LES PROGRÈS POSSIBLES



Conférence faite au
Conservatoire National des Arts et Métiers
le 31 Janvier 1945.

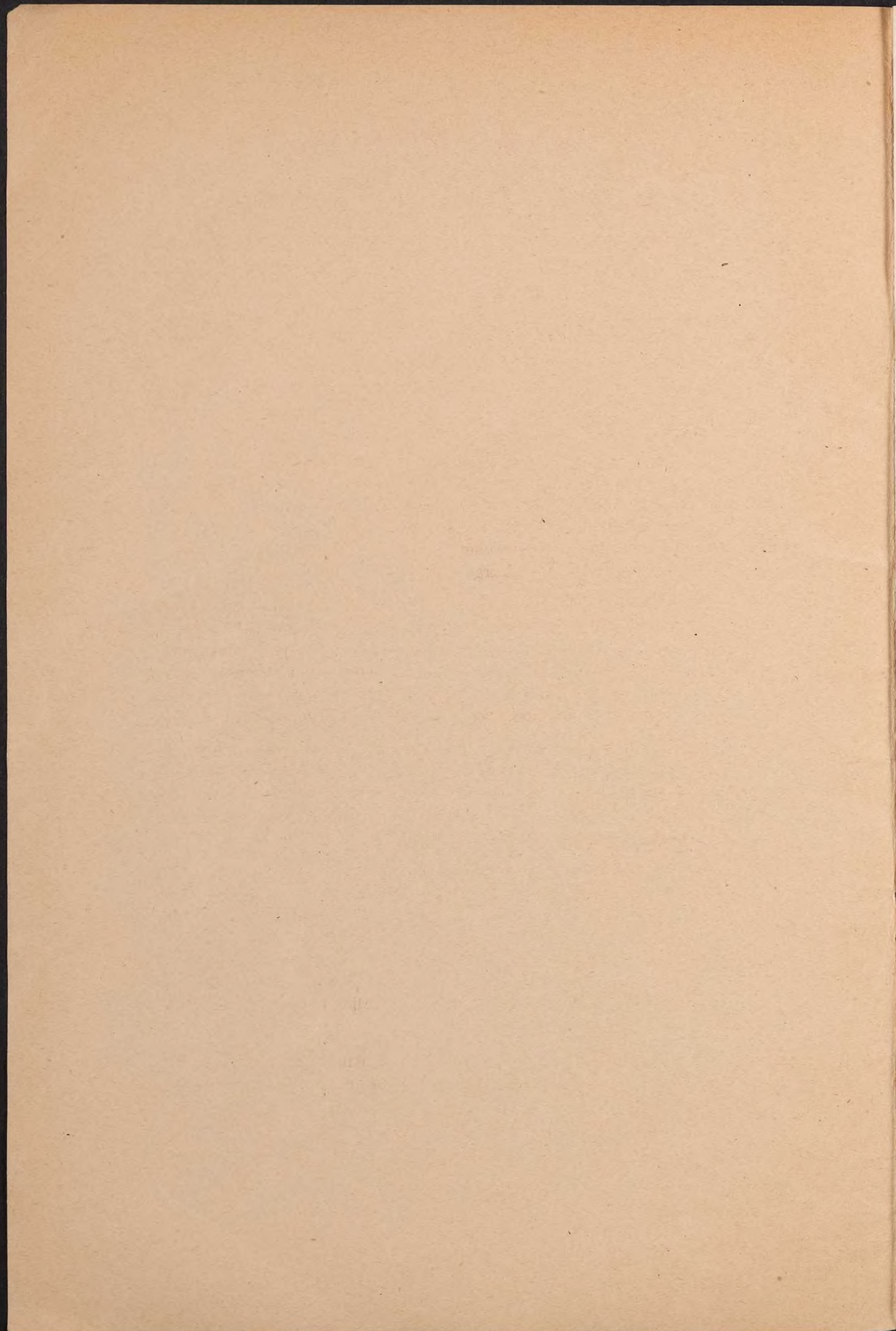
Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Année 1945 (Première série). **Lumière et vision.**
Sous les auspices du Comité d'organisation de l'Optique
et des Instruments de précision avec le concours de
l'**Institut d'Optique théorique et appliquée.**

CNAM. BIBLIOTHEQUE CENTRALE



1 7501 00194110 1

IMPT. PARIS. 45.00990



L'ÉVOLUTION DES SOURCES DE LUMIÈRE PAR INCANDESCENCE ET LUMINESCENCE

LES GUIDES THÉORIQUES ET LES PROGRÈS POSSIBLES

INTRODUCTION

Les sources de lumière électriques se divisent en deux grandes familles. Ayant ce but commun de transformer l'énergie électrique en lumière blanche, et économiquement, elles mettent en œuvre, apparamment, des phénomènes essentiellement différents; l'une, l'incandescence, fait appel aux phénomènes thermiques, l'autre, la luminescence, à ceux de la décharge électrique.

Généralement les exemplaires de l'une sont de formes sphériques — et ce sont des lampes; ceux de l'autre sont de formes tubulaires — et ce sont des tubes. Mais nous connaissons des lampes à incandescence tubulaires et M. BENOIT, dans la belle et claire présentation qu'il nous a faite ici, il y a quinze jours, des réalisations modernes, nous a montré de nouveaux appareils à décharge de forme sphérique.

Dans un procès en contrefaçon, l'avocat de la défense donna du tube à décharge, cette définition : « c'est un tube de verre avec du gaz dedans et des électrodes à chaque bout. » La définition peut être transposée aux lampes à incandescence, qui ne sont que des ballons de verre avec du gaz dedans et un filament au milieu.

Si l'on remarque que l'atmosphère des unes et des autres est essentiellement constituée par des gaz rares, que les électrodes des tubes à décharge modernes sont portées à l'incandescence, qu'elles sont constituées par des filaments de tungstène, on peut, allant au bout de la voie tracée par notre avocat, donner des sources modernes de lumière cette définition descriptive et qui les englobe toutes : parois de verre, atmosphère de gaz rares, filament spiralé de métal réfractaire traversé par le courant.

Les lampes et les tubes électriques à atmosphère gazeuse produisent des effets lumineux, soit pour éclairer, soit pour émettre un signal visible.

Ce sont des générateurs de radiations électromagnétiques dont le domaine intéresse, en fait, dans l'échelle naturelle et illimitée des longueurs d'onde, une tranche sensiblement comprise entre le millimètre et quelques angstroms, englobant ainsi l'infra-rouge, le visible et l'ultra-violet; encadrée, d'un côté, par les ondes d'ordre radio-électrique, de l'autre, par les rayons X.

Toutefois, on distingue une affinité marquée de l'incandescence pour l'infra-rouge, alors que la luminescence excelle dans l'ultra-violet. Des tubes à décharge remplis sous très faible pression de gaz ou de vapeur, excités par des courants de haute fréquence, amortis ou entretenus, sont même capables d'émettre au delà de l'extrême ultra-violet, dans cette région explorée par le regretté HOLWECK et qui relie l'ultra-violet aux rayons X.

On peut dire que tous les progrès techniques n'ont cessé de consister à rectifier le tir, pour transporter ces émissions situées par prédilection de part et d'autre du spectre visible et les concentrer dans ce but si mince qu'est, dans l'infini développement des radiations électromagnétiques, l'étroite zone de sensibilité de notre œil.

Il est d'usage de distinguer, sinon d'opposer, les spectres de luminescence de la décharge, et du rayonnement thermique du filament chauffé. Or, si l'on raisonne sur les phénomènes élémentaires de l'émission de lumière, ceux de l'atome excité, seuls interviennent le niveau d'excitation atteint par l'atome et la probabilité de retour à un état quantifié inférieur. Et c'est seule — suivant le mot de HASLETT — la danse compliquée exécutée par les électrons pendant le retour de l'atome du niveau d'excitation à un niveau inférieur qui est source de production de lumière. Si nous pouvions, suivant l'image de M. FABRY, tenir au bout des doigts un électron et lui donner un mouvement vibratoire suffisamment rapide, nous ferions de la lumière.

Cette émission de lumière, spectralement parfaitement définie, ne dépend que des niveaux entre lesquels s'est effectué la danse de retour des électrons. Elle est totalement indifférente au processus par lequel l'atome a été porté à un niveau supérieur d'excitation, que ce soit en conséquence de chocs électroniques ou d'une agitation thermique.

Ainsi la radiation de résonance de l'atome de mercure est émise lorsque l'atome, porté au niveau ($2P_2$) revient à l'état normal (I S). Peu importe comment l'atome de mercure a été porté au niveau supérieur ($2P_2$).

Le doublet jaune du sodium émis par le sel de cuisine, crépitant dans la flamme, est identique à celui émis par la vapeur de sodium pure excitée par le passage du courant électrique dans une lampe moderne à luminescence.

Dans le domaine si vaste et si précieux de l'étude spectroscopique de l'émission des corps, on utilise généralement l'excitation de luminescence de préférence à la flamme, parce que la luminescence, par la finesse des conditions d'excitation sélectives à volonté, permet de décomposer et d'analyser le spectre que l'émission thermique produit généralement dans une brutale complexité.

Mais l'une et l'autre, — émission thermique comme émission de luminescence — loin de s'opposer, expriment le même phénomène physique profond : l'absorption par la matière de quanta d'énergie avec émission corrélative de radiations électromagnétiques.

LES GAZ RARES

Actuellement toutes les sources modernes de lumière électriques à incandescence, ou à luminescence, sont à atmosphère gazeuse, généralement de gaz rares.

Les lampes usuelles à incandescence sont à atmosphère d'argon, auquel on commence à substituer le krypton, et même le xénon. Les tubes luminescents, y compris ceux à vapeur métallique font appel aux gaz rares. Ainsi les lampes à sodium sont à atmosphère de néon et les tubes à mercure à atmosphère d'argon.

Ces gaz si rares, que tous les hommes les respirent sur la surface du globe, existent en proportion toujours constante dans l'air et dans les gaz naturels, à l'exception de l'hélium qui apparaît comme un produit de désintégration radioactive, et que M. LEPAPE a attribué au radio élément alcalin hypothétique n° 87, ou ékacésium.

Nous savons que les gaz rares s'échelonnent en bon ordre, par poids atomique croissant, dans la 8^e colonne du tableau de classification périodique des éléments, hélium, néon, argon, krypton, xénon, auxquels on doit joindre le radon, nucléairement instable et de courte durée de vie.

Compte tenu des volumes d'air qui entourent la terre, on peut calculer qu'un gaz comme le xénon, dont la teneur n'est que de 1/10.000.000^e, existe en quantité respectable. Le volume, apprécié dans les conditions normales, est de l'ordre de 10¹¹ m³, ce qui représente quelques milliards de tonnes.

S'il était audacieux de songer à extraire de l'air atmosphérique dans des conditions industrielles acceptables un corps comme le xénon — conditions qui évoquent, du moins quant à la teneur, celles de l'extraction du radium des minerais de pechblendes — il était du moins légitime de faire appel à de telles réserves de matières premières. Notons que la conception comme la réalisation sont à porter, par priorité, à l'actif de la science et de la technique françaises.

Quant aux propriétés de ces gaz rares, livrés emballés sous pression, comme leurs autres collègues de l'atmosphère, dans des bouteilles d'acier, elles sont exceptionnelles dans l'ensemble des 92 élé-

ments naturels. D'abord un caractère atomique commun, congénital pour ainsi dire, est la saturation de la couche externe d'électrons périphériques. Il en découle une valence nulle, c'est-à-dire, par définition, l'inactivité chimique.

Mais il a fallu y prendre garde, à propos de la volatilisation des électrodes. Par suite de l'accumulation de charges négatives sur les parois du tube, il se produit entre l'anode et la paroi voisine, un champ électrique intense provoquant l'arrachement de particules de l'électrode qui vont se plaquer contre la paroi de verre, en dévorant, par absorption, l'atmosphère gazeuse, avec d'autant plus d'appétit que la pression est plus basse. Ceci explique, dans le développement des progrès techniques, la recherche de l'emploi de pressions de gaz aussi élevées que possible et d'électrodes de faible volatilisation.

Rappelons qu'aucune expérience sur les gaz rares, ne peut être valablement conduite, si les gaz mis en œuvre ne sont pas parfaitement purs. La grande pureté des produits domine d'ailleurs toute l'industrie des tubes et des lampes électriques. Elle est aussi vraie pour les métaux réfractaires, les enduits émissifs, les matières fluorescentes, que pour les gaz rares.

Finalement la grande inertie chimique des gaz rares jointe, d'une part, à la grosseur de leurs atomes, de l'autre, à leurs propriétés électriques, leur ont ouvert toutes grandes les portes de l'industrie moderne des lampes à incandescence et des tubes luminescents.

ÉLECTROLUMINESCENCE DES GAZ ET DES VAPEURS

Les sources de lumière par luminescence mettent en œuvre les phénomènes qui accompagnent le passage du courant électrique à travers les gaz et les vapeurs, essentiellement à travers les gaz rares et la vapeur de mercure.

Elles se trouvent ainsi rattachées aux développements les plus importants de la physique moderne, laquelle pénètre progressivement dans la connaissance intime mais de plus en plus abstraite, pour notre imagination, des rapports intimes des corpuscules et des ondes.

L'édifice théorique repose sur un ensemble non moins imposant d'observations et de données expérimentales. A cet égard, il est incontestable que les laboratoires des principales industries mondiales des lampes et des tubes électriques ont apporté depuis un demi-siècle une contribution sensible, tant par l'élaboration des matériaux et outils nécessaires aux expériences, que par les informations découlant soit de leurs propres recherches, soit de la création de sources nouvelles qui ne cessent de progresser dans ce domaine tellement attrayant, mais difficile, de la réalisation des sources de lumière.

Certes, la lampe ou le tube proposé au public apparaît généralement très simple. Rien n'est plus suggestif que la commune lampe à incandescence, y compris la dernière née à atmosphère de krypton et à filament de tungstène doublement spiralé, dont la simplicité apparente de construction laisse difficilement entrevoir le puissant arsenal de moyens scientifiques et techniques qui a dû être mis en œuvre, depuis le laboratoire jusqu'à « l'unit » qui débite mécaniquement les lampes à la cadence d'un millier par heure.

Dans les coulisses du laboratoire et des ateliers, les techniciens, aux prises avec les problèmes les plus complexes qui touchent non seulement à la physique pure, mais à l'électrotechnique et à la chimie, doivent s'appuyer, ne serait-ce que comme hypothèse de travail, sur quelques jalons théoriques qui sont les guides nécessaires à toute poursuite fructueuse d'efforts d'application de la science à l'industrie.

POTENTIELS D'IONISATION et de RÉSONANCE. — Nous savons que le phénomène d'émission de lumière dans le tube chargé de gaz sous faible pression, traversé entre deux électrodes par le courant électrique, intègre un phénomène fondamental dont l'action se déroule à l'échelle infiniment petite de l'atome.

Les travaux de J.-J. THOMSON et de P. LANGEVIN ont établi que le courant électrique traversant un gaz très raréfié est un courant de convection. En sorte que le phénomène électrique élémentaire, provoqué par l'application d'une différence de potentiel V entre deux électrodes, est essentiellement un transport d'électrons dans le champ électrique.

Si le gaz est suffisamment raréfié, e et m étant respectivement la charge et la masse de l'électron dont la vitesse v n'est pas trop grande, et $h\nu$ étant le quantum d'énergie rayonnée, on a les égalités :

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V = h \nu,$$

expressions, qui, selon BOHR, peuvent être lues dans les deux sens.

C'est-à-dire, que l'énergie se présente à l'atome sous forme de radiation, dont l'absorption par l'atome a pour effet d'expulser un électron — effet photoélectrique — ou que l'atome reçoive — ce qui est notre cas — de l'énergie par choc électronique, l'énergie étant restituée sous forme de rayonnement — dans les deux cas les innombrables expériences de contrôle effectuées notamment par MILLIKAN et Maurice de BROGLIE, ont montré que la relation réversible entre l'énergie électrique et l'énergie rayonnante, définie par l'équation d'EINSTEIN-BOHR est toujours satisfaite.

h et e étant des constantes physiques connues avec un haut degré d'approximation, on conçoit d'abord qu'il suffit expérimentalement d'un spectroscope pour en déduire le potentiel V et inversement d'un voltmètre pour en déduire la fréquence ν de la radiation correspondante.

Si l'on se place au point de vue de l'examen spectroscopique, une autre conséquence en découle. Comme les spectres normaux de luminescence des gaz sont caractérisés par des émissions d'ailleurs dénombrables de raies, il résulte qu'à ces émissions, mesurées par des nombres finis de la fréquence, il correspond nécessairement des valeurs finies et discontinues du potentiel V .

Expérimentalement, ces conséquences ont été analysées sous le double contrôle du spectroscope et du voltmètre.

Ainsi ont pu être parfaitement déterminés, pour tous les éléments naturels, les potentiels critiques V , notamment le potentiel de résonance, auquel correspond l'émission d'une seule radiation monochromatique, dite radiation de résonance, et le potentiel d'ionisation caractérisé par l'émission du spectre d'arc, c'est-à-dire du spectre classique des radiations émises par les gaz et les vapeurs dans les tubes luminescents usuels.

Nous savons comment les travaux que nous venons de rappeler brièvement ont permis, par le jeu des combinaisons résultant de l'association deux à deux des niveaux d'excitation, entre lesquels se fait le saut électronique — d'une part, mais sous réserve du principe de sélection, d'établir l'admirable classification des séries spectrales de tous les corps simples — d'autre part, de construire l'édifice atomique de chaque corps simple, notamment la distribution statistique des électrons aux différents niveaux d'énergie, d'où découle la suite discontinue des diverses configurations que peut prendre l'atome excité.

Pour les applications industrielles il est intéressant de dresser le tableau des potentiels d'ionisation, dont les valeurs sont portées en ordonnées, en fonction des différents éléments naturels, portés en abscisses suivant leur numéro d'ordre atomique.

Le graphique ainsi établi fait ressortir une remarquable périodicité ; les gaz rares, auxquels il faut joindre le mercure, s'attribuent les potentiels les plus élevés et de valeurs successivement décroissantes, tandis que les alcalins et les alcalino-terreux, qui les suivent immédiatement dans la numérotation, s'attribuent les valeurs minima.

ÉTATS METASTABLES. — Or, entre les deux états de l'atome, normal et ionisé une fois, il peut exister un état intermédiaire particulier, dit métastable, qui se distingue des autres — résonance et ionisation — par des caractères pour ainsi dire opposés.

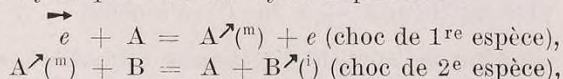
L'atome, porté à ce niveau métastable, au lieu de faire retour spontanément au niveau normal, reste à ce niveau, y demeure stable, accroché comme à un cran, aussi longtemps qu'une cause extérieure ne l'en déloge pas. De plus, le retour direct au niveau normal, quand il s'effectue, ne se fait jamais avec émission de radiation.

L'expérience montre que l'atome peut être notamment décroché, et faire retour direct au niveau normal, par choc, dit de deuxième espèce, avec un autre atome. Le principe de conservation devant être respecté, l'énergie emmagasinée par l'atome pour être porté au niveau

métastable doit être absorbée par le second, et se traduire soit en un accroissement de l'énergie cinétique, soit en une excitation de cet atome qui se trouvera ainsi porté au niveau de résonance ou au niveau d'ionisation.

C'est ce dernier processus qui permet de rendre compte, et éventuellement de prévoir deux des phénomènes fondamentaux mis en œuvre dans les lampes à décharge électrique : l'excitation de la luminescence des vapeurs métalliques et l'abaissement de la tension d'amorçage.

Le mécanisme du cycle peut s'écrire symboliquement :



On conçoit que le transfert d'énergie de A à B, avec excitation de B au niveau d'ionisation, pourra s'effectuer et s'effectuera, si le potentiel du niveau métastable de A est supérieur au niveau d'ionisation de B.

Telle est, pratiquement, la position exceptionnelle des gaz rares, atomes A, dont les potentiels des niveaux métastables, sont supérieurs à la plupart des potentiels d'ionisation des autres éléments B.

Une première conséquence de ce fait est la facilité extrême avec laquelle on peut, en présence d'une atmosphère de gaz rare, provoquer l'ionisation des vapeurs métalliques.

Sur le plan industriel un exemple d'application est donné par l'argon et la vapeur de mercure dont les potentiels des niveaux métastables et d'ionisation sont respectivement de 11^v5 et 10^v4 . C'est précisément le cas des lampes fluorescentes qui mettent en œuvre la luminescence de la vapeur de mercure excitée sous faible pression.

Le premier bénéfice de la combinaison est que l'on peut charger les lampes en argon à la pression la plus favorable à la simplicité de l'alimentation électrique, simplicité qui serait exclue si on voulait exciter directement par la décharge la vapeur de mercure pure dans le vide.

Le deuxième bénéfice est que la combinaison a pour effet supplémentaire d'améliorer encore les conditions de l'alimentation électrique de la lampe qui ne contiendrait que de l'argon pur.

En effet, puisqu'il suffit que le potentiel électrique appliqué porte les atomes d'argon au potentiel métastable de 11^v5 , pour

exciter par choc de deuxième espèce les atomes de mercure au potentiel d'ionisation de $10^{\text{v}}4$, le niveau d'ionisation de $15^{\text{v}}5$ de l'argon ne sera pas atteint ; il y aura abaissement de la tension d'amorçage, par rapport à celle de l'argon pur.

On conçoit que cet effet ne sera sensible que dans la mesure où la probabilité de rencontre entre atomes A d'argon et atomes B de mercure sera assez grande, c'est-à-dire que la concentration en atomes de mercure sera suffisante. Cette concentration dépendant de la tension partielle de la vapeur de mercure, on explique ainsi que l'allumage des lampes fluorescentes s'effectue plus facilement — ou plus rapidement — à 20°C qu'à 0° ou -5° .

Ainsi se trouvent directement rattachés à la relation d'EINSTEIN-BOHR et aux potentiels critiques des gaz, deux des caractéristiques fondamentales de la technique des lampes fluorescentes, sur lesquelles est basée leur alimentation sous les basses tensions usuelles de 110 ou 220 volts des réseaux de distribution.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES. — Nous devons toutefois observer que des tubes à décharge ont été élaborés et ont parfaitement fonctionné avant même que l'existence des potentiels d'ionisation et de résonance ait été reconnue. Les tubes à néon et à gaz rares sont notoirement antérieurs à la première publication fondamentale de FRANCK en 1913. De même, le procédé d'excitation de vapeurs métalliques en atmosphère de gaz rares, a été imaginé et mis en œuvre dans les tubes luminescents bien avant qu'ait été décelée l'existence des états d'excitation métastable.

Vous connaissez le succès remporté par les tubes à néon, à hélium et à argon-mercure dans le domaine de la publicité lumineuse. Ces tubes, alimentés sous haute tension, sans soupape, munis d'électrodes de dimensions proportionnelles à l'intensité du courant, remplis à la pression de quelques millimètres de mercure sont nés à Paris, en 1910. Ils illuminèrent le Grand Palais, et puis firent le tour du monde, ne traversant d'ailleurs les Etats-Unis, qu'au début de 1920. Petit détail historique : Montmartre a été illuminé par eux dix ans avant Broadway.

Cependant les chercheurs n'ont cessé d'être hantés par l'idée obsédante d'introduire ces tubes à décharge dans le domaine de l'éclairage général.

La littérature technique et celle des brevets s'entassent ainsi depuis un demi-siècle, mêlant aux espoirs insensés, les conclusions

les plus décourageantes. C'est ainsi qu'un spécialiste averti, WITZ, avait mesuré qu'un tube de Geissler donne moins de lumière qu'une lampe à incandescence qui, à l'époque, consommait 3 watts par bougie ! Il concluait : « C'est un mode d'éclairage ruineux ! ».

Pour donner tort à WITZ, les inventeurs optimistes n'avaient à résoudre que les problèmes suivants : il fallait s'affranchir de la haute tension, réaliser des sources standardisées interchangeables, transformer — par quel miracle — des spectres de raies en émissions continues, enfin faire de la lumière blanche, là où on ne connaissait qu'effets colorés. Et tout cela avec un haut facteur d'efficacité lumineuse.

Une première observation s'impose. Il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau des potentiels critiques des 92 éléments naturels, d'où découle par les lois de combinaison des niveaux d'énergie, la distribution des raies spectrales, pour en conclure que, au point de vue statistique, une faible partie seulement du rayonnement de luminescence « tape » dans la maigre tranche du spectre visible. C'est une chance, par exemple, que le doublet des radiations de résonance du sodium soit exactement situé dans cette minuscule région des radiations jaunes si sensibles, physiologiquement, à notre œil.

Cette observation se précise encore, si l'on traduit numériquement en différences de potentiels d'excitation la zone de longueurs d'onde des radiations du spectre visible, comprise entre 8.000 et 4.000 Å.

Or, la relation d'EINSTEIN-BOHR, mise sous forme numérique, donne comme valeur de V en fonction de la longueur d'onde :

$$V = \frac{12.345}{\lambda}, \quad \lambda \text{ étant mesurée en } \text{\AA}$$

On peut calculer ainsi que la tranche visible, des radiations rouges aux radiations violettes, correspond à des sauts électroniques de différence de potentiel comprise seulement entre 1,5 et 3 volts. Pour toute autre valeur de V la radiation est hors du but.

L'ultraviolet, lui, s'octroie une tranche relativement royale, comprise entre 3 et 90 volts, dans laquelle sont situées notamment les radiations de résonance de tous les gaz rares et celle de la vapeur de mercure.

Un déplacement de l'émission spectrale de l'ultra-violet dans le visible, avec développement corrélatif d'une émission continue,

peut être obtenu par augmentation de la pression du gaz et de l'intensité du courant. Ainsi se trouve légitimé le fonctionnement des lampes à vapeur de mercure sous des pressions de vapeur de l'ordre des dizaines d'atmosphères.

L'application de fortes densités de courant dans les gaz rares provoque des phénomènes comparables, par excitation de luminescence de l'atome ionisé, une ou plusieurs fois. Aux spectres d'étincelle développés se superpose l'émission d'un fond continu visible.

Ainsi, le xénon, dont l'émission visible du spectre d'arc est à peine perceptible, soumis à de fortes pulsations instantanées du courant, est capable d'émettre une vive lumière blanche. Mais l'appareillage, véritable poste de diathermie à lampe ou à éclateur, est encore un peu trop encombrant et coûteux pour se prêter à des applications à l'éclairage général.

PHOTOLUMINESCENCE DES SUBSTANCES SOLIDES

Une autre voie que suggèrent des travaux anciens d'Edmond BECQUEREL — ils remontent à 1867 — consiste à transformer en émissions continues dans le spectre visible, les radiations ultraviolettes de luminescence, au moyen de ce transformateur, pour ainsi dire démultiplicateur de fréquence, qu'est, sous le coup de la règle de Stokes, la substance fluorescente.

Le procédé consiste en principe à entourer la décharge de luminescence d'une mince pellicule d'une substance fluorescente convenable. La substance est disposée à l'intérieur du tube à décharge, par exemple, suivant la suggestion de E. BECQUEREL, par collage avec de la gomme, contre la paroi intérieure de l'enceinte.

Considérons le phénomène lumineux élémentaire :

Il s'agit strictement de l'excitation par photoluminescence de substances solides soumises au rayonnement ultraviolet émis par le gaz ou la vapeur excité par la décharge électrique.

Mais comment choisir et associer le gaz exciteur et la substance photoluminescente pour obtenir la valeur la plus élevée possible du rendement énergétique de la transformation ?

Les émissions d'électroluminescence sont extrêmement variées et l'analyse spectrale nous les fait parfaitement connaître. Ici le choix est grand et le terrain est sûr. Au contraire, les informations que l'on possédait sur les substances solides fluorescentes n'étaient pas sans présenter une diversité de recettes déconcertantes.

Les travaux classiques de LÉNARD et de G. URBAIN en cathodoluminescence, qui ont conduit ce dernier à ses magnifiques identifications d'éléments des terres rares, traçaient la voie à suivre.

L'ensemble des recherches et des études entreprises depuis une dizaine d'années, en France notamment par M. Marcel SERVIGNE, permettent déjà de coordonner un grand nombre de résultats apparemment incohérents, et la synthèse théorique réalisée ouvre le chemin à la prévision des résultats expérimentaux.

Pour les corps simples, et dont les centres sont relativement indépendants entre eux, le phénomène élémentaire de luminescence est représenté, comme nous venons de le rappeler, par ces images électroniques dans lesquelles les niveaux énergétiques sont figurés par un ensemble de lignes à valeurs discrètes, correspondant à la valeur rigoureusement précise des potentiels critiques.

Dans le cas de substances solides, la complexité de l'interaction est telle entre les différents groupes des niveaux électroniques des éléments constitutants, que ces niveaux se combinent ou interfèrent pour donner pratiquement, non pas une ligne mais une bande continue d'énergie. On représente alors le phénomène de la manière suivante :

La bande, en haut, représente l'état d'énergie supérieure où un électron de la bande inférieure (état stable) doit être porté pour qu'il y ait état excité d'un centre cristallin. On admet que ces bandes sont si éloignées l'une de l'autre que les procédés usuels d'excitation sont insuffisants pour provoquer un tel saut électronique.

Il faut, pour que l'excitation soit possible, que la matière considérée passe par un état d'énergie discrète intermédiaire et localisée « L ». C'est alors que le saut de l'électron devient plus facile de l'état « L » jusqu'à la bande supérieure pour obtenir un état excité du cristal. Le retour électronique à l'état stable vers la bande inférieure se fait, d'après l'ingae déjà citée de HASLETT, suivant une danse compliquée de l'électron, parfaitement réglée et orchestrée et qui se manifeste à nos yeux par une émission de lumière.

Le passage de la substance considérée à cet état d'énergie discrète intermédiaire peut se faire à la faveur d'une addition étrangère au cristal ou à l'excès d'un des ions constitutants, grâce encore à des distorsions dans le réseau cristallin, distorsions qui peuvent être décelées par l'aspect des figures de diffraction que donnent les rayons X en traversant les cristaux.

Toutefois le caractère diffus des spectres des substances solides, spectres d'absorption et spectres d'émission, rend difficile les interprétations quantitatives. En attribuant notamment à l'agitation thermique la responsabilité première de la complexité des phénomènes dans les corps à l'état condensé, on a pensé pouvoir resserrer les bandes, les résoudre en éléments discrets, en opérant à très basse température, à celle de l'air liquide et même au-dessous. RANDALL, étendant ce mode d'examen à un grand nombre de substances, a remarqué, par exemple, à la température de 20° absolus, que pour les composés manganifères, la partie du spectre toujours présente, avec maximum vers 6.500 Å, se démultiplie en série de bandes secondaires, tandis qu'apparaissent quelques raies.

La nature fournit souvent à l'homme de science ou au technicien le modèle du dispositif qu'il ambitionne de créer. Par exemple, dans ce domaine de la fluorescence, la nature met à notre disposition la willémite, orthosilicate de zinc activé par du manganèse

qui s'illumine d'un vert brillant sous le rayonnement ultraviolet de grande longueur d'onde de la lumière de Wood.

Le travail de synthèse de reproduction de ce silicate naturel, poursuivi sous le contrôle de l'excitation par le rayonnement ultraviolet, permet expérimentalement de faire les observations fondamentales suivantes : importance de la très grande pureté chimique requise pour les produits constituants utilisés — nécessité d'un traitement thermique assez poussé et convenablement mené — dosage optimum pour chaque radiation excitatrice du manganèse activant, créateur, dans ces conditions, de niveaux intermédiaires « L » dans le cristal diluant.

Il est ainsi possible de réaliser des silicates synthétiques, avec rendement énergétique maximum, sous les diverses radiations ultraviolettes des plus longues aux plus courtes longueurs d'onde, depuis la raie $\lambda = 2.537 \text{ \AA}$ de la radiation de résonance de la vapeur de mercure, aux radiations de résonance du néon soit $\lambda = 736$ et $744 \text{ \AA}$ dans l'ultraviolet de LYMAN, en passant par les radiations de résonance du xénon soit $\lambda = 1.469 \text{ \AA}$ et $\lambda = 1.295 \text{ \AA}$ dans l'ultraviolet de SHUMANN.

Il n'est pas sans intérêt de suivre expérimentalement, parallèlement à l'action du rayonnement ultra-violet, les effets obtenus par l'excitation en cathodo-luminescence. Les expériences semblent établir une certaine corrélation dans la sensibilité des substances, entre le pouvoir pénétrant des ultraviolets et les électrons : sous sa forme la plus excitable, la substance cristalline, sensible aux ultra-violets courts, de la région de SHUMANN, est particulièrement sensible aux électrons lents, de 20 volts par exemple.

D'autres ponts sont en voie d'être jetés. Peu à peu se dégage une parenté étroite entre la technique des tubes électriques à atmosphère gazeuse et celle des tubes cathodiques, et il ne serait pas étonnant que les efforts poursuivis dans le domaine de la photo-luminescence des lampes fluorescentes aient quelque retentissement dans le domaine des tubes récepteurs de télévision. La réciproque étant également probable.

Il reste, de ce qui précède, que l'efficacité lumineuse la plus élevée a été obtenue avec la vapeur de mercure sous faible pression, laquelle est mise en œuvre, comme nous l'avons expliqué, dans une atmosphère d'argon. Les différentes substances luminescentes qui doivent concourir, par la composition de leurs spectres de luminescence, à la production de la lumière blanche, sont donc soigneusement préparées, comme il vient d'être dit, pour donner sous l'excitation de la raie $\lambda = 2.537 \text{ \AA}$, le maximum de lumière visible.

CHOIX DE LA PRESSION, DES ÉLECTRODES ET DE L'APPAREILLAGE AUXILIAIRE

Le choix ayant été ainsi fait de la nature de l'atmosphère gazeuse, et des substances fluorescentes susceptibles de recouvrir la paroi interne de l'enveloppe de verre, il ne reste plus au technicien qu'à résoudre trois autres problèmes : déterminer la pression de remplissage de gaz rare, la nature des électrodes et la nature de l'appareillage auxiliaire nécessaire à l'amorçage et au réglage de l'intensité de courant.

Il faut dire que dans l'accomplissement de ces trois tâches la théorie n'est plus que d'un faible secours. Les développements mathématiques éventuels sont compliqués, leur interprétation physique est souvent incertaine, et on leur préfère les règles qui découlent d'observations expérimentales.

Les chemins à suivre sont très différents suivant qu'il y a, ou qu'il n'y a pas de colonne positive.

S'il n'y a pas de colonne positive, les électrodes étant très rapprochées, et si le courant est de l'ordre des milliampères, on entre dans le domaine par excellence des lampes à lueur cathodique, c'est-à-dire de celles dans lesquelles la luminescence est seulement produite par la gaine lumineuse qui entoure la cathode.

La pression de gaz rare la plus favorable, tant au point de vue de la tension d'amorçage que de la production de la luminescence cathodique est de l'ordre du ou des centimètres de mercure. Les électrodes métalliques, de préférence en nickel et de grandes surfaces, si elles sont recouvertes d'une mince pellicule de métal alcalin — métal électro-positif qui s'octroie, nous l'avons vu, les plus faibles valeurs du potentiel d'ionisation — permettent d'abaisser la tension d'amorçage spontané au-dessous de 110 volts, à 40 volts par exemple.

La caractéristique volt/ampère étant positive, l'intensité du courant est réglée par une résistance placée en série dans le circuit d'alimentation de la lampe.

Ces lampes peuvent être fluorescentes.

S'il y a une colonne positive, les électrodes étant éloignées, les difficultés techniques à résoudre se compliquent un peu.

CHOIX DE LA PRESSION

Il est théoriquement possible d'expliquer que pour chaque diamètre de tube, il existe, pour chacun des gaz rares, une valeur de la pression, pour laquelle la chute de potentiel dans la colonne positive est minima.

Laissons cette explication, incapable en pratique de prévoir la valeur de cet optimum de pression. Notons que cet optimum existe, ce que d'ailleurs l'expérience nous a fait depuis longtemps connaître, Notons encore la chance inespérée, découlant de la nature des choses qui fait que cette pression, la plus favorable au plus faible gradient de potentiel, coïncide pratiquement avec celle donnant la plus faible tension d'amorçage. Pour les lampes fluorescentes, de 30 à 40 mm. de diamètre, l'optimum de pression est ainsi compris entre 3 et 4 mm. de mercure, et le gradient de potentiel est de l'ordre de 1 volt par centimètre.

Si les valeurs des potentiels d'amorçage, en atmosphère de gaz rares, conduisent à un classement bizarre de ces gaz, — soit de la valeur la plus élevée à la plus basse : hélium, krypton, argon, xénon, néon, — il est possible par contre, de relier d'une manière satisfaisante et simple, pour le néon, l'argon, le krypton et le xénon, la valeur du gradient de potentiel à la masse atomique:

Pour ces quatre gaz, dans les mêmes conditions, le nombre de volts par centimètre est inversement proportionnel à la masse atomique. La même relation mathématique élémentaire commande, comme on le sait, un grand nombre de propriétés physiques de ces gaz, leur conductibilité calorifique, par exemple.

CHOIX DES ÉLECTRODES

La comparaison visuelle d'une ancienne électrode froide de tube luminescent, de plusieurs décimètres carrés de surface, avec 150 volts environ de chute cathodique, à la nouvelle électrode thermo-émissive, de 2 ou 3 millimètres cubes d'encombrement, avec quelques volts de chute cathodique, permet de mesurer, en brûlant les étapes, le chemin parcouru par le progrès technique.

Le phénomène d'émission thermoionique, découvert par E. BECQUEREL, du métal chauffé, et étudié successivement par MOORE, RICHARDSON, WEHNELT, LANGMUIR et ARNOLD, est à la base de la technique moderne de ces électrodes chaudes, dont l'âme en métal réfractaire, est recouverte d'un dépôt d'oxydes des métaux alcalino-

terreux caractérisés, immédiatement après les alcalins, par la petitesse de leur potentiel d'ionisation et que, compte tenu de la température de régime des électrodes, on substitue, en raison de leur faible tension de vapeur, aux alcalins qui seraient trop volatiles.

La même technique s'applique aux cathodes des tubes à vide.

L'activation requise de la couche d'oxyde, que l'on peut obtenir par le chauffage, la décharge, l'effluve et le vide au cours de la formation, conduit à concevoir — entre le métal support, l'oxyde, les sous-oxydes formés, la pellicule superficielle de métal alcalino-terreux, et aussi de certaines additions activantes, lesquelles, comme des luminogènes, sont ajoutées préalablement à l'oxyde — des équilibres chimiques complexes, que compliquent encore la présence de l'atmosphère de gaz rare et les effets de la décharge électrique...

Il n'y a aucun doute que, de ce côté, la technique est en voie d'accomplir de nouveaux progrès, liés à une connaissance plus claire de phénomènes physico-chimiques d'un grand intérêt.

QUANT A L'APPAREILLAGE AUXILIAIRE, il est essentiellement constitué par une impédance qui stabilise, avec les pertes minima, la décharge à caractéristique négative.

Nous savons que, pour l'amorçage, un procédé consiste à chauffer préalablement les électrodes, dont l'émission thermoionique ne peut que faciliter l'ouverture du passage de la décharge électrique. L'idée est vieille de 30 ans. Le délai qui s'écoule entre la conception et la réalisation est quelque fois de 10 ans. Il est curieux, et heureux pour le progrès, tout bien pesé, que cette observation purement statistique et d'ordre pratique ne freine jamais l'impatience des inventeurs qui apprécient avec optimisme le temps et les crédits nécessaires à la mise en œuvre de leurs idées.

Un autre procédé, — appliqué aux tubes historiques à néon, aux lampes modernes à sodium et à vapeur de mercure sous haute pression de la vapeur de mercure, et dans certains cas aux lampes fluorescentes — consiste à provoquer l'amorçage par surtension. Cette voie, dont l'origine est encore plus ancienne que la première, repose sur un principe très simple, dont il est probable, comme tout ce qui est simple, que des développements techniques ultérieurs tireront de nouveaux avantages.

Voici ce principe : soumettons à une tension progressivement croissante une lampe fluorescente de 30 mm. de diamètre et de 50 cm. de longueur, stabilisée par une impédance de valeur conve-

nable. Pour une valeur de la tension, inférieure à 220 volts, la lampe s'amorce spontanément. En d'autres termes, les lampes fluorescentes peuvent parfaitement fonctionner, sans aucun artifice, relais, bilame, condensateur, etc... sous les tensions usuelles de 220 volts.

Il est bien évident que dans cette voie les applications seraient déjà engagées si l'absence de cuivre ou de tôle à faibles pertes magnétiques, à laquelle nous sommes contraints depuis cinq ans, n'interdisait une réalisation acceptable de la bobine de stabilisation. On conçoit parfaitement, dans le cas d'une distribution sous 110 volts seulement, l'installation d'un auto-transformateur général 110/220 volts déservant une installation de lampes fluorescentes, dans la plus grande simplicité de fonctionnement, avec le bénéfice d'une forte stabilisation favorable à l'atténuation des effets stroboscopiques.

Quant au montage à résonance, par combinaison de l'impédance et du condensateur, il suffit de l'essayer, pour le rebuter. A l'allure désordonnée de la décharge, se superposent un effondrement de l'efficacité lumineuse et une destruction accélérée des électrodes.

Le montage actuel, qui comporte un condensateur, répond plus directement au problème posé. Le montage électrique consiste simplement à porter la tension disponible du secteur, 110 volts par exemple, à la tension d'amorçage nécessaire, soit 220 volts, ce qui nous place très loin de la résonance pure.

Analysons le problème. Un tube est donné. Que demande-t-on à l'appareillage ? Une certaine tension à vide, une certaine intensité en charge, une intensité à vide acceptable, un bon facteur de puissance, une forme de courant voisine de la sinusoïde, dernière condition que le technicien ne doit jamais oublier. Soit 5 conditions principales. Comment mathématiquement y satisfaire avec 2 variables, une self et un condensateur ? Eh bien, le problème est soluble avec 4, leur combinaison astucieuse introduisant la 5^e variable. En un mot, le dispositif actuellement exploité combine un condensateur avec 3 bobines de réactances, plus ou moins couplées, présentant un point commun, chacune d'elles reliée par l'autre pôle à la source de courant, au condensateur et à la lampe.

Telles sont les grandes lignes marquant le développement technique des lampes à décharge à atmosphère gazeuse dont l'aboutissement actuel s'exprime dans ces lampes fluorescentes à haut facteur d'efficacité lumineuse, en pleine exploitation aux Etats-Unis où la production est de l'ordre de 200.000 unités par jour.

En France, la production, misérablement limitée par la disette des matières premières, mais du moins assurée dans son principe, grâce à la parfaite compréhension des autorités compétentes, marque du moins par son existence la place que notre technique a su gagner.

LES SOURCES PAR INCANDESCENCE

Quant aux lampes à incandescence, malgré leur grande simplicité d'emploi, leur monopole, dans l'éclairage électrique, paraît menacé par de tels progrès des sources lumineuses.

Il est vrai que, depuis 30 ans, les progrès accomplis par la lampe à incandescence s'insèrent toujours strictement dans les limites de la formule de LANGMUIR, limites qui semblent d'ailleurs être maintenant atteintes. Aucun nouveau détail de fabrication n'entrouvre la porte à quelque idée laissant espérer un bond nouveau vers le progrès.

La loi d'émission du corps noir et des corps dits « gris ou colorés » montre bien le chemin à suivre : augmenter la température du filament, mais cela sans affecter la durée de vie de la lampe. Notons que les phénomènes d'émission thermique des radiations furent le berceau de la théorie des quanta et que, nouveau lien théorique, la constante h de PLANCK figure dans la loi d'émission thermique comme elle figure dans celle de l'émission du rayonnement de luminescence.

Dans la lampe à incandescence à atmosphère gazeuse, tout le phénomène est localisé au filament. Le tungstène est le métal le moins volatilisable. Le filament doublement spiralé réduit au minimum la surface d'échange entre le métal et le gaz et, par suite, les pertes de chaleur.

La gaine de gaz rares constituée par les atomes immobilisés par viscosité, à la haute température à laquelle ils sont portés, au voisinage immédiat du métal incandescent, s'oppose à la pression de diffusion du métal — par conséquent à la destruction du filament. — Vous savez les ultimes progrès apportés par le krypton et le xénon.

Par leur inertie chimique, leur mauvaise conductibilité de la chaleur, la grosseur de leurs atomes, le krypton et surtout le xénon (poids atomique 130) se révèlent comme les meilleurs obstacles parmi les 92 éléments naturels connus, pour réduire les pertes de chaleur et freiner la volatilisation du filament incandescent.

Et nos ressources paraissent ainsi épuisées.

Il y a enfin, liée à la formule de LANGMUIR, cette loi inconnue des tubes à décharge qui lie inexorablement la durée à l'efficacité lumineuse : les durées sont en raison inverse de la 7^e puissance des efficacités lumineuses.

Il reste, cependant, en vertu même de cette loi, que pour de très courtes durées, la lampe à incandescence peut atteindre les efficacités lumineuses des lampes fluorescentes. C'est le cas des lampes utilisées pour la photographie, ou la cinématographie, dont la durée de vie n'est que de quelques heures. Cette possibilité seule laisse concevoir de nouveaux progrès.

On peut observer encore, qu'en l'absence d'addition d'azote à l'atmosphère gazeuse (addition qui d'ailleurs concourt, par action chimique, à la destruction du filament) la lampe à incandescence à atmosphère de gaz rare, passe très volontiers à l'arc. A la température à laquelle est porté le filament, l'émission thermoionique est intense et le courant électrique, qui choisit naturellement le chemin de moindre effort, préfère s'écouler librement à partir des amenées de courant, dans le gaz ionisé — avec caractéristique négative — qu'à travers le filament métallique, pour travailler à satisfaire à la loi de JOULE.

Cette observation, jointe à tant d'autres traits communs, entre l'incandescence et la luminescence, nous laisse penser, qu'après bien des disputes, tout finira par s'arranger par un mariage, dans la production d'une nouvelle source qui portera plus loin encore les propriétés fondamentales de la qualité de la lumière, du rendement et de la durée.

Cette prophétie, sans doute téméraire, peut être symbolisée par le montage classique élémentaire, qui fait penser à l'association de l'aveugle et du paralytique, dans lequel la lampe à incandescence à atmosphère de krypton, ou mieux de xénon, fait office d'appareillage auxiliaire de la lampe fluorescente.

CONCLUSIONS

Dans cette course vers les efficacités lumineuses les plus élevées, — et dans laquelle, faut-il le rappeler ? malgré la rude compétition internationale et cinq années d'épreuves, l'industrie française s'est placée à la fois aux deux pointes extrêmes des progrès techniques accomplis respectivement par les sources à incandescence et à luminescence — l'excitation du chercheur est soutenue par la marge si large qui sépare encore les bilans énergétiques des lampes à décharge actuelles de ceux que le calcul peut nous laisser raisonnablement espérer : 200 lumens par watt en lumière blanche, plus de 500 en radiations condensées sur la longueur d'onde de sensibilité physiologique maxima de notre œil...

Il résulte d'ailleurs de ces calculs que la lumière dite froide de nos tubes luminescents présente un déchet de radiations calorifiques d'un ordre de grandeur qui reste encore comparable à celui des lampes à incandescence.

Est-il finalement souhaitable que, pour l'incandescence, comme pour la luminescence, tout le déchet calorifique soit dépensé exclusivement en rayonnement purement visible ?

Ne doit-on pas, au contraire, concevoir, avant la limite de transformation plus complète de l'énergie électrique en lumière visible, un compromis entre l'énergie rayonnée dans le visible et celle rayonnée dans l'infrarouge, — et aussi dans le très proche ultra-violet ? Le soleil nous en donne une répartition, sous laquelle l'être humain, depuis sa création, a évolué et a vécu. L'émission rayonnante infrarouge doit-elle être exclusivement réservée au séchage des fruits et de la peinture cellulosique ?

Au chauffage de nos demeures, par conductibilité de l'air, l'architecte de demain préférera, croyons-nous, dans des temps meilleurs, le rayonnement infrarouge pour nous chauffer, associé convenablement au rayonnement visible, pour nous éclairer, avec un peu d'ultra-violet long, pour notre hygiène générale. C'est une question sur laquelle les physiothérapeutes et les biologistes auront aussi leur mot à dire.

Une dernière remarque :

Nous avons vu, à propos de la tension d'amorçage, que les tensions explosives nécessaires sont beaucoup plus élevées que les ten-

sions d'ionisation, données par la mesure des niveaux critiques. C'est que, en réalité, nos tubes industriels fonctionnent dans des conditions très éloignées de celles de l'étude des phénomènes élémentaires. Au point de vue pratique, il ne suffit pas, en effet, que le potentiel d'ionisation soit faible. Il ne suffit pas que le phénomène de luminescence soit seulement décelable. Il s'agit, pour les applications aux sources de lumière, de développer le phénomène, avec la puissance requise par une source d'éclairage unitaire, et cela avec une grande efficacité lumineuse. Il faut pour cela que l'énergie accumulée par les électrons ait beaucoup de chances d'être absorbée. Naturellement le rayonnement est toujours émis par quantum, mais il nous faut un grand nombre de quanta. De ce fait, la pression et l'intensité du courant sont beaucoup plus élevées dans les tubes industriels, que dans les dispositifs expérimentaux des phénomènes élémentaires. Ce qui complique l'analyse, notamment par l'intervention des ions positifs.

Mais il n'est pas exclu que des progrès techniques s'accomplissent dans la voie expérimentale de l'étude des phénomènes élémentaires. Des tubes à décharge pourront ainsi fonctionner sous les faibles tensions de batteries d'accumulateurs des voitures automobiles, soit 12 volts certainement, et peut-être 6 volts.

Enfin, si la théorie des quanta nous dit exactement comment les transformations de l'énergie électrique en énergie rayonnante s'accomplissent, si elle est merveilleusement capable de réduire à un ensemble dénombrable les combinaisons possibles d'échange, elle nous dit moins nettement, sous sa forme classique, quelle meilleure chance elles auront de s'accomplir parmi tous les processus possibles.

Pour faire dans cette voie un pas en avant, c'est aux méthodes de la mécanique ondulatoire qu'on doit aujourd'hui s'adresser.

Innovée, il y a vingt ans, par M. Louis de BROGLIE, et, depuis lors, continuellement perfectionnée, la physique nouvelle est seule capable d'appréhender dans leur complexité les phénomènes fondamentaux de l'émission d'un gaz ou d'un solide ; elle seule peut nous renseigner à cet égard sur les probabilités que nous désirons maintenant mieux connaître. Son retentissement est certain dans les applications de la science à l'industrie de demain.



