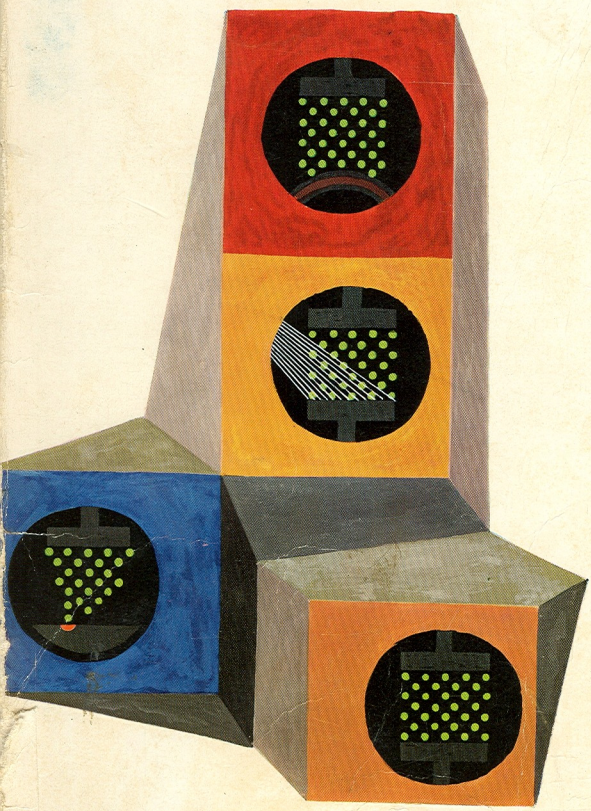
COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
DU SUD-OUEST
162 bis, Cours du Général de Gaulle
33 - GRADIGNAN
Tél. 91.38.62

CLASSIFICATION DES TUBES ÉLECTRONIQUES



LA RADIOTECHNIQUE
DIVISION TUBES ELECTRONIQUES
ET SEMICONDUCTEURS

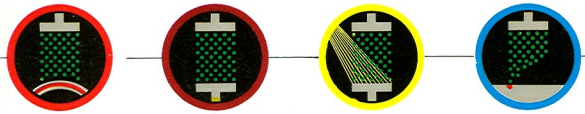
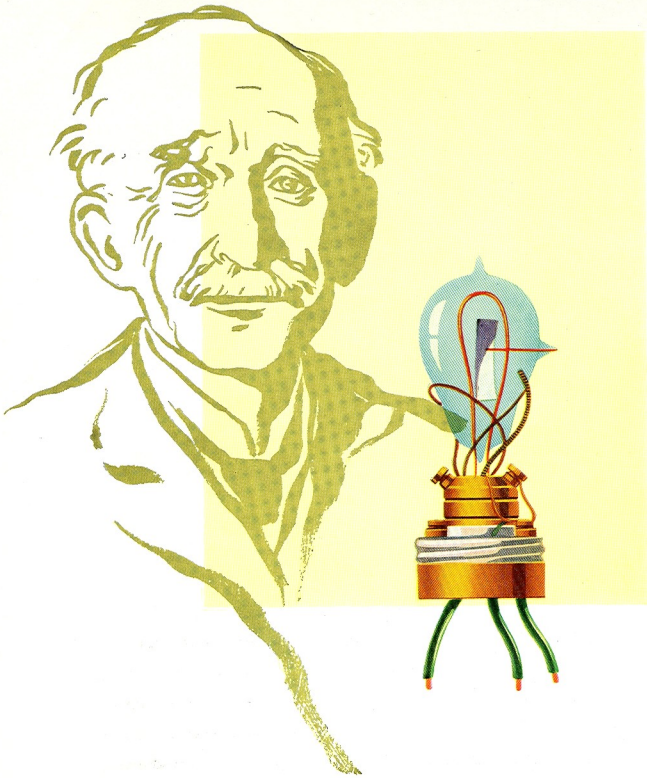


TABLE DES MATIÈRES

	Préface	4
I	Principes fondamentaux	6
II	Libération des électrons	11
III	Méthodes pour la classification des tubes électroniques	15
IV	Tubes thermioniques à vide poussé (1)	19
V	Tubes thermioniques à vide poussé (2) Tubes à rayons X.	45
VI	Tubes thermioniques à vide poussé (3) Tubes à rayons cathodiques.	48
VII	Dispositifs photoélectriques à vide poussé	56
VIII	Tubes thermioniques à remplissage gazeux	63
IX	Tubes à cathode froide	70
X	Cellules photoélectriques à remplissage gazeux	77
XI	Tubes à cathode liquide	78
XII	Applications des tubes électroniques	81
XIII	Lexique des « odes » et des « trons »	93



Préface

Il y a plus d'un demi-siècle, en 1904 pour être exact, le Professeur J.-A. Fleming inventa et construisit le premier tube thermionique. Il fut immédiatement utilisé comme détecteur dans un équipement de réception de télégraphie sans fil.

Très rapidement, de nouvelles structures de tubes thermioniques ont alors été imaginées, capables d'assurer d'autres fonctions telles que la production d'oscillations électriques et l'amplification de signaux électriques.

A côté de ces progrès, d'autres dispositifs ont vu le jour, appliquant les mêmes principes fondamentaux, et, notamment, la circulation d'un essaim d'électrons libres à travers un espace vide ou rempli de gaz.

Ces nouveaux tubes devaient élargir encore le champ des applications de l'électronique.

Ces développements ont été continus et si rapides qu'il est impossible de trouver aujourd'hui une branche de l'activité humaine dans laquelle des tubes électroniques, d'une sorte ou d'une autre, ne jouent pas un rôle important.

Dans le domaine des télécommunications, le tube thermionique joue même un rôle essentiel pour la radiotélégraphie, la radiotéléphonie et la téléphonie sur les lignes à grande distance. Dans le domaine de l'enseignement et celui de l'utilisation des loisirs, les tubes électroniques sont employés pour les radiodiffusions nationale et mondiale, pour la télévision et pour le cinéma parlant.

Les transports, par avions et navires, utilisent des radars et d'autres systèmes électroniques constituant une aide à la navigation très précieuse. En médecine et en chirurgie, le tube à rayons X donne des indications précises pour le diagnostic et sert aussi à la thérapeutique. Les applications industrielles comprennent, non seulement les mesures, mais aussi le contrôle et même l'automatisme industriel.

Quant à la recherche scientifique, elle n'aurait pu obtenir tant de succès incontestés à une allure si conquérante sans les merveilleux outils d'examen et de travail que lui fournissent les tubes électroniques.

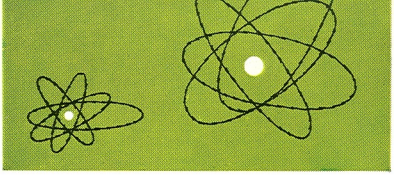
Le domaine est si vaste et la variété des créations électroniques si grande, qu'il est difficile, même pour l'ingénieur électronicien professionnel de rester informé de tous les développements et de connaître tous les membres de la nombreuse famille « odes » qui commence à la diode et atteint couramment l'octode et ceux de la famille « trons », encore plus prospère, qui comprend les klystrons, les magnétrons, les ignitrons et nous pourrions ajouter une longue liste. Pour tous ceux qui travaillent dans d'autres branches de la Science et de l'Industrie, pour tous les étudiants et beaucoup plus encore pour tous ceux qui n'étudient plus, il est difficile de trouver son chemin dans un tel dédale.

C'est justement, pour rendre cette initiation plus agréable que nous avons préparé cet album et le tableau général qu'il contient.

La première partie, qui intéressera particulièrement l'étudiant et le lecteur non spécialisé, constitue un exposé simple et assez court des principaux phénomènes sur lesquels est fondé le fonctionnement des tubes électroniques. Ensuite, l'ouvrage devrait être lu en consultant le tableau général qui donne un système de classification logique des divers tubes électroniques ; il semble qu'ainsi leurs relations mutuelles seront plus faciles à comprendre.

Pour ne pas allonger le texte, les différents tubes ont été représentés par leurs structures simplifiées, accompagnées de courtes descriptions des types les plus importants. Cette information est, toutefois, complétée par de nombreuses illustrations des tubes vraiment significatifs, en coupe agrandie, et par une liste alphabétique présentant des descriptions sommaires des principaux membres des familles des « trons » et des « odes ».

Une liste assez complète des applications des tubes électroniques est donnée dans l'un des derniers chapitres.



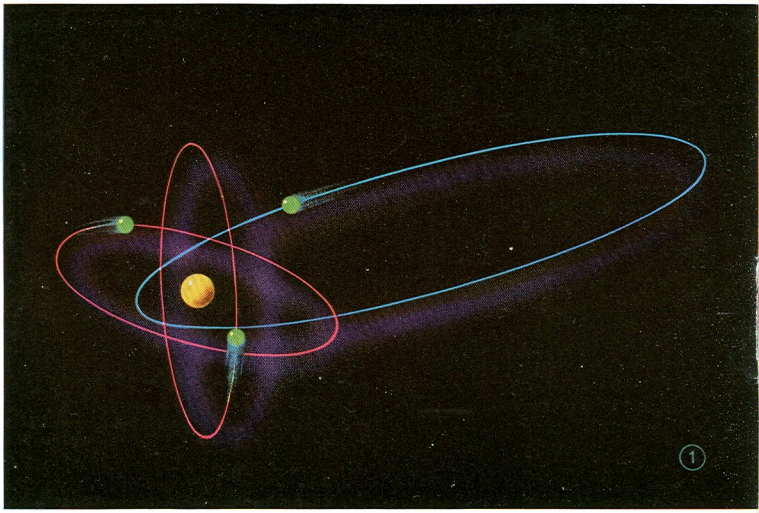
Chapitre 1

Principes fondamentaux

Dans ce chapitre, écrit plus spécialement à l'intention des étudiants et des lecteurs non spécialisés, nous donnons quelques explications simples et concises des principaux phénomènes sur lesquels est fondé le mode de fonctionnement des tubes électroniques. Nous devons préciser, dès le début, que tout tube électronique de quelque catégorie qu'il soit, comprend essentiellement une ampoule scellée, ordinairement en verre, que l'on a vidée d'air ou remplie d'un gaz, et dans laquelle sont montés deux ou plusieurs conducteurs électriques appelés « électrodes », qui sont reliés aux circuits extérieurs de sortie. Durant le fonctionnement, un flot d'électrons (particules chargées négativement) circule dans l'espace interne du tube entre un conducteur nommé « cathode » et un second conducteur nommé « anode ». Il faut aussi prévoir des moyens permettant de commander le flot des électrons.
Or, un flot d'électrons constitue un courant électrique et c'est grâce à ce courant circulant dans le tube ou aux variations de ce courant, que le tube joue son rôle utile.
Afin de comprendre le fonctionnement des tubes électroniques, il est donc nécessaire de connaître un peu la nature du courant électrique et des électrons en mouvement qui constituent ce courant.

1.1 La structure de l'atome

Toute la matière est formée de particules minuscules appelées « atomes ». Il en existe plus de quatre-vingt-dix sortes qui correspondent aux divers éléments chimiques. Les atomes peuvent exister indépendamment, ou sous forme de petites collections d'atomes appelées « molécules ». La molécule d'un élément contient une seule sorte d'atome ; les molécules des composés chimiques contiennent des atomes de deux ou plusieurs éléments.

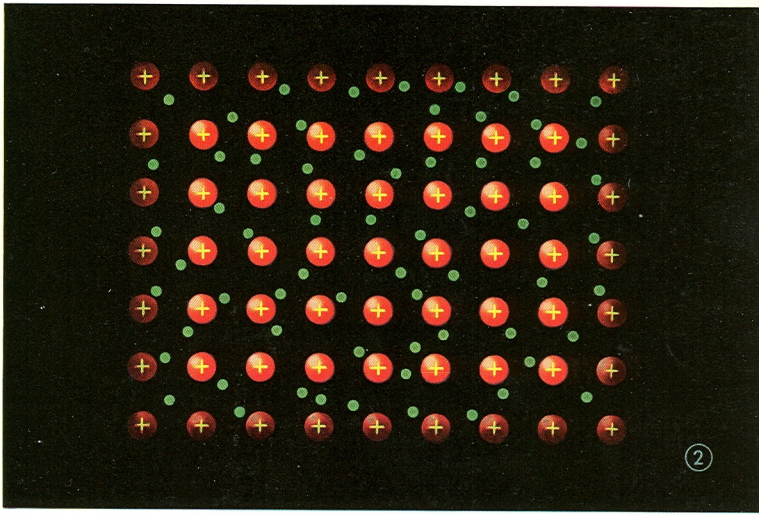


Représentation schématique d'un atome du métal lithium dans lequel trois électrons tournent autour du noyau.

Tous les atomes comprennent un noyau central, portant une charge électrique positive, entouré d'un certain nombre de particules chargées négativement, les « électrons ». On pense que ces électrons se déplacent sur des orbites autour du noyau.
Les noyaux des différentes sortes d'atomes diffèrent par leur poids et par la valeur de leur charge positive. La charge électrique des électrons est toujours la même et le nombre des électrons associés à un atome normal est tel que les charges négatives combinées neutralisent la charge positive du noyau ; ainsi l'atome complet ne présente pas de charge électrique nette.
Dans certaines conditions, l'atome peut perdre un ou plusieurs de ses électrons. L'atome possède alors une charge positive nette et il devient un « ion positif », tandis que l'électron libre présente une charge négative. Comme nous l'avons déjà dit, le mouvement des électrons « libres » est ce que l'on appelle, plus familièrement, un courant électrique.
Un ion positif, c'est-à-dire un atome qui a perdu un ou plusieurs de ses électrons libres, cherche à compenser son déficit et exerce donc une force d'attraction sur tout électron libre du voisinage.
D'autre part, deux électrons libres exercent entre eux des forces de répulsion mutuelle. Tout cela se résume dans la simple phrase : des charges semblables se repoussent et des charges différentes s'attirent.

1.2 Courant électrique dans un conducteur solide

Dans les métaux et d'autres solides considérés comme des conducteurs électriques, un certain nombre d'électrons sont séparés de leurs atomes à la température ambiante normale et deviennent libres de se déplacer dans l'espace compris entre les atomes. Normalement, le mouvement de ces électrons « libres » se produit au hasard et aucun



Dans un conducteur solide, un certain nombre d'électrons sont séparés de leurs atomes. Les mouvements de ces électrons libres, sous l'influence d'un champ électrique, constituent un courant électrique.

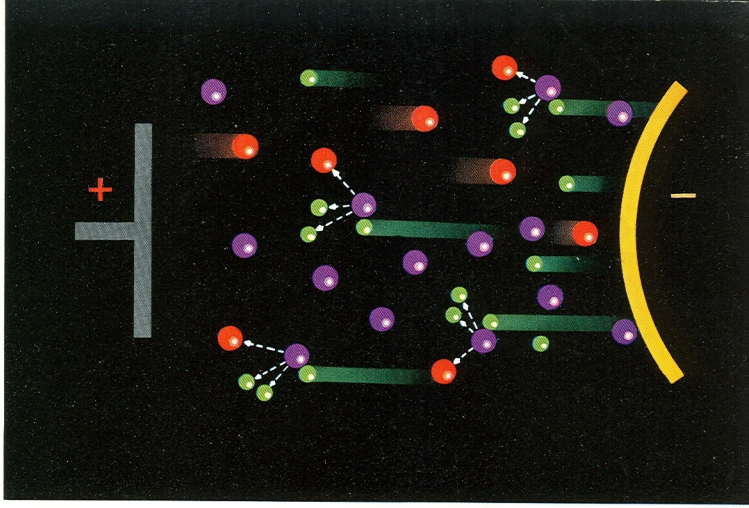
des effets familiers d'un courant électrique n'est produit. Mais, lorsqu'un champ électrique est appliqué, par exemple en reliant les deux pôles d'une batterie de piles aux deux extrémités du conducteur, les électrons « libres » subissent une force qui les oblige à se déplacer dans la direction du pôle positif. Les manifestations physiques d'un courant électrique : chauffage, magnétisme et effets chimiques, sont bien connues et il n'est donc pas nécessaire de les décrire.

1.3 Isolants

Dans les conditions normales de l'ambiance, un conducteur électrique présente une particularité distincte : il comporte un certain nombre d'atomes qui sont ionisés, c'est-à-dire qui ont cédé un ou plusieurs de leurs électrons. Ceux-ci deviennent libres de vagabonder dans l'espace interatomique mais, sous l'influence d'un champ électrique, ils peuvent se déplacer en rangs bien ordonnés : c'est ce que nous appelons un courant électrique.
Il existe d'autres substances où, dans les conditions normales, il n'y a pratiquement pas d'électron libre ; un flot d'électrons ne peut donc y circuler. Ces matières à travers lesquelles il est impossible de produire un courant électrique appréciable sont appelées matières isolantes ou isolants. Citons par exemple le verre, la porcelaine, les nombreuses matières plastiques, le caoutchouc, la soie.

1.4 Courant électrique dans un gaz

Les propriétés électriques d'un gaz sont très différentes de celles des substances solides et il est possible de les décrire et de les expliquer en considérant le fonctionnement d'un tube contenant, par exemple, de l'air. Imaginons que deux connexions électriques ou électrodes aient été scellées dans le verre, une à chaque extrémité du tube, afin de pouvoir établir un champ électrique. Un dispositif permettant de réduire la pression dans le tube par pompage d'une partie du gaz, a également été prévu.
Si le gaz de remplissage du tube se trouve à la pression atmosphérique normale, on constate que le gaz est alors un très bon isolant car il ne circule pas un courant appréciable dans le tube, sauf lorsque la pression électrique, appliquée entre les deux électrodes, atteint plusieurs milliers de volts.
Si nous appliquons une très forte tension, le tube devient conducteur et le passage du courant est accompagné d'une émission de lumière. La tension à laquelle se produit cette décharge est la tension d'« amorçage ». Elle est déterminée par la pression du gaz, les dimensions et la forme des électrodes, par leur distance et par un certain nombre d'autres facteurs d'influence.
Si l'on réduit alors la pression du gaz, progressivement, par pompage, on observe que le tube devient conducteur à des pressions relativement plus faibles, c'est-à-dire que la tension d'amorçage a diminué. De plus, la décharge s'accompagne d'effets lumineux variés dont la nature dépend de la pression du gaz, de la tension électrique et encore d'autres facteurs.
La plus faible tension d'amorçage des tubes contenant un gaz est due, évidemment, au nombre croissant des atomes de gaz qui s'ionisent, fournissant ainsi un plus grand nombre d'électrons libres. Il est donc nécessaire d'examiner de quelle manière s'ionisent les atomes des gaz.
Cela peut se produire de bien des façons, les deux plus importantes étant l'irradiation par des ondes électromagnétiques et la collision par des électrons à déplacement rapide.
Les quelques électrons libres présents dans un gaz à la pression atmosphérique proviennent, soit des radiations ultraviolettes contenues dans la lumière solaire, soit du bombardement continuel par les rayons cosmiques. Le plus grand degré d'ionisation qui rend le tube conducteur, lorsque l'on réduit la pression du gaz, est dû aux collisions entre les atomes du gaz et les électrons libres. Lorsque nous établissons un champ électrique entre les deux électrodes d'un tube à remplissage gazeux, tous les électrons libres présents dans le tube sont accélérés vers l'anode, c'est-à-dire vers l'électrode positive. Leur vitesse, et par conséquent leur énergie cinétique, est, en effet, proportionnelle à la différence de potentiel (tension) qu'ils ont traversée.



Les électrons peuvent être extraits des atomes du gaz par l'impact d'électrons libres à déplacement rapide. Les électrons « primaires » ainsi que les électrons « secondaires » sont alors rendus disponibles et ils maintiennent la décharge électrique du gaz soumis à l'influence d'un champ électrique.

Dans leur trajet vers l'anode, ces électrons peuvent entrer en collision avec les atomes neutres du gaz. Lorsqu'un tel choc se produit, l'électron communique une partie de son énergie cinétique à l'atome mais ce qui peut se produire alors dépend, essentiellement, de la vitesse de l'électron tamponneur.

Un électron à faible vitesse est seulement dévié par l'atome et l'état électrique de l'atome n'est pas modifié. Mais, si l'électron se déplace plus vite, sa collision avec un atome peut devenir suffisante pour troubler l'arrangement des électrons qui gravitent autour du noyau atomique et l'un des électrons quitte alors son orbite initiale pour tourner sur l'une des orbites plus externes. Cet électron, toutefois, ne reste pas sur l'orbite la plus externe ; il revient rapidement à celle qu'il occupait précédemment et il émet, simultanément, sous la forme d'une radiation électromagnétique, par exemple de la lumière, l'énergie supplémentaire qui lui a été communiquée par l'électron dont il a subi la collision. Ce phénomène est appelé « excitation ».

Il existe une troisième forme de collision, celle d'un atome de gaz avec un électron à déplacement très rapide. Dans ce cas, le choc est suffisant pour déloger un électron de l'atome, ce qui fournit un électron libre supplémentaire. Il y a donc deux électrons libres au lieu d'un et l'atome de gaz restant devient un ion positif.

Les deux électrons sont alors accélérés vers l'anode tandis que l'ion positif est accéléré vers la cathode, l'électrode négative. Les deux électrons peuvent ioniser d'autres atomes du gaz, produisant ainsi de nombreux électrons libres et ions positifs. Le phénomène est cumulatif et produit un accroissement considérable du nombre des électrons libres, c'est-à-dire une augmentation très notable de la conductivité du tube. Nous pouvons expliquer maintenant la plus grande facilité d'ionisation du gaz aux faibles pressions. A la pression atmosphérique, les atomes du gaz sont très voisins les uns des autres et les distances moyennes qu'un électron doit parcourir entre deux collisions successives (le libre parcours moyen) est très réduit. Fréquemment, le gradient du potentiel est si faible, qu'un électron libre n'atteint pas une énergie cinétique suffisante entre les collisions pour être capable d'ioniser les atomes avec lesquels il entre en collision, sauf si la tension appliquée est très forte.

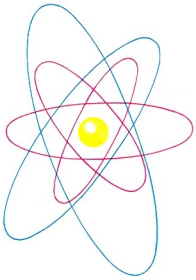
Lorsque nous réduisons la pression du gaz, la longueur du libre parcours moyen augmente et l'électron a de plus fortes chances de posséder une énergie cinétique suffisante. Cette énergie lui permet alors d'ioniser les atomes avec lesquels il entre en collision.

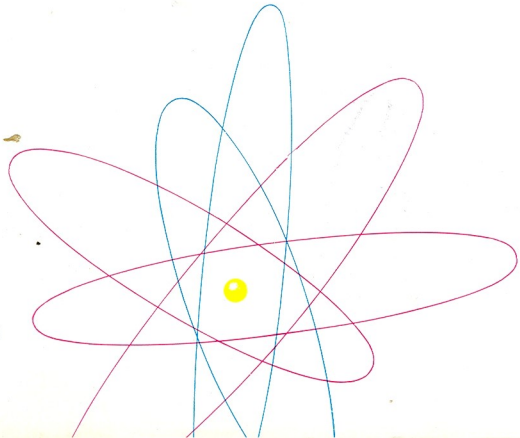
Lorsque la pression du gaz est diminuée, la longueur du libre parcours moyen augmente et la chance de collision, dont nous venons de parler, s'accroît beaucoup.

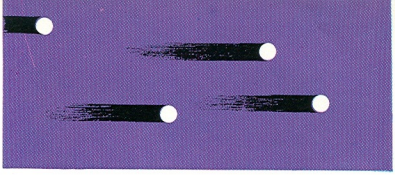
Cette explication, fort simplifiée, de la conductivité du gaz peut suffire pour notre exposé actuel. En réalité, les phénomènes en cause sont beaucoup plus compliqués. En dehors de l'ionisation continuelle qui libère des électrons libres il se produit aussi, par exemple, un phénomène continuel de recombinaison entre les ions positifs et les électrons. Il y a aussi un certain nombre d'effets secondaires dont il conviendrait de tenir compte dans une étude complète de ce sujet. Quelques-uns de ces facteurs importants seront décrits dans les chapitres suivants où nous examinerons les différentes sortes de tubes électroniques.

1.5 Courant électrique dans le vide

La diminution de la tension d'amorçage lorsque la pression du gaz est réduite, comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, est observée sur une gamme très étendue de pressions du gaz. Mais il existe une pression critique, de l'ordre de quelques millimètres de mercure, au-dessous de laquelle toute réduction ultérieure de pression fait monter la tension d'amorçage, au lieu de la faire décroître.
A cette faible pression, il y a si peu d'atomes gazeux que le libre parcours moyen est bien plus long et il y a donc peu de probabilités de collisions entre les électrons et les atomes du gaz. A une pression interne de 133×10^{-6} pascal ($= 10^{-6}$ Torr) (1 Torr = 1 mm de mercure), ce libre parcours moyen est de l'ordre de 100 m.
Un vide parfait constituerait, évidemment, un parfait isolant et les vides que l'on obtient dans les tubes électroniques dits à vide poussé, peuvent aussi être considérés comme de parfaits isolants, tout au moins pour les utilisations décrites dans le présent ouvrage.
Il y a, d'ores et déjà, des centaines de millions de tubes électroniques à vide poussé en service journalier dans le monde et, dans chacun d'eux circule un courant électronique. Or, dans le vide il n'y a pas d'atomes gazeux d'où l'on puisse extraire des électrons libres par ionisation et, par conséquent, dans un tube à vide poussé il faut obtenir ailleurs les électrons responsables de la conductivité. Dans un tube à vide, les électrons sont fournis par les électrodes mêmes.
Il existe un certain nombre de formes différentes d'émissions électroniques. Quelques-unes peuvent être appliquées aux tubes à vide et aux tubes à gaz, d'autres conviennent seulement pour les tubes à remplissage gazeux.
L'émission électronique est un sujet suffisamment important et nous lui consacrerons donc tout un chapitre.







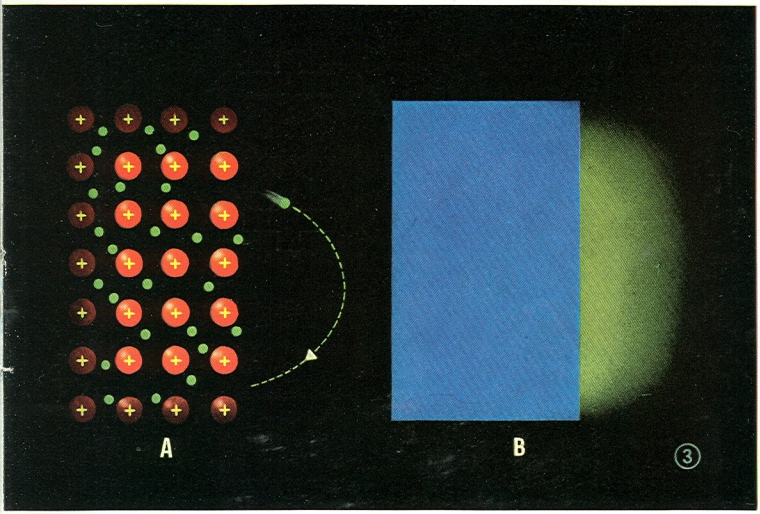
Chapitre II

Libération des électrons

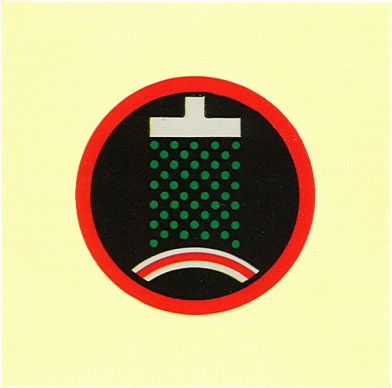
Le fonctionnement d'un tube électronique quelconque dépend de la présence d'électrons libres dans le tube. Ces électrons, accélérés vers une électrode maintenue à une tension positive, forment un courant — le courant anodique — à travers le tube. Ce sont les effets produits par ce courant dans le circuit extérieur ou dans le tube même qui constituent le fonctionnement utile du tube.
Le chapitre précédent nous a montré que l'un des procédés de libération des électrons disponibles dans un tube à remplissage gazeux consiste à ioniser le gaz pour former un « plasma ». Nous avons aussi fait remarquer, que dans un tube à vide poussé il n'y a pas une quantité appréciable de gaz pouvant être ionisé, si bien qu'il faut obligatoirement recourir à d'autres méthodes pour obtenir les électrons libres nécessaires à la conduction. Ces méthodes impliquent l'émission d'électrons par des corps conducteurs solides (électrodes) insérés dans le tube.
Arrivés en ce point, nous devons souligner que la principale source fournissant ces électrons est la cathode et c'est même, très souvent, la seule source dans le tube. Mais, nous montrerons aussi plus loin qu'il est parfois avantageux d'obtenir l'émission à partir d'autres électrodes que la cathode et que cette émission est alors volontairement facilitée. Dans d'autres cas, elle se révèle indésirable et des précautions sont prises dans l'étude et dans la fabrication du tube, ainsi que dans le choix des conditions de fonctionnement, pour éviter cette émission indésirable.
Pour le moment, nous examinons seulement l'émission de la cathode.

2.1 Émission thermionique

Si la matière de la cathode est bien choisie et chauffée à une température adéquate, soit par la circulation d'un courant électrique dans le fil, soit par l'utilisation d'un élément chauffant indépendant, le nombre des électrons libérés de



Dans un tube thermionique, la source primaire des électrons libres est la cathode. Ces électrons tendent à revenir vers la cathode (A), leur place étant prise par des électrons nouvellement émis. A un instant quelconque, il se forme donc un nuage d'électrons appelé « la charge d'espace » dans la région de la cathode (B).

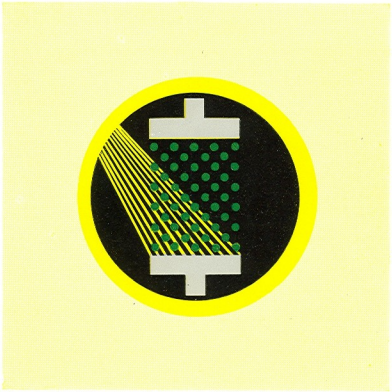


leurs liaisons atomiques s'accroît alors très fortement. Quelques-uns de ces électrons se déplaçant dans l'espace compris entre les atomes de la matière de la cathode acquièrent une énergie cinétique suffisante, qui leur permet de quitter la surface de la cathode et de pénétrer dans l'espace qui l'entoure. Nous appelons cette migration « l'émission thermionique ».

La cathode ayant perdu quelques-uns de ses électrons, présente une petite charge nette positive qui tend à attirer de nouveau les électrons vers la cathode. Simultanément, d'autres électrons s'échappent de la surface de la cathode. Un nuage d'électrons, « la charge d'espace », se forme donc dans la région de la cathode. Les électrons peuvent être extraits de cette charge d'espace par le champ électrique dû à l'anode ou à toute autre électrode pouvant être portée à un potentiel positif par rapport à la cathode.

L'émission thermionique est le procédé employé dans la grande majorité des tubes à vide poussé, c'est-à-dire dans les tubes courants d'équipement pour la radiodiffusion et la télévision. Ce procédé est également appliqué pour former la source primaire d'électrons libres dans de nombreuses sortes de tubes à remplissage gazeux, le courant électronique s'y trouvant amplifié ensuite par les électrons supplémentaires qui résultent de l'ionisation du gaz. Ce phénomène est connu sous le nom d'« amplification par le gaz ».

2.2 Emission photoélectrique



L'émission des électrons libres par une cathode est obtenue par l'accroissement d'énergie des électrons individuels. Dans la cathode thermionique, cette énergie supplémentaire est fournie sous la forme d'une chaleur.

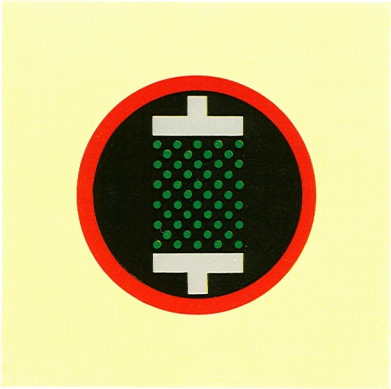
L'émission photoélectrique, comme son nom l'indique, est un procédé d'émission des électrons à partir d'une cathode qui est irradiée par une lumière. L'énergie quantique étant inversement proportionnelle à la longueur d'onde de la radiation incidente, la vitesse des électrons émis est augmentée lorsque la longueur d'onde diminue.

Il existe un certain nombre de matériaux photo-émissifs ; certains d'entre eux donnent un maximum d'émission lorsqu'ils sont exposés, soit à la lumière du jour, soit à une lumière ayant une prédominance de radiations bleues. D'autres ont une émissivité maximale sous l'action de la lumière de l'incandescence ou des radiations de sources fournissant les radiations du proche infrarouge. En général, le taux de l'émission électronique est proportionnel à la quantité de lumière qui tombe sur la cathode. Dans un tube ou « cellule » photoélectrique, les électrons émis par une photocathode sont attirés par l'anode maintenue à un potentiel positif par rapport à la cathode et, pour une tension donnée de l'anode, le courant anodique est proportionnel à la quantité de lumière qui tombe sur la cathode. Les cellules photoélectriques peuvent être du type à vide poussé ou à remplissage gazeux. Dans ce dernier cas, l'amplification par le gaz est obtenue de la même manière que dans un tube thermionique à remplissage gazeux.

2.3 Émission par bombardement ionique

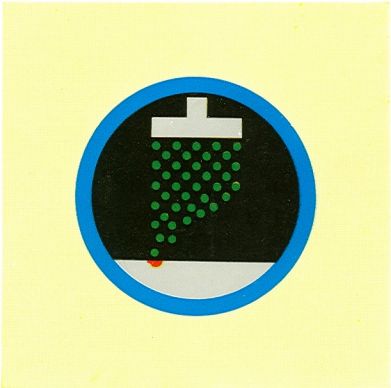
Il n'est pas indispensable que l'énergie supplémentaire exigée pour émettre les électrons par la cathode soit appliquée sous forme de chaleur ou de lumière. Des électrons sont aussi émis si la cathode est bombardée par des ions positifs. Cela peut se produire dans un tube à gaz de la manière suivante : nous avons déjà vu que dans un tube à remplissage gazeux un petit nombre d'atomes de gaz est normalement dans la condition d'ionisation ; lorsqu'un champ électrique est appliqué entre l'anode et la cathode, ces quelques électrons libres sont accélérés vers l'anode et, sur leur chemin, ils ionisent, par collisions, d'autres atomes du gaz.

Les ions positifs provenant de l'ionisation des atomes du gaz sont, évidemment, accélérés dans la direction de la cathode. Or, les ions positifs ayant une masse beaucoup plus forte que les électrons, leur impact sur la surface de la cathode suffit à extraire d'autres électrons de cette cathode. Ces électrons nouvellement émis sont, à leur tour, attirés vers l'anode et, sur ce parcours, ils peuvent ioniser d'autres atomes du gaz, fournissant ainsi non seulement de plus nombreux électrons mais encore un nombre correspondant d'ions positifs qui vont se déplacer vers la cathode où ils extraient encore d'autres électrons. Ainsi ce mécanisme d'échanges se poursuit constamment tant que l'on maintient le champ électrique dans le tube. Le bombardement ionique de la cathode doit donc être considéré comme la source principale des électrons libres dans les tubes à remplissage gazeux à cathode froide, le rôle principal de l'ionisation du gaz étant de maintenir la fourniture des ions positifs avec lesquels la cathode est bombardée.



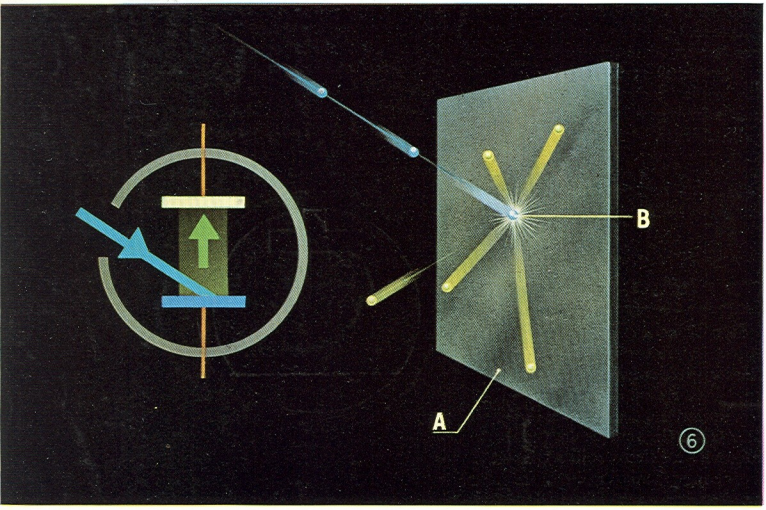
2.4 Émission de champ

Si le champ électrique appliqué entre l'anode et la cathode est très fort, des électrons peuvent être extraits d'une cathode froide sans la bombarder par des ions positifs. Cette émission, appelée « émission de champ » n'est pas utilisée pour constituer la source principale des électrons libres, mais bien pour démarrer le flot électronique dans certains types de tube à gaz. La fourniture d'électrons libres se trouve assurée, ensuite, soit par bombardement ionique, soit par émission thermionique.



2.5 Émission secondaire

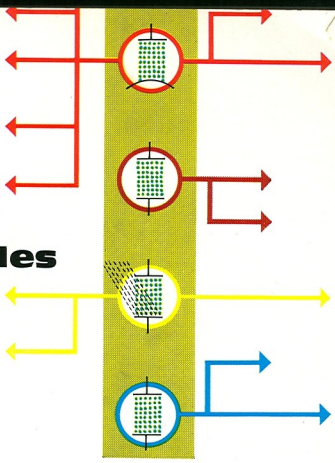
De la même manière que des électrons sont extraits d'une cathode bombardée par des ions positifs, des électrons peuvent être extraits d'une électrode positive par le choc d'électrons à déplacement rapide. C'est le procédé de l'« émission secondaire ». A strictement parler, l'émission par bombardement d'ions positifs et l'émission par bombardement électronique sont, en fait, deux formes d'émission secondaire, mais il est plus pratique de réserver le terme « émission secondaire » pour l'émission d'électrodes positives soumises, à l'action du bombardement électronique. De tels électrons secondaires étant émis par une électrode positive, ils ne peuvent faire partie du courant électronique initial du tube. Mais, on peut opérer de sorte que le courant électronique primaire formé, par exemple, d'électrons émis par une cathode thermionique, vienne frapper une électrode supplémentaire. Des électrons secondaires sont émis et ils accroissent le courant électronique total. Ainsi, le courant anodique se trouve amplifié, selon un mécanisme analogue à celui de l'amplification par le gaz.



Lorsque la surface d'un métal (A) bien choisi est frappée par des électrons ou des ions se déplaçant très rapidement (au point d'impact B), des électrons secondaires sont extraits. Ils accroissent le courant électronique total.

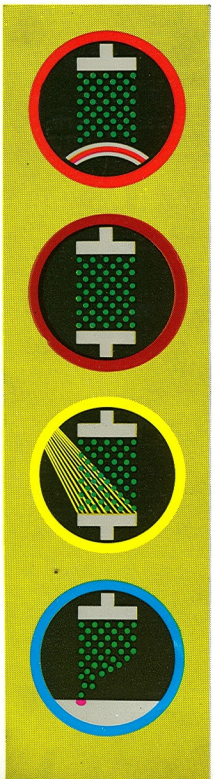
Chapitre III

Méthodes de classification des tubes électroniques



Le tableau qui accompagne cet ouvrage donne un schéma de classification pour les principales formes de tubes électroniques. Il présente d'une manière simple, et suivant un plan logique, les relations techniques qui existent entre les différents tubes. Il contient une première classification d'après le type de cathode utilisé, c'est-à-dire d'après le procédé fondamental de production des électrons libres toujours nécessaires. Puis, une autre classification intervient, selon le procédé appliqué pour commander le courant électronique dans le tube. Enfin, dans chaque sous-division, ainsi tracée, on donne des exemples portant sur un certain nombre de tubes représentatifs et correspondant aux principales applications.

3.1 Première classification



La première classification des tubes électroniques figure dans le panneau central du tableau et montre, sur un fond vert, les tubes électroniques répartis selon le type de cathode émissive employé. Quatre types de cathodes émissives sont présentés, dans l'ordre suivant :

3.1.1 La cathode thermionique

Dans ce dessin, le trait courbe représentant la cathode est doublé par une bande rouge indiquant que la cathode est chauffée. Dans ce dessin, ainsi que dans tous ceux du tableau, les électrons libres sont représentés par des points verts.

3.1.2 La cathode froide

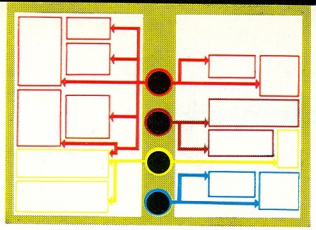
Ce dessin représente, d'une manière générale, le type de cathode d'où les électrons sont extraits par bombardement ionique.

3.1.3 La photocathode

Ce dessin montre les cathodes d'où les électrons sont extraits par irradiation de lumière.

3.1.4 Cathodes liquides

Ce schéma s'applique aux tubes dont la cathode est formée par un liquide conducteur, habituellement du mercure. L'émission électronique d'une telle cathode résulte, principalement, de la combinaison entre une émission due au bombardement par des ions positifs produits par l'ionisation de la vapeur de mercure et d'une émission thermionique à partir des points chauds produits sur la surface du bain de mercure par ce bombardement. Dans certains tubes à cathode liquide, la décharge est démarrée par l'émission de champ, un champ de forte intensité étant appliqué pour cela entre la cathode et une électrode supplémentaire.



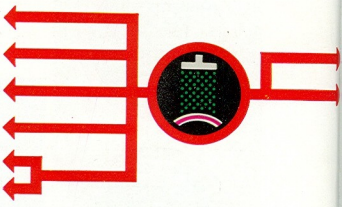
3.2 Seconde classification : tubes à vide poussé et tubes à remplissage gazeux

Une sous-classification, dans le cas des tubes utilisant des cathodes thermioniques et des photocathodes, distingue ceux dont les ampoules sont vidées d'air et ceux dont l'ampoule contient un gaz. Tous les tubes utilisant des cathodes froides ou des cathodes liquides sont aussi à remplissage gazeux. Les tubes à vide poussé sont à gauche du tableau ; à droite, nous trouvons les tubes à remplissage gazeux.

3.3 Troisième classification : méthode de commande

La troisième classification des tubes électroniques fait intervenir le procédé selon lequel le courant électronique est commandé dans le tube et, dans certains cas, le mode d'utilisation du courant électronique. Ces divisions sont indiquées par des lignes horizontales partant des symboles qui représentent les différentes sortes de cathodes. Ces lignes sont tracées au même code de couleurs que les symboles des cathodes : rouge pour les tubes thermioniques, rose pour les tubes à cathode froide, jaune pour les dispositifs photoélectriques et bleu pour les tubes à cathode liquide. En général, on peut considérer que la valeur du courant électronique dans un tube dépend des principaux facteurs suivants :

1) le taux d'émission des électrons par la cathode ; cela détermine la valeur maximale ou « de saturation » du courant électronique.
2) la tension appliquée à l'électrode accélératrice (par exemple, à l'anode).
3) les forces d'accélération ou de décélération dues aux potentiels électriques appliqués aux électrodes supplémentaires.



3.3.1 Commande des tubes thermioniques

Dans toutes les applications normales, la cathode d'un tube thermionique est maintenue à une température constante afin que le taux de l'émission électronique soit également constant. De plus, dans la plupart des utilisations, le potentiel nominal de l'anode par rapport à la cathode est pratiquement invariable. Ces tubes thermioniques comprennent seulement une anode et une cathode et ils sont indiqués par conséquent dans le tableau comme n'ayant « pas de commande ». Il faut noter simultanément que, dans de nombreux cas de la pratique, ces tubes simples à deux électrodes ou « diodes » reçoivent une tension d'anode variable, souvent même alternative, si bien que les valeurs instantanées du courant anodique sont, en réalité, « commandées » par les valeurs instantanées du potentiel de l'anode.

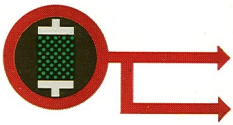
Dans la commande d'intensité ou de *densité* appliquée aux tubes thermioniques à vide poussé, nous appliquons une tension de commande ou un « signal » entre la cathode et l'anode. Cette tension de signal a pour effet d'augmenter ou de diminuer le taux de départ des électrons dans la région de la cathode et le taux de leur déplacement vers l'anode.

Dans la *modulation de vitesse* ou commande de vitesse, on fait varier la vitesse de déplacement, quelques électrons étant continuellement accélérés et d'autres continuellement décélérés. Cela produit une sorte de regroupement du faisceau électronique en paquets d'électrons plus ou moins continus. Ainsi, le courant anodique est formé d'une série d'impulsions dont l'amplitude, la durée et la fréquence peuvent être commandées par les conditions du circuit.

Dans les tubes thermioniques à remplissage gazeux, nous trouvons deux sous-groupes. Pour les tubes où l'on indique « pas de commande » la valeur du courant anodique est également déterminée par la tension de l'anode et par les conditions générales du circuit.

La commande par la grille des tubes thermioniques à remplissage gazeux est organisée par une ou plusieurs électrodes auxquelles on applique des potentiels convenables. Mais ces électrodes ne commandent pas l'intensité du courant anodique. Elles déterminent seulement l'*instant* où commence la circulation électronique.

3.3.3. Commande des tubes à cathode froide



La commande du courant électronique dans les tubes à cathode froide s'exerce comme dans les tubes thermioniques à remplissage gazeux. Mais, il y a deux grandes catégories de tubes à cathode froide. Dans les tubes où aucune commande n'est appliquée, le courant électronique obéit seulement à la tension de l'anode et aux conditions générales du circuit.
Dans l'autre catégorie, il existe une électrode supplémentaire appelée « starter » ou « grille » et la tension qui lui est appliquée détermine l'instant où le tube devient conducteur.

3.3.3 Commande des tubes photo-émissifs

Le courant anodique d'un tube photo-émissif à remplissage gazeux ou à vide est commandé par la quantité et par la qualité de la lumière qui tombe sur la cathode. Le taux d'émission est, sensiblement, proportionnel à la quantité de lumière. Par ailleurs, les différents matériaux photo-émissifs donnent des réponses diverses aux radiations des différentes longueurs d'onde.

3.3.4 Commande des tubes à cathode liquide

Dans les tubes à cathode liquide, la commande s'exerce seulement à l'instant où le courant électronique commence à circuler. Il existe deux catégories générales. Dans la première, la circulation des électrons est démarrée par un dispositif d'amorçage qui vaporise une partie de la cathode liquide. Dans la seconde, il existe aussi un organe d'amorçage, mais il établit seulement un courant électronique entre la cathode et une *anode auxiliaire*. Le courant électronique vers l'anode principale circule seulement lorsqu'une tension convenable est appliquée à une électrode de commande ou à une grille.

3.4 Les rôles du courant électronique

Les applications utiles des tubes électroniques sont fondées sur la circulation d'un courant électrique entre la cathode et l'anode à l'extérieur du tube ou, encore, sur le mouvement des électrons dans l'ampoule du tube. Ces phénomènes intéressants seront traités dans les chapitres consacrés à la description des différentes sortes de tubes électroniques, mais il semble utile de présenter dès maintenant quelques exemples.
L'utilisation d'un tube thermionique comme amplificateur d'audio-fréquences dans les équipements de radio et de télévision caractérise assez bien le groupe des applications où l'on utilise la circulation d'un courant dans le circuit anodique extérieur. La tension d'entrée, appelée parfois le signal, est, dans ce cas, une tension électrique dont l'ampli-

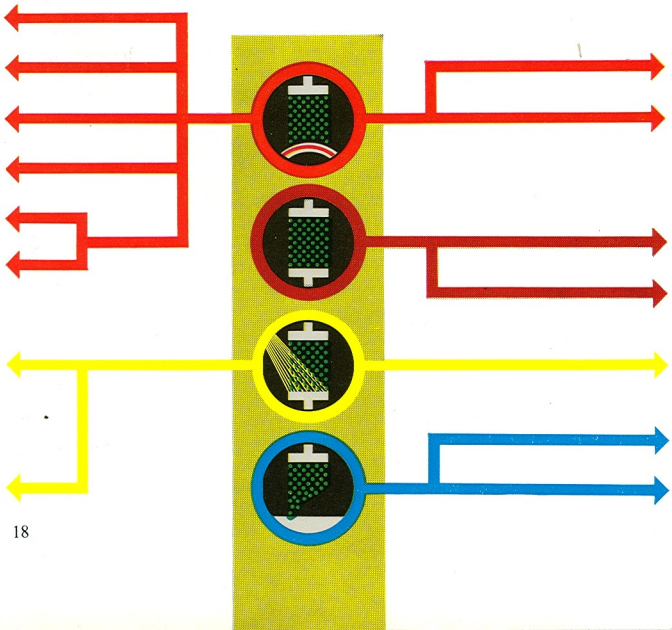
tude et la fréquence varient en concordance exacte avec les ondes de pression dans l'air comprises dans le son à transmettre. Ce signal, appliqué entre la grille et la cathode du tube, provoque des variations correspondantes du courant anodique. Ce courant circulant dans les bobinages d'un téléphone haut-parleur fait vibrer le cône ou le diaphragme et le son initial se trouve ainsi reproduit.

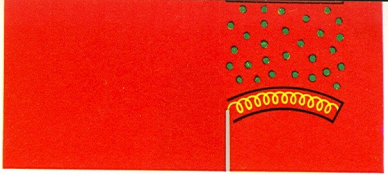
Les effets qui interviennent dans l'ampoule même peuvent être observés sur diverses formes de tubes à rayons cathodiques. Dans ces dispositifs, des électrons en faisceau, accélérés par la tension positive de l'anode sont dirigés vers une portion de l'ampoule recouverte d'une matière qui émet de la lumière lorsqu'elle est bombardée par des électrons à déplacement rapide. Cette lumière peut être utilisée pour reproduire des images, et c'est le cas de la télévision. Mais elle peut aussi permettre d'observer les variations des grandeurs électriques : c'est le cas des oscilloscopes.

Un autre type de tube dont l'utilisation dépend de ce qui se produit à l'intérieur de l'ampoule est le tube à rayons X. Les électrons à déplacement rapide y frappent une cible qui peut être, et même souvent est, l'anode du tube. Le choc n'engendre pas l'émission d'électrons secondaires, mais bien la radiation d'une énergie à des fréquences très élevées ; ce sont les rayons X, si couramment employés aujourd'hui.

Il est nécessaire de remarquer que, dans un cas, représenté près du coin gauche au bas du tableau, certains tubes, tels que l'iconoscope-image, sont reliés à la fois au symbole de la cathode thermionique et à celui de la photocathode. Ces tubes qui sont des tubes pour caméras de télévision ont, en effet, deux cathodes, l'une sensible à la lumière et l'autre thermionique. C'est l'action produite entre le système photo-émissif et le système thermionique qui produit le signal de télévision à partir de l'image de la scène à téléviser, laquelle est projetée sur la photocathode.

Dans les chapitres suivants, nous décrivons de façon plus détaillée les principales sortes de tubes électroniques et leurs applications. L'ordre dans lequel les différents tubes sont expliqués est celui que l'on indiquait dans le chapitre III et c'est également celui du tableau général en hors-texte. Les chapitres IV, V, VI et VII traitent des tubes à vide poussé et les chapitres VIII, IX, X et XI des tubes à remplissage gazeux.





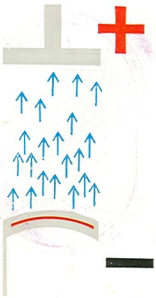
Tubes thermioniques à vide poussé (1)

Ce chapitre est consacré aux tubes thermioniques à vide poussé des types couramment utilisés pour produire, émettre, recevoir, détecter et amplifier des signaux électriques. Ils sont les descendants directs du tube initial de Fleming. La plupart des applications courantes de ces tubes se trouvent dans les domaines de la radiodiffusion et de la télévision, mais ils sont aussi employés dans de nombreux équipements professionnels et industriels. Les tubes thermioniques sont ceux où les électrons libres, sur lesquels repose le fonctionnement du tube, sont libérés à partir d'une cathode chauffée.

4.1 La cathode thermionique

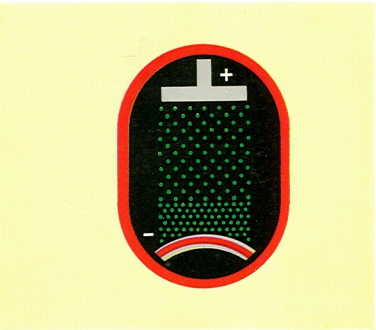
Dans les premières fabrications commerciales de tubes thermioniques, la cathode était un filament, c'est-à-dire un fil de tungstène qui était chauffé par la circulation d'un courant électrique. Les cathodes en métal pur sont encore utilisées maintenant dans quelques types de tubes émetteurs, mais la grande majorité des tubes actuels ont des cathodes imprégnées d'un mélange d'oxydes de strontium et de baryum, ces matériaux fournissant une bien plus forte émission par watt de puissance de chauffage. Il existe deux grandes catégories de cathodes thermioniques : la cathode à chauffage direct et la cathode à chauffage indirect. Dans le cas du chauffage direct, la cathode est un filament, recouvert d'oxydes émissifs, chauffé par le passage d'un courant électrique dans le filament même. La cathode à chauffage indirect comprend un petit cylindre métallique recouvert de matières émissives, chauffé par un filament séparé, inséré dans le cylindre de cathode, mais électriquement isolé de celui-ci.
Lorsque la cathode, à chauffage direct ou indirect, est portée à une température de fonctionnement appropriée, les électrons sont libérés de la surface de la matière émissive. La cathode ayant perdu des électrons, il y reste une faible charge électrique positive qui tend à attirer de nouveau les électrons vers la cathode. Simultanément, les électrons exercent entre eux des forces mutuelles de répulsion. Le résultat net est la formation d'un nuage d'électrons, appelé « charge d'espace », au voisinage de la cathode. Des électrons retournent sans cesse de ce nuage à la cathode, mais ils sont remplacés par des électrons neufs émis par la cathode. Si l'on ajoute dans le tube une seconde électrode, l'anode, maintenue à une tension positive par rapport à la cathode, des électrons sont extraits de la charge d'espace pour aller à l'anode, comme nous l'avons déjà indiqué.

4.2 Conductivité unilatérale

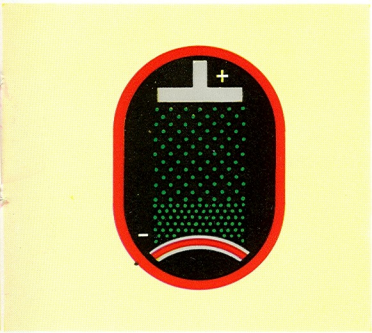


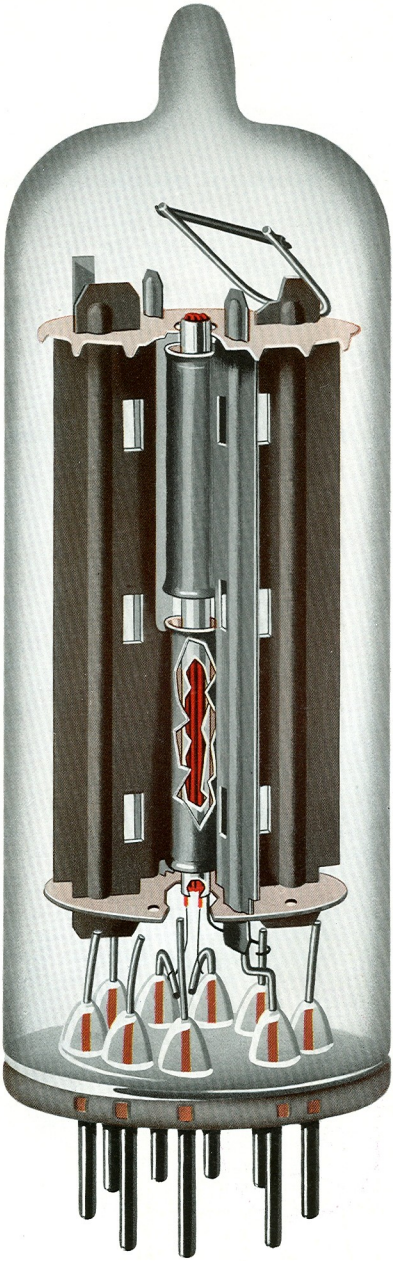
Il convient de remarquer que le courant électronique peut circuler seulement lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode et que le courant électronique se dirige toujours de la région de la cathode vers l'anode ; le courant électronique ne peut circuler dans la direction opposée. Cette conductivité unilatérale est l'une des plus importantes propriétés du tube thermionique.
Un tube ayant seulement deux électrodes, une cathode et une anode, est appelé diode. C'est un simple dispositif « à sens unique » pour le passage du courant électrique et c'est pour cette raison que l'inventeur de la diode, Sir Ambrose Fleming, a appelé ce dispositif « soupape pour oscillations ».

Tube redresseur de haute tension à une seule alternance (une seule diode) avec cathode à chauffage indirect. Ce tube convient pour la fourniture de la très haute tension dans les récepteurs de télévision.



Tube redresseur à deux alternances (double diode) avec cathode à chauffage indirect, prévu plus particulièrement pour la fourniture de la haute tension dans les équipements alimentés par les secteurs alternatifs.





4.3 Tubes à plusieurs électrodes

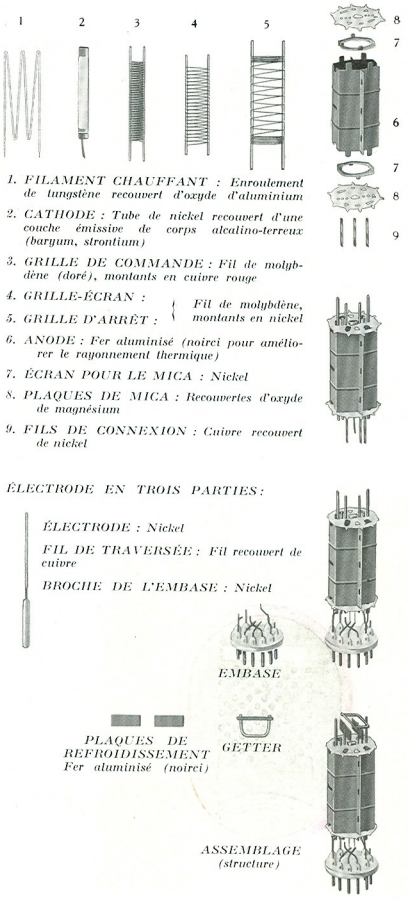
Il est devenu possible d'aborder une plus large gamme d'applications par l'adjonction, en plus de la cathode et de l'anode, d'autres électrodes dans l'ampoule. Ces électrodes supplémentaires, couramment appelées « grilles », sont généralement formées de spirales de fil fin entourant la cathode et situées entre la cathode et l'anode. Des potentiels électriques convenables appliqués à ces grilles permettent de commander la circulation du courant dans le tube. Un tube comportant une grille en supplément de la cathode et de l'anode est un tube à trois électrodes ou triode. Il existe aussi des tubes à quatre, cinq, six ou plus de six électrodes ; nous les examinerons de façon plus détaillée dans la suite de cet exposé.

4.4 Structure des tubes

Etant donné qu'il existe un grand nombre de types et de dimensions de tubes, conçus pour des applications fort diverses, il existe également des structures de tubes et des techniques de fabrication assez différentes. Nous décrirons donc, très brièvement, dans ce chapitre un mode de construction type et nous prendrons pour exemple la pentode miniature de puissance EL 84, à cinq électrodes, comportant trois grilles, genre de tube utilisé couramment dans les récepteurs de radio et de télévision familiaux. Le système d'électrodes : la cathode, les trois grilles, l'anode, est assemblé entre des disques de mica (ponts en mica) percés d'ouvertures espacées avec précision pour recevoir les extrémités des électrodes et pour les maintenir solidement en position. Cet ensemble est ensuite monté sur un pied, formé d'un disque de verre à travers lequel sont scellés un certain nombre de fils de connexion. Les liaisons entre les électrodes et les fils de connexion au-dessus du disque de verre sont obtenues par soudure au point. Les longueurs plus courtes de fils de connexion qui sortent du disque de verre au-dessous du tube forment les « broches », que l'on insère dans le support de tube pour relier le tube au montage électrique dans lequel il doit fonctionner.

On fixe sur le système d'électrodes une certaine quantité d'un métal volatilisable, tel que le baryum, et appelé « getter », dont le rôle sera expliqué plus loin, dans ce même chapitre.

Le système des électrodes, monté sur le pied en verre, est alors inséré dans une ampoule de verre de telle sorte que le pied vienne fermer l'extrémité basse de l'ampoule. A la partie supérieure du tube est fixée une tubulure plus fine formant le tube de pompage, ou queusot, à travers lequel l'air est finalement pompé hors de l'ampoule. Une forte chaleur est alors appliquée sur les bords pour fondre ensemble le pied de verre et la partie inférieure de l'ampoule. L'ampoule est alors reliée par son queusot à de puissantes pompes à vide qui extraient l'air du tube. Pendant le pom-



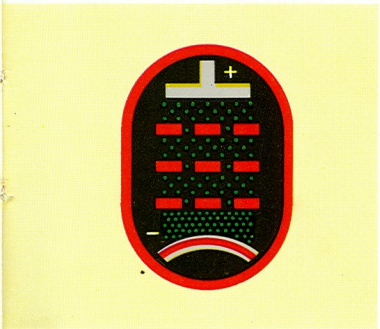
AMPOULE
DE VERRE

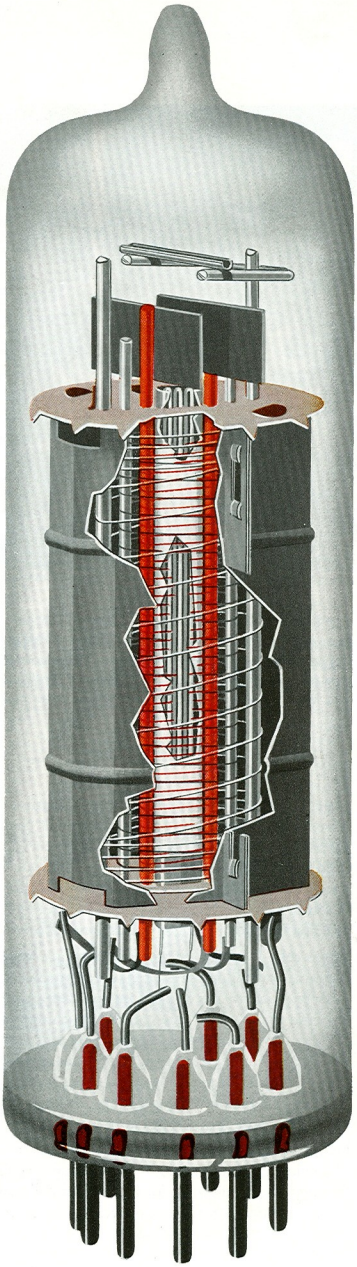
TUBE SCELLE

TUBE
VIDE D'AIR

TUBE APRES
L'EVAPORATION
DU « GETTER »

Pentode amplificatrice de puissance avec cathode à chauffage indirect. On l'utilise principalement pour l'étage final des récepteurs et des amplificateurs d'électrophones alimentés par le secteur alternatif.





Les différentes phases du montage de la structure d'un tube.
(à gauche et en haut) : montage du système d'électrodes (dans des calibres).
(en haut et à droite) : les systèmes d'électrodes sont soudés sur l'embase du tube.
(en bas) : les grilles sont mesurées avec précision à l'aide d'un électro-micromètre.

page, l'ampoule est portée à une température élevée obtenue par son passage dans un tunnel chauffant. Cela aide à évacuer les gaz de l'intérieur du tube (dégazage). Ensuite, la structure des électrodes et les autres parties métalliques du tube sont chauffées par des courants tourbillonnaires à haute fréquence qui aident à faire sortir les gaz occlus dans les métaux.

Après cela, le getter est vaporisé par l'application de courants tourbillonnaires de haute fréquence. La vapeur se condense sur la paroi interne de l'ampoule et y forme une surface unie comme un miroir qui absorbe tout gaz quelconque (principalement l'oxygène et l'hydrogène) qui aurait pu rester dans le tube, ainsi que les gaz qui peuvent être dégagés par les électrodes pendant le fonctionnement du tube. Enfin, le queusot est scellé près du sommet de l'ampoule.

Grâce aux procédés décrits, on obtient un très haut degré de vide dans l'ampoule, la pression du gaz dans le tube terminé étant de l'ordre de un millionième de millimètre de mercure. Dans le langage courant, cela signifie qu'il ne reste du contenu initial de gaz de l'ampoule qu'une partie sur mille millions de parties.

4.5 Procédés de commande du courant électronique

Les tubes mentionnés dans ce chapitre sont ceux qui sont représentés dans les trois cadres supérieurs du panneau de gauche du tableau général. Ils sont reliés au symbole de l'émission thermionique par des flèches horizontales, marquées, respectivement « pas de commande », « commande de densité » et « modulation de vitesse ».

4.5.1 Pas de commande

Le symbole de cette case est le schéma d'une simple diode, dispositif qui autorise la circulation du courant dans une direction, mais l'empêche dans la direction inverse.
Les diodes thermioniques sont produites dans une grande variété de types et de dimensions. Certaines sont à courants faibles, d'autres admettent des courants relativement forts. Certaines sont prévues pour fonctionner sous des tensions faibles ou moyennes, d'autres pour des hautes tensions atteignant plusieurs milliers de volts.
Les plus petits modèles de diodes sont employés pour la détection, c'est-à-dire le redressement des signaux de radio et de télévision. Elles permettent aussi, dans les équipements professionnels, de reconnaître les impulsions de sens positif et celles de sens négatif et de les séparer.
Des diodes plus grandes sont établies pour le redressement de courants alternatifs. A partir d'une source de courant alternatif, on obtient ainsi un courant continu ou unidirectionnel. Parmi les applications typiques de ces redresseurs, nous citerons les équipements pour le chargement de batteries, les sources de haute tension d'alimentation pour les tubes des récepteurs de radio et de télévision et, finalement, les sources de très haute tension (THT) indispensables pour les tubes-images de télévision et pour les tubes à rayons X.

4.5.2 Commande de densité

Sous la case notée « pas de commande » nous en trouvons une autre notée « commande de densité » ; nous entendons par là la commande du courant anodique obtenue par variation de la densité ou de l'intensité du courant électronique dans le tube.
Il y a deux symboles dans cette case. Celui de gauche est le schéma d'une triode dont la cathode thermionique est marquée « — », en bas et dont l'anode est marquée « + », en haut de la figure. Une ligne rouge pointillée représente la grille entre ces deux électrodes.
Entre la grille et la cathode, les points verts représentent les électrons, mutuellement très rapprochés, qui correspondent à la charge d'espace. Dans la plupart des applications, une faible tension négative est appliquée à la grille et nous l'appelons polarisation négative de grille. Le champ électrique dû à la polarisation de la grille s'oppose à celui qui est dû au potentiel positif appliqué à l'anode. Le taux de départ des électrons hors de la charge d'espace, c'est-à-dire l'intensité du courant électronique, est donc déterminé par la valeur résultante du champ produit par les potentiels appliqués à l'anode et à la grille. Dans le dessin, on a représenté une circulation uniforme d'électrons par des points verts largement espacés sortant de la charge d'espace à travers les mailles de la grille et se dirigeant vers l'anode. Ce taux de circulation du courant électronique est le « courant sans signal ».
Si nous superposons alors, à la polarisation négative constante de la grille, un signal à tension variable, la tension de la grille va varier et modifier le courant anodique en harmonie avec elle. Dans un circuit bien étudié et bien réglé, ces variations du courant anodique peuvent être amenées à produire une version très agrandie du signal initial. En d'autres termes, le tube se comporte comme un *amplificateur*. La triode peut assumer un autre rôle. Elle peut produire des oscillations électroniques. Dans ce genre d'applications, une partie de la puissance qui correspond aux variations du courant anodique est transférée au circuit de la grille. Grâce à cette réaction, elle est réamplifiée par le tube, ce qui permet à une puissance plus grande encore d'être réappliquée à la grille.

Le phénomène est donc cumulatif et si le montant de la puissance réappliquée à la grille est plus grand que les pertes électriques dans ce circuit, des oscillations électriques libres s'établissent et se maintiennent (entretien). La fréquence et la forme d'onde des oscillations sont déterminées par l'étude générale du montage et il est donc possible de les prévoir pour répondre à des exigences particulières. Un exemple pratique courant est la production des oscillations sinusoïdales employées comme ondes porteuses dans tous les appareils de radio-communications. La triode trouve de très nombreuses applications, soit comme génératrice d'oscillations, soit comme amplificatrice de signaux. Mais son emploi entraîne certaines limitations, car son rendement diminue beaucoup lorsqu'elle doit amplifier des signaux de fréquences très élevées.
En effet, les électrodes du tube forment les plateaux d'un système complexe de condensateurs dont les impédances diminuent lorsque la fréquence augmente. Aux fréquences élevées, une proportion très notable de la puissance est transférée de l'anode à la cathode à travers la capacité entre ces électrodes. Le montage devient alors instable, des oscillations libres se produisent et l'amplification normale des signaux devient alors impossible.

La tétrode

Afin d'améliorer l'amplification des signaux de haute fréquence, on a étudié le tube à quatre électrodes ou tétrode comportant une cathode, une anode et deux grilles. Dans la tétrode, la grille la plus voisine de la cathode est celle recevant le signal ou grille de commande ; elle joue donc le même rôle que la grille de la triode. La seconde grille, située entre la grille de commande et l'anode est maintenue à un potentiel positif, en général un peu plus faible que celui de l'anode. Cette deuxième grille permet d'une part, d'obtenir une amplification plus forte que celle des triodes et, d'autre part, elle constitue un écran de blindage électrostatique entre l'anode et la grille de commande, qui réduit la réaction interne ainsi que le risque correspondant d'instabilité de fonctionnement. Normalement, cette grille est appelée « grille 2 », mais parfois elle est appelée « grille-écran » en raison de cette dernière propriété.

La pentode

La pentode, tube à cinq électrodes, comporte trois grilles. Elle a été imaginée comme une amélioration de la tétrode. Dans une tétrode, les électrons qui viennent frapper, à grande vitesse, la surface de l'anode peuvent en extraire des électrons secondaires. Dans certaines conditions de fonctionnement, ces électrons secondaires sont attirés par la grille 2. Non seulement l'amplification s'en trouve réduite, mais encore des oscillations peuvent être produites.
La pentode comporte donc une grille supplémentaire ou grille 3, placée entre la grille 2 et l'anode et que l'on relie à la cathode. Cette grille est donc portée à un potentiel négatif par rapport à l'anode. La grille 3 de la pentode est la grille d'arrêt, car elle élimine le courant électronique de l'anode vers la grille 2.

Autres tubes à plusieurs électrodes

En dehors des tétrodes et des pentodes, il existe aussi des hexodes à six électrodes, dont quatre sont des grilles, des heptodes à sept électrodes, dont cinq sont des grilles et des octodes à huit électrodes, dont six sont des grilles. La principale application de tous ces tubes est la « conversion de fréquence ». Nous avons déjà expliqué que l'amplification des très hautes fréquences n'a pas une haute efficacité en raison des pertes provoquées, entre autres causes, par les

capacités entre les électrodes du tube. Il est donc de pratique courante, dans les récepteurs radiophoniques, de transformer la fréquence du signal reçu sur l'antenne en une onde modulée de plus faible fréquence dont l'amplification puisse se faire avec un plus grand rendement. Pour cela, le signal d'entrée du récepteur est combiné avec une oscillation de fréquence un peu différente, engendrée dans le récepteur même. Plusieurs nouvelles fréquences sont ainsi produites, et l'une de ces fréquences est égale à la différence entre la fréquence du signal d'entrée et la fréquence de l'oscillateur local. On sélectionne cette fréquence, plus faible, résultant de la différence, à l'aide d'un filtre, pour pouvoir l'amplifier de nouveau. Tel est le principe des récepteurs à conversion de fréquence (superhétérodynes).
Il existe deux grandes catégories de montages convertisseurs de fréquence. Dans l'un de ces montages, l'oscillation locale est engendrée par un tube, ordinairement une triode, puis elle est combinée avec le signal incident dans un autre tube parfois appelé « mélangeur ». Dans de nombreux cas, les systèmes d'électrodes du tube oscillateur et du tube mélangeur sont montés dans une même ampoule. Une autre forme de convertisseur de fréquence fonctionne à l'aide d'un seul système d'électrodes, en général du type heptode ou octode. Dans cette disposition, les deux premières grilles remplacent la grille et l'anode d'une triode pour produire l'oscillation locale et le signal est appliqué à l'une des autres grilles.

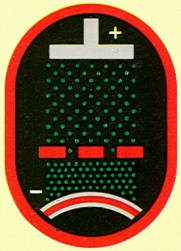
Tubes à plusieurs systèmes : tubes combinés

Afin de diminuer le volume, le poids et le prix des équipements électroniques, de nombreux types de tubes électroniques comportent plusieurs systèmes d'électrodes contenus dans une seule ampoule. Nous en avons déjà mentionné un exemple : celui de la triode combinée avec une pentode pour l'utilisation comme convertisseur de fréquence. Parmi les autres tubes à plusieurs systèmes, disponibles couramment, nous citerons les doubles diodes, les triples diodes, les doubles triodes, les doubles pentodes et enfin, des combinaisons telles que les diodes-pentodes et les doubles diodes-triodes.

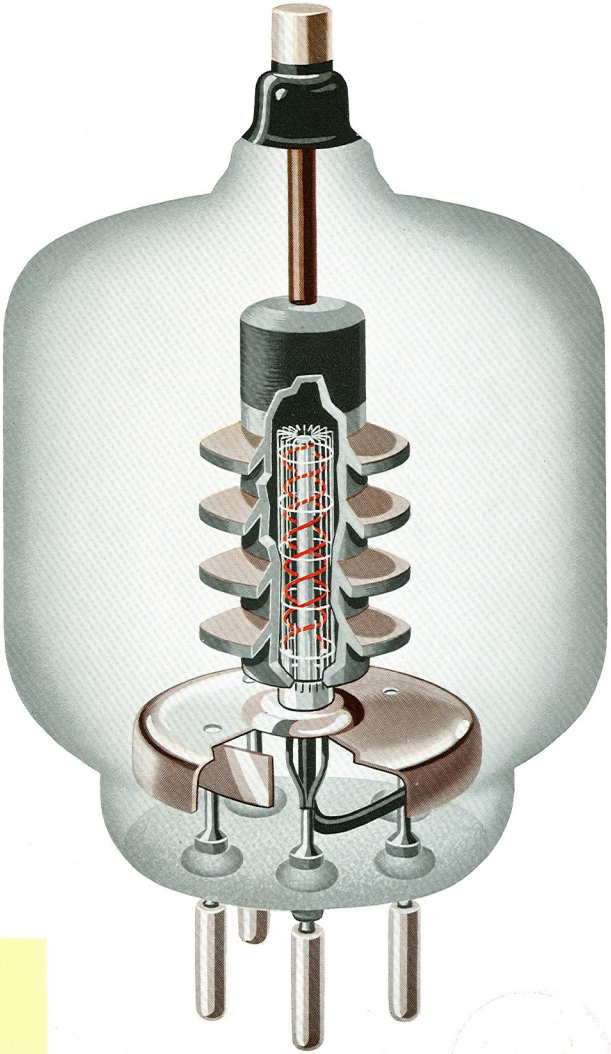
Tubes à émission secondaire

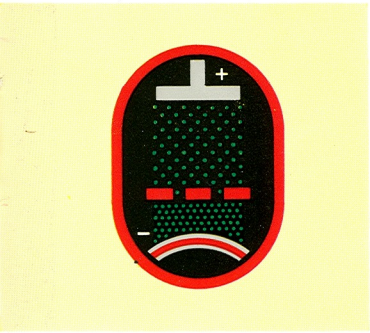
Dans la même section du tableau que le dessin de la triode, nous trouvons un second dessin intitulé « tubes à émission secondaire ». Le dessin de la triode caractérise, rappelons-le, des tubes à commande par densité du courant électronique. Les tubes à émission secondaire sont des tubes thermioniques dans lesquels le courant électronique primaire, extrait de la cathode, se trouve multiplié grâce à l'émission d'électrons secondaires provenant d'une électrode supplémentaire soumise au bombardement des électrons primaires.
Comme nous l'avons déjà expliqué, lorsqu'une surface est bombardée par des électrons à déplacement rapide, les chocs peuvent extraire d'autres électrons de la surface. Dans la majorité des cas, l'émission secondaire des tubes électroniques se produit sur l'anode et c'est un phénomène indésirable.
Donc, dans de nombreux types de tubes, des précautions spéciales sont prises pour éviter les effets de l'émission secondaire et c'est, notamment, comme nous l'avons vu, le rôle de la grille d'arrêt dans les pentodes. Au contraire, dans les tubes à émission secondaire on tire profit de ces effets. Le courant électronique primaire est alors dirigé, non plus vers la véritable anode, mais bien vers une nouvelle électrode spéciale, maintenue à un potentiel positif. Les électrons secondaires sont extraits de cette électrode par l'impact des électrons primaires, l'électrode agissant, par conséquent, comme une cathode auxiliaire. Les électrons secondaires sont, évidemment, attirés par l'anode. L'étude du tube et le réglage de ses conditions de fonctionnement sont tels que le nombre des électrons secondaires émis est plus grand que le nombre des électrons primaires qui frappent la cathode auxiliaire. En d'autres termes, il intervient une amplification due à l'émission secondaire.

Double triode, à cathodes séparées, utilisée principalement dans les récepteurs de télévision et dans les machines à calculer électroniques.

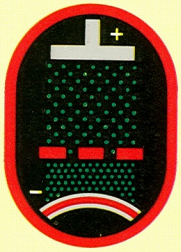


Triode utilisée comme amplificatrice de haute fréquence, d'audio-fréquence ou comme oscillatrice dans les émetteurs de grande puissance ou dans les équipements industriels.

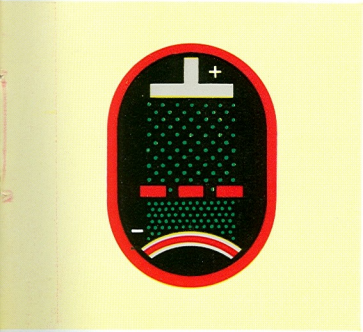




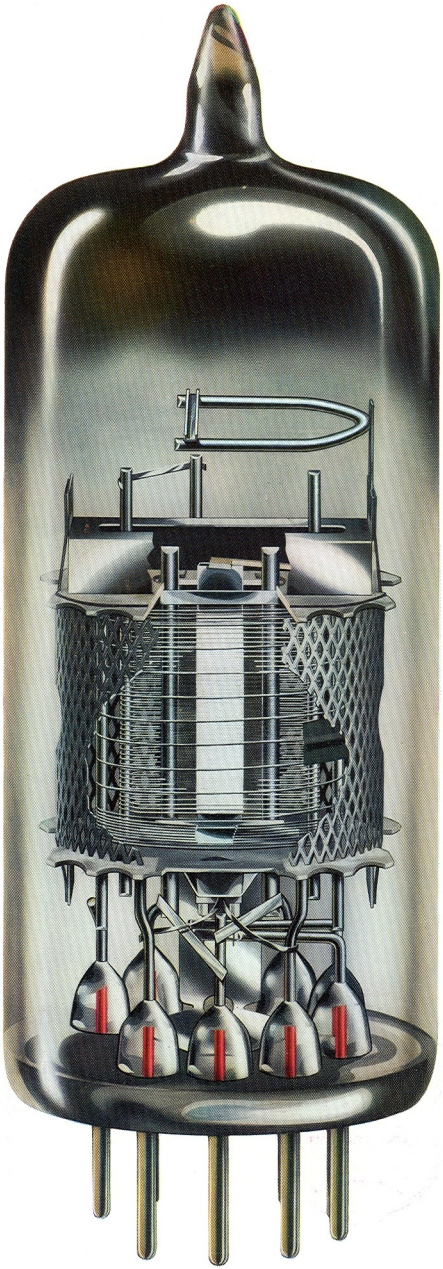
Triode émettrice à chauffage direct, puissance 5 kW, jusqu'à 50 MHz.

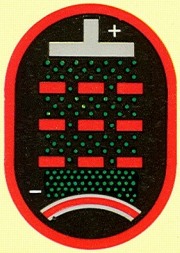


Triode émettrice VHF à chauffage direct, 6,9 kW, jusqu'à 75 MHz peut fonctionner à puissance plus réduite jusqu'à 230 MHz.

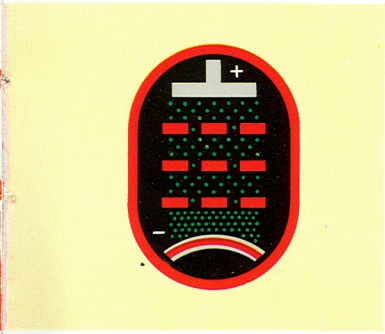


Pentode amplificatrice de tension à grille-cadre. Amplificatrice de fréquence intermédiaire et à bande large (télévision).

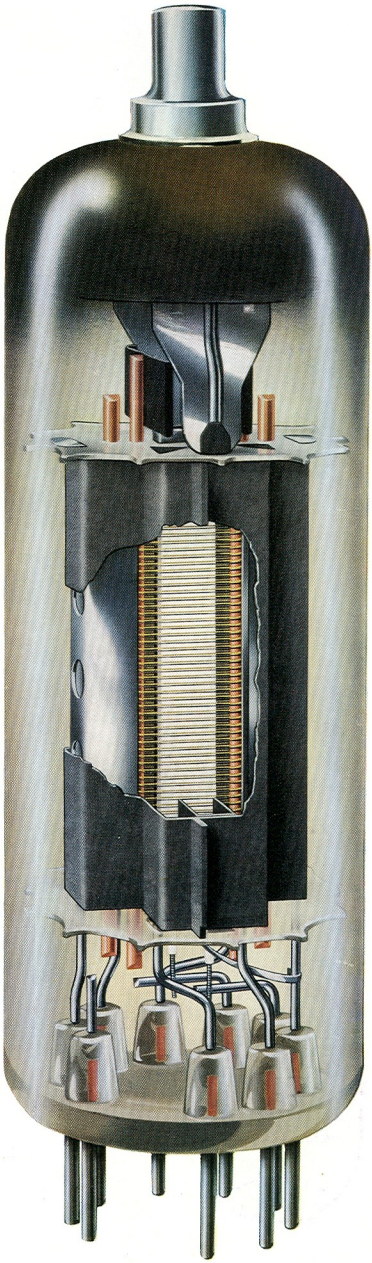


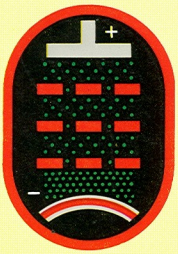


Pentode amplificatrice de tension à grille-cadre. Amplificatrice à très forte pente pour bandes de fréquences très larges. Série "Sécurité-Qualité".

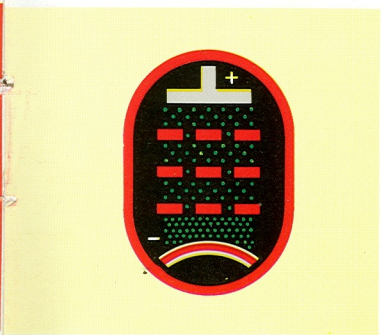


Pentode de balayage " lignes " (télévision) à fort courant anodique de crête. Anode spéciale " Cavitrap ".

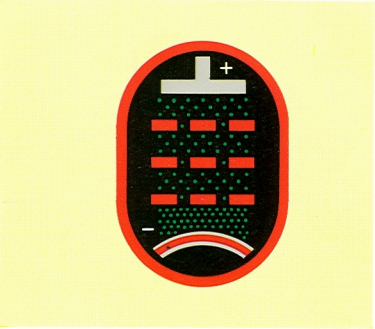




Pentode de puissance série " Sécurité-Qualité " à deux grilles-cadres. Sortie d'amplificateur à large bande de fréquences.



Pentode pour radio-fréquences à faible tension de blocage de grille pour équipements industriels et mobiles. Série " Sécurité-Qualité ".



L'une des principales applications du tube thermionique à émission secondaire consiste à amplifier des signaux dans des équipements étudiés pour de larges bandes de fréquences. Afin que ces signaux de fréquences très diverses puissent être amplifiés d'une manière bien égale, des montages spéciaux ont été établis et ils exigent des tubes à faibles capacités entre électrodes et à très forte amplification. Ce sont justement les propriétés des tubes à émission secondaire de construction assez récentes.

Tubes pour micro-ondes

Nous avons déjà vu dans un paragraphe précédent que des difficultés se présentent, lors de l'utilisation aux fréquences très élevées, de tubes courants à commande par densité. A ces fréquences, correspondant à des longueurs d'ondes de quelques dizaines de centimètres, un autre facteur vient en considération : c'est le temps de transit. Ce temps mis par un électron pour traverser le tube est alors du même ordre de grandeur que le temps de la période du signal. Ces effets peuvent être notablement réduits par l'adoption de dispositions spéciales dans la construction du tube, notamment en réduisant à de très petites valeurs les distances entre les électrodes et en étudiant la forme des électrodes pour réduire leurs capacités mutuelles.
Dans les tubes-phares, par exemple, la grille et l'anode ont la forme de disques métalliques scellés dans l'ampoule de verre. Les principales applications de tubes de ce genre sont la génération et l'amplification de signaux pour les systèmes d'aides à la navigation et pour d'autres services officiels pouvant employer des longueurs d'ondes aussi courtes que 5 à 10 centimètres.
Mais, pour la plupart des applications aux ultra-hautes fréquences et, spécialement, lorsque l'on exige des impulsions de très fortes puissances, on préfère souvent adopter des tubes du type à modulation de vitesse. Ils sont décrits dans le paragraphe suivant.

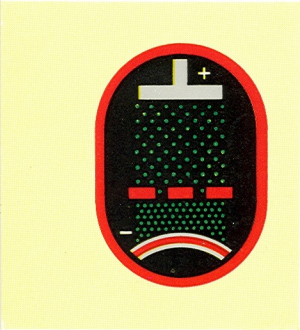
4.5.3 Tubes à modulation de vitesse

La case disposée au coin gauche du sommet du tableau est intitulée « modulation de vitesse » et elle contient cinq symboles représentant différents tubes qui utilisent une modulation de vitesse du courant électronique. Cette famille de tubes comprend le magnétron, trois formes de klystrons et le tube à propagation d'ondes. Ces tubes seront décrits dans l'ordre que l'on vient d'indiquer.
Dans le procédé de modulation de vitesse, le courant électronique dans le tube est commandé par la variation de la vitesse de parcours des électrons individuels, par opposition avec la commande d'intensité dans laquelle on modifie le taux d'extraction des électrons de la région de la cathode vers l'anode.

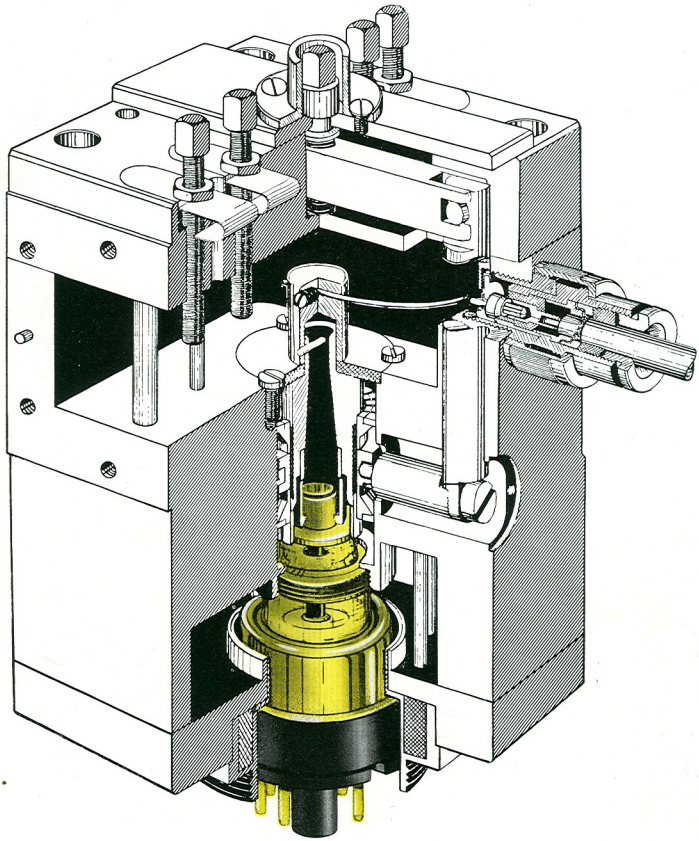
Le magnétron

Le magnétron est, d'après son invention et son utilisation, une forme spéciale de diode qui peut agir comme un générateur d'oscillations électriques. Il consiste essentiellement en une anode massive cylindrique avec une ouverture centrale, le « tunnel », à travers laquelle passe une cathode thermionique, disposée suivant l'axe. Chaque trou communique avec l'ouverture centrale par une fente. Si la cathode est chauffée à sa température d'émission et si l'anode est reliée au pôle positif de la haute tension d'alimentation, des électrons vont circuler radialement à partir de la cathode vers la surface de l'anode. Mais, dans le magnétron, en supplément du champ électrique produit par le potentiel de l'anode, un fort champ magnétique est établi, parallèlement à l'axe du tube et, par conséquent, à angle droit avec le champ électrique dû à l'anode. En conséquence, les électrons vont être déviés.

Triode-phare utilisée pour l'amplification à faible niveau et plus spécialement pour l'amplification à large bande dans les applications sur micro-ondes.



Un amplificateur courant pour micro-ondes en montage grille à la terre équipé d'une triode-phare sur une longueur d'onde de 7,5 cm. Le tube est monté dans le bloc amplificateur par vissage du disque de grille dans la connexion correspondante. Les circuits résonnants sont formés par les cavités creusées dans les blocs. Ces circuits peuvent être couplés à des guides d'ondes normalisés. L'accord et l'adaptation sont obtenus à l'aide de fils pénétrant plus ou moins dans les cavités. Le compartiment du bas constitue le circuit anode-grille, tandis que le compartiment du haut est le circuit anodique, que l'on couple au tube à l'aide d'une ligne coaxiale.

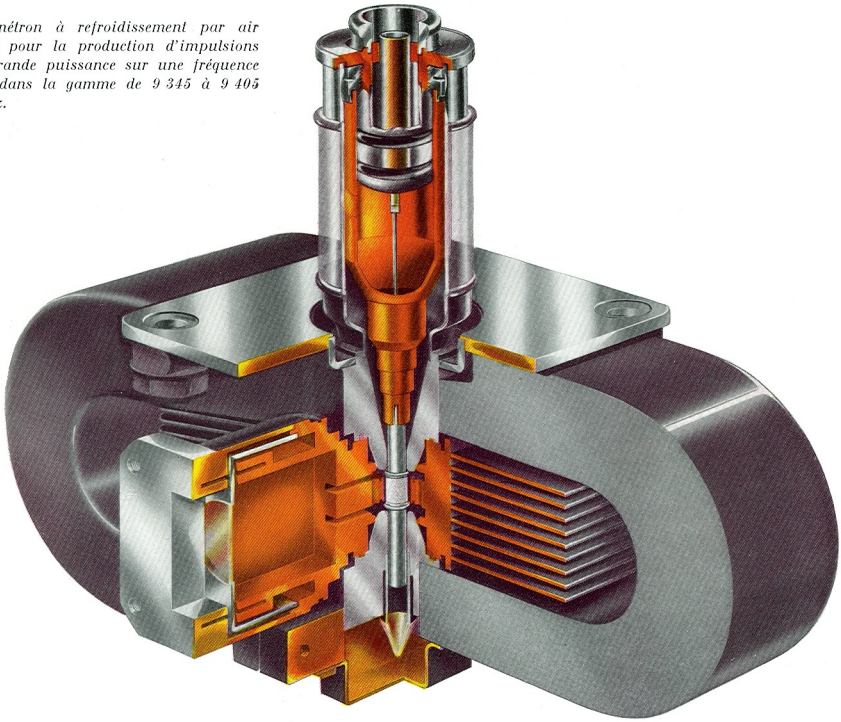


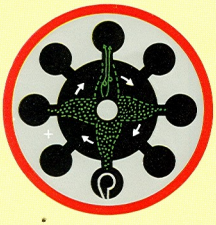
Dans la pratique, les champs électriques et magnétiques sont ajustés de telle manière que les électrons assez nombreux suivent une trajectoire au cours de laquelle ils passent à travers quelques-unes des fentes qui joignent les cavités de l'anode au tunnel d'anode central. Chacune des cavités creusées dans l'anode constitue, en effet, un circuit résonnant dont la paroi métallique qui l'entoure forme la composante inductive et la fente la composante capacitive. La dimension des cavités et celle des fentes sont choisies pour que la fréquence de résonance de chaque cavité soit la même et soit égale à la fréquence de l'oscillation que l'on désire produire. Une très faible perturbation électrique, telle que par exemple, la simple mise en circuit du tube ou le démarrage de la circulation du courant anodique, est suffisante pour faire naître les oscillations électriques dans les cavités.
Aux fréquences très élevées émises par le magnétron et sur lesquelles les cavités sont accordées, le courant circule principalement au voisinage de la surface du conducteur. Dans chaque cavité résonnante, ce qui se produit donc réellement, est une circulation de courant de l'un des côtés de la fente sur toute la surface interne de la cavité et jusqu'à l'autre bord de la fente. Cette circulation de courant se renverse et s'établit de nouveau vers le premier bord, ce phénomène continuant de se produire à la fréquence de résonance de la cavité (résonateur). Le potentiel de chaque bord de la fente oscille donc au-dessus et au-dessous de la valeur moyenne représentée par le potentiel d'anode appliqué. En d'autres termes, des champs électriques oscillants se produisent dans la région des fentes. Il est alors nécessaire de considérer l'effet de ces champs oscillants sur les électrons émis par la cathode et qui sont déjà soumis à l'action du champ électrique moyen produit par la tension d'anode et à celle du champ magnétique, comme on vient de le décrire. Ils suivent donc une trajectoire particulière, au cours de laquelle ils traversent une ou plusieurs fentes.
S'il arrive qu'un électron donné pénètre dans le champ oscillant à un instant où la direction de ce champ s'oppose à la force produite par le champ magnétique, l'électron va se trouver retardé et va perdre, par conséquent, une fraction de son énergie cinétique. L'énergie perdue par l'électron est emmagasinée dans le champ oscillant et elle sert à aider au maintien des oscillations. Dans la pratique, le dispositif est conçu de telle manière que l'électron, dans ces conditions, fournisse de l'énergie à plusieurs cavités résonnantes, avant qu'il ait perdu une fraction suffisamment importante de la composante circulaire de sa vitesse pour lui permettre d'être ramassé par l'anode. Si, par ailleurs, un électron donné pénètre dans le champ électrique oscillant à un instant où la direction du champ aide la force due au champ magnétique, l'électron se trouve accéléré et il reçoit de l'énergie provenant du champ oscillant. Cela tend à amortir les oscillations. On dit que ces électrons sont des électrons défavorables et ils sont encore déviés dans la suite par le champ magnétique. Ils retournent rapidement vers la cathode et ils peuvent la frapper avec suffisamment d'énergie pour en chasser un grand nombre d'électrons secondaires. Ces électrons secondaires, à leur tour, vont atteindre la région proche de l'anode, soit à des instants favorables, soit à des instants défavorables. A l'équilibre, l'énergie fournie au système oscillant par les électrons favorables est beaucoup plus grande que celle qui est retirée du système par les électrons défavorables. Ainsi, non seulement les oscillations se trouvent maintenues mais encore une grande puissance de sortie oscillante est rendue disponible. Dans le symbole du magnétron figurant dans le tableau, nous avons représenté une simple boucle de fil dans la cavité de droite. Elle sert à indiquer qu'il existe un couplage inductif entre le système oscillateur du magnétron et le circuit externe.

Le klystron

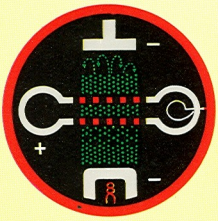
Le principe qui consiste à accélérer quelques-uns des électrons en retardant les autres afin qu'ils puissent fournir au circuit oscillant une certaine énergie, ou encore la recevoir de ce circuit, est également employé dans plusieurs sortes de tubes pour micro-ondes, appelés « klystrons ». Dans la forme fondamentale du klystron, un faisceau d'électrons est projeté à partir de la région de la cathode, le long de l'axe du tube et vient jusqu'à l'extrémité du tube où une électrode collectrice positive se trouve disposée. Sur leur parcours, ces électrons traversent deux plaques métalliques perforées ou grilles qui forment l'élément capacitif de la cavité résonnante. En conséquence, un champ électrique oscillant existe dans l'espace compris entre les deux grilles.

Magnétron à refroidissement par air forcé pour la production d'impulsions de grande puissance sur une fréquence fixe dans la gamme de 9 345 à 9 405 MHz.





Klystron réflexe, construction tout métal, accordé mécaniquement pour le fonctionnement entre les fréquences de 8 702 et de 9 548 MHz.



Tube à propagation d'ondes (en abrégé : T. P. O.).

Selon l'instant où chaque électron traverse l'espace compris entre les grilles, il se trouve soit accéléré à un degré plus ou moins grand, soit décéléré à un degré plus ou moins grand. Ceux qui auront été accélérés vont dépasser ceux qui ont été retardés. En conséquence, le faisceau électronique va être formé, après cette opération, de groupes ou de paquets d'électrons, chaque groupe se trouvant séparé du suivant par un espace dans lequel il n'y a qu'un très petit nombre d'électrons. Un résonateur de qualité utilisé de cette façon est appelé « groupeur » (en anglais : « buncher »). Dans le klystron amplificateur, l'énergie nécessaire pour maintenir les oscillations dans le groupeur et pour former les paquets d'électrons est fournie par le signal incident. De plus le long du tube, le faisceau électronique modulé en vitesse, c'est-à-dire groupé, traverse une autre cavité résonnante appelée « cavité de sortie » dans laquelle le courant électronique variable induit un courant oscillant de la même fréquence. Dans un montage correctement étudié et réglé, la puissance produite dans le système de sortie est beaucoup plus grande que celle qui a été dépensée dans le groupeur. En d'autres termes, le tube agit bien comme un amplificateur.

Alternativement, le klystron peut aussi être utilisé pour produire des oscillations en faisant réagir sur le résonateur-groupeur une partie de la puissance produite dans la cavité de sortie. Dans un grand nombre d'applications où les klystrons sont utilisés comme oscillateurs, on emploie des tubes comportant un seul résonateur à cavités. Dans ce « klystron réflexe », les électrons, après avoir traversé le résonateur qui agit comme un groupeur pour produire la modulation de vitesse du faisceau, se trouvent repoussés en sens inverse par une électrode négative appelée « réflecteur ». La direction du parcours des électrons se trouve alors inversée et le courant électronique, modulé en vitesse, passe de nouveau à travers le résonateur à cavités, mais cette fois dans la direction opposée. Ce même résonateur fonctionne comme cavité de sortie et reçoit l'énergie qui provient du courant électronique, ce qui établit et maintient les oscillations.

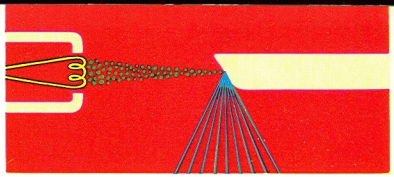
Dans un klystron multiréflexe, des électrodes accélératrices supplémentaires ont été prévues et le courant électronique peut circuler plusieurs fois à travers la cavité résonnante, alternativement dans une direction et dans la direction inverse.

Le tube à propagation d'ondes

Dans le tube à propagation d'ondes, les électrons émis par la cathode thermionique sont projetés le long de l'axe du tube, comme dans le klystron. Mais autour du faisceau électronique, nous trouvons une spirale de fil. Le signal incident est appliqué au bout de la spirale, tout près de l'extrémité où se trouve la cathode du tube. Un champ électrique oscillant à la fréquence du signal est alors établi et se déplace le long de la spirale. C'est la propagation de cette oscillation (onde) qui produit la modulation de vitesse correspondante du faisceau électronique.

Ce mode de fonctionnement est évidemment tout à fait semblable à celui d'un klystron. Mais, alors que dans le klystron la force d'accélération ou de retardement agit sur chaque électron, seulement pendant un temps très bref au moment où l'électron traverse le résonateur-cavité, dans le tube à propagation d'ondes, la longueur de la spirale et la tension de l'anode appliquée sont choisies de telle manière que le champ oscillant (ou onde) se déplace le long de la spirale à une vitesse sensiblement égale à celle des électrons. En conséquence, les électrons individuels se trouvent continuellement accélérés ou retardés, pendant toute la durée de leur circulation le long du tube. Le courant électronique modulé va donc induire un signal correspondant dans la spirale et, par un réglage correct des conditions de fonctionnement, la puissance oscillante que l'on peut prélever à l'extrémité de sortie du tube va être beaucoup plus grande que celle que l'on a introduite sous la forme d'un signal à l'extrémité d'entrée. En d'autres termes, le tube à propagation d'ondes est un tube amplificateur.

Le tube à propagation d'ondes présente un avantage important relativement au magnétron et au klystron car ces deux derniers tubes, qui utilisent des résonateurs à cavités, sont seulement capables d'amplifier les signaux à la fréquence sur laquelle leurs cavités résonnantes sont accordées, tandis que le tube à propagation d'ondes peut amplifier, d'une manière efficace, sur une bande de fréquences relativement assez large.



Chapitre V

Tubes thermioniques à vide poussé (2)

Tubes à rayons X

Les branches suivantes de la famille des tubes thermioniques que nous allons étudier maintenant comportent deux classes de tubes, peu nombreux, mais malgré cela très importants. Les phénomènes qui interviennent dans ces tubes conduisent à des applications pratiques très significatives et qui ne sont pas fondées, comme on l'a vu précédemment, sur l'utilisation du circuit externe de l'anode, mais bien sur l'emploi de l'ampoule même. Ces deux classes sont : les tubes à rayons X, et les tubes à rayons cathodiques.

Les rayons X sont comme la lumière visible, une forme de l'énergie rayonnante, mais il présentent des propriétés et des longueurs d'ondes très différentes. Ils ont été découverts par Roentgen en 1895. Il procédait alors à une série d'expériences sur la conduction de l'électricité à travers les gaz et il utilisait un tube dans lequel le vide avait été très poussé. Il remarqua qu'une fluorescence se produisait sur un écran chimique placé à une petite distance du tube. Les essais ultérieurs ont révélé l'existence de radiations d'une puissance de pénétration considérable qui peuvent, par exemple, traverser de nombreuses substances qui sont opaques à la lumière visible. On explique la production de rayons X, en disant que les électrons qui sont accélérés à une très grande vitesse et dirigés sur une cible métallique, comportent toujours un certain nombre d'électrons plus rapides. Ils peuvent pénétrer dans les atomes qui forment la cible. Ils troublent donc la structure de l'atome de telle sorte qu'une production d'énergie y intervient à des fréquences très élevées (très courtes longueurs d'ondes).

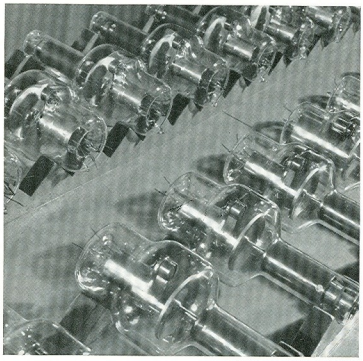
Les rayons X ont des longueurs d'onde de l'ordre d'une unité Angstrom (un dix-millionième de millimètre) par comparaison avec les longueurs d'onde de 3 600 à 7 600 unités Angstroms de la lumière visible.

En plus de leur pouvoir pénétrant intense, les rayons X ont la propriété d'impressionner les plaques et les films photographiques. Ils produisent également la fluorescence dans un très grand nombre de substances chimiques et ils exercent aussi des effets importants sur certains tissus du corps humain. Ces applications pratiques sont si utiles que de nombreux types modernes de tubes à rayons X ont dû être étudiés.

Comme on le voit sur les deux dessins du tableau et aussi sur la figure de la page 47, le tube à rayons X classique est une ampoule à vide poussé contenant une cathode thermionique et une anode, une surface de l'anode étant travaillée mécaniquement pour former un certain angle avec la trajectoire du courant électronique. On applique à l'anode un potentiel positif de plusieurs milliers de volts par rapport à la cathode. Ainsi, les électrons émis par la cathode se trouvent accélérés à une très grande vitesse avant de venir frapper la surface inclinée de l'anode (cible). Bien qu'une grande partie de l'énergie cinétique des électrons qui bombardent l'anode soit dissipée, tout en échauffant cette anode, une partie de cette énergie va réapparaître sous la forme de rayons X. Afin d'éviter que le tube puisse être détruit par la chaleur produite à l'anode, des précautions sont prises pour évacuer cette chaleur aussi rapidement qu'elle est produite. Pour cela, l'anode est toujours constituée par une pièce métallique massive et l'on étudie la construction générale du tube pour que la chaleur produite soit conduite très rapidement à l'extérieur de l'ampoule. Dans certains cas, on emploie même un dispositif de refroidissement par l'eau. Dans quelques-uns de ces tubes, il existe une anode tournant à très grande vitesse, afin que le point de surface qui subit le bombardement électronique puisse changer à tout instant.

Applications des tubes à rayons X

L'une des premières applications pratiques des rayons X a suivi directement la découverte de leur passage à travers les substances qui sont opaques à la lumière ordinaire. Si une partie du corps, la main, par exemple, est interposée entre le tube et un écran enduit de matière fluorescente, une ombre est produite sur l'écran (radioscopie), cette ombre montrant les détails du squelette de la main sous la forme d'un grisé, avec des ombres plus noires pour les os. Cette constatation a immédiatement suggéré les applications à la chirurgie. Aujourd'hui, avec des techniques améliorées et une meilleure compréhension des indications visibles sur l'écran, les rayons X sont utilisés pour examiner les fractures des os, pour révéler la présence de malformations ou de corps étrangers, tels que des balles ou éclats de métal. On s'en sert aussi pour déterminer le diagnostic de nombreuses maladies. Il est probable que l'un des plus importants progrès apportés par les rayons X est l'examen radiographique du personnel des entreprises et des habitants des villes, permettant l'auscultation régulière d'un grand nombre de personnes pour assurer la détection dès le début des maladies des poumons.



L'assemblage des blindages pour les tubes à rayons X à anode tournante. Nous voyons ici un groupe d'anodes rotatives à rayons X prêtes pour l'expédition.

Pour les appareils de diagnostic, on utilise, soit des tubes à anode fixe, soit des tubes à anode tournante. Les tensions d'anode employées sont comprises entre 50 et 125 kilovolts, le choix des tubes et des conditions d'utilisation dépendant de la partie du corps à examiner. Le matériel correspond également à l'utilisation : radioscopique si l'image est formée sur un écran fluorescent pour inspection immédiate, radiographique si la photographie est prise sur un film afin d'établir un document permanent. A l'autre extrémité de la gamme des appareils, on utilise dans la technique dentaire des tubes beaucoup plus petits, destinés à examiner les emplacements des racines de dents. Ces tubes fonctionnent à des tensions d'anode plus faibles, c'est-à-dire de 45 à 85 kilovolts. Les effets produits par les rayons X sur les tissus vivants sont également mis à contribution pour le traitement de certaines maladies.

La thérapie par rayons X a obtenu des succès considérables dans le traitement de nombreuses maladies de la peau. Ils servent aussi à détruire des tumeurs ou des développements internes parasites, y compris certaines formes du cancer.

L'effet exact et le pouvoir pénétrant des rayons varient avec la longueur d'onde et avec l'intensité et la durée d'application des rayons X employés. Ces facteurs d'utilisation peuvent être commandés, si l'on règle convenablement les conditions de fonctionnement du tube. Pour la thérapie superficielle, c'est-à-dire le traitement des affections de la peau, on emploie une tension d'anode moins élevée que pour la thérapie profonde dans laquelle le traitement agit bien au-dessous de la surface du derme. Dans ce dernier cas, les tubes utilisés fonctionnent à des tensions pouvant atteindre 250 kilovolts.

Les applications industrielles des rayons X portent, principalement, sur l'examen de la structure des matériaux et nous pouvons les ranger en deux grandes classes : l'inspection des produits et des matériaux et les recherches touchant à la nature chimique et à la structure cristalline des substances.

Des exemples significatifs d'examens industriels sont, par exemple, la vérification de grandes pièces de fonderie ou de forge, l'examen des structures soudées, la détection de pailles et d'inclusions d'air.

Les rayons X sont également utilisés pour le contrôle habituel des produits en conserve, pour la détection de la contrebande sur les bagages passés en douane et pour l'examen, sans les ouvrir, des paquets remis à la poste.

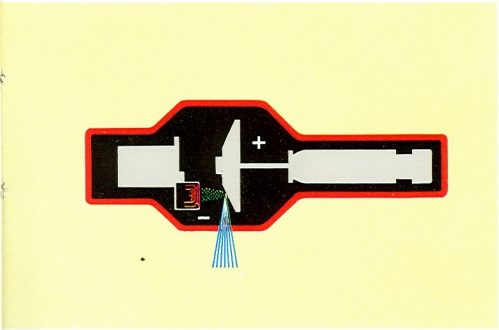
Les recherches sur les structures fines par les rayons X permettent d'étudier la structure cristalline de différents matériaux. On peut, par exemple, mesurer l'angle selon lequel un cristal réfléchit les rayons et la distance entre les couches du cristal. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des rayons X de longueur d'onde connue. Ils sont produits par des tubes comportant des anodes de différents métaux, tels que le cuivre, le fer ou le cobalt. Chacun de ces métaux émet des rayons X présentant une longueur d'onde caractéristique.

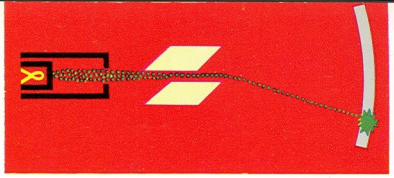
On emploie ces techniques pour déterminer l'angle correct selon lequel il est possible de tailler des cristaux de quartz en vue de leur utilisation dans les dispositifs de commande de fréquence.

Les éléments chimiques différents émettent des rayons X de fréquences caractéristiques (longueurs d'onde correspondantes) lorsqu'ils sont excités par un bombardement électronique. Cette propriété est exploitée dans les spectromètres à rayons X utilisés pour les analyses chimiques.

Très courantes dans les recherches, les techniques d'investigation de la structure fine par les rayons X ont aussi de nombreuses applications pratiques et, quotidiennement, utiles. Nous citerons la détection de pierres précieuses artificielles et d'autres objets admettant la fraude ainsi que le contrôle régulier de matières premières, par exemple, les alliages spéciaux.

Tube à rayons X à anode tournante : Ces tubes conviennent particulièrement pour l'angiocardiographie, la radiographie et la cinématographie par rayons X.





Chapitre VI

Tubes thermioniques à vide poussé (3) -

Tubes à rayons cathodiques

De même qu'une cible métallique peut émettre de l'énergie rayonnante sous la forme de rayons X lorsqu'elle est bombardée par des électrons à déplacement très rapide, de même certains corps chimiques appelés « matières fluorescentes » émettent de la lumière visible lorsqu'ils sont soumis à un bombardement électronique. C'est ce genre de phénomène que nous exploitons dans les tubes à rayons cathodiques. Ils constituent une autre sorte de tubes thermioniques à vide poussé que nous allons décrire.

7.1 Principes généraux

Un tube à rayons cathodiques comporte essentiellement une ampoule en verre vidée d'air, ayant plus ou moins la forme d'une poire et contenant dans la partie la plus étroite, appelée « col », un système d'électrodes appelé « canon à électrons ». A partir de ce canon, un courant électronique est projeté à grande vitesse vers la partie large et plate de l'ampoule dont la surface interne est recouverte d'une couche fluorescente convenable ou d'un mélange de matières de ce genre.

6.1.1 Le canon à électrons

Le canon à électrons le plus simple comme forme comprend une cathode thermionique et une anode percée d'une petite ouverture centrale. Les électrons émis par la cathode sont accélérés vers l'anode qui est maintenue à une forte tension positive par rapport à la cathode. De nombreux électrons sont alors ramassés par l'anode, mais seule une faible proportion de ces électrons traverse l'ouverture centrale et continue à se déplacer, à vitesse constante, vers la couche fluorescente, appelée « écran », qu'elle frappe avec une violence considérable. Une lumière se trouve émise au point d'impact, et à l'instant de l'arrivée sur l'écran, la quantité de lumière est déterminée par l'intensité du faisceau, c'est-à-dire par le nombre d'électrons qui viennent frapper l'écran par unité de temps.
Ce mode de construction fondamental ne correspond pas à un tube très efficace, car une forte proportion des électrons émis n'atteint pas l'écran, puisque les électrons ont été ramassés par l'anode. De plus, en raison de leur répulsion mutuelle, les électrons contenus dans le faisceau se dispersent et forment un faisceau divergent, si bien qu'ils vont finalement exciter une surface de l'écran relativement grande. Toutefois, si nous interposons entre la cathode et l'anode perforée, une ou plusieurs électrodes supplémentaires, chacune de ces électrodes comportant une ouverture centrale, et si nous appliquons des potentiels convenables à toutes ces électrodes, le faisceau électronique ou « rayon cathodique », comme on l'a appelé autrefois, peut être concentré. Ainsi un plus petit nombre d'électrons se trouve capté par l'anode et un plus grand nombre peut atteindre l'écran, donnant ainsi un point lumineux (ou spot) très fin, mais de grande luminance.
On appelle souvent cette disposition des électrodes « lentille électronique », car son effet de concentration sur le courant électronique est bien comparable à celui d'une lentille optique sur un faisceau lumineux. Les applications pratiques du tube à rayons cathodiques tirent parti de deux autres phénomènes : le faisceau électronique peut être dévié par des champs électriques et magnétiques et, de plus, l'intensité du faisceau (courant de faisceau) règle la quantité de lumière produite sur l'écran, l'intensité pouvant être commandée par l'application d'une différence de potentiel convenable entre la cathode et une électrode de commande qui fonctionne alors de la même façon que la grille de commande d'un tube.

6.1.2 Déviation du faisceau

Si un champ électrique est établi entre deux plaques métalliques planes et parallèles situées entre l'anode et l'écran luminescent, de part et d'autre de l'axe du tube, les électrons qui constituent le faisceau vont être attirés vers la

LE TUBE A RAYONS CATHODIQUES

Cette vue en coupe montre la structure interne réelle d'un tube à rayons cathodiques moderne. L'électrode g2 comprend deux parties : une première électrode accélératrice (marquée 5) et une électrode de concentration séparée (marquée 6). Ainsi, on peut faire fonctionner la commande de luminance et celle de concentration sans qu'elles s'influencent mutuellement. La seconde électrode accélératrice (7) est une sorte de diaphragme muni d'une pièce cylindrique pour s'adapter aux dimensions de l'électrode de concentration (6). Le tube contient également un blindage (9) disposé entre les deux paires de plaques de déviation, et une électrode de post-accélération, formée par une couche conductrice à laquelle on applique une forte tension positive.

Le tube à rayons cathodiques permet d'obtenir des oscillogrammes à une fréquence presque quelconque et il constitue une aide indispensable dans de très nombreux domaines : dans les recherches scientifiques et industrielles, dans les travaux de perfectionnement technique, dans les contrôles de fabrication, dans les services d'entretien et dans toutes les branches des usines modernes de production. Quelques exemples d'oscillogrammes sont reproduits ci-dessous.

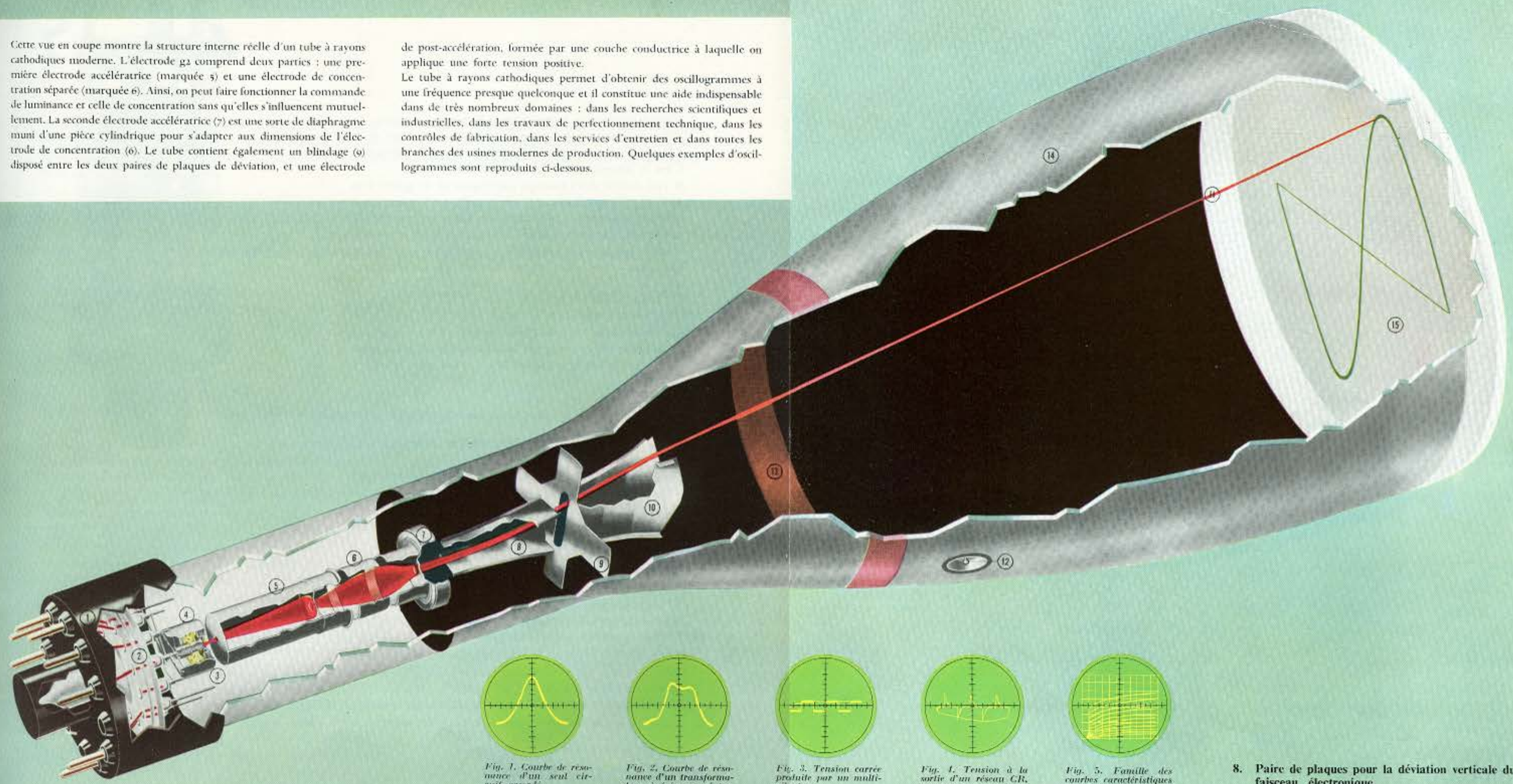


Fig. 1. Courbe de résonance d'un seul circuit accordé

Fig. 2. Courbe de résonance d'un transformateur à fréquence intermédiaire (transformateur FI)

Fig. 3. Tension carrée produite par un multivibrateur

Fig. 4. Tension à la sortie d'un réseau CR, une tension carrée étant appliquée à l'entrée.

Fig. 5. Famille des courbes caractéristiques Ia = f (Va) d'une pentode moderne

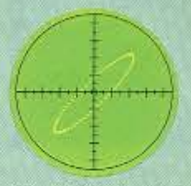


Fig. 6. Mesure de la différence de phase et indication des temps obtenue par interruption périodique du faisceau

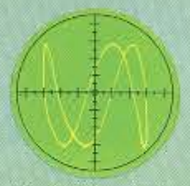


Fig. 7. Détermination du rapport des fréquences de deux tensions alternatives au moyen des figures de Lissajous

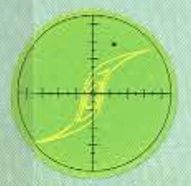


Fig. 8. Courbes des inductions magnétiques obtenues à diverses intensités du champ

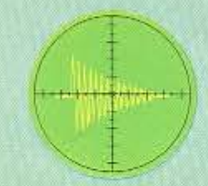


Fig. 9. Oscillation amortie

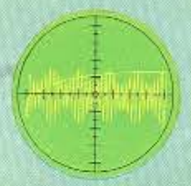


Fig. 10. Onde porteuse modulée en amplitude

1. Culot muni des broches de contact des électrodes.
2. Embase en verre du tube avec des fils des connexions et le tube de verre (queusot) servant au pompage (vide).
3. Cathode à chauffage indirect et filament.
4. Electrode de commande.
5. Première électrode accélératrice munie d'un diaphragme.
6. Electrode de concentration.
7. Seconde électrode accélératrice munie d'un diaphragme.
8. Paire de plaques pour la déviation verticale du faisceau électronique.
9. Blindage entre les deux paires de plaques de déviation.
10. Paire de plaques pour la déviation horizontale du faisceau électronique.
11. Faisceau électronique.
12. Connexion de l'électrode post-accélératrice. Cette électrode est constituée par un dépôt conducteur sur les parois internes de l'ampoule, jusqu'au voisinage de l'écran.
13. Anneau d'isolement entre l'électrode post-accélératrice et la couche conductrice interne dans la direction de l'embase.
14. Ampoule de verre.
15. Écran, enduit d'une matière fluorescente.

LE TUBE A RAYONS CATHODIQUES

Cette vue en coupe montre la structure interne réelle d'un tube à rayons cathodiques moderne. L'électrode g2 comprend deux parties : une première électrode accélératrice (marquée 5) et une électrode de concentration séparée (marquée 6). Ainsi, on peut faire fonctionner la commande de luminance et celle de concentration sans qu'elles s'influencent mutuellement. La seconde électrode accélératrice (7) est une sorte de diaphragme muni d'une pièce cylindrique pour s'adapter aux dimensions de l'électrode de concentration (6). Le tube contient également un blindage (9) disposé entre les deux paires de plaques de déviation, et une électrode de post-accélération, formée par une couche conductrice à laquelle on applique une forte tension positive.

Le tube à rayons cathodiques permet d'obtenir des oscillogrammes à une fréquence presque quelconque et il constitue une aide indispensable dans de très nombreux domaines : dans les recherches scientifiques et industrielles, dans les travaux de perfectionnement technique, dans les contrôles de fabrication, dans les services d'entretien et dans toutes les branches des usines modernes de production. Quelques exemples d'oscillogrammes sont reproduits ci-dessous.

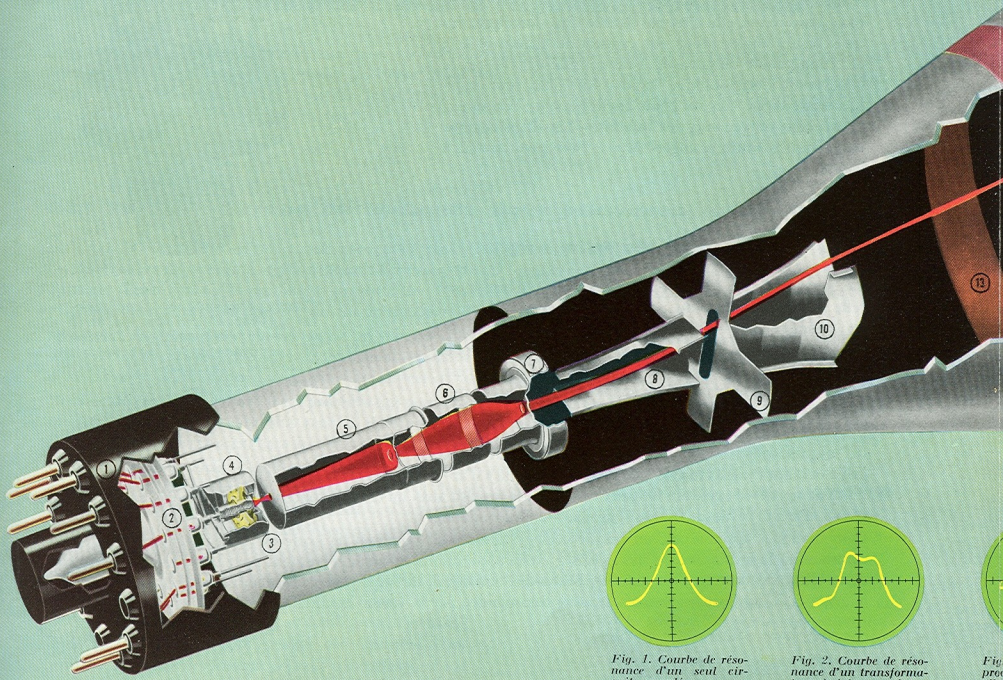


Fig. 1. Courbe de résonance d'un seul circuit accordé

Fig. 2. Courbe de résonance d'un transformateur à fréquence intermédiaire (transformateur FI)

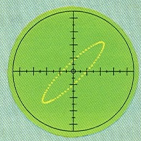


Fig. 6. Mesure de la différence de phase et indication des temps obtenue par interruption périodique du faisceau

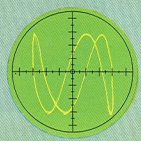
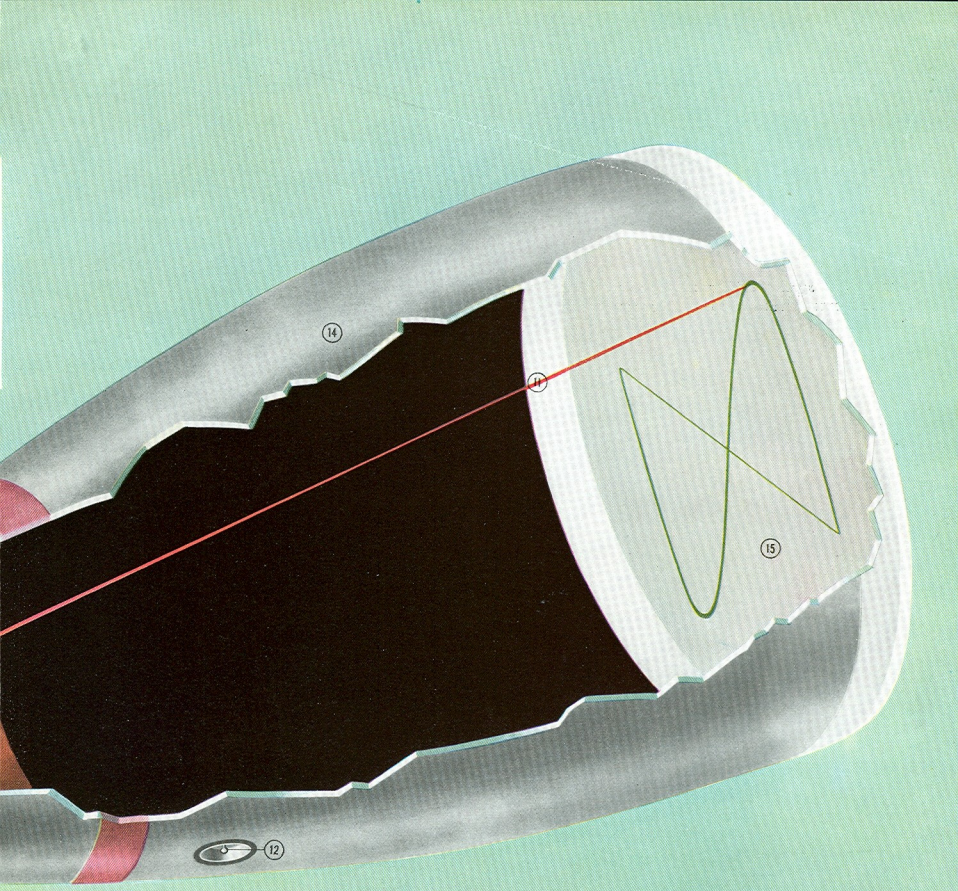
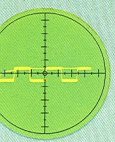


Fig. 7. Détermination du rapport des fréquences de deux tensions alternatives au moyen des figures de Lissajous

1. **Culot muni des broches de contact des électrodes.**
2. **Embase en verre du tube avec des fils des connexions et le tube de verre (queusot) servant au pompage (vide).**
3. **Cathode à chauffage indirect et filament.**
4. **Electrode de commande.**
5. **Première électrode accélératrice munie d'un diaphragme.**
6. **Electrode de concentration.**
7. **Seconde électrode accélératrice munie d'un diaphragme.**





. 3. Tension carrée
duite par un multi-
ateur

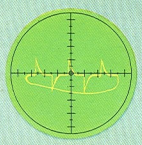


Fig. 4. Tension à la sortie d'un réseau CR, une tension carrée étant appliquée à l'entrée.

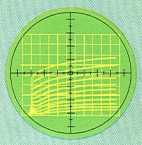


Fig. 5. Famille des courbes caractéristiques la = f (Va) d'une pentode moderne

. 8. Courbes des
ctions magnétiques
nues à diverses in-
ités du champ

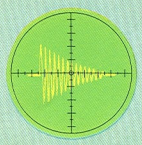


Fig. 9. Oscillation amortie

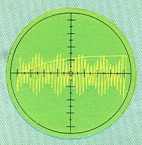
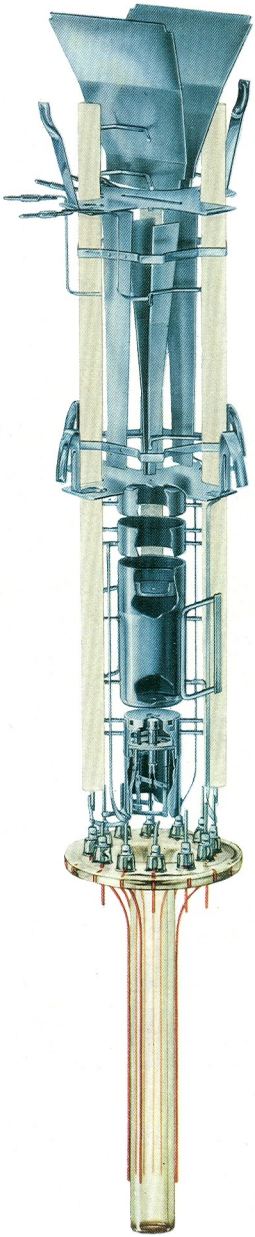
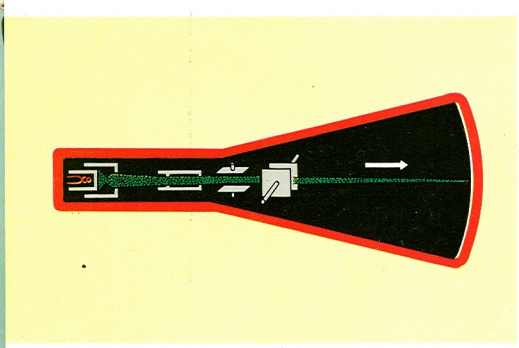


Fig. 10. Onde porteuse modulée en amplitude

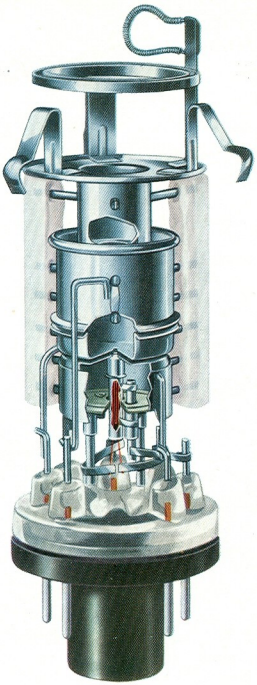
8. **Paire de plaques pour la déviation verticale du faisceau électronique.**
9. **Blindage entre les deux paires de plaques de déviation.**
10. **Paire de plaques pour la déviation horizontale du faisceau électronique.**
11. **Faisceau électronique.**
12. **Connexion de l'électrode post-accélératrice. Cette électrode est constituée par un dépôt conducteur sur les parois internes de l'ampoule, jusqu'au voisinage de l'écran.**
13. **Anneau d'isolement entre l'électrode post-accélératrice et la couche conductrice interne dans la direction de l'embase.**
14. **Ampoule de verre.**
15. **Écran, enduit d'une matière fluorescente.**

Structure du système d'électrodes (canon à électrons) d'un tube-image étudié pour la reproduction de la télévision.





plaque positive et repoussés par la plaque négative. Le point lumineux sur l'écran se trouve alors dévié et la déviation est proportionnelle à la tension de déviation. C'est le procédé de la déviation électrostatique.
Si l'on établit deux champs électriques de ce genre, l'un vertical et l'autre horizontal, on peut diriger le point lumineux sur une partie quelconque de l'écran par un règlage convenable des tensions de déviation. De même, un champ magnétique appliqué au faisceau produit une déviation mais, dans ce cas, elle n'est pas dans la direction du champ mais bien à angles droits par rapport au champ et à la direction initiale du faisceau. Tout comme dans le cas de la déviation électrostatique, le point lumineux peut également être dirigé vers un point quelconque de l'écran par un règlage convenable des intensités des deux champs magnétiques situés à angles droits, l'un par rapport à l'autre.



Canon électronique d'un tube-image. Le système d'électrodes est scellé dans le col de l'ampoule. A l'extérieur du col se trouvent les bobines pour les déviations horizontale et verticale du faisceau.

6.1.3 Modulation du faisceau

La commande de l'intensité du faisceau, qui est aussi celle de la luminance du point sur l'écran, est obtenue en appliquant une tension de commande entre la cathode et une « grille » située entre la cathode et l'électrode accélératrice ou les électrodes accélératrices. La grille est formée ordinairement d'un cylindre métallique qui entoure en partie la cathode et qui est fermé à son extrémité par un disque comportant un petit trou central. Un potentiel négatif constant est appliqué entre la cathode et la grille et il règle par avance la valeur de « repos » ou « d'absence de signal » du courant de faisceau. (La grille produit aussi un effet de concentration sur le faisceau et par conséquent elle fait partie du système de lentille électronique).
Dans quelques applications, un simple règlage manuel du potentiel de grille est la seule chose nécessaire pour commander la luminance du spot. Dans d'autres applications, et particulièrement pour la reproduction des images de la télévision, une tension variable, c'est-à-dire un signal, est superposée à la polarisation négative constante de la grille et la luminance du spot est alors commandée par la valeur instantanée du signal appliqué.

6.1.4 Caractéristiques de l'écran

Les matières fluorescentes des écrans diffèrent par leur *sensibilité*, c'est-à-dire par la quantité d'énergie lumineuse rayonnée pour un montant donné de l'énergie excitatrice. Elles diffèrent aussi par la couleur de la lumière émise et par la rémanence de leur luminescence. Dans le cas d'une matière fluorescente à courte rémanence, la luminescence cesse quelques microsecondes après que l'excitation a disparu; d'autres manières présentent un maintien de luminescence plus grand pouvant durer de quelques millisecondes à plus d'une minute.
Les matières employées pour les écrans des tubes à rayons cathodiques commerciaux, sont en général des sulfures de métaux tels que le zinc ou le cadmium, activés par de faibles traces de métaux purs, tels que le cuivre,

l'argent, le manganèse. Ces métaux déterminent la couleur et la rémanence de la luminescence. Les couleurs que l'on peut obtenir comprennent l'orange, le bleu, le vert ou le jaune ou encore des combinaisons de ces teintes. Certains de ces mélanges utilisés pour les tubes-images de télévision donnent une bonne approximation de la lumière blanche.

6.2 Applications des tubes à rayons cathodiques

Dans la section du tableau réservée aux tubes à rayons cathodiques, nous avons fait figurer quatre symboles. Ils représentent non seulement des modes de construction usuels, mais également les autre principales catégories d'applications de ces tubes. Ce sont : a) la télévision, b) les tubes à rayons cathodiques pour oscilloscopes, c) les indicateurs d'accord et d) les tubes compteurs.

6.2.1 Tubes à rayons cathodiques pour télévision (tubes-images)

Les tubes de télévision sont caractérisés par leurs écrans relativement grands et par leurs cols de faibles diamètres. Quelques tubes de télévision, cependant, ont des écrans de quelques centimètres de diamètre seulement et l'image de petite dimension qu'ils produisent présente une luminosité suffisamment intense, l'image pouvant alors être amplifiée optiquement et projetée sur un écran séparé du tube (tube de projection).

Le canon à électrons d'un tube-image est un système compliqué comprenant une cathode avec filament chauffant, une grille et jusqu'à trois électrodes supplémentaires pour l'accélération et pour la concentration. L'écran est formé d'un mélange de matières fluorescentes qui émettent une lumière sensiblement blanche de courte rémanence.

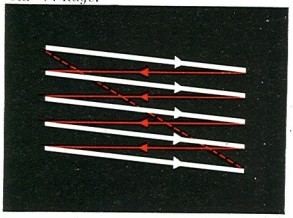
Nous ne décrirons pas en détail les procédés qui permettent de transmettre et de recevoir une image de télévision car l'objet de cet ouvrage est plus général, mais nous indiquerons toutefois comment l'image est convertie en une série de signaux électriques, dans le chapitre VII, sous le titre « Tubes pour caméras de télévision ».

Il suffira donc maintenant d'expliquer que la caméra de télévision, installée dans le studio, divise l'image en un grand nombre de bandes horizontales appelées « lignes » et chaque ligne en un certain nombre de « points » ou « éléments d'image ». La valeur de la lumière de chaque élément d'image est convertie de gauche à droite et ligne par ligne du sommet au bas de l'image, sensiblement de la même manière que les yeux du lecteur parcourent actuellement cette page imprimée. Ce balayage de la scène complète est répété vingt-cinq fois par seconde.

Dans le récepteur de télévision, ces impulsions sont appliquées sous la forme d'une différence de potentiel variable entre la grille et la cathode du tube-image.

Ainsi le courant de faisceau et, par conséquent, l'intensité de la lumière du point d'image varie constamment. L'intensité à un instant quelconque est celle qui correspond à la valeur de la lumière du point lumineux observé ou balayé par le tube de caméra à ce moment même. Le récepteur de télévision comprend également deux montages électroniques appelés « bases de temps » qui produisent des courants en forme de « dents de scie ». Ces courants en dents de scie sont appliqués à deux jeux d'électro-aimants disposés sur le col du tube-image, à angle droit l'un de l'autre et orientés de telle manière que l'un produise une déviation horizontale et l'autre une déviation verticale du faisceau.

Trame des lignes d'une image de télévision (Principe). Le retour des lignes (en rouge) n'est pas visible sur l'image.



Les fréquences et les formes d'ondes des courants de bases de temps sont telles que le spot balaye la surface de l'écran, ligne par ligne, de gauche à droite et de haut en bas, en synchronisme exact avec le balayage de la scène par le tube de la caméra. Ainsi une reproduction de la scène initiale apparaît sur l'écran et se trouve répétée vingt-cinq fois par seconde ; on observe alors une image à illumination continue.

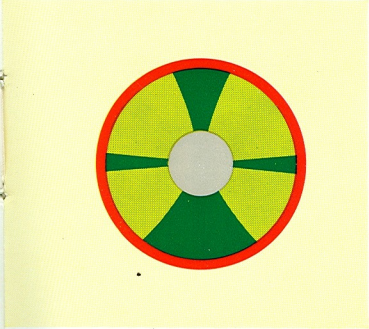
6.2.2 Tubes à rayons cathodiques pour oscilloscopes

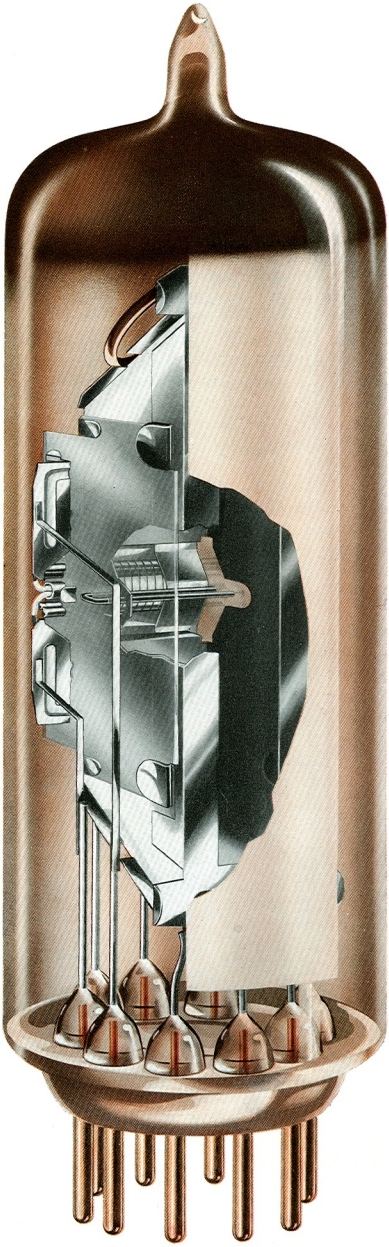
L'examen ou l'étude de phénomènes rapidement variables, tels que, par exemple les variations périodiques qui constituent la « forme d'onde » d'une tension électrique alternative, représente un problème très courant dans les travaux techniques et scientifiques. Les instruments de mesure électriques ordinaires ne peuvent suivre, d'une façon satisfaisante, les variations rapides en raison de l'inertie des parties mobiles de ces instruments. Dans ce sens, le tube à rayons cathodiques offre la solution la plus complète de ce problème. Les tubes à rayons cathodiques utilisés pour ce genre d'applications sont ordinairement construits pour la déviation électrostatique et l'équipement dans lequel ce tube est incorporé est appelé oscilloscope à rayons cathodiques.
L'exemple le plus simple est relatif à l'enregistrement de la forme d'onde d'une tension alternative. La tension à examiner est appliquée entre les plaques de déviation verticale et le point lumineux oscille donc, verticalement, autour d'une valeur moyenne. Simultanément, une tension en forme de dents de scie est appliquée entre les plaques servant à la déviation horizontale. Le point lumineux se déplace sur l'écran, de gauche à droite, et retourne alors rapidement vers le côté gauche de l'écran, ce même mouvement se trouvant répété à une fréquence régulière et bien contrôlée. Si la fréquence de la tension en dents de scie est correctement ajustée, le mouvement résultant du point lumineux sur l'écran trace la forme d'onde de la tension examinée. En d'autres termes, le graphique de la tension est tracé en fonction du temps.
Il est possible d'appliquer ce même principe pour faire apparaître la relation qui existe entre deux phénomènes variables, à la condition que ces phénomènes puissent être exprimés sous la forme de variations d'un potentiel électrique. Par exemple, les modifications de température ou de pression mécanique (y compris les ondes acoustiques), les variations d'intensité lumineuse ainsi que celles des dimensions ou de la position d'un objet peuvent être converties à l'aide de dispositifs « capteurs » en fluctuations de potentiels qui peuvent être observées ou tracées sur l'écran d'un oscilloscope.
Les applications pratiques de l'oscilloscope à rayons cathodiques sont, pour ainsi dire, sans limites et cet instrument est vraiment un outil de grande valeur, aussi bien dans les mains du technicien que dans celles de l'ingénieur ou de l'homme de laboratoire. Dans un chapitre suivant, nous présenterons quelques-unes des applications les plus intéressantes. Mais nous pouvons déjà en constituer une première liste :
— Examen des formes d'ondes électriques.
— Tracé des diagrammes indicateurs de moteurs à vapeur et de moteurs à combustion interne.
— Mesures de contrainte et de dilatation dans les structures mécaniques.
— Recherches concernant les bruits ou les vibrations.
— Vérification de l'effet du régulateur dans les horloges ou dans les montres.
— Vérification de la vitesse des obturateurs d'appareils photographiques et de caméras.
— Indicateur de direction et d'orientation (radars).
— Dispositifs pour l'aide à la navigation.
— Sondages des profondeurs fluviales ou marines (sondages par écho).

6.2.3 Indicateurs d'accord

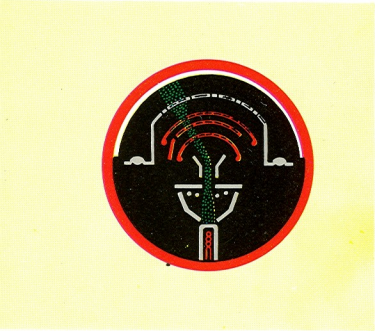
Si l'on veut obtenir une meilleure qualité de reproduction d'un récepteur de radiodiffusion, il faut l'accorder avec précision sur la fréquence de la station « désirée ». Or, à l'oreille, il est difficile de savoir si l'accord est réellement exact, alors qu'un modèle simple de tube à rayons cathodiques peut être employé comme indicateur d'accord sensible et précis. Dans ce dispositif, la dimension et la forme des surfaces lumineuse et obscure se modifient sur un petit écran luminescent lorsqu'on trouve l'accord et une indication claire du réglage optimal est ainsi donnée.

Indicateur d'accord.





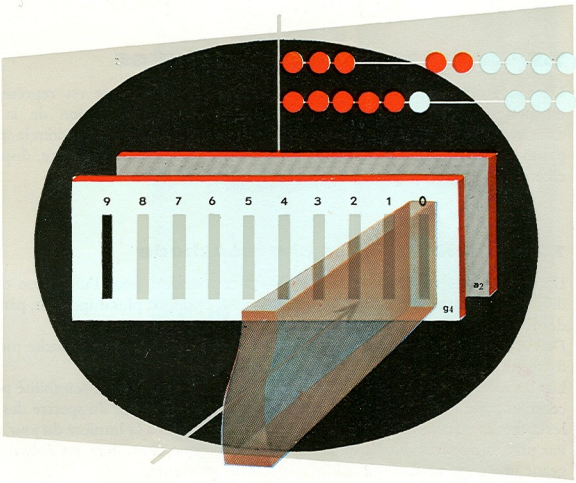
TUBE COMPTEUR DECIMAL
Les impulsions électriques appliquées font dévier un faisceau électronique concentré en forme de ruban (faisceau laminaire). Le faisceau peut ainsi occuper dix positions stables et produire un point lumineux sur un écran fluorescent indiquant les chiffres de 0 à 9.



6.2.4 Tubes compteurs à rayons cathodiques

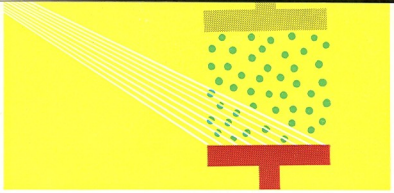
Comme il est facile d'obtenir la déviation du faisceau électronique dans un tube à rayons cathodiques et comme ce mouvement s'effectue sans effet d'inertie, il est possible d'employer ce principe pour le comptage des impulsions électriques, et, tout spécialement, pour les impulsions qui se produisent si rapidement qu'un comptage à grande vitesse est exigible.
Le tube représenté schématiquement sur le tableau général est étudié pour le comptage des impulsions électriques à des vitesses qui peuvent largement dépasser 100 000 impulsions par seconde. Un certain nombre de tubes sont utilisés : le premier indique les unités, le second les dizaines, le troisième les centaines et ainsi de suite. Les impulsions successives font dévier le faisceau horizontalement et, par conséquent, les chiffres 1, ... 2, ... 3, vont s'éclairer successivement. Toute dixième impulsion appliquée au tube des « unités » fait fonctionner un montage électronique. Ce montage fournit une impulsion et l'applique au tube des « dizaines ». A chaque dixième impulsion appliquée au tube des « dizaines », une impulsion va se transmettre au tube des « centaines », etc.

On a étudié dans ce chapitre les principales applications des tubes à rayons cathodiques simples de différents types. Mais il existe aussi des tubes où les particularités des tubes à rayons cathodiques s'associent à certaines propriétés des tubes photoélectriques. Ces tubes spéciaux seront décrits à la fin du chapitre suivant qui est consacré aux dispositifs photoélectriques.



Dessin expliquant le principe de fonctionnement du tube E 1 T. Un faisceau électronique en forme de ruban (faisceau laminaire) balaye la surface d'une électrode à fentes g4 interposée entre la cathode et l'anode a2. Cette dernière électrode comporte également des fentes à travers lesquelles le faisceau atteint l'écran fluorescent.

Chapitre VII



Dispositifs photoélectriques à vide poussé

7.1 Principes généraux

Les tubes électroniques dans lesquels on emploie des cathodes photo-émissives peuvent être considérés comme le dispositif inverse des tubes à rayons cathodiques. En effet, les tubes à rayons cathodiques transforment l'énergie cinétique des électrons mobiles en énergie rayonnante (lumière) tandis que les dispositifs photoélectriques convertissent l'énergie lumineuse en électrons susceptibles de quitter la cathode.
La cellule photo-émissive fondamentale, ou cellule photoélectrique comme on l'appelle couramment, consiste en une ampoule de verre scellée, incorporant une cathode photo-émissive et une anode. Lorsque la cathode reçoit de la lumière, des électrons libres sont extraits et sont ramassés par l'anode qui est maintenue à un potentiel positif, par rapport à la cathode. A des tensions supérieures à une certaine valeur limite, l'intensité du courant anodique d'une cellule photoélectrique à vide poussé est proportionnelle à la quantité de lumière qui tombe sur la cathode. La cellule photoélectrique peut donc détecter la présence ou l'absence de lumière et le courant anodique, convenablement amplifié si cela est nécessaire, peut servir à faire fonctionner des signaux d'alarme ou à actionner des équipements de commande automatique en bon accord avec les variations de l'illumination. On peut également en mesurer ainsi l'intensité.
Les ampoules des cellules photoélectriques peuvent être soit vidées d'air (cellules à vide poussé), soit remplies de gaz (cellules à gaz). Nous n'examinerons, dans ce chapitre, que les cellules à vide poussé, mais la description des cellules à remplissage gazeux sera donnée dans la suite de cet ouvrage.

7.2 Cellules photoélectriques

Un mode de construction courant de cellule photoélectrique est représenté à la page 57. Ce type de cellule est destiné à être employé dans les applications où la direction de la lumière incidente forme un angle droit avec l'axe du tube. La cathode est alors un demi-cylindre ouvert dont la surface interne est enduite d'une matière photo-émissive. L'anode est un bâtonnet de métal, de faible diamètre, disposé suivant l'axe du demi-cylindre de cathode.

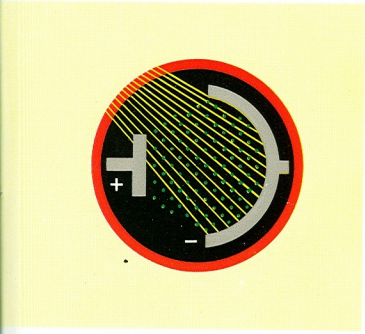
7.2.1 Matières de la photocathode

De nombreuses substances photo-émissives conviennent pour l'utilisation comme photocathodes. Toutefois, elles diffèrent par leurs sensibilités spécifiques et aussi, ce qui est plus important, par leurs sensibilités relatives aux lumières de diverses couleurs.
Deux types de photocathode sont communément utilisés : a) une couche monoatomique de césium sur de l'oxyde d'argent ; b) une couche de césium sur de l'antimoine.
Les cathodes au césium sur oxyde d'argent présentent une forte sensibilité pour la lumière des lampes à incandescence et pour les radiations situées sur l'extrémité infrarouge du spectre des ondes électromagnétiques, tandis que les cathodes au césium sur antimoine sont plus sensibles à la lumière du jour et aux lumières à prédominance bleue. Par un choix convenable de la cellule photoélectrique, il est donc possible de traiter les différentes applications exigeant une certaine discrimination à l'égard des couleurs.

7.2.2 Applications les plus courantes des cellules photoélectriques à vide poussé

Le courant de ces cellules n'étant que de quelques microampères, en général, elles exigent une forte amplification par tubes à vide disposés en cascade.

Cellule photoélectrique à vide poussé avec cathode de césium sur argent oxydé, particulièrement sensible à la lumière des lampes à incandescence et aux radiations du proche infrarouge.



En raison de leur stabilité, les cellules photoélectriques à vide poussé sont généralement adoptées pour des applications exigeant une réponse à des variations graduelles de l'intensité lumineuse ou dans celles qui nécessitent des mesures ou des combinaisons précises. Un certain nombre d'exemples choisis sont décrits, assez brièvement, dans le chapitre XII, mais il est facile d'avoir une idée générale des applications possibles en consultant la liste suivante :

> Equipements pour contrôles de flammes. Installations automatiques de commutation d'éclairages. Détection de fumées. Alarmes d'incendie. Pyromètres optiques pour les températures comprises entre 800 et 3 000° C. Contrôle et comparaison des couleurs. Vérification de couleurs de cuisson dans les biscuiteries. Photométrie et posemètres (photographie et cinéma).

7.3 Photomultiplicateur

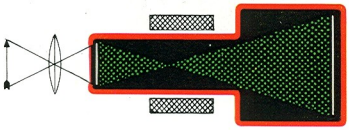
Un photomultiplicateur est une cellule photoélectrique à vide poussé. Des électrons primaires sont émis par la cathode sous l'action de la lumière et sont alors multipliés ou amplifiés à l'aide d'une émission secondaire. Pour obtenir ce résultat, le courant électronique primaire extrait de la photocathode est d'abord dirigé sur une électrode maintenue à un potentiel positif et qui présente un coefficient d'émission secondaire supérieur à l'unité. En d'autres termes, cette électrode émet plus d'électrons secondaires qu'elle ne reçoit d'électrons primaires (page 59, figure du bas). Les électrons secondaires, éjectés par cette électrode, sont dirigés vers une seconde électrode à émission secondaire portée à un potentiel positif encore plus élevé. Un nombre d'électrons encore plus grand en sort et ils sont dirigés à leur tour vers une autre électrode à émission secondaire (dynode), et ainsi de suite, si bien qu'après une succession de dix émissions secondaires, ou d'un plus grand nombre, le courant électronique final est ramassé par la véritable anode. Un type de tube photomultiplicateur commercial récent comporte onze étages à émission secondaire et donne une amplification de courant de l'ordre de 2,5 millions.

7.4 Convertisseur d'images

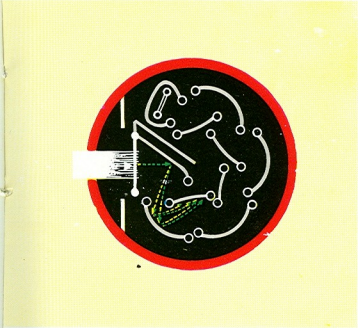
Dans le convertisseur d'images, le principe de la cellule photoélectrique et celui du tube à rayons cathodiques ont été combinés. L'image optique est d'abord projetée sur une photocathode plane. Chaque petit élément de surface de la photocathode émet des électrons proportionnellement à la luminance de cette fraction particulière de la scène originale ou de l'image. Ces électrons sont accélérés et servent à bombarder un écran luminescent situé à l'extrémité du tube. Ainsi une certaine quantité de lumière se trouve émise par chaque surface élémentaire de l'écran, reproduisant ainsi l'image originale.

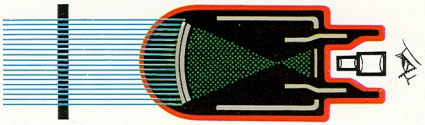
Il semblerait, à première vue, que la reproduction d'une image déjà existante ne serait d'aucune utilité. Mais nous constatons, dans la pratique, que ce tube a, au contraire, des applications très utiles. En premier lieu, on peut employer une matière de photocathode qui réponde à des radiations auxquelles l'œil humain n'est pas sensible, par exemple, une radiation infrarouge. Il est évident que l'écran luminescent en donne l'image en lumière visible. Un exemple caractéristique est le télescope infrarouge qui constitue une aide précieuse pour la vision nocturne.

A l'aide d'un potentiel négatif appliqué à une électrode de commande, il est possible de bloquer le courant électronique entre la photocathode et l'anode, ce qui supprime, par conséquent, l'image sur l'écran. On peut alors la faire apparaître de nouveau, pendant une durée très courte, et contrôler cela avec précision, si l'on applique une impulsion électrique positive à l'électrode de commande. Le tube fonctionne alors comme un diaphragme très rapide. Ce procédé permet de prendre des photographies de l'image sur l'écran fluorescent, suivant des temps de pose extrêmement courts.



Tube photomultiplicateur incorporant un système de multiplication du nombre des électrons par des émissions secondaires successives (fournies par les dynodes).





7.5 Intensificateur d'images

L'intensificateur d'images est pratiquement comparable au convertisseur d'images dans son principe. Toutefois, le tube est étudié de telle manière que le courant électronique est émis par une cathode complexe dont la couche finale est une véritable photocathode. La lumière émise par cette photocathode est alors concentrée et envoyée sur un écran luminescent de dimensions relativement réduites. L'image finale est, par conséquent, beaucoup plus petite que l'image originale, mais elle est bien plus lumineuse.

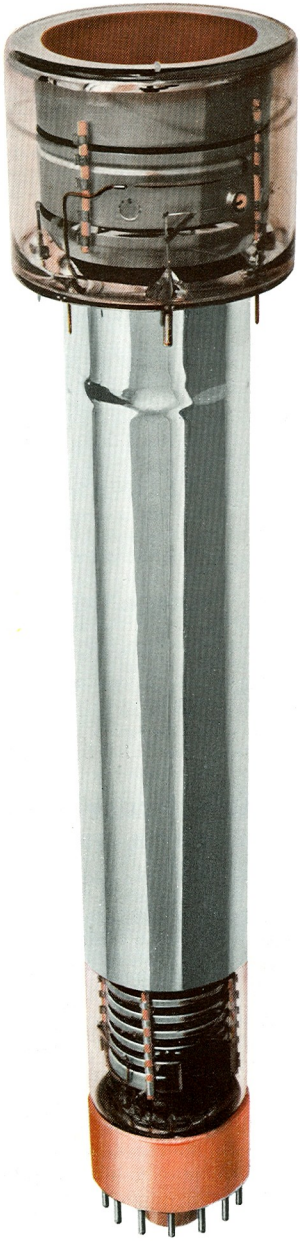
7.6 Tubes pour caméras

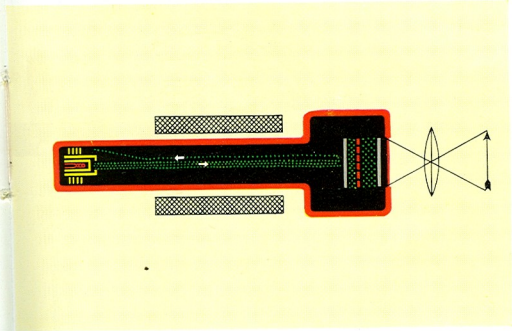
Il est nécessaire, en télévision, d'utiliser un traducteur qui convertisse les variations de lumière et d'ombre de la scène originale en variations électriques correspondantes qui seront transmises aux téléspectateurs. Ces signaux électriques de télévision sont produits par des tubes électroniques généralement appelés « tubes pour caméras ».
Dans les tubes pour caméras de télévision, plusieurs principes des tubes thermioniques et des tubes photoélectriques se trouvent combinés d'une façon intéressante.

7.6.1 Iconoscope-Image

Nous allons décrire le principe de fonctionnement du tube pour caméra appelé « iconoscope-image ». Il est représenté sur le tableau général au coin gauche supérieur de la section réservée aux tubes pour caméras. Nous aurons ainsi une idée générale sur le mode de production du signal de télévision. La scène à téléviser est projetée par un système optique sur une cathode photo-émissive placée derrière une fenêtre de verre, à l'extrémité la plus large du tube. Le nombre des électrons émis par chaque élément de la surface de la cathode est proportionnel à la luminance de cette faible partie de la scène. Ces électrons sont alors accélérés par un champ électrique et dirigés vers l'autre extrémité du tube, où nous voyons une cible constituée par une plaque ou une feuille de mica. Cette matière présente un coefficient d'émission secondaire assez élevé. Cela veut dire qu'elle émet un plus grand nombre d'électrons secondaires qu'elle ne reçoit d'électrons primaires à partir de la photocathode.
La perte de ces électrons secondaires, ramassés par la couche conductrice déposée sur la surface interne de l'ampoule chargée positivement, laisse, par conséquent, la cible chargée positivement. Le potentiel positif en chaque point de la cible est alors proportionnel à la valeur de la lumière sur la portion correspondante de la scène originale.
La cible étant formée d'une matière isolante, les différences de potentiel aux divers points de cette plaque vont persister. Il s'établit donc sur la cible une image de la scène « formée de charges électriques ». Cette image électrique est ensuite convertie en un signal de télévision par le procédé suivant : une cathode thermionique et un système d'électrodes forment dans le tube un canon à électrons, semblable à celui d'un tube à rayons cathodiques. Cet ensemble est disposé dans l'ampoule de telle manière que les électrons projetés par le canon vont frapper la cible sur laquelle l'image de la scène a été produite sous forme de charges.
Le faisceau électronique du canon se trouve concentré sous la forme d'un pinceau très fin que l'on met au foyer sur le plan de la cible.
A l'aide de deux jeux d'électro-aimants, parcourus par des courants en dents de scie de fréquences convenables, le faisceau finement concentré balaye alors la surface de la cible, point par point et ligne par ligne, de gauche à droite et de haut en bas, la surface totale de la cible étant balayée vingt-cinq fois par seconde.
La réaction qui se produit entre la charge positive de l'image et les électrons qui viennent du canon est très compliquée mais, en moyenne, les charges positives de l'image sont neutralisées point par point et ligne par ligne. La neutralisation du potentiel positif de chaque point élémentaire individuel produit une variation correspondante du potentiel de la plaque métallique située derrière la cible. Ce sont ces fluctuations de potentiel qui constituent le signal d'image de télévision.

Tube pour caméra utilisé dans les studios de télévision pour convertir une image optique en signal électrique.



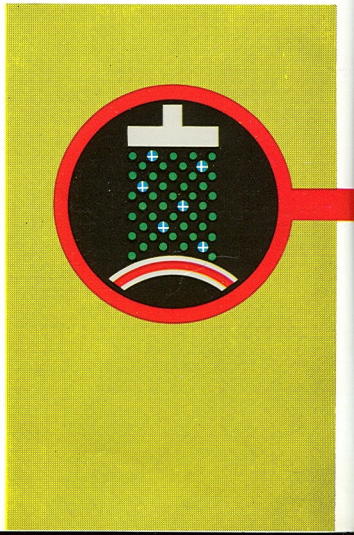


7.6.2 L'orthicon-image

L'orthicon-image est un tube pour caméra de télévision bien plus efficace que le précédent. Il est aussi représenté schématiquement sur le tableau général.
Dans ce dispositif, la scène est également projetée par un procédé optique sur la photocathode, produisant ainsi une émission d'électrons. L'intensité du courant électronique correspond, en chaque point, à la luminance de la portion neutralisée de la scène. Ces électrons sont accélérés dans la direction d'une cible à émission secondaire, les électrons secondaires étant ramassés par une grille chargée positivement et située entre la photocathode et la cible.
La surface arrière de la cible est balayée par des électrons projetés par un canon placé à l'autre extrémité du tube. La configuration du champ électrique qui provoque le balayage du faisceau vers la cible est telle que les électrons arrivent à son voisinage à très faible vitesse. De plus, la cible reçoit une tension de polarisation telle qu'elle est au même potentiel que la cathode du canon à électrons. En l'absence d'image, les électrons de balayage sont donc repoussés par la cible et s'en retournent vers l'anode du canon. Par contre, lorsqu'une scène est projetée sur la photocathode, produisant ainsi sur la cible une image de charges positives, un nombre d'électrons suffisant est extrait par le faisceau de balayage et vient neutraliser les potentiels positifs locaux aux différents points de la surface de la cible.
Le nombre des électrons de balayage qui reviennent de la cible vers l'anode du canon à électrons est donc moindre que le nombre qui va vers l'extérieur. En d'autres termes, le courant électronique de retour se trouve modulé par la luminance des éléments successifs d'images qui ont été balayés.
Dans son retour vers l'anode du canon à électrons, ce courant modulé se déplace maintenant à grande vitesse et frappe une plaque circulaire d'où il extrait des électrons secondaires. Les électrons secondaires sont déviés, par des champs électriques convenables, vers une succession d'électrodes à émission secondaire (multiplicateurs d'électrons) ce qui permet d'obtenir, pour le signal de sortie, un gain ou une amplification de 200 à 500 fois le signal d'entrée, sur l'électrode finale.

7.6.3 Le vidicon

Le vidicon, ou tube photoconducteur pour caméra, diffère des autres tubes déjà décrits par sa construction et par son emploi beaucoup plus simples : l'iconoscope-image et l'orthicon-image utilisent des cibles à émission secondaire sur lesquelles on a formé une « image de charges électroniques » de la scène à transmettre, tandis que dans le tube photoconducteur, on utilise certaines matières qui non seulement émettent des électrons, mais subissent une variation de leur résistance électrique sous l'action de la lumière.
Dans ce tube, la cible est formée par une couche de matière photoconductrice, déposée sur une plaque métallique *transparente* appelée « plaque de signal ». La scène à téléviser est projetée par une méthode optique à travers cette plaque sur la matière photoconductrice. La résistance de chaque petit élément (grain) de la couche photoconductrice varie en concordance avec la quantité de lumière qui tombe sur sa surface, c'est-à-dire en accord avec la valeur de la lumière sur les différentes portions de la scène transmise. En l'absence de lumière, la résistance est très grande ; sous une lumière croissante, la résistance diminue. La couche photoconductrice est balayée par un faisceau électronique à faible vitesse, comme dans l'orthicon-image, et la plaque de signal est polarisée par un petit potentiel positif par rapport à la cathode du canon. Les électrons du faisceau de balayage éprouvent donc une tendance à circuler plutôt de la couche photoconductrice vers la plaque de signal et le nombre des électrons qui se meuvent de cette façon va dépendre de la résistance de la matière photoconductrice au point qui se trouve balayé, à un instant donné. Le courant dans le circuit de la plaque de signal à un instant quelconque est, par conséquent, proportionnel à la valeur de la lumière de la portion correspondante de la scène originale. Ce sont les variations de ce courant de la plaque de signal qui constituent le signal d'image de télévision.
Les différents types de tubes vidicons sont principalement utilisés pour la télévision industrielle, pour la transmission de titres ou de mires dans les émissions de télévision officielles.
Les descriptions que l'on vient de donner, ainsi que les explications du fonctionnement des différents types de tubes pour caméras, sont, il faut bien le dire, très simplifiées et assez incomplètes. Cependant, le lecteur aura acquis une idée générale sur les principes appliqués dans ces tubes.



Chapitre VIII

Tubes thermioniques à remplissage gazeux

8.1 Principes généraux

Nous devons étudier maintenant différentes formes de tubes électroniques dont l'ampoule, au lieu d'être vidée d'air, est remplie d'un gaz, tel que le xénon ou la vapeur de mercure ou un mélange de ces deux gaz. Comme nous l'avons indiqué au chapitre III, les tubes à remplissage gazeux peuvent être classés en quatre catégories principales : ceux qui emploient les cathodes thermioniques, les tubes à cathode froide, les tubes à cathode photo-émissive et ceux à cathodes liquides. Dans ce chapitre, nous allons considérer les tubes thermioniques à remplissage gazeux. Avant de décrire ces types de tubes et leurs applications, il semble utile de résumer, à grands traits, les principes de la conduction électrique dans un gaz, que nous avons exposés d'une manière plus détaillée dans la section 1.4. Un courant électrique circulant dans un récipient rempli de gaz est formé d'un courant électronique se déplaçant de la région à faible potentiel vers une anode maintenue à un potentiel plus ou moins élevé. Dans leur déplacement, les électrons peuvent entrer en collision avec les atomes du gaz à l'intérieur du tube et si un électron se meut à une vitesse suffisante, à l'instant de la collision, il peut éjecter un électron de l'atome qu'il vient de choquer. De cette manière, le courant électronique initial se trouve augmenté dans des proportions considérables. Ce procédé est connu sous le nom « d'amplification par le gaz ».
Un tube thermionique à remplissage gazeux comprend donc, essentiellement, une ampoule remplie d'un gaz ou d'une vapeur à une pression convenable et au moins deux électrodes : une cathode thermionique et une anode. Dans certains tubes il y a également une ou plusieurs électrodes de commande (grilles). Les électrons émis par la cathode thermionique sont accélérés dans la direction de l'anode si cette électrode est portée à un potentiel positif, par rapport à la cathode. Sur le chemin qui mène à l'anode, un certain nombre des électrons présents ionisent les atomes du gaz par collision et le courant anodique est ainsi beaucoup plus grand que celui d'un tube à vide poussé qui aurait les mêmes dimensions et fonctionnerait dans les mêmes conditions.

8.2 Diodes thermioniques à remplissage gazeux

8.2.1 Redresseurs à remplissage gazeux

La forme la plus familière de diode thermionique à remplissage gazeux est celle qui est employée comme redresseur pour obtenir un courant continu à la sortie, à partir d'un courant alternatif appliqué à l'entrée. Les montages utilisés sont tout à fait analogues à ceux que l'on applique dans les redresseurs à tubes à vide poussé. Toutefois, comme de très forts courants peuvent y circuler, leurs principales applications pratiques sont évidemment celles qui exigent de forts courants continus. Les exemples les plus courants sont les alimentations pour les anodes des amplificateurs de grande puissance, les alimentations pour les équipements émetteurs, ainsi que les chargeurs pour les batteries d'accumulateurs. Le redresseur à tube à remplissage gazeux offre l'avantage d'avoir une très faible résistance interne. Ainsi la puissance perdue dans le tube même est très petite et le rendement de redressement est très élevé.

8.2.2 Générateurs de bruit à tubes à remplissage gazeux

La plupart des appareils électroniques sont commandés par une tension électrique à l'entrée (« signal ») mais, en supplément de ce signal, l'appareil peut aussi être sensible à des oscillations parasites engendrées par des causes très différentes. Il se produit par exemple, dans tous les tubes électroniques, des fluctuations très faibles de courant,

assez désordonnées, de petites variations d'émission dues aux modifications de température de la cathode ; d'autres changements encore, attribuables à la répartition du courant électronique entre deux électrodes positives ou un plus grand nombre. Il faut encore considérer d'autres signaux parasites possibles, dus aux variations de température de l'antenne et d'autres circuits de l'appareil. Les radiations connues sous le nom de rayons cosmiques exercent aussi une influence parfois non négligeable.

Dans les appareils de radars ainsi que dans les amplificateurs pour disques, ces variations se manifestent sous la forme d'un bruit ou d'un souffle qui vient se superposer au signal de sortie musical normal. Dans les appareils qui ne servent pas à la reproduction du son, les effets des signaux parasites se manifestent par des aspects différents, mais on appelle toujours cela du « bruit ».

Il est souvent nécessaire d'en mesurer les effets ou, au moins, de les comparer avec un étalon de référence. Les appareils générateurs de « signal de bruit étalon » sont très divers. Celui qui utilise une source de bruit par tube à remplissage gazeux convient particulièrement pour les mesures aux fréquences très élevées de l'ordre de quelques milliers de mégahertz. Il comprend un tube à décharge à remplissage gazeux avec cathode thermionique. La nature de cette décharge, discontinue, produit de petites variations du courant anodique qui transmet, par conséquent, un signal de « bruit » à l'entrée de l'appareil à examiner.

L'essai consiste à comparer la puissance de bruit donnée par l'appareil dans des conditions normales et celle qui se produit lorsque l'on met en fonctionnement le générateur de bruit.

8.3 Tubes thermioniques à remplissage gazeux commandés par la grille

Dans les tubes à vide poussé commandés par la grille, le potentiel appliqué à l'électrode de commande (grille) détermine le taux de départ des électrons de la région de la cathode dans leur circulation vers l'anode. Dans les applications courantes, un signal, c'est-à-dire des variations de potentiel appliquées à la grille, commandent la valeur instantanée du courant anodique.

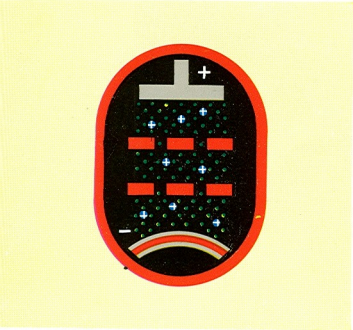
Dans les tubes thermioniques à remplissage gazeux commandés par la grille, la valeur du potentiel de grille ne commande pas effectivement la valeur du courant anodique, mais détermine seulement si le tube devient conducteur ou non conducteur, ou plutôt elle détermine à quel instant le tube devient conducteur. De la même façon, le potentiel de la grille peut servir à commander la valeur moyenne du courant anodique, puisqu'il détermine la durée des périodes alternatives de conduction et de non-conduction.

Considérons d'abord une simple diode thermionique à remplissage gazeux. Si la tension de l'anode est plus grande qu'une certaine valeur critique appelée « tension d'amorçage », le tube est conducteur et, en raison de l'ionisation du gaz de remplissage, le courant anodique augmente rapidement jusqu'à une valeur déterminée par la tension de l'anode et par la résistance totale du circuit.

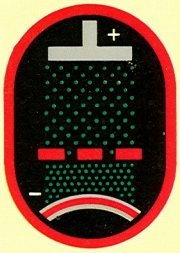
Mais, si nous interposons une électrode de commande, ou « grille », entre la cathode et l'anode et si un potentiel négatif suffisant est appliqué à cette grille, les électrons seront repoussés et ils ne pourront pas traverser la grille dans la direction de l'anode. Il n'y aura donc pas de courant anodique. Si nous réduisons progressivement le potentiel négatif de la grille, nous atteindrons finalement une valeur de la tension de la grille à laquelle le champ positif dû à l'anode prédomine sur le champ négatif dû à la grille. Un courant anodique commence alors à circuler et l'ionisation du gaz de remplissage se produit. Le courant anodique croît, presque instantanément, à une valeur déterminée par les conditions du circuit. Pour un type donné de remplissage gazeux et de pression interne, la valeur du potentiel de la grille à laquelle le tube devient conducteur dépend effectivement de la tension de l'anode.

Dès que le courant anodique a commencé à circuler, il ne peut plus être arrêté par un simple accroissement de la tension négative de la grille. Le tube continue donc à conduire sauf si l'on retire la tension de l'anode, en interrompant, par exemple, le circuit de l'anode. Il conduit seulement jusqu'au moment où l'on réduit la tension de l'anode à une valeur inférieure à la tension d'amorçage du tube considéré. On peut expliquer l'impossibilité d'interrompre le courant anodique par l'application d'un potentiel négatif suffisant à la grille par les ions positifs qui se forment lors de l'ionisation du remplissage gazeux et se déplacent en sens inverse des électrons. Ils vont dans la direction de la cathode et ils neutralisent le champ négatif dû à la grille.

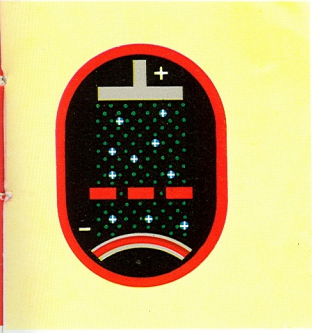
Thyratron tétrode miniature pour des petits équipements d'électronique industrielle.



Thyratron triode à gaz.



Thyratron triode à vapeur de mercure pour fortes puissances.



8.3.1 Les thyratrons

Les procédés de commande que l'on vient de décrire donnent aussi la clef de l'une des principales applications de la triode thermionique à remplissage gazeux, c'est-à-dire un relais électronique agissant rapidement et que l'on peut tenir « ouvert » par l'application d'une tension négative à la grille. On forme rapidement ce relais si l'on applique à cette même électrode une impulsion positive de courte durée. Un tube de ce genre, employé de cette façon, s'appelle un thyratron.

Le thyratron triode a trois électrodes, mais le thyratron qui comporte deux grilles est un thyratron tétrode, dont le principal avantage est la modification de la caractéristique de commande par le réglage du potentiel de la deuxième grille. On peut faire varier, de cette manière, la gamme des tensions de commande appliquées à la grille et qui rendent le tube conducteur.

Le thyratron offre l'avantage important de fournir des courants très forts à des tensions élevées sans que se produisent les arcs ou les brûlages de contacts destructeurs qui se présentent ordinairement dans le cas des contacteurs mécaniques ou des relais électromagnétiques.

Parmi les applications courantes des thyratrons, nous citerons les équipements de commande automatique ou d'alarme qui obéissent à l'application de signaux de puissances relativement faibles comme ceux que fournissent les cellules photoélectriques. Les thyratrons sont également utilisés pour le minutage automatique d'opérations industrielles, par exemple, pour la soudure électrique par points.

8.3.2 Redresseurs à commande par la grille

Une triode ou une tétrode à remplissage gazeux constitue, essentiellement, une soupape à conduction dans un seul sens : les électrons ne peuvent circuler que de la région de la cathode vers l'anode, et non dans la direction inverse. Si le courant anodique est prélevé sur une source à courant alternatif, ce courant ne pourra donc circuler que durant les alternances positives de l'alimentation de l'anode et cela ne se produira que si le potentiel de la grille a une valeur supérieure à la valeur critique.

Différents procédés consistant, par exemple, à alimenter l'anode et la grille à partir de sources alternatives et à régler la relation de phase entre les tensions de l'anode et de la grille, permettent de déterminer la durée de la conduction du tube au cours de chaque alternance positive et, par conséquent, de régler la valeur moyenne du courant anodique.

8.3.3 Les plasmatrons

Le thyratron (voir le paragraphe 8.3.2.) commande seulement l'instant où le tube commence à conduire. Il est vrai, qu'en prélevant l'alimentation sur une source de courant alternatif et en réglant l'instant de l'« amorçage » du tube au cours de chaque alternance positive, la valeur moyenne du courant anodique peut être commandée sur une période complète. Cela ne peut pas être considéré comme une commande continue. La commande continue est, par exemple, celle qui est obtenue par les variations du potentiel appliqué à la grille de commande d'un tube à vide poussé et qui détermine instantanément les valeurs du courant anodique. Or, le plasmatron permet d'obtenir aussi une telle commande continue, mais avec les avantages de faible résistance interne qui sont attachés au tube thermionique à remplissage gazeux.

Afin de comprendre le principe des plasmatrons, nous devons nous souvenir que dans les tubes thermioniques à remplissage gazeux les électrons émis par une cathode chauffée ont à jouer deux rôles. Il faut d'abord qu'ils ionisent le remplissage gazeux par des collisions, ce qui permet d'obtenir le « plasma », une région où l'on trouve, pratiquement, des populations égales d'électrons et d'ions positifs. Ce plasma forme un chemin de faible résistance à travers le tube.

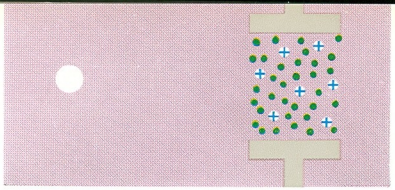
Les électrons doivent former une certaine proportion du courant anodique réel efficace du tube.

Dans les plasmatrons, ces deux fonctions sont séparées et sont accomplies par deux courants électroniques distincts, provenant de deux cathodes thermioniques.

Le plasma est produit par l'ionisation du remplissage gazeux, un courant électronique relativement faible circulant entre la cathode auxiliaire et l'anode, la tension entre la cathode auxiliaire et l'anode étant suffisante pour démarrer

et pour maintenir la décharge. Grâce à la bonne conductivité du plasma, nous pouvons obtenir un plus fort courant anodique efficace ; il circule entre l'anode et la cathode principale. Cela peut être obtenu, par exemple, par la variation du courant d'ionisation, entre l'anode et la cathode auxiliaire, laquelle commande la densité et, par conséquent, la conductivité du plasma. En variante, le courant anodique principal peut être commandé d'une manière continue au moyen d'un potentiel positif variable, appliqué à une grille de commande située entre l'anode et la cathode principale. Un tel signal a pour effet de faire varier la surface de la section réelle du plasma et, en conséquence, sa résistance est modifiée.

Les propriétés des tubes redresseurs sont essayées dans les conditions mêmes du fonctionnement.



Chapitre IX

Tubes à cathode froide

9.1 Principes généraux

Les tubes à cathode froide sont des tubes à remplissage gazeux, contenant au moins deux électrodes, la cathode et l'anode et parfois une ou plusieurs électrodes auxiliaires. Les électrons ne sont émis à partir de la cathode, ni par application de chaleur comme dans les tubes thermioniques, ni par irradiation de lumière comme dans les tubes photo-émissifs. Ils sont éjectés de la cathode par bombardement d'ions positifs qui proviennent de l'ionisation du remplissage gazeux. On s'arrange pour avoir quelques électrons libres présents dans le tube grâce à la minime ionisation produite, soit par la faible radiation cosmique ambiante, soit par la radiation réglée d'une source interne. Lorsque la tension de l'anode est appliquée, ces quelques électrons libres sont accélérés dans la direction de l'anode et, si la tension de l'anode est suffisamment élevée, les électrons atteignent l'énergie électrique nécessaire qui leur permet d'ioniser les atomes d'un gaz quelconque avec lesquels ils peuvent entrer en collision. Le courant électronique est augmenté dans des proportions très notables de cette façon et, de plus, les ions positifs qui en résultent se trouvent accélérés dans la direction opposée à celle des électrons et, par conséquent, ils se déplacent dans la direction de la cathode. Ils la frappent avec une violence si grande que des électrons secondaires se trouvent éjectés de la matière de la cathode. Le courant électronique à travers le tube se trouve ainsi encore augmenté et il se maintient sous la forme d'une « décharge » continue.

Les caractéristiques individuelles des tubes à cathode froide dépendent d'un certain nombre de facteurs, les plus importants étant la nature et la pression du gaz de remplissage, la nature de la matière qui forme la cathode, les dimensions physiques du système d'électrodes et la tension appliquée.

9.2 Stabilisateurs de tension et tubes pour tensions de référence

Les stabilisateurs de tension sont des diodes à cathode froide contenant un gaz à une pression comprise entre 0,5 et 40 millimètres de mercure. Pour démarrer la décharge à travers le tube, la tension appliquée entre l'anode et la cathode doit dépasser une certaine valeur, appelée « tension d'amorçage ». Lorsque la décharge caractérisée par une luminescence apparaissant dans la région de la cathode a commencé, elle peut être maintenue à une tension sensiblement plus faible appelée « tension moyenne de fonctionnement ».

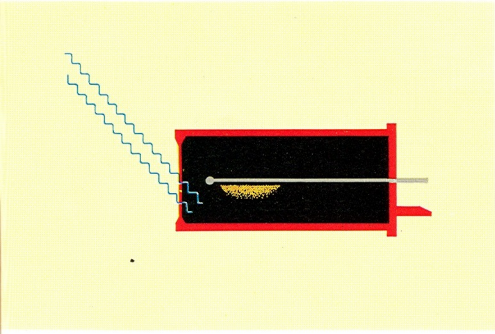
La décharge luminescente se maintient sur toute une gamme de valeurs du courant et, sur toute cette gamme, la tension de fonctionnement reste très sensiblement constante.

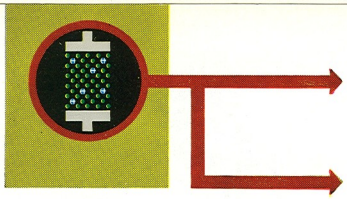
De tels tubes conviennent donc bien pour constituer les montages qui stabilisent la tension appliquée à un circuit donné. On peut ainsi compenser automatiquement les variations dues à des fluctuations de la tension du secteur ou à des modifications de la charge.

En règle générale, les tubes stabilisateurs de tension apportent une correction intéressante sur une gamme de fonctionnement spécifiée et suffisante pour un très grand nombre d'applications pratiques. Pour les travaux de laboratoire très précis, cependant, on exige souvent de pouvoir comparer une tension donnée à une tension étalon ou à un niveau de référence très constant.

Cette tension de référence peut être obtenue par l'emploi de tubes stabilisateurs de tension spéciaux, connus sous le nom de tubes pour tensions de référence. Dans ces tubes, on a pris des précautions particulières pour assurer des caractéristiques très stables et un fonctionnement très constant. Pour cela on utilise, par exemple pour préparer la cathode, du molybdène à un très haut degré de raffinage ; le gaz utilisé dans le tube a subi une purification spéciale et la surface intérieure de l'ampoule a été particulièrement traitée pour éliminer toute source de contamination des électrodes.

Tube compteur de radiations avec fenêtre en mica.





9.3 Cartouches à gaz rare

Si le courant d'un tube à cathode froide dépasse une certaine valeur, de l'ordre de 100 milliampères environ, la décharge à travers le tube ne sera plus la décharge luminescente décrite dans le paragraphe précédent, mais bien une décharge en arc. La chute de tension aux bornes du tube diminue également, ce qui permet de faire circuler un courant plus intense.

Il est, par conséquent, possible de décharger des énergies électriques considérables à l'aide de cet arc. Les cartouches à gaz rare ou limiteurs de tension sont des diodes à cathode froide d'une construction particulièrement robuste destinées à protéger les équipements ou les circuits électriques contre les dangers des tensions excessives. Les courants anormalement élevés, dus à ces surtensions, sont alors transmis à la terre à travers la cartouche, soit pendant toute la période de la surtension, soit jusqu'au moment où un fusible ou tout autre dispositif de sécurité a eu le temps de fonctionner.

Parmi les applications, nous citerons la protection des antennes de radiodiffusion et des équipements contre les dangers de la foudre, la protection des lignes téléphoniques et télégraphiques contre les perturbations atmosphériques et contre les effets des contacts accidentels avec des lignes d'énergie électrique. Ces cartouches sont également utilisées pour la protection de toutes sortes d'appareils électriques contre les tensions et les courants temporaires dus à un fonctionnement incorrect ou à des courts-circuits.

Les cartouches à gaz rare peuvent aussi protéger les équipements de réception radioélectriques sensibles et délicats qui pourraient être endommagés par la mise en fonctionnement de puissantes stations émettrices voisines.

9.4 Tubes compteurs de radiations

La détection des radiations des divers types et la mesure de leur intensité constituent un domaine de recherches très important, qu'il s'agisse de science ou d'industrie. Ces radiations peuvent être des courants formés de particules chargées à déplacement rapide, telles que les particules alpha positives (noyaux d'hélium) ou des particules négatives bêta (électrons animés de grandes vitesses). On aura également à considérer certains types de radiations électromagnétiques tels que les rayons gamma et les rayons X. Un certain nombre de dispositifs électroniques ont été étudiés pour ce domaine d'applications, le plus courant étant le tube connu généralement sous le nom de compteur de Geiger. Dans ce tube, les radiations à détecter ou à mesurer ont une énergie suffisante pour ioniser les atomes du gaz par collision. Essentiellement, le tube comprend une ampoule de verre ou un cylindre métallique rempli de gaz chlore, par exemple, et contenant une anode sous la forme d'un fil droit disposé selon l'axe du tube, une cathode de forme cylindrique entourant cette anode. La tension de l'anode ainsi que d'autres conditions du montage sont réglées de telle manière que, dans l'état normal, c'est-à-dire lorsque le tube n'est pas exposé à une radiation, une décharge ne puisse se produire entre l'anode et la cathode. On étudie la construction et le montage du tube pour faire en sorte que la radiation externe ne puisse pénétrer qu'à une seule extrémité du tube où se trouve une fenêtre étroite et peu épaisse qui est transparente pour les émanations particulières à mesurer, toutes les autres formes de radiations, ainsi que celles qui proviennent d'autres directions, se trouvant ainsi exclues.

Lorsqu'on laisse entrer la radiation à travers cette fenêtre, les atomes gazeux s'ionisent, permettant ainsi à une décharge de s'établir à travers le tube ; on mesure alors cette décharge.

Parmi les applications des tubes compteurs de radiations, nous citerons la détection des minerais radio-actifs dans la prospection, la détection des radiations nocives et la mesure de leur intensité.

Tube à deux électrodes à cathode froide — tube à caractéristiques très stables, utilisé comme source de tension de référence.

9.5 Le tube compteur décimal à gaz

Les équipements pour le montage et les calculateurs constituent des applications très importantes des tubes électroniques. De nombreux dispositifs et montages ingénieux ont été étudiés pour transformer pratiquement tous les types d'opérations mathématiques, jusqu'aux calculs les plus complexes, par des procédés de simple comptage. La grande majorité de ces équipements comporte une caractéristique essentielle. Ces ensembles comptent des impulsions électriques et, dans de nombreux cas, ils emmagasinent leur somme, c'est-à-dire la mettent en « mémoire ».

Plusieurs types de tubes électroniques peuvent être employés pour ces opérations de comptage. L'un d'entre eux applique les principes des tubes à rayons cathodiques.

Déjà décrit dans le chapitre VI, un autre type de tube compteur, d'une construction beaucoup plus simple, est le type compteur à cathode froide.

Ce tube utilise un principe particulier des tubes à cathode froide. Dans des conditions convenables, la décharge entre l'anode et la cathode est accompagnée d'une luminescence, située au voisinage de la cathode.

Une anode centrale est entourée d'un certain nombre de cathodes, en général dix cathodes, et le tube est construit de telle manière que, dans le fonctionnement, la plus grande partie de la décharge se produit avec une seule cathode à un instant donné. Entre les cathodes adjacentes, nous trouvons d'autres électrodes appelées « électrodes de transfert », auxquelles sont appliquées les impulsions à compter. Lorsque nous impliquons une impulsion aux électrodes de transfert, la décharge est déviée d'une cathode à la suivante ; il en est de même de la luminescence. Ce déplacement se répète à l'application de chaque impulsion successive. Ainsi, après dix impulsions, la décharge est revenue sur la première cathode.

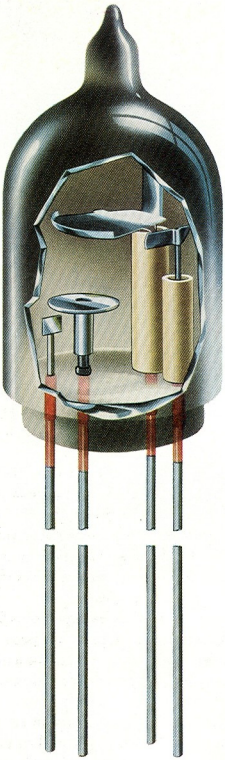
Le montage a été étudié pour qu'à tout moment, lorsque la décharge a fait un tour complet du tube, c'est-à-dire après toute dizaine d'impulsions, une impulsion de comptage soit envoyée à un second tube similaire. Le premier tube compte par conséquent les unités et le second les dizaines. Il suffit d'ajouter d'autres tubes pour enregistrer les centaines, les milliers, et ainsi de suite.

9.6 Indicateurs numériques

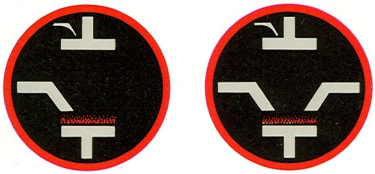
Ces tubes établis sur un principe analogue à celui des compteurs décimaux à cathodes froides, comportent un certain nombre de chiffres ou de symboles qui s'éclairent lorsqu'on applique une tension déterminée entre l'anode et l'une des cathodes. Il y a évidemment autant de cathodes que le nombre de chiffres ou de symboles à commuter. Une seule anode se trouve en regard de toutes les cathodes.

Certains indicateurs plus perfectionnés comportent une électrode de commande d'amorçage.

Tube compteur décimal à cathodes froides.



Thyratron à cathode froide, subminiature.

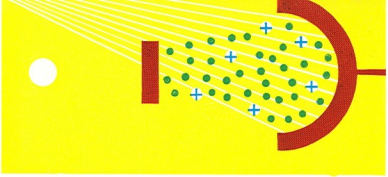


9.7 Thyratrons à cathode froide (tubes-relais)

Dans un tube à cathode froide à deux électrodes, la décharge n'est pas commencée tant que le potentiel appliqué à l'anode ne dépasse pas une certaine valeur critique appelée la tension d'amorçage. Dans le thyratron à cathode froide, nous trouvons une troisième électrode connue sous le nom d'anode auxiliaire ou encore de « starter ». Elle est située dans l'ampoule de telle manière que sa distance avec la cathode soit beaucoup plus faible que la distance qui existe entre l'anode et la cathode. On peut alors amorcer une décharge entre le starter et la cathode en appliquant entre ces deux électrodes une tension convenable et cette tension est notablement moindre que celle qui serait nécessaire pour démarrer une décharge entre l'anode principale et la cathode.

Dès que la décharge entre le starter et la cathode a commencé, les électrons, provenant de l'ionisation et du bombardement de la cathode par les ions positifs, permettent l'établissement de la décharge principale entre l'anode et la cathode et cette décharge est ainsi maintenue. Le thyratron à cathode froide fonctionne donc sensiblement de la même manière qu'une triode thermionique à remplissage gazeux et c'est pour cette raison qu'il est appelé thyratron à cathode froide ou « tube-relais ». Ce tube n'exige aucun accessoire pour le chauffage de la cathode et cela constitue un important avantage si l'on considère qu'il est toujours prêt à fonctionner instantanément et qu'il n'y a pas de perte de puissance dans les périodes où il n'est pas commandé.

Parmi les applications des thyratrons à cathode froide, nous citerons les compteurs ou les dispositifs de commande automatique, les commutateurs d'alarme, les relais. Le fonctionnement est provoqué par des impulsions électriques produites par le phénomène que l'on doit surveiller, les impulsions étant appliquées entre l'électrode auxiliaire (starter) et la cathode du thyratron à cathode froide.



Chapitre X

Cellules photoélectriques à remplissage gazeux

Nous avons déjà exposé, dans le chapitre VII, les principes généraux des tubes utilisant des cathodes photo-émissives et nous avons donné une description détaillée des propriétés de la cellule photoélectrique à vide poussé. Comme le présent chapitre le montrera, il existe aussi des cellules photoélectriques à remplissage gazeux.

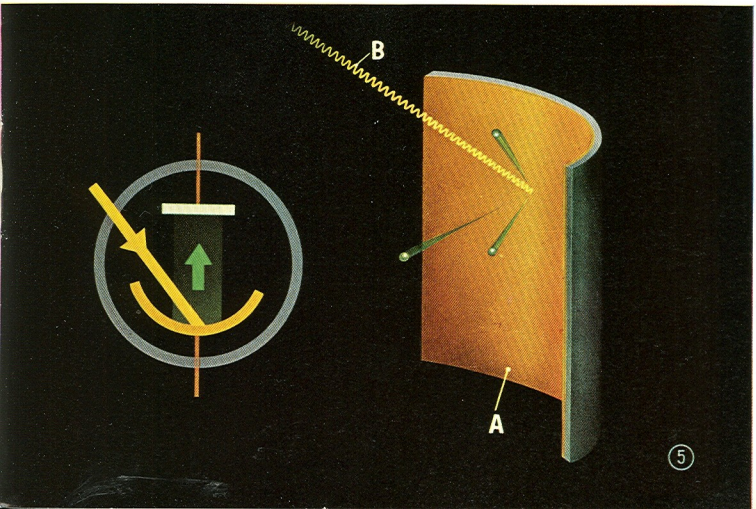
Bien que les cellules photoélectriques à remplissage gazeux soient une application des mêmes principes fondamentaux, elles présentent des caractéristiques qui diffèrent, par plusieurs aspects, de celles des cellules à vide poussé. Certaines de ces différences constituent de précieux avantages, mais d'autres tendent, au contraire, à restreindre le champ des applications des cellules à remplissage gazeux.

La principale différence entre les caractéristiques de ces deux types de cellules est attribuable à l'effet d'amplification par le gaz. Grâce à cet effet, la sensibilité d'une cellule photoélectrique à remplissage gazeux est beaucoup plus grande que celle d'une cellule à vide poussé de mêmes dimensions, jusqu'à dix fois plus sensible, dans des conditions favorables. Cela signifie qu'une variation donnée du courant anodique peut être obtenue pour une fluctuation d'éclairement beaucoup plus petite dans le cas de la cellule à remplissage gazeux.

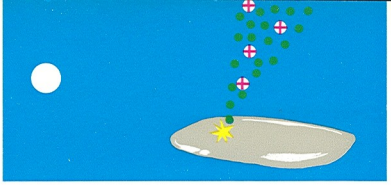
Par ailleurs, alors que la sensibilité d'une cellule photoélectrique à vide poussé est quasi constante sur une très large gamme de conditions de fonctionnement, celle de la cellule à remplissage gazeux dépend assez fortement de la valeur de la tension de l'anode et de la fréquence de la lumière ruptée. A quelques kHz, des phénomènes dus à l'inertie du gaz commencent à intervenir. De plus, si l'on donne à la tension de l'anode une valeur trop élevée, il se produit une décharge luminescente dans le tube, semblable à celle des tubes à cathode froide, et qui se maintient même en l'absence d'éclairement, par l'émission due au bombardement de la cathode par les ions positifs. Cette décharge endommage la cathode très rapidement et peut faire disparaître les propriétés photo-émissives.

Or, la sensibilité du tube est la plus grande aux tensions de l'anode maximales, lesquelles sont juste un peu plus faibles que celle où intervient la décharge luminescente destructive. De plus, la décharge luminescente peut être provoquée par un fort accroissement brusque de l'éclairement, même si la tension de l'anode ne dépasse pas celle du fonctionnement normal. Pour toutes ces raisons, les réglages de la valeur de la tension de l'anode et des autres conditions de fonctionnement, donnant la sensibilité maximale, se révèlent très critiques.

La sensibilité de la cellule à remplissage gazeux n'étant pas constante, ce type de tube ne convient pas pour les applications où interviennent des mesures précises. Mais il est tout à fait satisfaisant pour de nombreuses applications du type « tout ou rien » ou « arrêt-marche » et plus spécialement lorsque les variations d'éclairement sont relativement faibles, mais se produisent brusquement. L'une des plus importantes applications des cellules photoélectriques à remplissage gazeux est la reproduction du son dans les installations de cinéma parlant.



La photocathode est formée d'une substance qui émet des électrons libres lorsqu'elle est irradiée par la lumière. Ces électrons sont ramassés par une anode à charge positive.



Chapitre XI

Tubes à cathode liquide

11.1 Principes généraux

Les tubes à cathode liquide sont essentiellement des tubes redresseurs à remplissage gazeux. Leur cathode est formée par un bain liquide conducteur, en général du mercure. L'espace entre la cathode et l'anode est donc rempli de vapeur de mercure à une pression qui dépend de la température locale. La décharge dans le tube est due à l'ionisation de la vapeur de mercure par les électrons émis à partir de la cathode liquide.
L'émission de la cathode est démarrée par l'application d'une tension convenable entre la cathode et une électrode auxiliaire appelée « igniteur ». Il est donc possible de commander l'instant où le tube devient conducteur. De plus, en ajustant le temps d'apparition des impulsions de tension appliquées à l'igniteur ou à une grille de commande sur la périodicité d'une tension alternative introduite à l'anode, on peut régler le temps de conduction du tube au cours de chaque alternance positive et, par conséquent, commander la valeur du courant anodique moyen au cours de chaque période.
Les tubes à cathode liquide ont des caractéristiques de fonctionnement analogues à celles des redresseurs à commande par la grille et des thyratrons. Toutefois, ils peuvent laisser circuler des courants beaucoup plus intenses et ils conviennent donc, particulièrement, pour le redressement des forts courants, ainsi que pour le minutage et pour la commande de chaleur dans les opérations de soudage électrique.
Les deux principaux types de tubes à cathode liquide sont : l'ignitron et l'excitron.

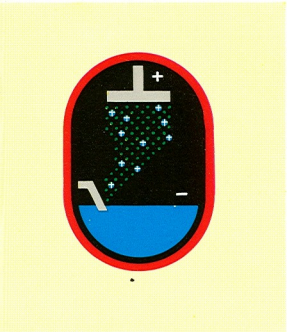
11.2 L'ignitron

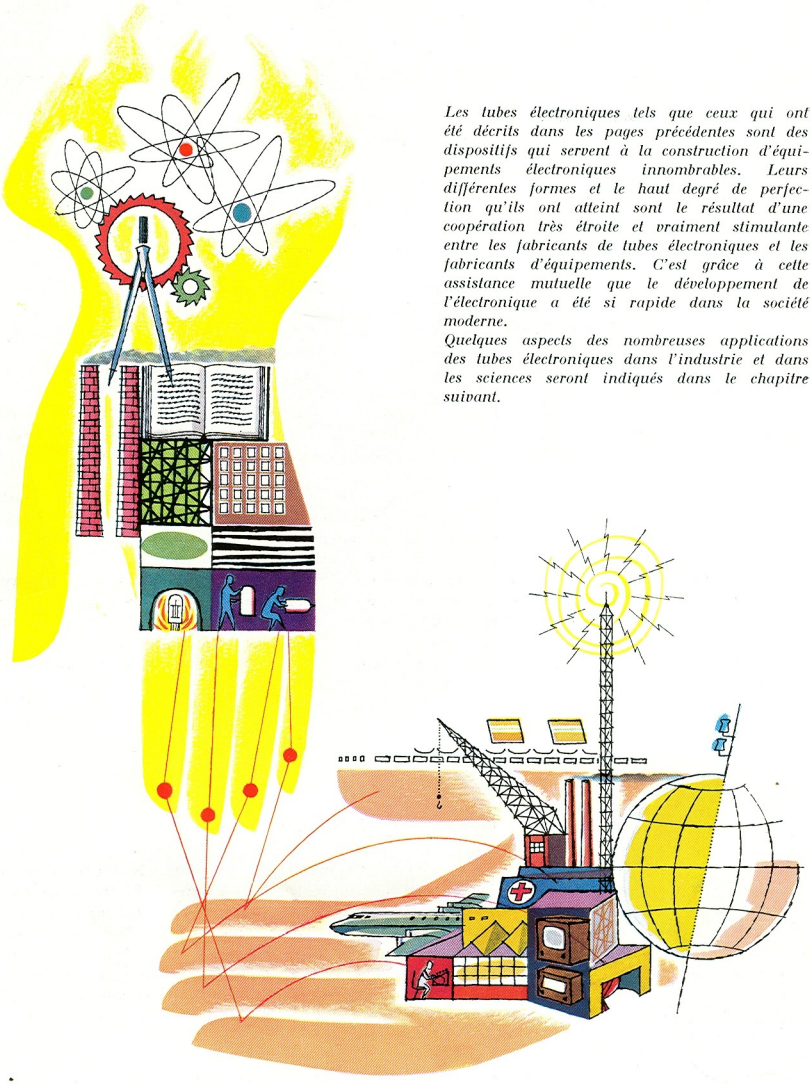
La planche de la page 79 indique l'aspect d'un ignitron d'un type courant, vu en coupe. L'enveloppe est une cuve en acier à double paroi (chemise) dans laquelle une circulation d'eau de refroidissement a été prévue entre les parois interne et externe, afin d'éviter des températures excessives. La connexion de l'anode, très massive, est reliée par un scellement verre-métal avec le sommet de l'enveloppe. Des scellements similaires sur le socle du tube permettent de relier les connexions de la cathode et de l'igniteur.
L'électrode « igniteur » est un bâtonnet de matière réfractaire, telle que le carbure de bore, dont la pointe plonge dans le bain de mercure. En raison des effets de la tension de surface, le bâtonnet « igniteur » n'est pas « mouillé » par le mercure, c'est-à-dire ne constitue pas un contact électrique avec ce métal.
Toutefois, si nous appliquons à l'igniteur une tension positive, de l'ordre de 150 volts, un petit arc se produit entre l'igniteur et la surface du mercure. Un nombre suffisant d'électrons quitte alors cette surface et commence à ioniser la vapeur contenue dans le tube, ce qui démarre la décharge vers l'anode principale.
La circulation des électrons hors de la cathode liquide est maintenue en partie par l'émission thermionique d'un « point » qui se produit sur la surface du bain de mercure et en partie par bombardement de la cathode par les ions positifs.
Une fois démarrée la décharge est continue, sauf si la tension de l'anode tombe brusquement au-dessous de la valeur qui maintient l'arc, ou sauf si le courant anodique tombe au-dessous d'une certaine valeur critique.

11.3 L'excitron

Le principe de l'excitron est analogue à celui de l'ignitron, mais nous y trouvons, en plus de l'anode principale, de la cathode liquide et de l'igniteur, une anode auxiliaire et une grille de commande. L'anode auxiliaire est maintenue à un potentiel positif par rapport à la cathode. Ainsi, dès que l'igniteur a fonctionné, une décharge continue s'établit entre la cathode et l'anode auxiliaire. Le « point » de cathode se maintient donc, même si le potentiel de l'anode principale tombe au-dessous de la valeur où l'arc est maintenu.
La grille de commande est située entre la cathode et l'anode principale. On lui applique des impulsions de tension positives et l'on peut ainsi commander l'instant où le trajet cathode-anode du tube va devenir conducteur.

Ignitron à refroidissement par eau.

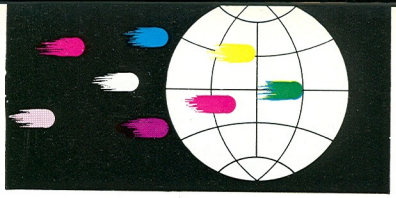




Les tubes électroniques tels que ceux qui ont été décrits dans les pages précédentes sont des dispositifs qui servent à la construction d'équipements électroniques innombrables. Leurs différentes formes et le haut degré de perfection qu'ils ont atteint sont le résultat d'une coopération très étroite et vraiment stimulante entre les fabricants de tubes électroniques et les fabricants d'équipements. C'est grâce à cette assistance mutuelle que le développement de l'électronique a été si rapide dans la société moderne.

Quelques aspects des nombreuses applications des tubes électroniques dans l'industrie et dans les sciences seront indiqués dans le chapitre suivant.

Chapitre XII



Applications des tubes électroniques

12.1 Classification de l'électronique appliquée

Dans les chapitres précédents, nous avons lu les descriptions des formes de tubes électroniques les plus courantes et nous avons indiqué les principes sur lesquels reposent leurs fonctionnements. Nous avons mentionné dans chaque cas, la nature des appareils dans lesquels le tube peut être utilisé. Mais cela a toujours été fait assez brièvement et l'on n'a cité que les applications les plus fréquentes, afin d'éviter toute confusion. Aucune liste complète n'a encore été donnée.

Il est évident que les différentes opérations et les divers procédés des techniques de l'électronique employés aujourd'hui sont si nombreux et si variés que leur simple énumération pourrait occuper plusieurs pages de cet ouvrage et si nous ajoutions des descriptions assez brèves, le contenu remplirait déjà plusieurs volumes. Dans le présent chapitre, nous essaierons de présenter une vue générale des principaux aspects de l'électronique et nous tenterons de classer, d'une manière logique, ces différentes applications. On divisera d'abord les applications entre deux groupes principaux : applications aux loisirs et applications extérieures aux loisirs.

Nous trouvons dans le groupe des loisirs, les applications à la radio, à la télévision et ainsi de suite. Cela comprend non seulement les services de radiodiffusion et de télévision mis à la disposition du public, mais aussi l'étude et la fabrication des équipements de réception et de reproduction du son. L'électronique pour les loisirs est donc la raison d'être d'une industrie large et puissante.

Les applications extérieures à celles des loisirs comprennent les applications industrielles, scientifiques, médicales et, en général, toutes les utilisations « professionnelles » des techniques électroniques. Il en résulte des méthodes perfectionnées pour les usines de fabrication, pour les télécommunications, pour l'équipement des maisons de commerce, pour la recherche scientifique et pour les traitements médicaux et chirurgicaux.

Du point de vue de l'industriel, ce groupe représente aussi la fabrication d'équipements fondamentaux correspondant à des éléments très importants du capital actif des sociétés. Les tubes électroniques y jouent un rôle très important et même, dans beaucoup de cas, essentiel. Malgré le grand développement des applications des semiconducteurs (transistors, diodes, relais solides, etc.), il existe encore de très nombreux domaines (tubes émetteurs, tubes pour fréquences élevées, tubes à rayons X, tubes à propagation d'ondes, tubes indicateurs et compteurs, etc.) où le tube reste encore, pratiquement, sans concurrence.

12.2 L'électronique dans les loisirs

Les programmes sonores de la radio, la télévision, les électrophones, et plus récemment les enregistreurs à ruban ainsi que le cinéma parlant chez soi, sont les applications familiales les plus courantes de l'électronique. En conséquence, nous n'aurons pas besoin d'en faire une description très longue. Il y a très peu de nations qui ne possèdent pas en propre un service de radiodiffusion et il n'y en a aucune où les programmes émanant d'un autre pays ne puissent pas être reçus. La télévision, qui ajoute les joies de la vue à celles de l'oreille, a progressé au cours des dernières années à tel point que des échanges internationaux de programmes sont devenus absolument réguliers. Simplement, en appuyant sur une touche, l'électrophone permet de faire entendre les plus éminents compositeurs, les meilleurs chanteurs et les meilleurs orchestres. Par ailleurs, le projecteur de cinéma familial a les mêmes relations avec la télévision que celles de l'électrophone avec la radiodiffusion sonore. Tous ces services constituent une distraction de haute valeur pour des millions et des millions d'auditeurs et de téléspectateurs. Ainsi les récepteurs et les équipements accessoires font l'objet de demandes considérables, ce qui a stimulé le développement de méthodes perfectionnées pour la production en série, en particulier, pour celle des tubes électroniques. Ces méthodes bénéficiant des recherches et des progrès techniques ont constitué un facteur économique très important qui a provoqué des accroissements très rapides des applications de l'électronique en dehors des loisirs.

.3 Applications extérieures aux loisirs

Les applications des techniques électroniques dans les domaines autres que les loisirs sont si nombreuses et diverses qu'il est difficile d'établir un plan entièrement logique permettant de les classer. La méthode que nous avons adoptée ici les répartit en six grandes classes, associées aux principales activités suivantes :

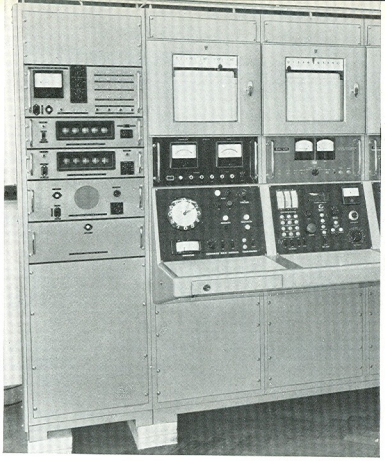
1 La production et le contrôle de l'énergie nucléaire ;
2 La production industrielle ;
3 Les télécommunications, la navigation et les transports ;
4 Les travaux administratifs du commerce ;
5 La recherche scientifique ;
6 La médecine et la chirurgie.

Nous allons traiter les applications dans l'ordre que nous venons d'indiquer. Il convient de remarquer, cependant, qu'un procédé électronique ou un détail d'équipement électronique peut avoir des applications dans plusieurs domaines et il est donc inévitable que nous les retrouvions plusieurs fois dans une analyse assez détaillée. De plus, nous ne prétendons pas que notre liste soit complète car les considérations de place nous empêchent de donner les descriptions détaillées des différentes méthodes.

12.3.1 L'électronique et l'énergie nucléaire

Bien qu'elle soit la branche la plus récente de la science et de la technologie, la technique nucléaire (ou le génie nucléaire comme l'on dit parfois) doit prendre la place d'honneur en raison de ses merveilleuses possibilités dont doit bénéficier le monde entier en relation avec l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Parmi les équipements électroniques utilisés dans la recherche atomique et dans les applications pratiques de cette branche de la physique, où de très nombreux types de tubes électroniques sont utilisés, nous avons les différentes formes d'accélérateurs destinés à produire les courants de particules chargées à déplacement très rapide qui sont exigés pour la préparation des matières radioactives et fissibles. Nous trouvons également, dans ce domaine, une très large gamme d'instruments de mesures électroniques : nous citerons les *électromètres*, servant à mesurer de très petites différences de potentiel électrique, les *compteurs de particules* et les appareils de *mesures de radiations* (radiomètres ou gammamètres) qui servent non

seulement pour les mesures scientifiques, mais également pour indiquer les radiations et leurs doses nocives, afin de vérifier que les prescriptions de sécurité sont bien prises. Les équipements servant à manipuler à distance les matières radioactives ou les appareils qui les transportent en des emplacements inaccessibles, soit pour des raisons physiques, soit pour des raisons de sécurité, ainsi que différents dispositifs principalement mécaniques ayant le même objet, sont fréquemment contrôlés par des appareils de télévision industrielle, afin que l'opérateur puisse surveiller toutes les éventualités et faire ses réglages d'un point assez éloigné, avec tout le confort et la sécurité nécessaires.



Baie contenant les équipements de contrôle et de sécurité d'un réacteur nucléaire expérimental.

12.3.2 L'électronique dans les industries de production

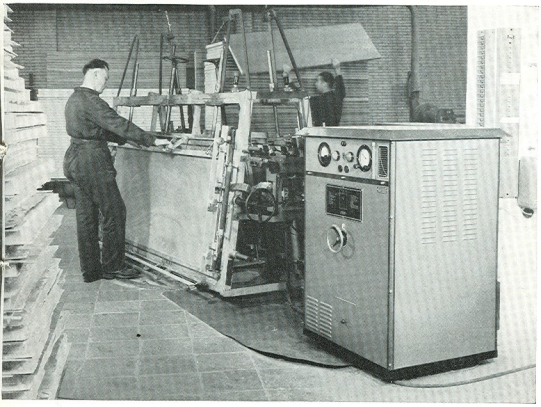
Les appareils comprenant des tubes électroniques de toutes les catégories possibles sont employés dans les industries de production à différentes tâches :

1 Commandes de procédés industriels — Ces dispositifs assurent le maintien automatique des conditions physiques de différentes opérations industrielles. Ils régularisent, par exemple, la température ou la pression et ils commandent le temps des opérations ou leur déroulement dans un ordre donné.

2 Mesures, contrôles et essais permettant d'assurer la meilleure qualité de la production.

3 Les opérations directes ainsi assurées, par exemple, chauffage de pièces en métal par une énergie électrique de haute fréquence ou nettoyage de sa surface au moyen des vibrations ultra-sonores.

4 Services auxiliaires indispensables tels que le comptage ou le calcul, la programmation, les communications entre les différents départements d'une usine ainsi que les transmissions d'ordres, avec ou sans câble. Nous allons dresser une liste des principaux procédés et des opérations effectuées par des équipements électroniques dans une sélection d'industries-clés.



(à gauche) - Réacteur nucléaire expérimental du type « piscine ».

(à droite) - Equipement pour le collage des éléments de portes avec chauffage en haute fréquence.

Céramiques et matières plastiques

Comparaison de couleurs, par exemple assortir des tuiles pour avoir toujours la même couleur
Chauffage par pertes diélectriques, par exemple préchauffage des poudres de matières plastiques avant leur insertion dans le moule
Equipement pour le séchage
Précipitation des poussières
Alarme pour détection d'incendie ou de fumées
Détection des pailles ou criques des métaux
Réglage de niveau des combustibles liquides, par exemple pour maintenir la température correcte de l'eau ou la pression de la température
Surveillance de fours
Commande pour vérifier l'absence d'humidité
Commande des fours de briqueteries
Commande de niveau des liquides
Commande de niveau des produits en poudre
Minutage d'une opération et commande de leur succession
Pyromètre pour mesurer, enregistrer et vérifier les températures élevées
Commandes de températures et de pressions

Appareil pour soudage en haute fréquence de boîtes de conserves alimentaires.

Dispositif de pesée pour fournir la matière première non travaillée et pour vérifier les produits finis
Machines pour souder les feuilles plastiques

Industries chimiques

Equipement pour analyses
Densitomètre pour les couleurs
Commande de ponts roulants
Compteur
Appareil pour dégazer les liquides
Chauffage par pertes diélectriques
Mesure de dimensions des particules en poudre
Equipements pour émulsionner
Commande de machines à remplir (ou à empaqueter)
Dispositif de surveillance de flammes
Mesure du débit des liquides
Totalisateur de longueurs
Mesure de pH (acidité et alcalinité), conductivité
Détecteur de gaz

Equipement de chauffage par induction (à haute fréquence)
Contrôles et prélèvements
Commande de machines pour couper les étiquettes
Détecteur de fuites
Dispositif pour la mesure des liquides
Hygromètres
Equipements de télévision industrielle
Commandes de température
Opérations de minutage
Dispositifs pour peser
Commandes d'électro-vannes
Télévision industrielle

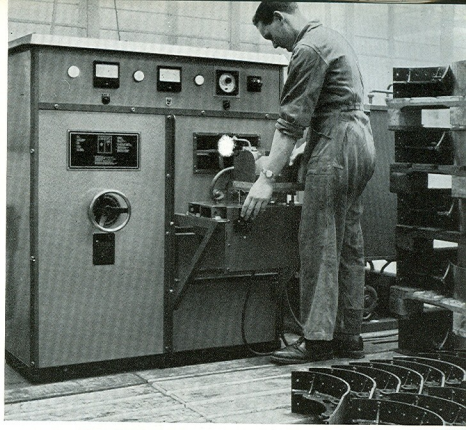
Energie électrique

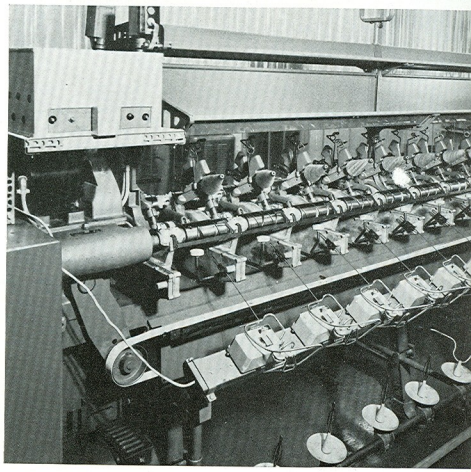
Système d'alarme
Chargeur pour batteries
Commande de niveau d'eau pour chaudières
Synchroscope à rayons cathodiques
Interrupteurs de lignes et de circuits
Appareil pour mesurer la conductivité
Détecteur de défauts des lignes
Indicateur d'extinction de flammes et alarmes
Mesure de débit
Convertisseur de fréquences industrielles
Analyseur de gaz
Détecteur de gaz

Mutateur
Commande d'éclairage
Servo-commande de moteurs
Redresseurs
Relais
Dispositif de commande à distance à transmission par courants porteurs
Servo-mécanismes
Détecteurs de fumées
Equipements de télévision industrielle
Analyseur de courants temporaires
Stabilisateur de tensions

Industries alimentaires, boissons et tabac

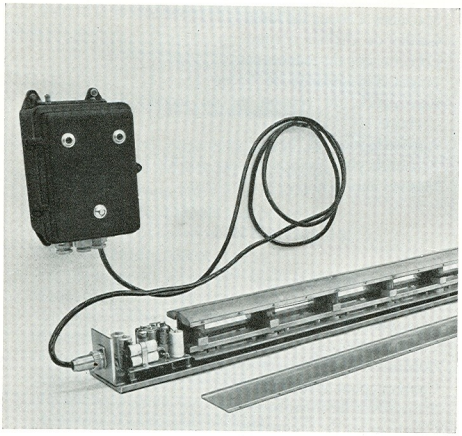
Détecteur de bande transporteuse
Compteurs et distributeurs sur chaînes
Mirage automatique des œufs
Emulsificateurs
Machine à remplir les tubes et à empaqueter
Sécurité contre l'extinction des brûleurs
Appareil à déshydrater les légumes, les fruits, etc.
Appareils classeurs par modules ou par couleurs
Equipements pour la conservation des aliments
Appareils de triage
Stérilisateurs
Extracteurs de houblon (bière) par ultrasons
Contrôles et inspection
Machines à couper le papier à la marque
Commande de niveaux liquides
Détecteurs de métaux
Appareils pour la cuisine (chauffage par très hautes fréquences, par magnétrons)
Appareils pour homogénéiser le lait
Appareils pour homogénéiser le chocolat
Hygromètres
pH mètres
Commande de coupe sur les machines à emballer
Appareils à trier les graines
Indicateurs de fumées
Stroboscopes
Tachymètres
Equipements de télévision industrielle
Appareils de pesage
Vieillissement artificiel de vins et spiritueux





Les patins de freins sont durcis (cémentés) à l'aide d'un appareil à haute fréquence.

Passage de canette électronique utilisé dans les industries textiles.



Appareil permettant de détecter de fines parcelles de fer dans les matériaux non métalliques (détecteur de fer). Dans le coin gauche et en haut, on peut voir le relais.

Industries métallurgiques

Commande des fours à arc
Alimentation automatique des carburants
Micromètres capacitifs
Conductimètres
Détecteur de bande transporteuse
Compteurs et distributeurs de pièces
Viscosimètres
Commande de tronçonnage
Chauffage par pertes diélectriques (pour les fours à recuire)
Dilatomètres
Jauges et comparateurs électroniques
Sécurité contre l'extinction des brûleurs
Commande de déversoirs de fonte liquide
Commande de chalumeaux de découpage
Commandes de rectifieuses et meules
Commande de fours à traitement thermique
Indicateurs de hauteur
Commande de machines à affûter
Jauges de largeur pour laminoirs à chaud
Commande de presses hydrauliques
Chauffage par induction (haute fréquence pour brasage, traitement thermique ou soudage)
Commande de sécurité sur les machines-outils
Commande de contours de pièces pour machines
Détecteurs de métaux
Machines pour essais de fatigue
Groupes de commande de moteurs
Précipitateurs d'huile soluble
Alarmes sur transporteurs dans les fours
Commande de pistolets pour la peinture
Sécurités sur presses à emboutir
Pyromètres pour radiations
Contrôles radiographiques
Commandes de laminoirs
Totalisateurs de longueurs de feuilles métalliques
Indicateurs de fumées
Equipements de triage
Enregistreurs de contraintes
Fréquencemètres-stroboscopes
Equipements de télévision industrielle
Enregistreurs et régulateurs de températures
Commandes de tensions mécaniques
Machines à jauger les épaisseurs
Machines à filer les plaquettes d'étain
Appareils nettoyeurs à ultrasons
Perçage de métaux par ultrasons
Fers à souder à ultrasons (pour l'aluminium)
Pots de soudure à ultrasons
Commandes à vitesses variables
Dispositifs pour vérifier les soudures
Commandes de machines à souder

Industries du papier, de l'imprimerie et des textiles

Compteurs et trieurs
Commande de massicots
Colorimètres électroniques
Photogravure et clichage électroniques
Perceurs électroniques de stencils
Machines de composition typo-électronique
Totalisateurs de longueurs
Commandes d'hygrométrie
Commandes de presses hydrauliques
Séchoirs par radiations infrarouges
Commandes de niveaux de liquides
Mesure des volumes de liquides
Détecteurs de particules métalliques
Détecteurs de défauts de papier ou de déchirures
Commandes photo-électriques de coupe ou d'impression
Commandes de presses à imprimer y compris les réglages de vitesses
Détecteurs de surépaisseurs d'étoffes
Commande de découpoirs textiles
Régulateurs de marge
Détecteurs de marge
Détecteurs et alarmes de fumées
Guides de navettes
Indicateurs de coupure du fil de trame
Commandes de presses à tickets (presses à répétition)
Machines à étirer les toiles
Guides de chaînes textiles
Commandes de bobineuses
Jauges d'irrégularité de trame
Commande de tension et de vitesse des fils de trame
Appareils pour la mesure de torsion des fils
Appareils pour évaluer l'usure des fils tramés
Mesure automatique des couleurs

Photographie

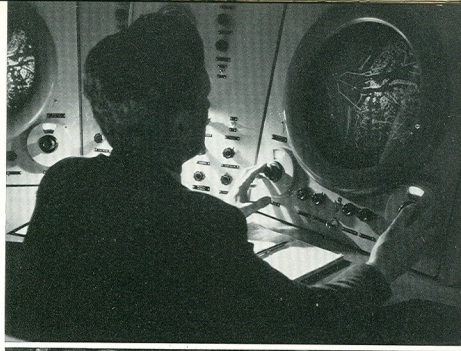
Commande automatique de temps d'exposition
Machines à tirer les films en couleurs
Posemètres pour chambres noires
Densitomètres
Equipement pour éclairs électroniques (Photo-flash)
Tirage de vues électroniques
Machines pour le traitement des films et des émulsions
Caméras à grande vitesse
Mesure de flux lumineux
Microphotomètres
Caméras d'enregistrement pour oscillographie
Commandes photoélectriques de diaphragmes
Caméras pour films sonores
Projecteurs de films sonores
Commandes de minuteries

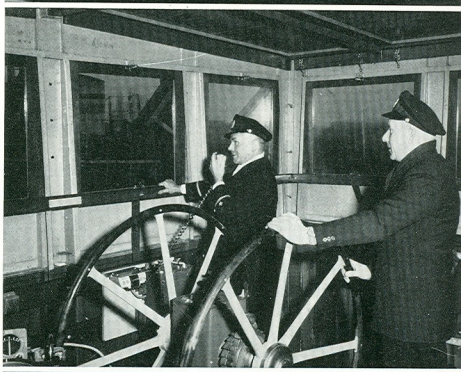
12.3.3 L'électronique dans les télécommunications, dans la navigation et dans les transports

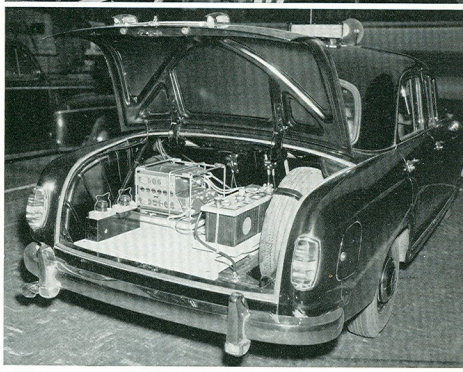
Les télécommunications commerciales ont été inaugurées par le premier télégraphe sans fil de Marconi et, dans ce domaine, l'électronique a fait depuis des pas de géant. La radiophonie est venue s'y adjoindre, puis la télévision. Les radiocommunications comprennent aujourd'hui non seulement les liaisons entre stations fixes, mais aussi les liaisons entre les navires et la côte, entre les avions et le sol. Des services spéciaux, en dehors de ceux de police ou de défense civile, sont prévus pour les secours d'urgence en cas d'incendies ou d'inondations. Des bandes spéciales de fréquences sont allouées aux amateurs et aux communications mobiles « commerciales », par exemple entre les voitures de livraisons ou des taxis et les garages fixes où ils peuvent être demandés. Les techniques électroniques ne sont pas limitées aux radiocommunications. On les emploie aussi dans la télégraphie sur lignes et dans les téléphones. L'utilisation de courants porteurs de diverses fréquences, a permis d'augmenter notablement l'importance du trafic que l'on peut acheminer sur un câble unique. L'électronique s'applique aussi dans les dispositifs d'intercommunications des grands édifices : hôpitaux, hôtels, bureaux, écoles et magasins. Différents dispositifs d'enregistrement peuvent conserver les paroles, la musique et même les images sur des films ou sur des rubans magnétiques, en vue de la répétition ultérieure possible à volonté.
De nombreuses applications sont liées à toutes les variétés de moyens de transport et sont mentionnées dans les rubriques suivantes. On y trouve des appareils pour communications, mais aussi des dispositifs assurant le fonctionnement, le contrôle et le service des matériels de transports les plus divers.

Transports par route et électronique

Chargeurs de batteries d'accumulateurs
Dynamomètres pour essais de moteurs
Pistolets électrostatiques pour peintures
Vérificateurs de contours des cames
Banc d'essais et instruments d'auscultation
Commandes de phares
Commandes des allumages et de la carburation
Radio-téléphones mobiles
Equipements pour le soudage des radiateurs
Appareils pour l'essai des routes
Appareils pour l'essai des bougies d'allumage
Analyseurs de bruit des pneumatiques
Equipement pour surveillance de trafic routier
Appareils d'essais par ultrasons.







Des télécommunications directes entre deux navires ou entre le navire et la côte sont devenues possibles grâce à des émetteurs mobiles.

Les installations de radar permettent de voir dans le brouillard et dans l'obscurité. Les navires peuvent ainsi retrouver leur route vers le port. Un émetteur mobile peut être aisément logé dans la soute à bagages d'une automobile.

Transports par chemins de fer et électronique

Commande automatique des trains
Commandes d'aiguilles (block)
Télévision sur circuit fermé
Systèmes de communications, en général
Détecteurs de défauts de rails
Equipements de signalisation
Dispositifs de triage de convois
Indicateurs de position de trains

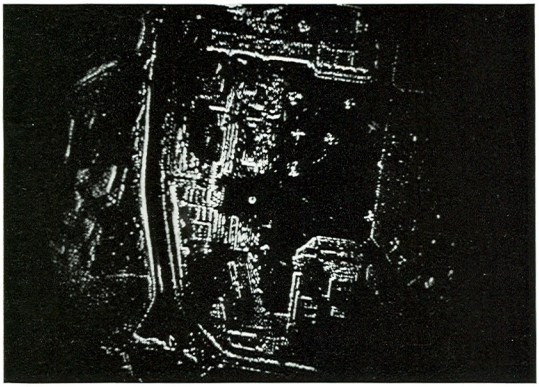
Transports marins et électronique

Equipements d'alarme automatique
Sondage de profondeurs par échos (ultrasons)
Equipements indicateurs de cap
Gyro-compas
Aides radio à la navigation
Radiotélégraphie
Radiophonie
Systèmes de communications entre navires
Radio entre les navires et les côtes
Sonars et répondeurs

L'Electronique dans les transports aériens et les industries de l'aviation

L'aéronautique fournit un excellent exemple de l'extrême importance de l'électronique dans la vie moderne. Les techniques électroniques sont, en effet, essentielles dans les recherches scientifiques et technologiques qui sont à l'origine des progrès sans cesse croissants des études et des fabrications d'aviation. Elles sont d'ailleurs tout aussi essentielles pour la production des instruments de bord, des commandes et sécurités automatiques et des aides à la navigation utilisés dans l'exploitation des avions. Les différents systèmes de communication, y compris la surveillance du trafic aérien, apparaissent également nécessaires pour obtenir un fonctionnement efficace des transports aériens.
L'importance de l'électronique dans la technique et dans l'exploitation aéronautiques est suffisamment affirmée par la liste des applications, liste encore incomplète :

Commandes d'éclairage d'aéroports
Indicateurs de vitesse pour avions
Contrôles de trafic aérien
Altimètres
Radars de surveillance
Indicateurs automatiques de direction



La surface d'un port telle qu'elle est visible sur l'écran d'un tube de radar.

Indicateurs de vibrations
Pilotes automatiques
Systèmes de communications
Compas de direction (de site)
Equipement de mesure de distance au sol (D.M.E.)
Systèmes à compas gyromatique
Dispositifs d'atterrissage (I.L.S.)
Simulateurs et calculateurs de trajectoires
Analyseurs du fonctionnement de moteurs
Détection d'incendie et alarmes
Simulateurs de vol et entraîneurs pour pilotage
Indicateurs de débit de carburants
Indicateurs d'horizon artificiel
Indicateurs de pressions multiples
Aides à la navigation
Appareils pour hélices synchronisées
Radars
Dispositifs de télémétrie
Analyseurs de vibrations
Enregistreurs de places réservées

12.3.4 L'électronique dans les bureaux commerciaux

Aujourd'hui, de nombreuses besognes administratives, autrefois confiées à des employés, sont accomplies avec plus de précision et de rapidité par des équipements électroniques, aussi bien les calculs fastidieux par leurs répétitions que les systèmes complets de comptabilité. Certaines de ces opérations mettent en œuvre une sorte d'intelligence synthétique. Il s'agit de grouper, de trier ou d'emmagasiner (mettre en mémoire) des informations multiples et, dans de nombreux cas, leurs groupements doivent déterminer une « action » conforme aux résultats de cette analyse. La courte liste qui va suivre comprend les dispositifs électroniques utilisés dès maintenant d'une manière courante :

Machines à calculer et machines comptables
Compteurs de monnaie
Equipements pour interpréter et trier des informations
Traceurs de courbes de fonctions
Dispositifs de mémoires
Calculatrices à cartes perforées et trieuses
Systèmes de téléindications
Traceurs de courbes à distance et téléphotographie
Télécalculatrices et téléimprimeurs

L'une des applications industrielles de la télévision : surveillance d'une gare de triage.

12.3.5 L'électronique dans la recherche scientifique

Dans la recherche scientifique, les différentes formes de tubes électroniques et les appareils qui en contiennent constituent soit des équipements d'observation, soit des outillages qui, non seulement, accélèrent les progrès mais bien souvent même rendent possibles des investigations auxquelles personne n'aurait pu penser avant l'ère de l'électronique.
Il semble particulièrement inutile de tenter d'indiquer toutes les catégories d'appareils électroniques utilisés dans les recherches, car il s'en crée chaque jour de nouvelles. Une sélection des plus courantes, utilisées dans des branches familières de la science et de la technique illustrera mieux notre propos :

Acoustique

Mesure du niveau des bruits
Analyseurs acoustiques
Mesure du niveau acoustique
Enregistreurs de sons
Spectrographes acoustiques
Générateurs d'ultrasons

Astronomie

Equipements pour la mesure des rayons cosmiques
Horloges pilotées par quartz piézoélectrique
Récepteurs d'ondes radioélectriques des galaxies
Equipements pour le sondage ionosphérique
Appareils pour détecter les météores
Radars lunaires

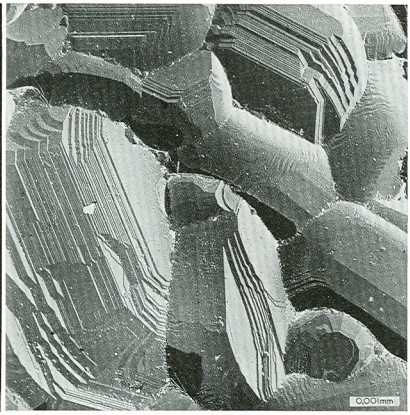
Biologie

Appareils pour détruire les bactéries
Amplificateurs bio-électriques
Cardiotachymètres
Microscopes électroniques
Stérilisation électronique de cultures
Oscilloscopes
Pneumotachygraphes
Fluoromètres photo-enregistreurs
Spectrophotomètres
Désintégrateurs de tissus à ultrasons

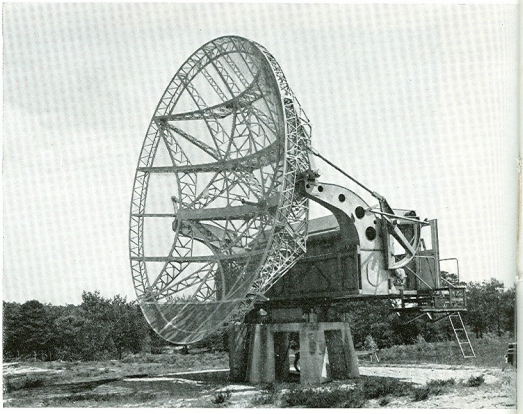
Criminologie

Appareils d'examen en infrarouge
Détecteurs de mensonge
Spectroscopes
Appareils à rayons X

Microphotographie de la structure d'un cristal (ferroxdure) à l'aide d'un microscope électronique.

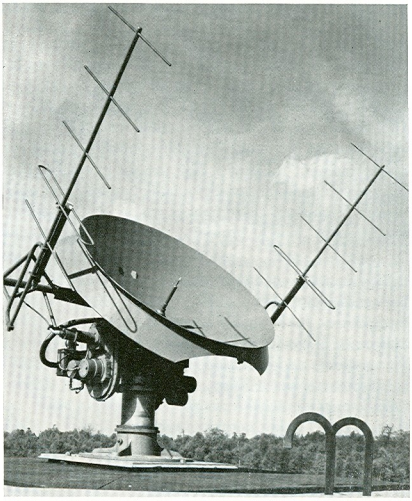


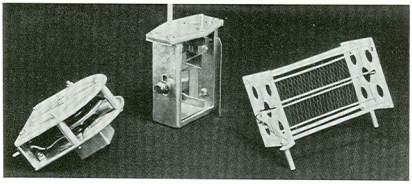
Antenne à réflecteur parabolique pour recherches radio-astronomiques.



Les ondes ultra-courtes sont utilisées dans de nouvelles méthodes de traitement médical.

Recherche météorologique. - Les antennes d'émission et de réception d'une station de radar restent automatiquement alignées sur un ballon portant également une installation de radar mobile.





Quelques éléments transportés dans une sonde aérienne d'un radar. De gauche à droite : un baromètre aneroïde, un hygromètre capillaire et un thermomètre à résistance à fil fin.

Instruments et métrologie

Nous donnons ci-dessous une liste assez brève de certains instruments de mesure et d'observation utilisés dans les travaux scientifiques :

Accéléromètres
Amplificateurs
Analyseurs
Atténuateurs
Bolomètres
Chronographes
Chronoscopes
Comparateurs
Compteurs
Décibelmètres et indicateurs de niveaux
Relevé de courbes BH
Générateurs d'impulsions
Lignes de retard
Jauges électroniques
Convertisseurs de fréquences
Etalons de fréquences
Hygromètres
Modulateurs
Appareils pour la mesure des bruits
Oscilloscopes
Dispositifs pour mesures de pressions
Horloges pilotées par quartz
Masers et lasers
Enregistreurs
Générateurs de signaux
Appareils produisant et détectant des signaux de recherche de défauts (signal tracers)
Tachymètres
Appareils pour les mesures de températures
Dispositifs pour signaux horaires ou pour minutage
Jauges à vide
Mesures de vitesse et de débit
Appareils pour les mesures de vibrations

Appareils mathématiques

Calculateurs analogiques
Calculateurs numériques
Convertisseurs d'analogique à numérique
Analyseurs différentiels

Météorologie

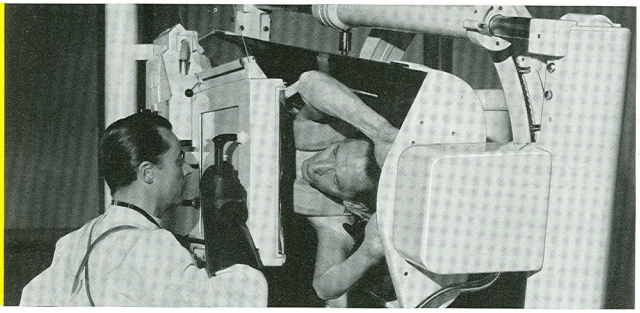
Anémomètres
Appareils de mesure des hauteurs de nuages
Systèmes avertisseurs d'inondations
Hygromètres
Radiosondes
Jauges de neige ou de glace
Avertisseurs d'orages
Appareils pour la mesure des bruits dus aux taches solaires
Télémesure de niveaux d'eau
Radars détecteurs des directions générales de vents
Indicateurs d'orientation des vents principaux

12.3.6 L'électronique dans la médecine et la chirurgie

Dans toutes les branches de l'art de guérir, l'électronique vient en aide au médecin et au chirurgien. Des appareils sensibles et ingénieusement établis facilitent souvent le diagnostic et la localisation de fractures ou de corps étrangers. Les rayons thérapeutiques et les vibrations hâtent la guérison de nombreuses maladies ou diminuent la souffrance. Les équipements électroniques sont employés aujourd'hui dans maintes opérations difficiles et très délicates de l'art chirurgical. D'autres applications encore plus répandues, telle la prothèse auditive, soulagent de nombreux infirmes ayant des incapacités permanentes et nous pourrions en citer bien d'autres.

L'enseignement médical a déjà tiré un grand bénéfice des transmissions de télévision en circuit fermé. Plusieurs centaines de médecins et d'étudiants peuvent ainsi observer des opérations pratiquées par des chirurgiens éminents, chaque détail étant clairement reproduit, parfois même en couleurs. Les principaux dispositifs électroniques utilisés actuellement dans la profession médicale sont indiqués ci-dessous :

Equipements pour anesthésie
Ballistocardiographes
Equipement de thérapie à bêtatron
Mesure de la conductivité sanguine
Enregistreurs de la pression sanguine
Stérilisateurs pour le sang
Calculateurs de densité des os
Appareils de radiocinématographie
Echoscopes pour diagnostic par ultrasons
Electrocardiographes
Electrocautères
Electrocoagulateurs
Electroencéphalographes
Cannes électroniques pour aveugles
Appareils pour épilation
Fluoroscopes électroniques
Polyneumographes
Electropsychromètres
Electrorétinogrammètres
Générateurs électrosédatifs
Electrochoc
Prothèses auditives
Analyseurs d'ondes du cœur et du cerveau
Equipements de thérapie par ionisation
Audiomètres médicaux
Neurostimulateurs
pH mètres
Pneumotachygraphes
Indicateurs de réflexes psychogalvaniques
Sanguinomètres
Compteurs de scintillations et détecteurs de radiations
Stéthoscopes, stéthographes, stéthophones
Thérapie ultrasonique
Diagnostic par rayons X et équipements de thérapie
Mesures d'intensité des rayons X



L'examen à l'aide d'un appareil à rayons X peut être effectué, le patient étant placé dans n'importe quelle position.

Chapitre XIII

Lexique des odes et des trons

Au cours des pages précédentes, le lecteur a pu remarquer que l'on a donné à différentes sortes de tubes électroniques des noms qui se terminent par la syllabe « ode » (par exemple : « triode ») ou par la syllabe « tron » (par exemple : « klystron »). Le suffixe « ode » est d'origine grecque et peut être ainsi traduit sensiblement par le mot français : chemin ou porte. Ainsi la triode peut signifier un tube à trois portes, c'est-à-dire trois électrodes. Le suffixe « tron » vient également du grec et signifie « instrument ».
Dans la plupart des cas, les noms des tubes se terminant par « tron » sont relatifs à un principe général que l'on trouve appliqué dans le dispositif considéré ou encore à une catégorie d'applications, tandis que les noms terminés par « ode » sont relatifs au nombre d'électrodes contenues dans le tube.
A l'origine, le restant du nom du tube était aussi d'origine grecque et servait très souvent pour indiquer le domaine d'applications introduites dans le langage technique et l'on a connu, par exemple, le mot « flashtron » qui désignait un tube-relais à fonctionnement assez rapide. Les choses se sont compliquées dans la suite du fait que les termes techniques se terminant par « ode » et « tron » ne sont pas toujours des noms de tubes électroniques. Les exemples viennent immédiatement à l'esprit : « électron », « anode », « cathode », « dynatron », « électron » et « neutron ».
Un grand nombre de termes scientifiques d'étymologies douteuses sont devenus populaires comme marques de fabrique et il y a donc, à l'heure actuelle, plusieurs centaines de mots dans le langage technique, scientifique ou commercial ayant une relation plus ou moins directe avec la famille des « odes » et des « trons ». Une sélection de ces termes a été rangée par ordre alphabétique dans le lexique suivant.
Ils sont accompagnés d'une courte définition et l'on retrouvera ansi un certain nombre des termes dont nous parlions dans les différents chapitres précédents. On a ajouté un certain nombre de mots qui ne sont pas des noms de tubes, mais que l'on rencontre fréquemment dans la littérature de l'électronique. On a, par contre, écarté le plus possible les termes commerciaux ou marques de fabrique qui n'ont pas été reconnus comme termes techniques.

Additron Nom donné à un type spécial de tube compteur, fabriqué au Canada.

Alphatron Forme particulière de tube à ionisation. Il est utilisé pour la mesure du degré de vide.

Anode Electrode reliée à la borne positive de l'alimentation. Par convention, le courant *électrique* est considéré comme entrant dans le système par l'anode, bien que le courant *électronique* réel aille dans le sens opposé.

Anotron Tube redresseur à décharge luminescente, à cathode froide et à vide, muni d'une grande cathode de sodium ou d'une autre matière, et d'une anode en cuivre.

Anticathode Dans un tube à rayons X, cible contre laquelle les électrons émis par la cathode sont projetés et d'où les rayons X sont émis.

Anticyclotron Forme de tube à propagation d'ondes (voir page 44).

Arditron Nom d'une lampe à éclair photographique - flash - (anglais).

Argostron Nom d'un tube stroboscopique à décharge (anglais).

Augetron Terme parfois appliqué à un multiplicateur d'électrons, utilisant de nombreuses dynodes à émission secondaire.

Axiotron Diode thermionique dans laquelle le courant anodique est commandé par un champ magnétique produit par le courant du filament.

Ballastron Nom d'un fil de fer pur dans un tube régulateur à fer-hydrogène.

Bêtatron Appareil accélérateur d'électrons produisant un courant d'électrons à grande vitesse appelés rayons bêta.

Bévatron Système permettant d'accélérer des protons (particules chargées positivement) de très grandes vitesses.

Capacitron Sorte de tube à cathode liquide.

Carcinôtron Tube oscillateur à propagation d'ondes.

Cathélectrode Nom, un peu pédant, parfois donné à la cathode.

Cathetron Redresseur à vapeur de mercure à électrode de commande extérieure au tube.

Cathode Dans un tube électronique, électrode émettant le courant d'électrons primaire. Par convention, le courant est considéré comme sortant d'un tube par la cathode (voir « anode »).

Charactron Type de tube à rayons cathodiques dans lequel les signaux lumineux affectent la forme de lettres ou de chiffres.

Cyclotron Dispositif dans lequel des particules chargées suivent un chemin en spirale et sont progressivement accélérées jusqu'à de très grandes vitesses par un champ électrique alternatif.

Diode Tube électronique ne comportant que deux électrodes.

Double diode Deux diodes montées dans une seule ampoule. Les deux systèmes d'électrodes ont une cathode commune.

Double triode Deux triodes montées dans une seule ampoule. Dans certains cas, les deux systèmes d'électrodes ont une cathode commune.

Duo-dynatron Type de dynatron dans lequel est ajouté un circuit oscillant de grille qui produit une seconde série d'oscillations de fréquence différente de celle des oscillations principales.

Dynatron Circuit utilisant une émission secondaire pour engendrer des oscillations électroniques. Egalement une tétrode utilisée de cette manière.

Dynode Electrode pour émission secondaire dans un photomultiplicateur.

Dyotron Tube à trois électrodes à micro-ondes, muni d'un résonateur à une seule cavité.

Electrode Partie d'un dispositif électrique reliée au circuit extérieur. Dans un tube électronique, l'anode, la cathode et les différentes grilles sont des électrodes. Le terme « électrode » est aussi appliqué au conducteur par lequel le courant est amené à la pièce, dans la soudure électrique, ou au conducteur plongé dans un bain de galvanoplastie.

Electron Particule constituante d'un atome chimique portant une charge élémentaire négative.

Emitron Type de tube pour caméra de télévision.

Excitron Tube électronique à cathode de mercure.

Gammatron Nom donné à une série de tubes à vide pour émission.

Genetron Nom donné à des tubes redresseurs à haute tension.

Heptode Tube thermionique à sept électrodes.

Hexode Tube thermionique à six électrodes.

Iconotron Autre nom de l'iconoscope, type de tube pour caméra de télévision.

Ignitron Type de tube électronique comportant une cathode liquide de mercure.

Kénopliotron Tube thermionique à vide poussé comprenant une diode et une triode disposées de telle manière que l'anode de la diode forme la cathode de la triode.

Kénotron Nom autrefois donné à une diode à vide poussé.

Klystron Type de tube thermionique.

Magnétron Tube pour micro-ondes à modulation de vitesse, dans lequel les électrons émis par une cathode thermionique sont soumis à deux actions : l'une radiale, due au potentiel positif appliqué à l'anode et l'autre périphérique, due au champ magnétique axial. La modulation de la vitesse est due à un potentiel alternatif appliqué aux dents d'un certain nombre de cavités, servant de résonateurs, pratiquées dans le corps de l'anode.

Mégatron Autre nom donné aux tubes-phares thermioniques, utilisés pour de très hautes fréquences.

Mésotron Autre nom du « meson », terme désignant des particules chargées qui se trouvent dans les rayons cosmiques.

Microscope électronique Appareil permettant d'examiner la structure d'un corps au moyen d'un faisceau d'électrons à déviation électrostatique ou électromagnétique et donnant un grossissement égal à 10 à 15 fois celui d'un microscope optique.

Microton Nom russe d'un type particulier d'accélérateur d'électrons.

Multiplicateur d'électrons Tube à vide dans lequel le courant électronique initial émis par une cathode thermionique ou photoémissive est réfléchi successivement par plusieurs anodes dont les émissions secondaires multiplient la valeur du courant électronique principal, lequel n'est généralement pas transmis à l'anode de sortie.

Négatron Ce terme a été quelque temps synonyme de « dynatron ».

Neutron Particule non chargée ayant une masse très peu inférieure à celle d'un proton. Les neutrons et les protons sont les parties constituantes du noyau atomique.

Octode Tube thermionique à huit électrodes.

Omégatron Cyclotron miniature.

Orthicon Tube pour caméra de télévision dans lequel un faisceau électronique à faible vitesse balaye une mosaïque photoélectrique ayant une capacité pour l'accumulation des charges.

Pentatron Terme parfois employé pour désigner les doubles triodes ayant une cathode commune.

Pentode Tube thermionique à cinq électrodes.

Permatron Tube thermionique à remplissage gazeux dans lequel on commande, par un champ magnétique extérieur, le moment où le tube devient conducteur.

Phanatron Nom générique donné aux redresseurs thermioniques à remplissage gazeux.

(Suite du lexique à la page 96.)

INDEX

Une explication relative aux différents termes ou aux diverses sortes de tubes est donnée dans les pages ou dans les chapitres mentionnés ci-dessous :

Accord (tubes indicateurs ...) 52
Bruit (source de ...) 63
Cartouche à gaz rare 72
Cathodiques (tubes à rayons ...) Chapitre VI
Cellules photoélectriques à vide Chapitre VII
Cellules photoélectriques à gaz Chapitre X
Classification (méthodes de ...) Chapitre III
Compteur (tube ...) 55
Compteur (tube ... de radiations) 72
Convertisseur d'images 58
Diode 19
Emission Chapitre II
Emission secondaire 14
Emission secondaire (tubes à ...) 27
Excitron 78
Gaz (source de bruit) 63
Gazeux (cellules à remplissage ...) Chapitre X
Gazeux (tubes à remplissage ...) VIII, IX, X, XI
Iconoscope-image 60
Ignitron 78
Images (tubes ...) 51
Indicateur d'accord 52
Indicateurs numériques 74
Intensificateur d'images 60
Klystron 40
Magnétron 37
Micro-ondes (Tubes pour ...) 37
Multi-réflexe (Klystron ...) 44
Oscilloscope (Tube pour ...) 52
Pentode 26
Photomultiplicateur 58
Plasmatron 68
Propagation d'ondes (Tubes à ...) 44
Rayons X (Tubes à ...) Chapitre V
Redresseurs (Tubes ... à remplissage gazeux) 63
Redresseurs (Tubes ... commandés par grille) 68
Référence (Tubes pour tension de ...) 70
Relais (Tubes ...) 76
Source de bruit 63
Stabilisateurs de tension (Tubes ...) 70
Tétrode 26
Thyratron 68
Thyratron à cathode froide 76
Triode 22
Tubes à remplissage gazeux VIII, IX, X, XI
Tubes à vide IV, V, VI, VII
Vidicon 62

Photo-augetron Nom donné à certains tubes photomultiplicateurs.

Plasmatron Tube thermionique à remplissage gazeux dans lequel le courant anodique est commandé continuellement.

Pliodynatron Oscillateur thermionique à vide poussé comportant une grille additionnelle, maintenue à une tension supérieure à celle de l'anode et placée dans un champ magnétique pour éviter une émission excessive d'électrons secondaires.

Pliotron Nom générique autrefois appliqué à des tubes thermioniques à vide poussé ayant une ou plusieurs grilles.

Positron Particule chargée positivement, mais ayant la même masse qu'un électron. On dit aussi « électron positif ».

Prionotron Type particulier de tube à modulation de vitesse.

Proton Particule constituante du noyau de l'atome, chargée positivement.

Quadratron Nom parfois donné à une tétrode thermionique à vide poussé.

Quadrode Voir tétrode.

Remtron Sorte de tube à cathode froide, utilisée dans les circuits compteurs et calculateurs.

Resnatron Tube résonateur à cavité, à quatre électrodes, à grande puissance de sortie, caractérisé par son très haut rendement.

Rhéotron Autre nom du bêtatron.

Rhumbatron Circuit résonnant caractérisé par un champ électromagnétique limité par une surface conductrice fermée, l'énergie quittant le champ électromagnétique ou y retournant par des spires inductives ou des capacités situées dans le champ, ou par radiation à travers une ouverture pratiquée dans la surface conductrice, ou par un faisceau d'électrons projeté à travers le champ.

Senditron Type de tube à cathode liquide, de construction japonaise.

Skiatron Type de tube à rayons cathodiques utilisé pour la projection des images de télévision.

Strobostron Tube à décharge gazeuse, à cathode de césium activée, utilisé principalement en stroboscopie.

Superémitron Modification de l'émitron dans laquelle une plus grande sensibilité est obtenue en séparant les fonctions de photo-émission et d'accumulation des charges.

Synchrotron Autre forme d'accélérateur de particules.

Tacitron Type de thyratron muni d'une grille spécialement conçue pour pouvoir interrompre le courant dans le tube.

Tétrode Tube thermionique ayant quatre électrodes.

Thyratron Triode ou tétrode thermionique à remplissage gazeux dans laquelle le potentiel appliqué à l'une des grilles commande l'instant auquel le tube devient conducteur.

Transitron Type de circuit utilisant une tétrode ou une pentode pour la production d'oscillations.

Triode Tube électronique à trois électrodes.

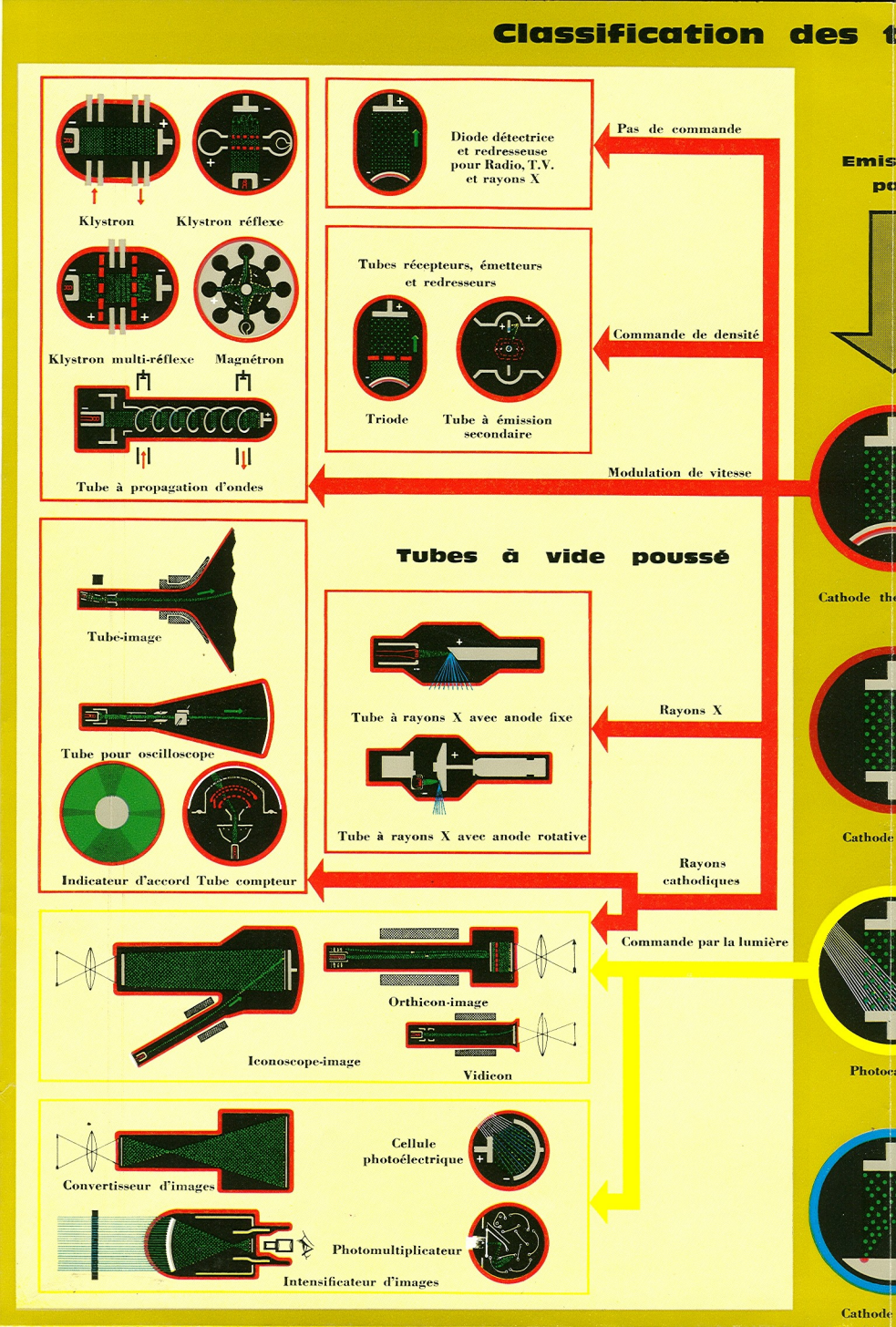
Trochotron Tube à vide poussé à électrodes multiples, utilisé dans les circuits compteurs.

Tropotron Forme de magnétron.

Tube à rayon électronique Tube indicateur d'accord à rayon cathodique.

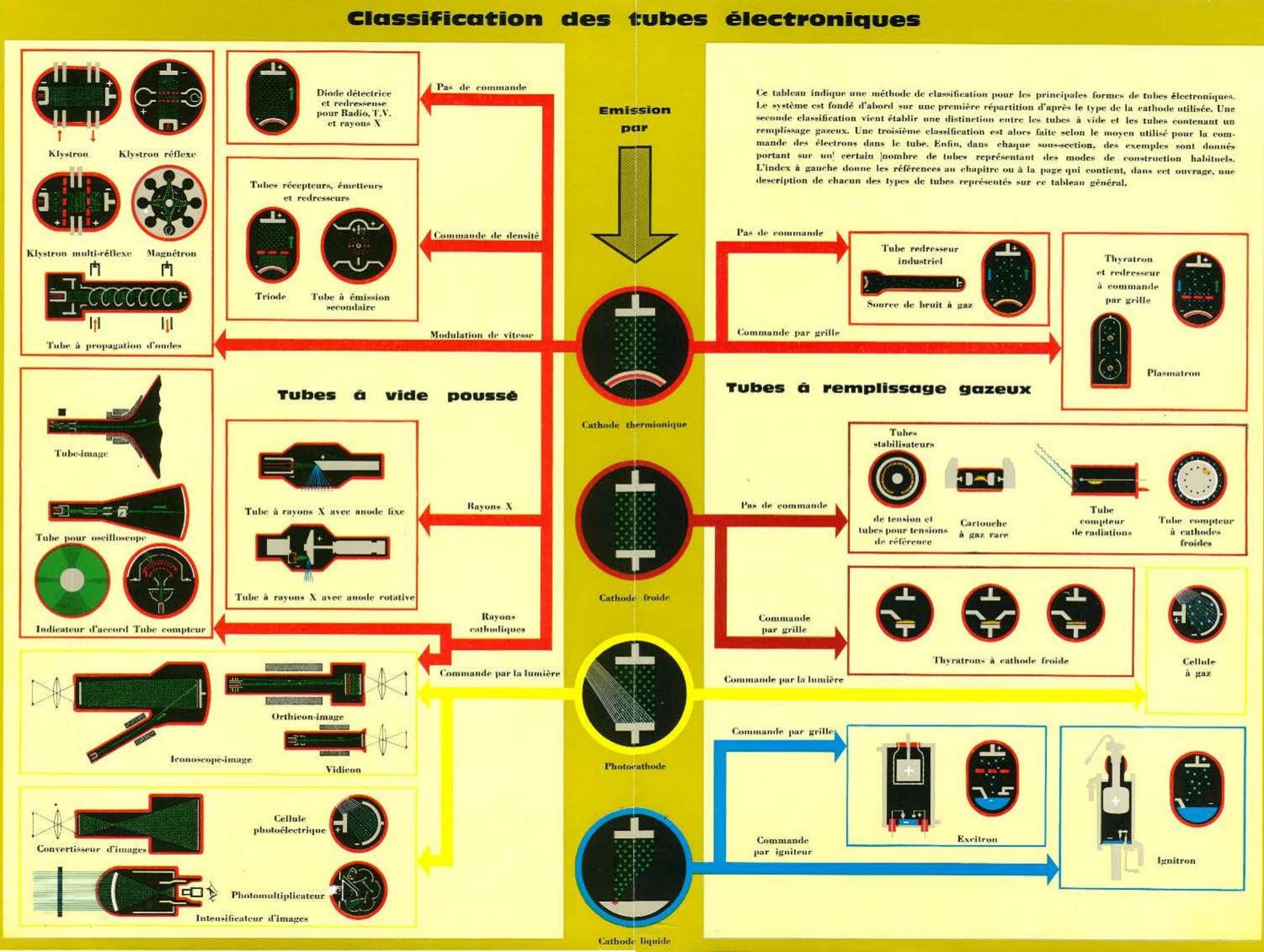
Visitron Nom d'un tube à rayons cathodiques à projection. Nom ancien d'une série de cellules photoélectriques.

Classification des t



Classification des tubes électroniques

Ce tableau indique une méthode de classification pour les principales formes de tubes électroniques. Le système est fondé d'abord sur une première répartition d'après le type de la cathode utilisée. Une seconde classification vient établir une distinction entre les tubes à vide et les tubes contenant un remplissage gazeux. Une troisième classification est alors faite selon le moyen utilisé pour la commande des électrons dans le tube. Enfin, dans chaque sous-section, des exemples sont donnés portant sur un certain nombre de tubes représentant des modes de construction habituels. L'index à gauche donne les références au chapitre ou à la page qui contient, dans cet ouvrage, une description de chacun des types de tubes représentés sur ce tableau général.



tubes électroniques

Ce tableau indique une méthode de classification pour les principales formes de tubes électroniques. Le système est fondé d'abord sur une première répartition d'après le type de la cathode utilisée. Une seconde classification vient établir une distinction entre les tubes à vide et les tubes contenant un remplissage gazeux. Une troisième classification est alors faite selon le moyen utilisé pour la commande des électrons dans le tube. Enfin, dans chaque sous-section, des exemples sont donnés portant sur un certain nombre de tubes représentant des modes de construction habituels. L'index à gauche donne les références au chapitre ou à la page qui contient, dans cet ouvrage, une description de chacun des types de tubes représentés sur ce tableau général.

ssion
ar

ermionique

froide

athode

liquide

Pas de commande

Tube redresseur industriel

Source de bruit à gaz

Commande par grille

Thyratron et redresseur à commande par grille

Plasmatron

Tubes à remplissage gazeux

Pas de commande

Tubes stabilisateurs

de tension et tubes pour tensions de référence

Cartouche à gaz rare

Tube compteur de radiations

Tube compteur à cathodes froides

Commande par grille

Thyratrons à cathode froide

Commande par la lumière

Cellule à gaz

Commande par grille

Excitron

Commande par igniteur

Ignitron

130, av. Ledru-Rollin
PARIS XIe

R. C. Seine 55-B-2793
Réf. 212-4-62

Prix de vente : **9,50 NF**