

V. MALVEZIN

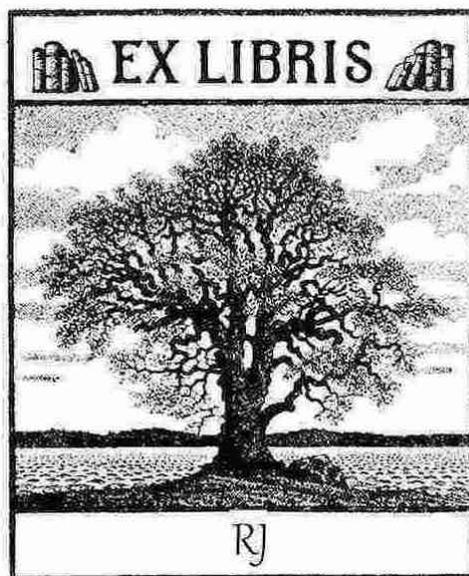
# LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE



APPLICATIONS PRATIQUES ET INDUSTRIELLES  
DES CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES ET LAMPES RADIO

1945

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO



Numérisé en Juillet 2025 par F1CJL , 300dpi

V. MALVEZIN  
INGÉNIEUR-RADIO E. S. E.

# LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE

•



LES MÉTHODES ET PROCÉDÉS  
RADIOÉLECTRIQUES DANS  
LEURS APPLICATIONS INDUS-  
TRIELLES. L'UTILISATION DES  
LAMPES AMPLIFICATRICES,  
DES CELLULÉS ET DES OSCIL-  
LOGRAPHES CATHODIQUES  
DANS LES USINES ET LES  
LABORATOIRES



•

DEUXIÈME ÉDITION

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO  
42, RUE JACOB - PARIS (6<sup>e</sup>)

Dépôt légal 4<sup>e</sup> trimestre 1945.  
N° d'Editeur : 23.  
N° d'Imprimeur : 8.  
*Copyright by Editions Radio.*

## PREFACE

---

L'ELECTRONIQUE pourrait se définir ainsi: la science de l'application des lampes thermo-ioniques. Cette science, qui est toute récente, couvre un domaine considérable et illimité. Dans chaque industrie et dans chaque métier la science électronique est susceptible de permettre de nouveaux procédés de fabrication de contrôle ou de recherche.

En réalité nous connaissons déjà deux branches importantes de l'ELECTRONIQUE: la Radio et le Cinéma parlant. Ces deux branches ont suscité une bibliographie abondante et amplement suffisante à l'heure actuelle, pour la documentation et la formation des techniciens. Par contre, les autres applications de l'ELECTRONIQUE ont été très négligées, et cela d'ailleurs pour des raisons fort compréhensibles et très naturelles. L'auteur a cherché dans ce livre à condenser et à rassembler des renseignements que l'on ne peut trouver qu'éparpillés dans de multiples ouvrages ou revues français et étrangers. Il espère ainsi faciliter le travail du technicien qui désire aborder des problèmes nouveaux pour lui.

En réalité, dans notre période moderne où les connaissances s'accroissent chaque jour il devient difficile de ne pas se spécialiser. Cette « localisation des connaissances » a pour inconvénient immédiat d'entraîner la négligence des autres sciences. Chaque technicien a donc tendance à s'enfermer dans sa tour d'ivoire et à négliger les « compartiments voisins ». La science électronique, de par sa nature, déborde sur toutes les autres sciences appliquées ou théoriques et doit servir de trait d'union entre elles. Le spécialiste des questions électroniques devra avoir un bon bagage de culture générale pour pouvoir aborder les multiples problèmes qu'il est susceptible de rencontrer et pour ne pas se trouver trop dépaysé dans une branche nouvelle pour

*lui. Son rôle sera important et rémunérateur s'il sait le comprendre. Il consistera essentiellement à faire l'intermédiaire entre la technique radio et l'ensemble des autres sciences.*

*Le but de cet ouvrage est de faire connaître à un technicien radio des débouchés nouveaux, et de donner à un technicien d'une autre branche scientifique ou industrielle des renseignements utiles sur la possibilité d'utiliser dans son métier les solutions électroniques.*

*Les applications que nous étudierons seront extrêmement variées, et nous trouverons côte à côte des sujets de natures très différentes. Souvent d'ailleurs, les solutions de deux problèmes dissemblables reposeront sur des bases analogues. C'est pourquoi nous estimons que le lecteur qui ne s'intéresse qu'à un cas particulier aura cependant intérêt à lire les autres chapitres de cet ouvrage.*

*L'auteur n'a pas la prétention d'avoir étudié toutes les applications de l'ELECTRONIQUE, au contraire. Dans chaque branche il a choisi les cas d'application les plus typiques. L'imagination de l'Electroniste devra faire le reste et s'exercer à trouver des solutions pour des problèmes nouveaux. Il devra constamment avoir à l'esprit cet axiome: N'importe quel problème scientifique ou industriel peut recevoir une solution électronique. Nous ne citerons pas d'exemples d'applications, nous serions embarrassés et nous nous bornerons à renvoyer le lecteur à la table des matières où il trouvera une indication de la multiplicité des sujets abordés.*

V. M.



## CHAPITRE PREMIER

# RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS PARTICULIÈRES DE PHYSIQUE

### LES APPAREILS EMPLOYÉS EN ELECTRONIQUE

L'électronique est la production et l'utilisation des *électrons*, pour résoudre divers problèmes posés par la science ou l'industrie.

Nous commencerons par rappeler quelques notions fondamentales de physique, utiles pour la bonne compréhension des chapitres suivants, et nous donnerons le principe des tubes électroniques le plus souvent utilisés.

#### **Les ondes électromagnétiques.**

Les diverses questions traitées dans ce livre faisant fréquemment appel aux ondes électromagnétiques, rappelons quelle est la classification habituelle de celles-ci.

Les ondes les plus courtes connues actuellement sont les *rayons cosmiques* dont la longueur d'onde est voisine de  $10^{-12}$  centimètre. Les *rayons gamma* émis par les substances radioactives ont une longueur d'onde de l'ordre de  $10^{-10}$  centimètre.

Les *rayons X* produits en bombardant une anode à l'aide d'électrons émis par une cathode, et accélérés à l'aide d'un champ électrostatique correspondant à une différence de potentiel  $V$ , ont une longueur d'onde telle que son minimum soit donné par la relation

$$V\lambda = 12,35$$

dans laquelle  $\lambda$  est exprimée en unités égales à  $10^{-9}$  centimètre, et  $V$  en kilovolts. Les rayons habituels ont une longueur d'onde comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-8}$  centimètre environ.

Les *radiations ultra-violettes* ont des longueurs d'onde de l'ordre de  $4 \cdot 10^{-5}$  à  $10^{-5}$  centimètre.

Les *radiations visibles* (lumière) ont une longueur d'onde comprise entre  $4 \cdot 10^{-5}$  et  $7 \cdot 10^{-5}$  centimètre environ.

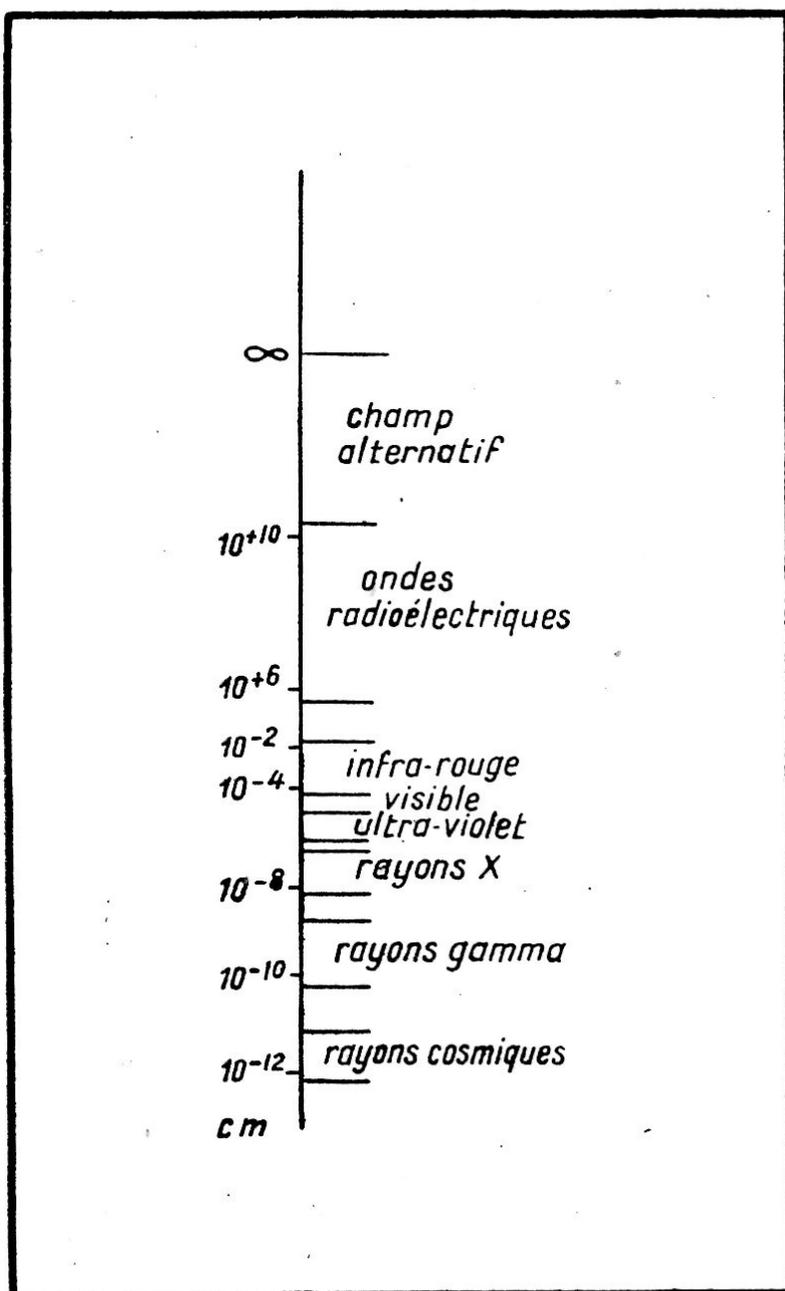


Fig. I-1

Ensuite viennent les *radiations infra-rouges* avec une gamme qui s'étend de  $7 \cdot 10^{-5}$  à  $4 \cdot 10^{-3}$  centimètre.

Après se trouvent les *ondes radioélectriques* qui vont jusqu'à  $10^6$  centimètre, et les *champs alternatifs* dont la limite extrême est le champ continu. Ce dernier peut être considéré comme un cas particulier du champ alternatif dont la fréquence serait devenue nulle.

Naturellement, les limites indiquées ci-dessus ne sont que des ordres de grandeur, les propriétés des ondes variant d'une façon continue.

Rappelons que la longueur d'onde est reliée à la fréquence par la relation :

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

dans laquelle  $\lambda$  est la longueur d'onde de la radiation électromagnétique, et  $V$  la vitesse des ondes électromagnétiques, soit environ  $3.10^{10}$  centimètre par seconde dans le vide.

On emploie souvent comme unité de longueur pour les phénomènes relatifs aux ondes à très haute fréquence l'*Angstrom* qui équivaut à 1 dix millionième de millimètre ( $10^{-8}$  cm.).

La propagation et la pénétration des ondes électromagnétiques dépendent à la fois de la fréquence et du milieu considéré. Les ondes électromagnétiques utilisées dans les communications radioélectriques se propagent bien dans l'atmosphère, mais par contre dépassent difficilement une pénétration supérieure à quelques mètres dans l'eau de mer.

La figure I-1 résume la répartition des différentes catégories d'oscillations électromagnétiques tout le long du spectre.

### Les rayons infra-rouges.

L'infra-rouge est l'ensemble des radiations dont la longueur d'onde est comprise entre  $7.10^3$  et  $4.10^6$  Angstroms.

La source naturelle de rayonnement infra-rouge est le soleil

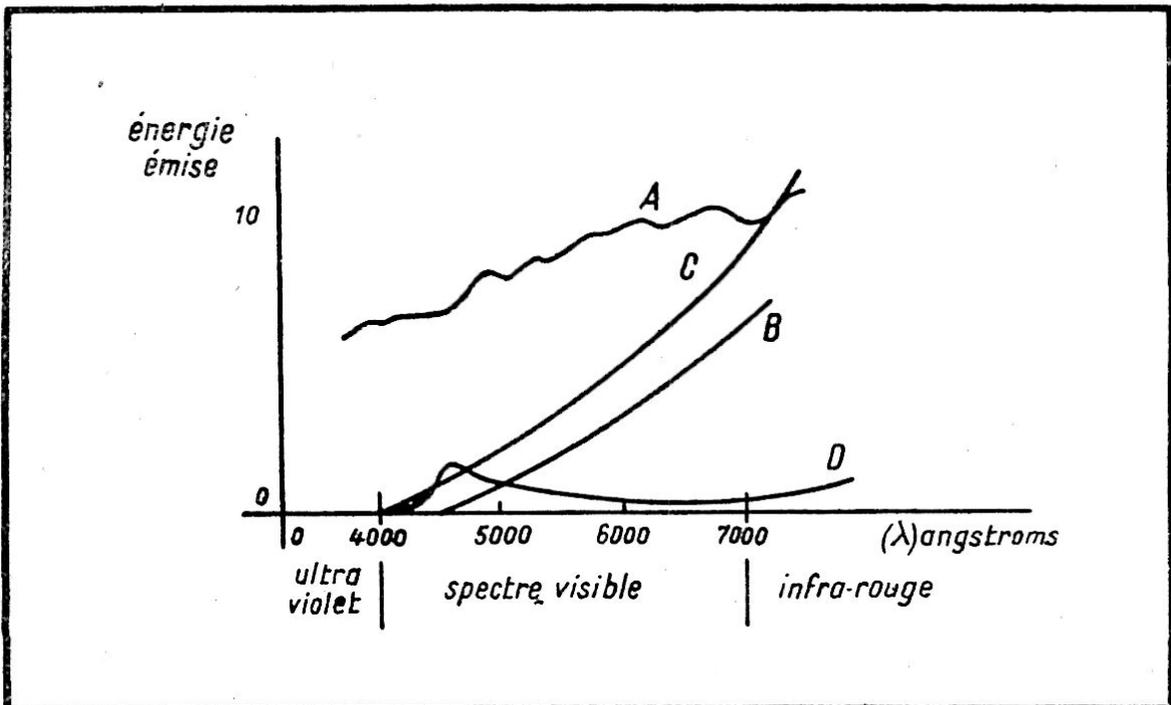


Fig. I-2

qui fournit également les radiations visibles du spectre lumineux et les radiations ultra-violettes. Les courbes de la figure I-2 indiquent la répartition de l'énergie rayonnante en fonction de la longueur d'onde, et cela pour différentes catégories de sources lumineuses: A soleil; B filament de tungstène d'une lampe d'éclairage à tension normale; C filament survolté; D lampe au néon. Diverses sources à fil chauffant produisent des radiations infra-rouges et calorifiques (fig. I-3).

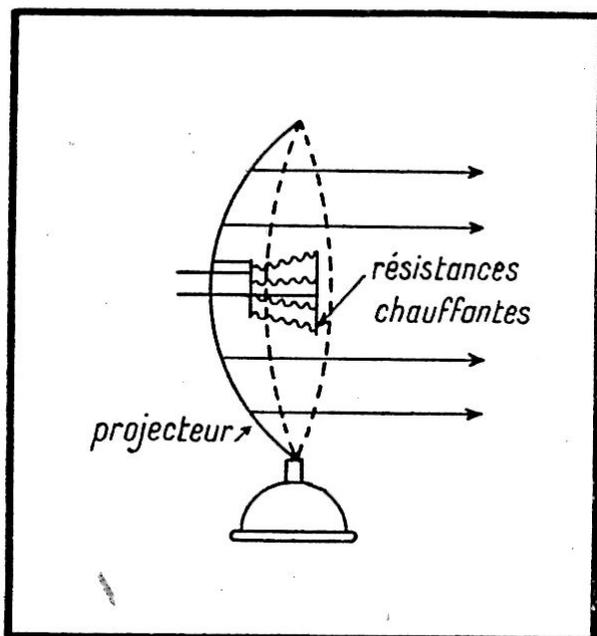
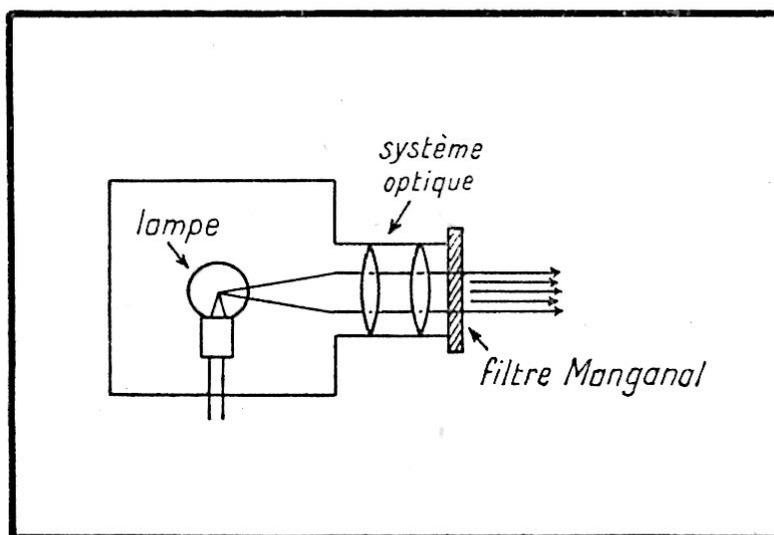


Fig. I-3

Fig. I-4



La fabrication d'un rayonnement infra-rouge proche de la lumière visible est très facile. Il suffit d'utiliser une source ordinaire de lumière blanche, et de supprimer les radiations visibles à l'aide de filtres en verres spéciaux.

Certains verres, tels que le *Manganal* des Verreries de Saint-Gobain, ou la Cellophane noire arrêtent les radiations visibles sans freiner sensiblement le passage de l'infra-rouge. On peut

facilement constituer une source d'infra-rouge par ce procédé (fig. I-4).

Il faut cependant remarquer que certaines sources lumineuses sont particulièrement riches en infra-rouges, et l'on a un intérêt évident à les choisir. Ce sont entre autres:

La lampe à incandescence à filament de Tungstène dont la radiation la plus importante se situe dans le rouge pour une température de  $2.700^{\circ}$  Kelvin. La radiation infra-rouge se trouve donc très favorisée.

De même, la lampe de Nernst, les manchons de becs Auers, certains tubes à décharge dans les gaz (Néon, Xénon, etc.) émettent des radiations riches en infra-rouges. Les arcs électriques à électrodes de charbon fournissent une radiation infra-rouge. Le corps humain a lui aussi un rayonnement de même catégorie dont la longueur d'onde est voisine de 9.400 unités Angstroms.

Rappelons maintenant les principales propriétés des rayons infra-rouges: ils sont invisibles et traversent dans de bonnes conditions l'atmosphère, et même les nuages ou brouillards. Cette propriété s'applique également aux rayons rouges, et c'est ce qui explique la couleur rouge du soleil au moment de son coucher, c'est-à-dire au moment où l'atmosphère absorbe le maximum des autres radiations.

Le brouillard présente en général un minimum de résistance au passage des radiations dont la longueur d'onde est d'environ  $2,2 \mu$  ou 22.000 Angstroms. Cette propriété est utilisée pour différentes applications: signalisations, protection, etc. Par contre, il faut signaler que l'eau présente pour les radiations infra-rouges un obstacle pratiquement infranchissable.

## Les rayons ultra-violet.

L'ultra-violet est constitué par un ensemble de radiations électro-magnétiques dont les fréquences sont voisines de celles des radiations visibles, mais légèrement plus élevées. Autrement dit, l'ultra-violet correspond à une longueur d'onde inférieure à 4.000 Angstroms environ.

Les radiations ultra-violettes qui sont comprises entre le violet visible et les rayons X se divisent entre plusieurs gammes: Entre 3.200 et 3.600 Angstroms se situe la lumière de Wood qui détermine les phénomènes de fluorescence mais dont l'action biologique est insignifiante.

De 2.800 à 3.200 Angstroms se situe une gamme très riche en propriétés biologiques.

Entre 1.000 et 2.800 Angstroms enfin, les rayonnements ultra-

violets présentent des propriétés destructives dont les effets peuvent être considérables. Ils peuvent, par exemple, provoquer le décollement rétinien.

Cette dernière gamme existe dans la lumière solaire, mais se trouve arrêtée par les couches supérieures de l'atmosphère. Cet arrêt est, d'ailleurs, plus ou moins partiel, et c'est pourquoi l'on constate à la montagne ou au bord de la mer des actions physiologiques très intenses.

Les applications médicales des ultra-violets constituent un domaine très vaste qui sort du cadre de cet ouvrage. Nous nous contenterons de mentionner dans le chapitre IV les principales d'entre elles.

### **Production des rayons ultra-violets.**

Les *ultra-violets* compris entre 2.800 et 3.600 *Angstroms* peuvent nous être fournis par le rayonnement solaire. Mais ce dernier est influencé par l'altitude, l'état de l'atmosphère, la présence de brumes, etc... C'est pourquoi il est intéressant d'avoir à sa disposition des sources d'ultra-violet produisant un rayonnement bien défini et, si possible, réglable.

La lampe à incandescence fournit peu d'ultra-violet, mais elle en fournit d'autant plus que la température de son filament est plus élevée. Les filaments ordinaires fonctionnent à une température maximum de 2.800°; c'est très loin de la température solaire qui est voisine de 6.000°. Même les lampes dites « solaires ou lumière du jour » fournissent peu d'ultra-violet et beaucoup de lumière « visible ».

Les rayons ultra-violets intéressants pour leurs applications biologiques, c'est-à-dire ceux compris entre 2.800 et 3.200 *Angstroms* sont, le plus souvent, produits par des lampes en quartz à atmosphère de vapeur de mercure. Le quartz présente, par rapport au verre, l'avantage de laisser passer les radiations ultra-violettes.

Si l'on fait jaillir une étincelle électrique continue dans la vapeur de mercure, on provoque l'émission d'un spectre discontinu avec les raies suivantes: une faible raie rouge, une raie verte, une raie bleue, deux raies violettes intenses, et plusieurs raies dans l'ultra-violet (les principales étant à 3.130 et 3.665 *Angstroms*).

Les lampes à vapeur de mercure peuvent être amorçables par basculage. Dans ce cas elles sont constituées par une masse de mercure et une électrode positive en fer contenue dans une ampoule quartz. Le mercure constitue l'électrode négative (fig. I-5).

Pour l'amorçage de l'arc, il suffit de basculer la lampe de façon à amener le mercure en contact avec le fer. L'arc, une fois amorcé, s'entretient de lui-même sans difficulté.

Certaines lampes utilisent un jet de mercure contre une électrode en *invar* ou en *tungstène* dans une atmosphère d'argon. Par contre, on se contente pour d'autres lampes d'une très petite quantité de mercure libre que l'on laisse dans l'ampoule.

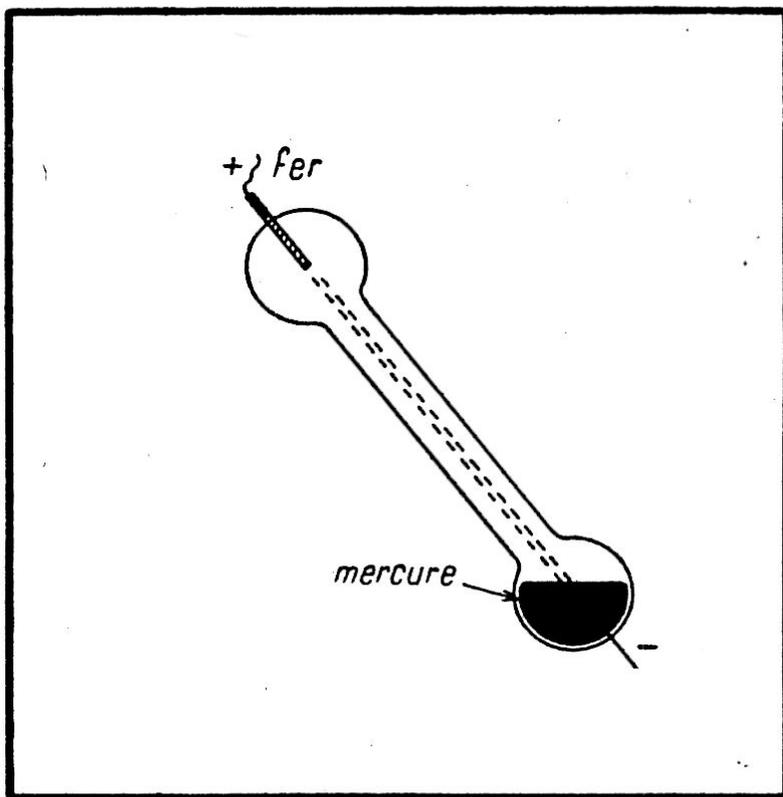


Fig. I-5

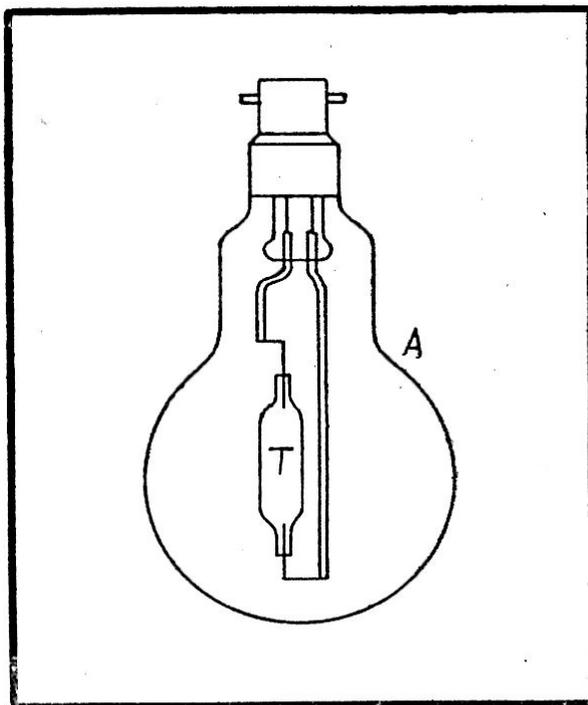


Fig. I-6

Voici maintenant quelques indications sur les proportions des différentes radiations dans les principales sources lumineuses :

<i>Source</i>	<i>Ultra-violet</i>	<i>Lumière visible</i>	<i>Infra-rouge</i>
Soleil	2 %	33 %	65 %
Bougie	—	3 %	97 %
Arc	7 %	18 %	75 %

A titre d'exemple, nous avons représenté dans la figure I-6 le principe d'une ampoule industrielle à ultra-violet (*Mazda* 01-A-300) qui peut servir pour les diverses applications des ultra-violets (Lumière de *Wood* ou lumière noire). Un tube central en quartz T contient de la vapeur de mercure sous haute pression, et est le siège d'une décharge électrique.

Un tel tube peut être utilisé dans une ampoule claire et donne un rendement de 3.000 *Lumens* environ; nous rappellerons plus loin quelles sont les unités photométriques.

Ce tube peut aussi être renfermé dans une ampoule en *verre de Wood*; ce dernier est un verre spécial chargé d'oxyde de nickel qui ne laisse filtrer pratiquement que les radiations ultra-violettes.

L'ampoule claire pourra être utilisée pour des éclairages ordinaires, surtout si l'on adjoint une source d'éclairage complémentaire qui corrige la couleur bleue exagérée produite par le mercure.

L'ampoule en *verre de Wood* est susceptible d'applications diverses: médecine, contrôle, étalagisme, etc. Dans les deux cas la consommation d'une lampe commerciale est au voisinage de 75 watts.

La firme *Mazda* fabrique également des lampes moins puissantes à atmosphère d'Argon qui ne consomment que 4 ou 0,5 watt et dont l'ampoule est en verre clair. Les électrodes sont constituées par deux demi-disques perpendiculaires à l'axe de l'ampoule. Ces lampes émettent, en plus de l'ultra-violet une faible lumière mauve que l'on peut éliminer grâce à un filtre en verre de *Wood*. Elles se branchent directement sur le secteur et sans aucune précaution spéciale.

Voici le résumé des propriétés des rayons ultra-violets: ils peuvent traverser le quartz, mais sont arrêtés par le verre ordinaire; ils peuvent être réfléchis et dirigés par des réflecteurs en aluminium traités spécialement pour ne pas absorber les rayonnements.

## Les ultra-sons.

La nature des *ultra-sons*, de même que celle des sons audibles et des *infra-sons* est essentiellement différente de celle des ondes électromagnétiques. Les ondes sonores sont créées par des vibrations matérielles des milieux pondéraux et élastiques (solides, liquides et gaz). Les vibrations dont la fréquence est inférieure à 16 périodes par seconde constituent les *infra-sons* et sont sans applications pratiques actuellement. La gamme des sons audibles s'étend de 16 à 16.000 périodes par seconde.

Les *ultra-sons* sont inaudibles; leur fréquence qui est supérieure à 16.000 périodes par seconde peut monter jusqu'à 100.000 et même 500.000 périodes par seconde. Seules les fréquences comprises entre 15.000 et 100.000 périodes par seconde ont reçu des applications pratiques.

En réalité on ne peut pas fixer exactement la limite exacte entre les sons audibles et les *ultra-sons*. Les variations de propriété ne sont que progressives et il n'y a pas de limite absolue. D'ailleurs chaque individu réagit d'une manière différente, et la limite supérieure de la fréquence audible est extrêmement variable. Pour certaines personnes cette limite est de 12.000, pour d'autres elle monte à 22.000.

## Production des ultra-sons.

Les ultra-sons peuvent être produits par un choc mécanique sur un corps solide de faibles dimensions, mais ce procédé est à peu près abandonné industriellement. Les procédés employés, presque exclusivement, à l'heure actuelle, utilisent la transformation d'oscillations électriques en vibrations mécaniques.

Les ultra-sons à fréquences basses peuvent être produits par les diverses sortes de hauts-parleurs, à condition de réduire autant que possible les masses mécaniques en mouvement.

En particulier, on a utilisé le « condensateur chantant » constitué par deux armatures métalliques reliées à une source de courant alternatif.

Par suite de la différence de potentiel variable appliquée entre les armatures, celles-ci subissent des attractions périodiques. Les oscillations obtenues auront une amplitude beaucoup plus grande si la fréquence utilisée correspond à la fréquence propre de vibration mécanique de l'ensemble.

Toutefois, les amplitudes obtenues sont encore très faibles et ce procédé est peu employé. On a utilisé également des sifflets

à fréquence suraiguë, mais les deux procédés les plus couramment utilisés actuellement sont basés soit sur la *magnétostriction*, soit surtout sur le principe du *triplet piezoélectrique*.

### Les générateurs d'ultra-sons.

Lorsqu'un corps solide est soumis à un champ électromagnétique, il subit une variation de longueur. Ce phénomène constitue la *magnétostriction*.

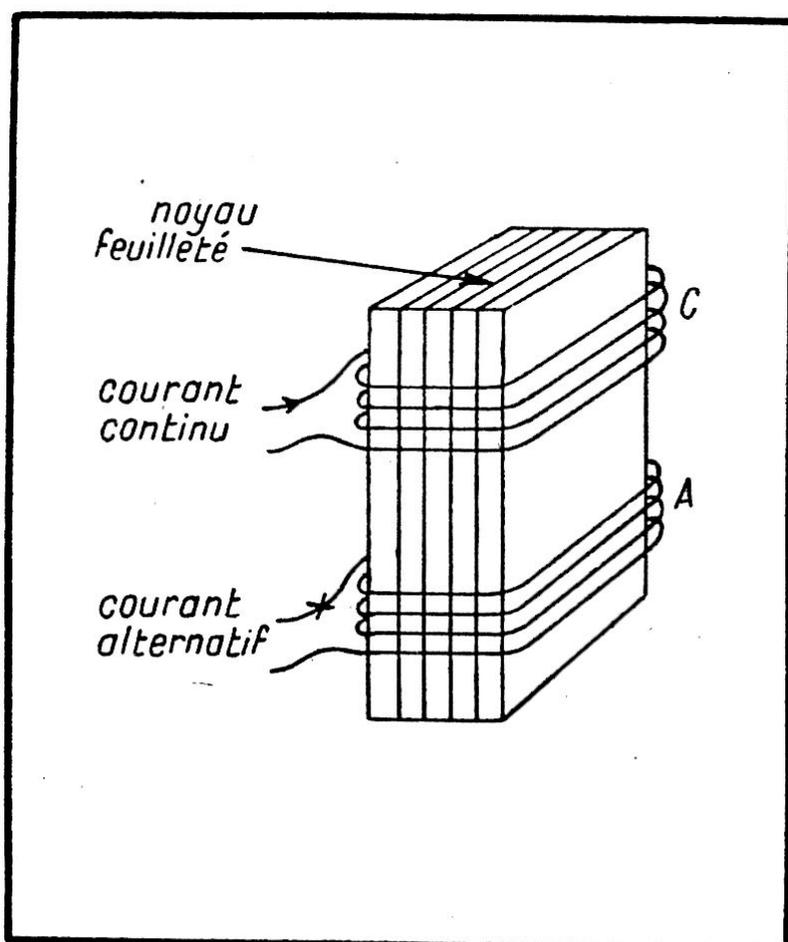


Fig. I-7 a

La figure I-7a donne le principe d'un générateur à magnétostriction: un noyau feuilleté, en tôles de nickel par exemple, est soumis à un champ magnétique continu provoqué par un premier enroulement C, et à un champ magnétique alternatif produit par un deuxième enroulement A.

La figure I-7b donne l'allure de la variation de longueur d'un barreau en fonction du champ magnétique auquel il est soumis. Le point figuratif M correspond au champ magnétique créé par l'enroulement parcouru par le courant continu. La présence simultanée du champ continu et du champ alternatif fera déplacer le point de fonctionnement entre les points  $M_1$  et  $M_2$ .

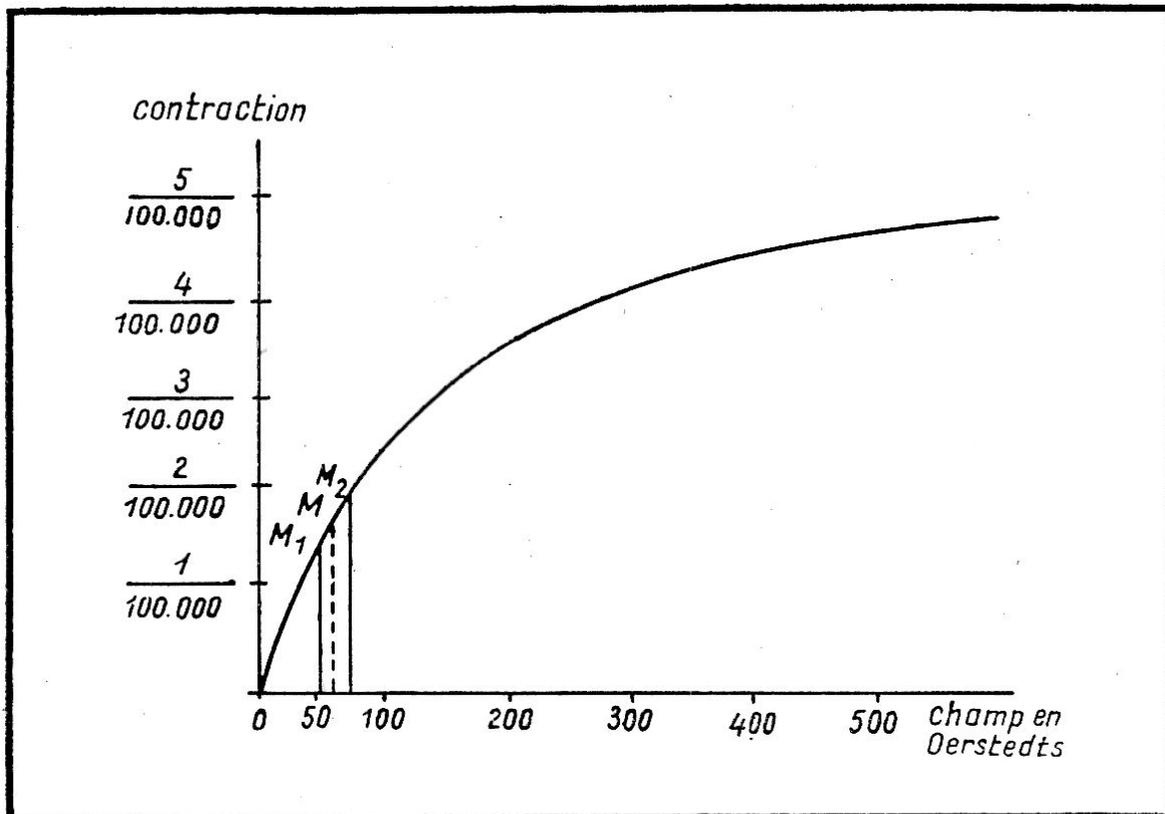


Fig. I-7 b

La fréquence des ultra-sons ainsi produits est généralement inférieure à 50.000 périodes par seconde. De nombreux générateurs basés sur ce principe ont une fréquence de 16.000 périodes par seconde.

Le procédé le plus utilisé actuellement est basé sur le principe du quartz *piezo-électrique*.

Rappelons-en le principe:

On taille dans un cristal de quartz une lame à faces parallèles dont les faces sont parallèles à l'axe optique  $ZZ'$  (fig. I-8a) et perpendiculaires à l'un des axes électriques tels que  $E_1 E_2$ . On métallise les 2 faces de cette lame et l'on applique une tension alternative entre les deux électrodes ainsi constituées. La lame de quartz se contracte et se dilate à la même fréquence.

On peut utiliser plusieurs lames de quartz dont on ajoute les amplitudes des oscillations mécaniques, ces dernières étant très faibles et de l'ordre de *quelques millièmes de millimètre seulement*. Le professeur Langevin a eu l'idée d'augmenter l'amplitude de ces oscillations en utilisant le phénomène de la résonance mécanique. Le triplet piézo-électrique Langevin se réalise en collant sur les deux faces du quartz, à l'aide de la bakélite, deux plaques d'acier dont l'épaisseur est choisie de

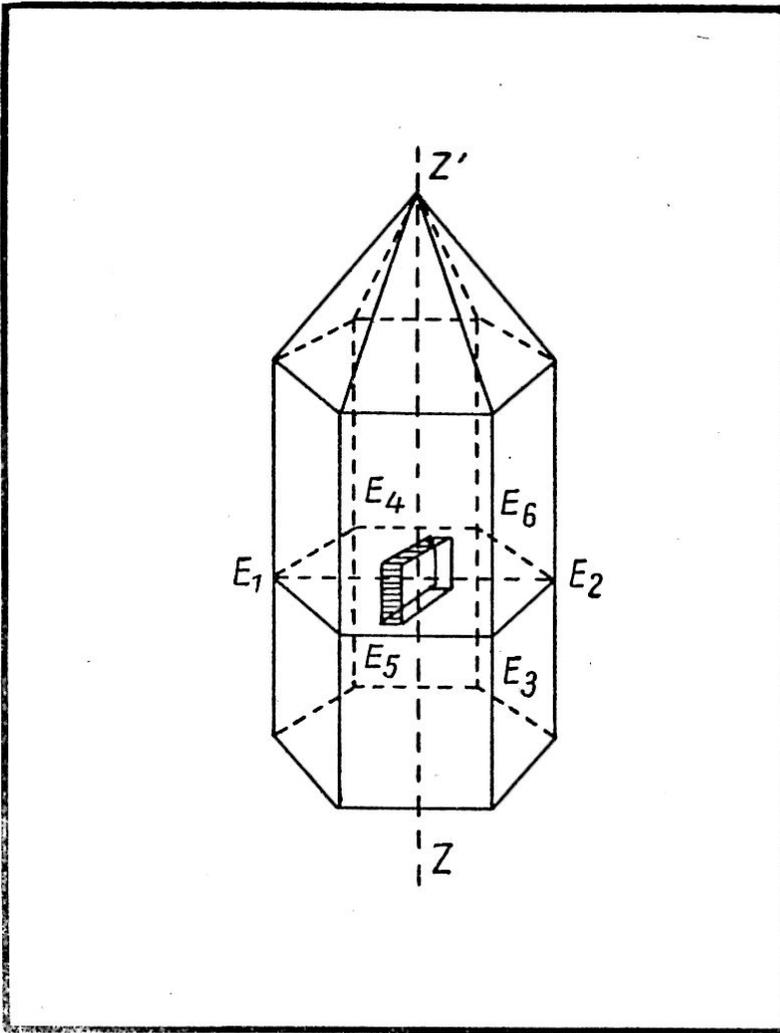
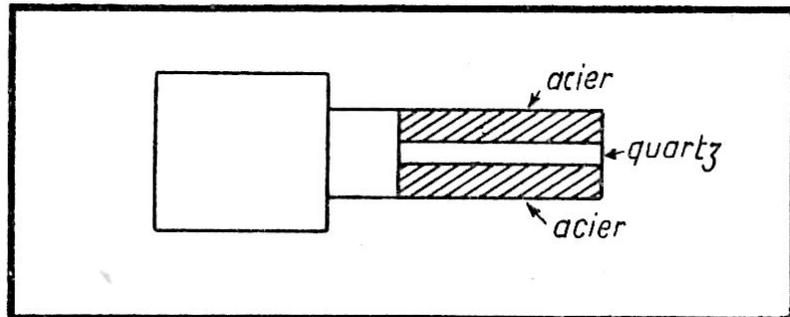


Fig. I-8 a

Fig. I-8 b



telle sorte que l'ensemble soit en résonance pour la fréquence électrique imposée au cristal (fig. I-8b).

Le bloc formé par la lame de quartz et les 2 lames métalliques vibre dans son ensemble, et sa fréquence fondamentale propre est égale, à peu de chose près, à la fréquence qu'aurait un bloc d'acier homogène dont l'épaisseur totale serait celle du triplet.

A la fréquence de résonance, et pour la même tension alternative d'excitation, le triplet vibre avec la même amplitude

que celle d'un quartz dont l'épaisseur serait  $m$  fois plus grande,  $m$  étant défini par le rapport:

$$m = \frac{D_1 V_1}{D_0 V_0}$$

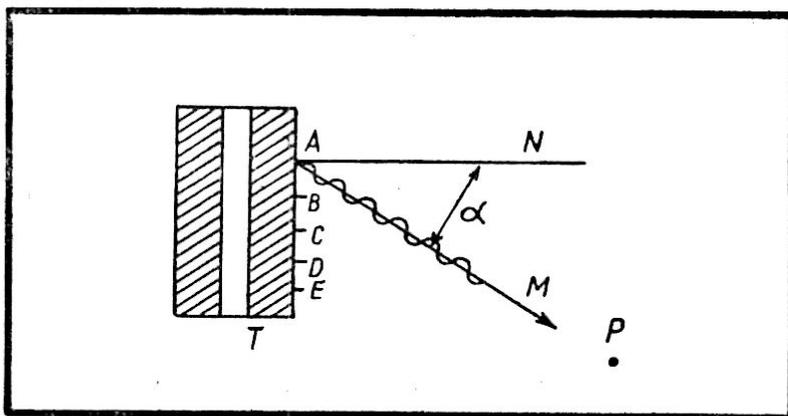
dans lequel  $D_1$  est la densité du métal utilisé dans le triplet, et  $D_0$  la densité du quartz;  $V_1$  est la vitesse du son dans le quartz, et  $V_0$  la vitesse du son dans le métal. Pour l'association *acier-quartz*, le coefficient  $m$  est égal à 25 environ. Cela signifie, en pratique, qu'un triplet ne demandera, à énergie émise égale, qu'une tension d'excitation 25 fois plus faible que celle qui aurait été nécessaire avec la seule lame de quartz. On pourra se contenter d'une tension de quelques milliers de volts seulement.

Mais, de plus, on pourra utiliser le phénomène de résonance électrique en excitant un circuit oscillant sur sa fréquence propre. Le schéma de principe d'un générateur de ce genre est donné dans le chapitre relatif à la navigation (fig. V-22).

### La propagation des ultra-sons.

La plupart des sources d'ondes électromagnétiques ou sonores émettent des ondes concentriques dont le centre est la source elle-même. On peut cependant réaliser des sources émettant des ondes dans une direction déterminée. Pour les ondes lumineuses ce résultat peut être obtenu à l'aide d'une source ponctuelle et d'un miroir, d'une lentille ou d'un réseau.

Fig. I-9



Dans le cas des ondes radioélectriques on utilise un miroir parabolique métallique et une antenne en doublet, ou encore un ensemble d'antennes en réseaux (systèmes *Telefunken*, *Chireix-Mesny*, *Marconi*, etc...).

Le triplet piézo-électrique permet de réaliser l'émission d'ultra-sons dans une direction déterminée. La source d'émission doit avoir des dimensions linéaires d'au moins 5 ou 6 lon-

guez d'onde. Pour comprendre la raison de cet effet directif on peut faire un raisonnement analogue à celui qui se fait pour un réseau optique ou pour un réseau d'antennes.

Un triplet  $T$  émet, parallèlement à son plan, des vibrations de longueur d'onde  $\lambda$  (voir figure I-9). Décomposons la surface de  $T$  en un certain nombre d'éléments voisins:  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $DE$ , etc. Examinons ce qui se passe en un point  $P$  éloigné du triplet dont la direction fait un angle  $\alpha$  avec la normale de ce dernier.

Si les ondes émises dans la direction considérée par deux éléments contigus  $AB$  et  $BC$  présentent l'une par rapport à l'autre une différence de marche d'une demi-longueur d'onde, les vibrations se neutralisent, et au point  $P$ , par exemple, on ne constatera aucune action.

Au contraire, sur la normale  $N$  les actions des différents éléments  $AB$ ,  $BC$  et  $CD$  s'ajoutent et l'intensité vibratoire est maximum. Le calcul exact montrerait que l'émission est pratiquement localisée dans un cône dont l'angle d'ouverture n'est que de *quelques degrés seulement* (fig. I-10).

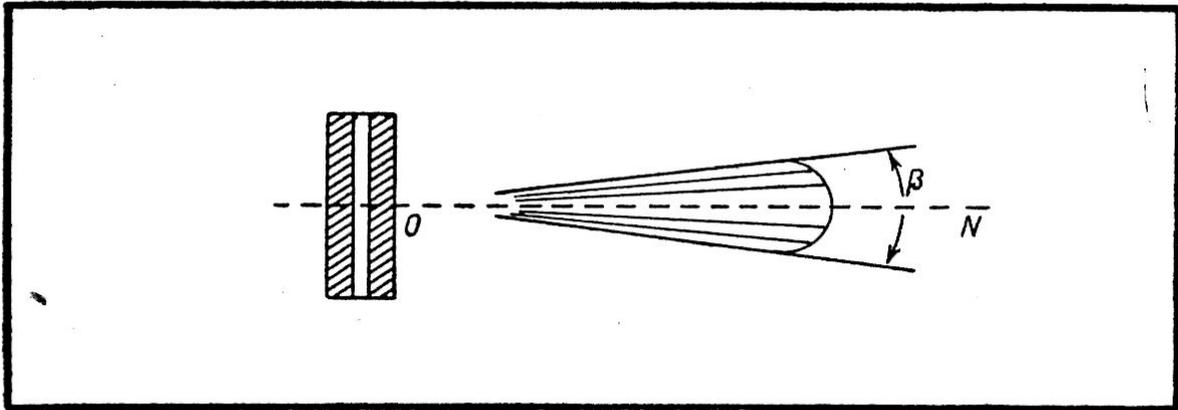


Fig. I-10

Le raisonnement précédent suppose que le diamètre du triplet est sensiblement supérieur à la longueur d'onde. Les ultrasons dont la longueur d'onde est petite permettent une « directivité » qui ne serait obtenue avec des fréquences audibles que grâce à des dimensions prohibitives du triplet.

La propagation des sons dans les milieux parfaitement élastiques a été étudiée par *Newton*, puis par *Laplace*. De son côté, *Lord Railegh* a étudié la propagation dans les milieux visqueux. Dans ces derniers une partie de l'énergie transportée est *dégradée* et se transforme en chaleur; l'amplitude  $A$  des ondes planes diminue avec la distance  $x$  et est donnée par la formule:

$$A = A_0 e^{-KN^2x}$$

formule dans laquelle  $A_0$  est l'amplitude au point d'origine,  $e = 2.718$ ,  $N$  est la fréquence de l'onde. Le coefficient  $K$  dépend du milieu et de son état physique: densité, compressibilité et viscosité.

On voit que l'absorption varie avec le carré de la fréquence; elle est beaucoup plus petite pour les sons musicaux que pour les ultra-sons. Il est cependant possible de réaliser des portées de plusieurs kilomètres avec des ondes dont les fréquences sont comprises entre 15.000 et 50.000 périodes par seconde. L'absorption due à la viscosité de l'air est très importante et cette particularité restreint considérablement les applications des ultra-sons dans l'air libre.

Au contraire, ainsi que nous l'avons dit précédemment, les ondes électromagnétiques se propagent très bien dans l'air mais pénètrent beaucoup moins facilement dans l'eau de mer. Ces propriétés opposées, mais complémentaires justifient les domaines d'application de ces deux procédés de communication: les ultra-sons seront utilisés pour les transmissions sous-marines, et les ondes électromagnétiques seront réservées aux transmissions dans l'atmosphère.

La vitesse de propagation est liée au coefficient de compressibilité  $C$  et à la densité  $D$  du milieu par la relation:

$$V = \sqrt{1/CD}$$

Dans l'eau de mer, à 15° centigrades, la vitesse des ondes acoustiques est de 1.500 mètres par seconde. Dans l'air elle n'est plus que de 350 mètres.

L'énergie transportée par les ondes dans un milieu visqueux dépend non seulement des caractéristiques physiques de ce milieu, mais est par ailleurs proportionnelle au carré de la fréquence. A énergie égale, l'emploi des ultra-sons conduit à des amplitudes vibratoires extrêmement faibles.

Lorsqu'une onde sonore ou ultra-sonore traverse une masse d'eau elle produit une succession de zones de surpression et de zones de sous-pression. Si la puissance transportée dépasse 0,3 watt par centimètre carré, la dépression due au passage des ondes dilatées atteint une valeur telle qu'il naît des bulles microscopiques. Ces bulles disparaissent brusquement dès qu'une onde comprimée a pris la place de l'onde dilatée, et réapparaissent à la demi période suivante. L'eau se transforme en un milieu trouble, de viscosité accrue, dans lequel la trans-

mission des ondes devient impossible. Ce phénomène, dit de *cavitation* limite la puissance que l'on peut transmettre par les ultra-sons. Toutefois, cette limite est telle qu'un grand nombre d'applications reste possible. Il est d'ailleurs facile de tourner la difficulté en augmentant la surface active du triplet émetteur.

### **Détection des ultra-sons.**

Diverses méthodes ont été utilisées pour détecter les ultra-sons: flamme sensible, fil chaud, pendule de radiation, etc. Dans les applications actuelles, en particulier pour les utilisations sous-marines, on utilise, presque exclusivement, un quartz analogue au quartz émetteur. Un triplet piézo-électrique récepteur pourra entrer en résonance mécanique si sa fréquence propre est égale à la fréquence de l'onde à détecter. Cette résonance provoquera une tension alternative, d'amplitude relativement grande, entre les deux armatures conductrices.

La différence de potentiel ainsi produite sera amplifiée par un appareil à lampes électroniques suivant les procédés habituels, et l'on pourra actionner un enregistreur à bande de papier, un indicateur visuel — tube cathodique par exemple — un casque téléphonique, etc...

Nous trouverons dans les chapitres suivants plusieurs applications des ultra-sons: détection des obstacles sous-marins; épaves ou navires; communications sous-marines en plongée; détection des bancs de poisson pour la pêche; contrôle des pièces métalliques; biologie, etc.

### **Principales unités utilisées en photométrie.**

#### *Intensité lumineuse.*

L'unité d'intensité lumineuse est la bougie internationale, telle qu'elle résulte des accords conclus entre les Laboratoires Nationaux de Standardisation de France, d'Angleterre et des Etats-Unis, accord réalisé en 1909.

#### *Flux lumineux.*

Le flux lumineux représente l'énergie lumineuse. L'unité de flux lumineux est le *lumen* qui est l'énergie lumineuse reçue par une portion de surface de *un mètre carré* d'une sphère de *un mètre de rayon* au centre de laquelle est placée une source lumineuse de *une bougie*.

*Eclairement.*

L'éclairement en un point d'une surface est la densité du flux lumineux incident en ce point. L'unité d'éclairement est le *Lux*. Elle correspond à l'éclairement produit en un point quelconque de la surface d'une sphère d'un mètre de rayon par une source lumineuse ponctuelle de *une bougie* placée en son centre.

L'éclairement  $E$ , la surface éclairée  $S$  et le flux  $\Phi$  sont liés par la relation :

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

*Brillance.*

La brillance, dans une direction déterminée, d'une surface lumineuse est le quotient de l'intensité lumineuse dans cette direction par l'aire de la surface projetée sur un plan perpendiculaire à la direction considérée. La brillance s'exprimera en *bougies par unité de surface*.

*Radiance.*

La radiance caractérise le flux lumineux par rapport à la surface émettrice, mais sans tenir compte de la répartition du flux dans l'espace. L'unité de radiance est le *Lambert*, c'est la radiance moyenne d'une surface émettant ou réfléchissant *un lumen par centimètre carré*.

*Rendement lumineux.*

Le rendement lumineux d'une source est le rapport du flux lumineux à la puissance mise en jeu. Il s'exprime en *lumens par watt*.

**Les cellules photoélectriques.**

Lorsque des radiations électromagnétiques de certaines fréquences tombent sur un métal, celui-ci émet des électrons. Ceci constitue le phénomène photoélectrique normal. Il fut découvert en 1887 par Hertz qui étudiait les ondes électromagnétiques dont Maxwell avait démontré les propriétés.

Le nombre de *photoélectrons* émis varie avec l'intensité de la radiation lumineuse, mais leur vitesse ne dépend que de la fréquence de la radiation. Pour un métal pur, l'énergie de l'électron libéré sera d'après l'équation d'Einstein :

$$\frac{1}{2} m v^2 = h \nu - p$$

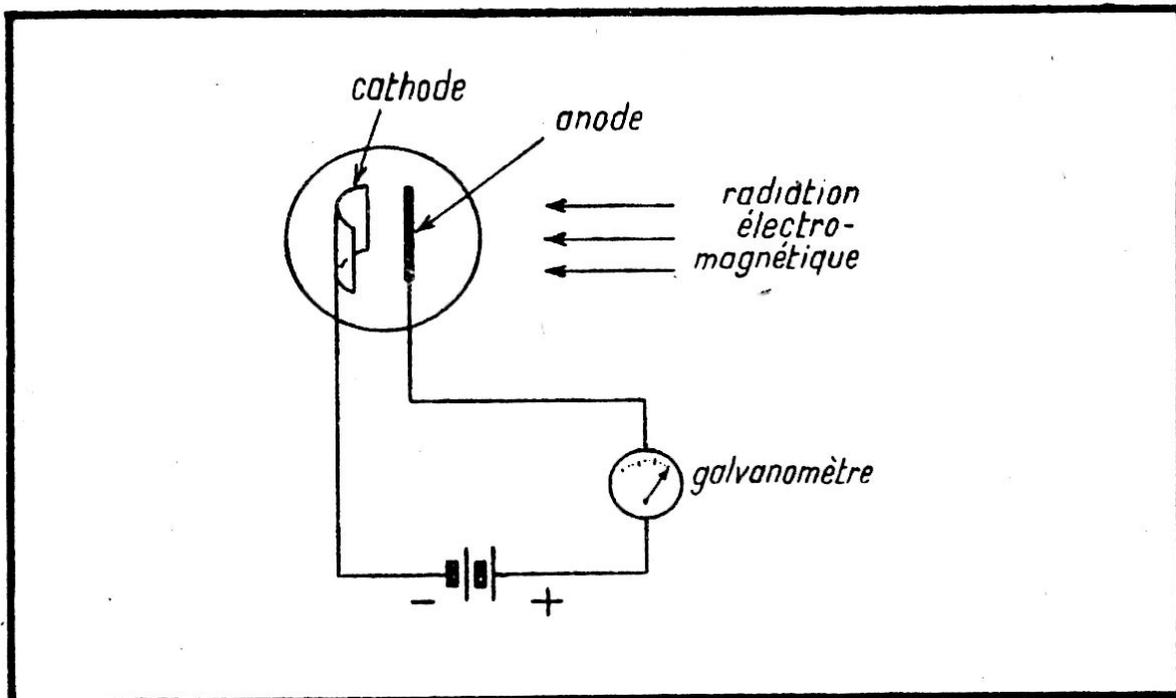


Fig. I-11

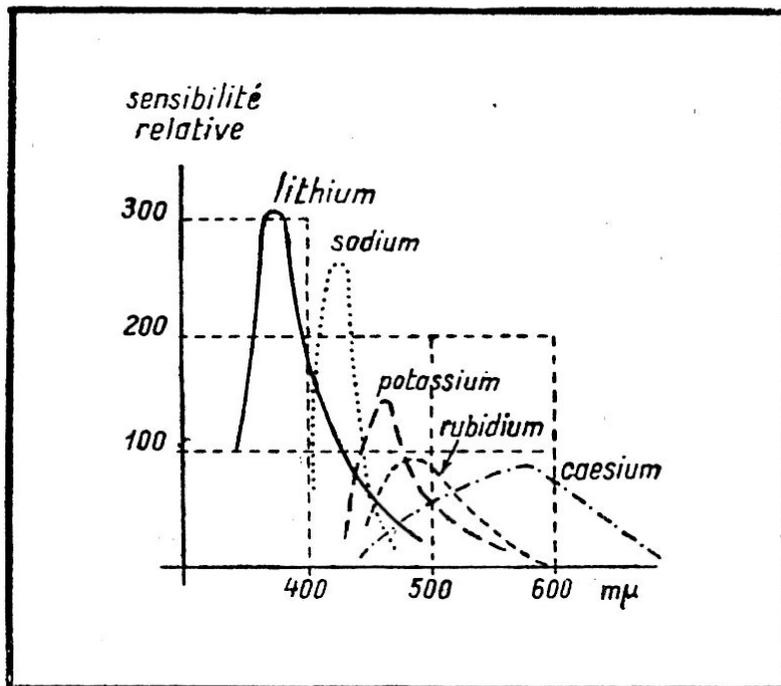


Fig. I-12

dans laquelle  $m$  et  $v$  représentent la masse et la vitesse de l'électron. Par ailleurs,  $h$  est la constante de Planck,  $V$  la fréquence et  $p$  le travail de sortie du métal.

Si  $hV$  est tel que l'électron peut tout juste sortir (avec une vitesse nulle),  $V$  représente la fréquence du seuil photoélectrique. Le métal émettant des électrons sous l'influence des radiations électromagnétiques constituera une cathode photoélectrique.

Si nous plaçons au voisinage de la cathode une autre électrode, portée à un potentiel positif par rapport à la cathode, cette électrode (anode) recueillera les électrons émis par la cathode (fig. I-11).

Une cellule qui serait ainsi constituée ne serait sensible qu'à des longueurs d'onde très courtes (ultra-violet), et leur sensibilité — nombre d'électrons émis par *quanta* de radiation incidente — est faible (fig. I-12).

Les cellules photoélectriques modernes possèdent des cathodes constituées par des couches complexes, ce qui permet d'en augmenter considérablement la sensibilité et d'obtenir un bon fonctionnement avec la lumière visible. La couche sensible n'étant plus en métal pur, le phénomène photoélectrique devient plus complexe, et est dit « anormal ».

### **Les différentes cellules photoélectriques utilisées dans l'industrie.**

Les cellules photo-électriques employées dans l'industrie peuvent être classées en 3 catégories :

a) *Cellules photoélectriques proprement dites.* — Elles sont à vide ou à gaz, et la cathode est généralement constituée par un métal alcalin à l'état pur, ou convenablement traité : lithium, sodium, potassium, rubidium et surtout caesium. Le gaz, lorsqu'il existe, est un gaz inerte, l'argon le plus souvent.

b) *Cellules photovoltaïques et cellules photoconductrices.* — Ces cellules utilisent la propriété que possède la lumière, de provoquer une émission d'électrons, lorsqu'elle tombe sur certains contacts métalliques. Les cellules à liquide, autrefois courantes, ont perdu de leur vogue. Actuellement, les types les plus courants utilisent les contacts *acier-sélénium* ou *cuivre-oxyde de cuivre*.

Les cellules photoconductrices sont basées sur le fait suivant : en tombant sur une cellule, de sélénium par exemple, des photons ou quanta de lumière libèrent des électrons des cristaux de sélénium. Cet effet photoélectrique crée un courant photoélectrique primaire lorsqu'on applique une différence de potentiel aux bornes de la cellule. A son tour, ce courant diminue la résistance du conducteur (effet secondaire).

c) *Cellules et appareils spéciaux sensibles à la lumière.* — Dans ces appareils, l'action initiale est généralement due à un effet photoémisif qui produit d'importants effets secondaires. En particulier, nous placerons dans cette catégorie les lampes

à *photoluminescence*, les appareils basés sur les effets photo-électriques dans les gaz, et aussi les appareils dans lesquels la lumière provoque des réactions chimiques.

### Les cellules photoélectriques à vide et à gaz.

Les premières cellules utilisées employaient des cathodes constituées par des métaux purs et en particulier par des métaux *alcalins* ou *alcalino-terreux*. Elles étaient peu sensibles, et leur zone de sensibilité maximum était généralement située dans l'ultra-violet, ce qui en limitait l'emploi.

Elles ont été à peu près complètement remplacées par des cellules dont les cathodes sont constituées par des couches complexes. Les plus connues sont les cellules à base de composés de *caesium*, en particulier à *couche d'argent-oxyde de caesium-caesium* ( $\text{Ag-C}_s^2\text{O-C}_s$ ).

La couche sensible serait constituée par une couche d'oxyde de caesium recouverte d'une couche très mince de caesium, le tout déposé sur une couche d'argent. On croit que l'émission électronique serait facilitée par la présence des ions superficiels des atomes de caesium adsorbés à la surface de l'oxyde de caesium.

Divers physiciens, tels que *Fowler* et *Campbell*, ont étudié ces phénomènes, et de leurs théories et hypothèses on peut dégager les points communs:

1° L'épaisseur des éléments de la couche photoélectrique doit être proportionnelle à la longueur d'onde pour laquelle on veut que la cellule soit sensible. Il se produirait une sorte de résonance.

2° L'épaisseur de la couche de caesium superficielle doit être très faible, probablement monoatomique.

3° Le caesium doit être bien diffusé dans l'oxyde de caesium pour permettre aux électrons libres de l'argent de venir remplacer les électrons perdus par suite de la photoionisation des atomes de la surface.

Le schéma d'utilisation des cellules à vide ou à gaz sera celui de la figure I-11. Une tension positive appliquée sur l'anode permet de recueillir les électrons émis par la cathode.

Les cellules au caesium sous vide ont une sensibilité qui est de l'ordre de 20 *microampères par lumen*. On peut introduire dans l'ampoule une trace d'un gaz inerte: néon, argon ou hélium. Dans ce cas, les électrons émis par la cathode ionisent le gaz et libèrent de nouveaux électrons; le courant qui traverse

la cellule augmente considérablement de valeur, et la sensibilité devient voisine de 100 *microampères par lumen*.

Ce type de cellule ne peut supporter qu'une tension limitée entre la cathode et l'anode. Une tension trop élevée provoquerait une ionisation complète du gaz avec amorçage dans l'ampoule, et risquerait d'entraîner la destruction de la cathode.

La pression optimum du gaz dans l'ampoule dépend de la *nature du gaz* et des *dimensions de la cellule*. Elle est, en général, de l'ordre d'une fraction de millimètre de mercure.

Fig. I-13

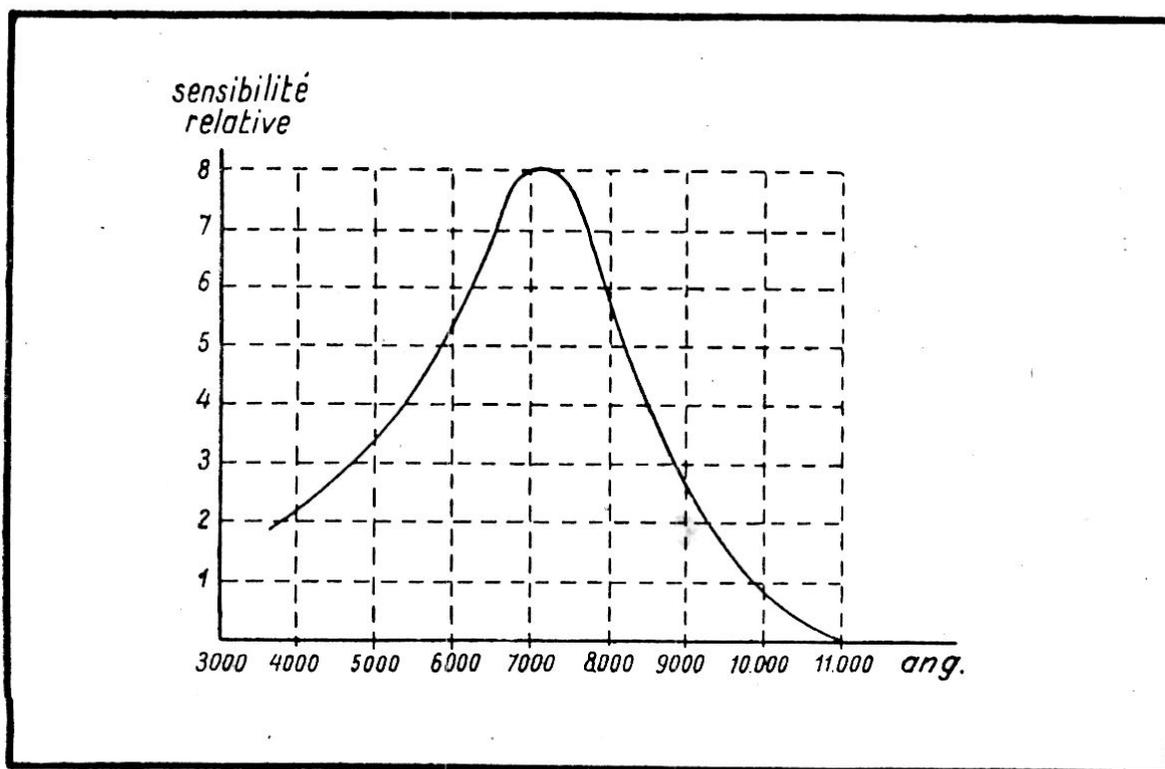
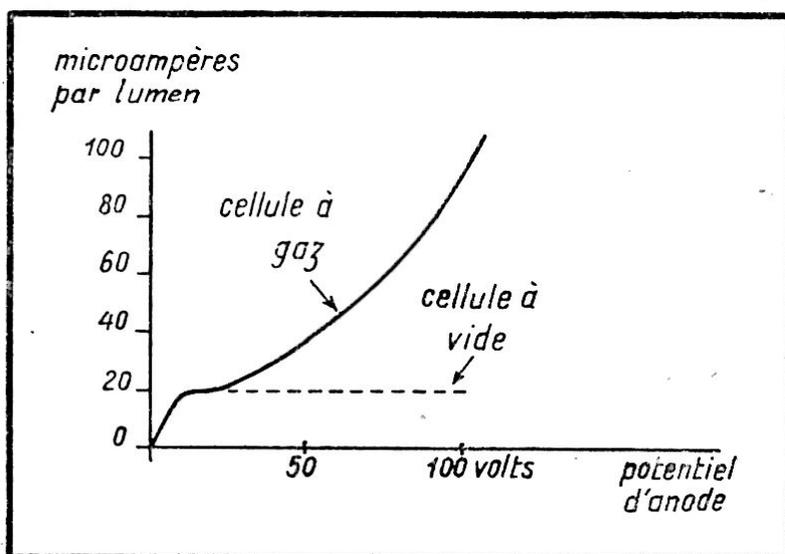


Fig. I-14

Le courant photoélectrique est, en général, proportionnel à l'éclairement, et présente dans sa liaison avec la tension anodique une allure différente suivant que la cellule est à vide ou à gaz (fig. I-13).

Lorsque la tension anodique est variable, le courant photoélectrique suit les fluctuations de cette tension. Il ne faut pas, cependant, que la fréquence de variation excède quelques dizaines de mille périodes par seconde; en effet, le phénomène d'ionisation présente une inertie importante dont on doit tenir compte.

La figure I-14 donne la sensibilité d'une cellule au caesium pour des radiations de diverses longueurs d'onde. La sensibilité est particulièrement grande pour les radiations rouges et infra-rouges, ce qui est particulièrement intéressant lorsque la source lumineuse est une lampe à incandescence ou la lumière solaire; ces deux sources sont en effet très riches en radiations rouges et infra-rouges de petite longueur d'onde. Rappelons que ces deux types de radiations ont la propriété de traverser, dans de bonnes conditions, l'atmosphère et même certains brouillards. Cette propriété est tout à fait intéressante pour la solution de divers problèmes de signalisation et de détection d'objets.

Le tableau de la figure I-15 donne les caractéristiques de 3 cellules commerciales à couches complexes à base de caesium.

TYPE	3 A	5 A	6 A
Tension normale d'anode .....	90 V	20-120 V	90 V
Tension maximum d'anode .....	120 V	180 V	90 V
Courant anodique maximum ..	10 $\mu$ A	100 $\mu$ A	10 $\mu$ A
Surface de la fenêtre .....	20 cm <sup>2</sup>	20 cm <sup>2</sup>	20 cm <sup>2</sup>
Sensibilité . . . . .	60 mA/lum.	20 mA/lum.	100mA/lum.

Fig. I-15

Les cellules au caesium sont les plus courantes et sont utilisées, en particulier, lorsque la source lumineuse est une lampe à incandescence (cinéma sonore, signalisation, etc.).

Les cellules à base de métaux alcalins ou alcalino-terreux sont utilisées pour certaines applications spéciales: cellules au *potassium*, cellules au *sodium* sensibilisées au soufre ou à l'hydrogène. Dans la fabrication des cellules sensibles à l'ultra-violet on utilise les métaux suivants: *cadmium*, *lithium*, *uranium*, *thorium*, etc. Le *cérium* est employé dans les cellules qui doivent être sensibles entre le bleu et l'ultra-violet.

### Rappel des propriétés générales des cellules photovoltaïques.

Les cellules photovoltaïques permettent la transformation directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Elles utilisent l'effet photovoltaïque qui a été découvert par *Becquerel* en 1839. Contrairement aux autres types de cellules, elles ne nécessitent pas de source de tension auxiliaire.

Fig. I-16

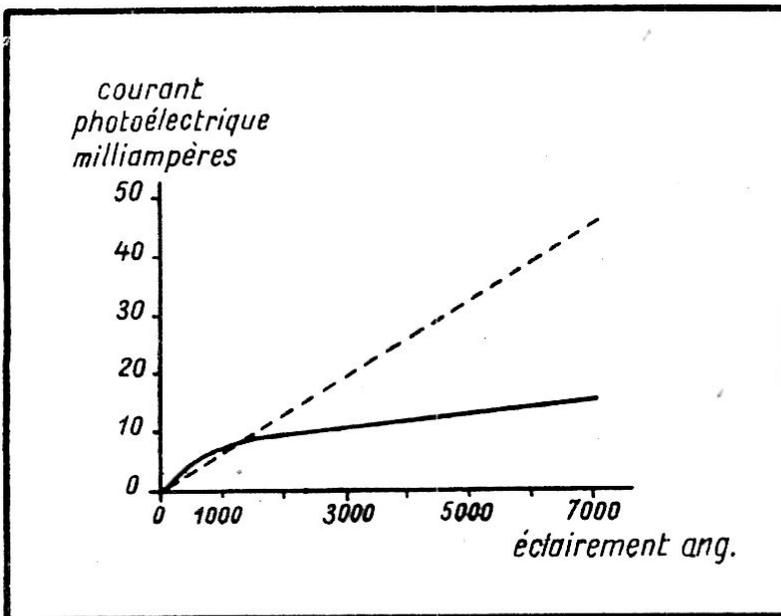
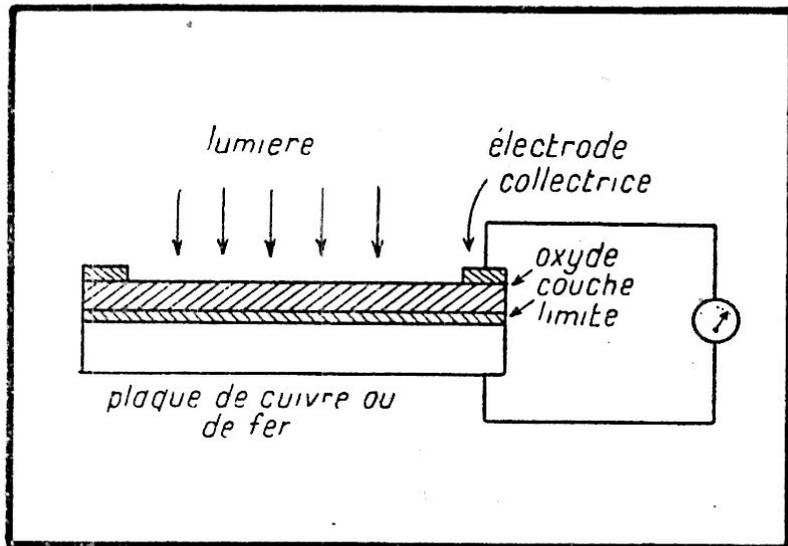


Fig. I-17

Ces cellules que l'on dénomme parfois *cellules à couche d'arrêt* sont généralement constituées par un disque métallique sur lequel a été déposée une couche sensible à la lumière (fig. I-16). Le pôle positif est le disque lui-même, tandis que le pôle négatif est constitué par un collecteur circulaire en contact avec la couche sensible.

Les cellules *fer-sélénium* ont une courbe de réponse qui présente un maximum correspondant très sensiblement à la fréquence pour laquelle l'œil humain présente son maximum de sensibilité. Rappelons que l'on définit une courbe de réponse d'une cellule de ce type comme étant l'intensité du courant de court-circuit en fonction de la longueur d'onde. La sensibilité passera donc par un maximum lorsque la longueur d'onde sera d'environ 0,55 millièmes de millimètre.

Les courbes de la figure I-17 indiquent quel est le courant donné par une cellule quand l'éclairement varie. La figure I-18 donne les courbes de sensibilité pour une cellule commerciale (L.M.T.). Ces cellules qui sont avantageusement utilisées en lumière blanche ont une sensibilité qui peut atteindre *plusieurs centaines de microampères par lumen*, sur une faible résistance d'utilisation évidemment.

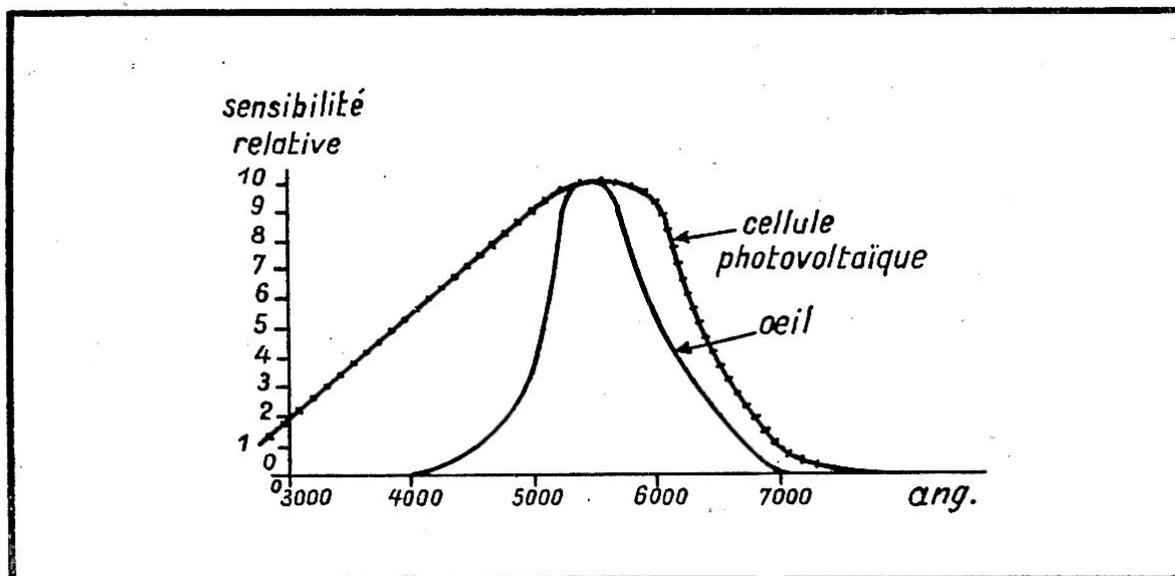


Fig. I-18

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques. Les plus connues sont du type fer-sélénium (*Photronic*) et du type cuivre-oxyde de cuivre (*Photox*).

Il semble que l'effet photoélectrique soit dû à une couche intermédiaire très mince située entre l'oxyde et le métal. D'après *Auwers* et *Kerschbaum* ce serait cette couche qui produirait l'émission d'électrons. Dans une telle cellule les électrons vont de l'oxyde vers le métal. C'est l'inverse de ce qui se passe lorsque la même cellule est utilisée en redresseur.

### Les cellules photoconductrices.

Ces cellules sont constituées par une substance photoélectrique située entre 2 électrodes (fig. I-19). L'effet photoélectrique

a été découvert par *Smith* en 1873 lorsqu'il remarqua que la résistance du sélénium variait suivant l'éclairement de ce métal. Ce type de cellule nécessite l'usage d'une force électromotrice extérieure (fig. I-20).

Lorsque la lumière tombe sur la cellule, la résistance de celle-ci décroît, le courant augmente et déclenche le relais.

Le sélénium est un médiocre conducteur de l'électricité. Aussi on a cherché à utiliser des cellules basées sur le même principe mais avec un autre corps sensible, et particulièrement avec un oxysulfure de thalium (Cellule *Thalofide*).

La nature exacte du phénomène de photo-conductivité est d'une étude difficile car des effets secondaires viennent troubler le phénomène principal. Voici la théorie actuellement admise: les cristaux de sélénium, à l'intérieur du conducteur, libèrent des électrons. Cet effet photoélectrique de volume crée, sous l'influence de la différence de potentiel appliquée

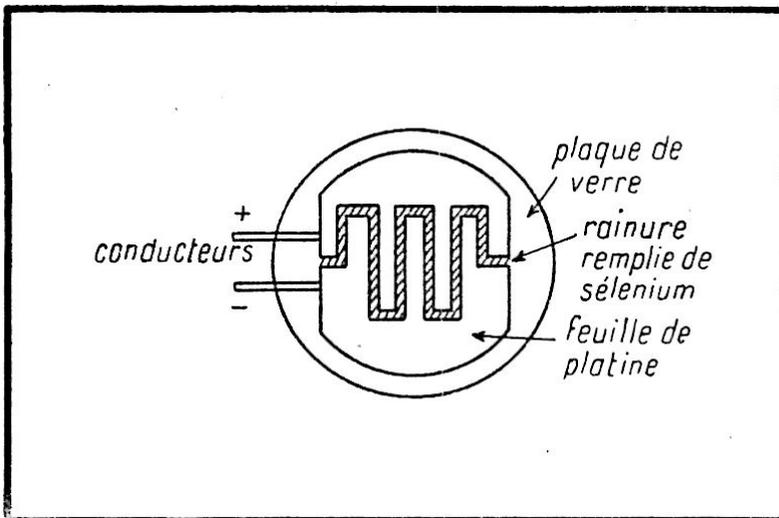


Fig. I-19

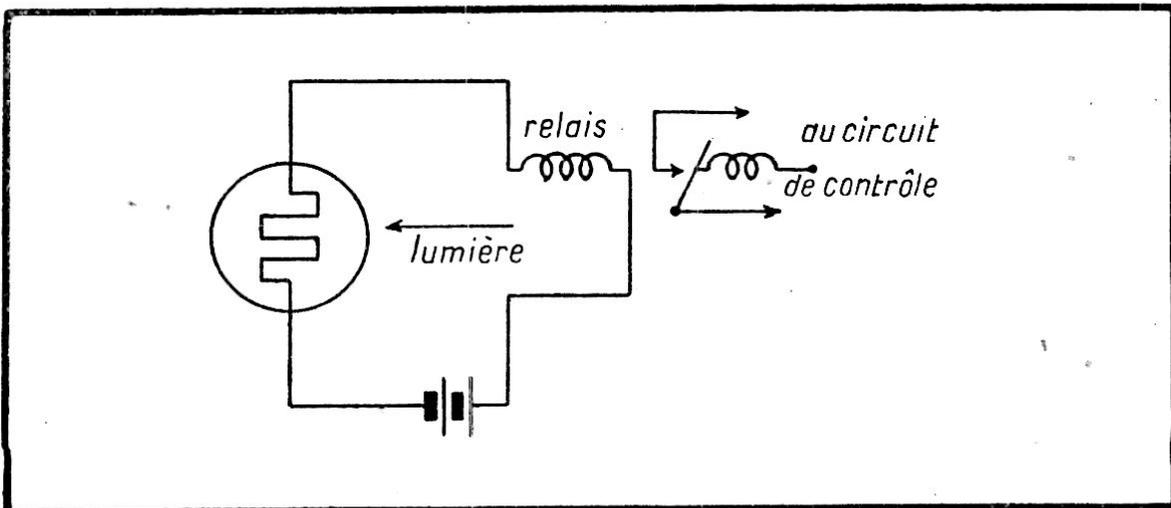


Fig. I-20

aux bornes de la cellule, un courant photoélectrique primaire. Ce courant diminue la résistance du sélénium ou de la substance sensible. Le courant photoélectrique primaire est pratiquement instantané mais, par contre, le courant secondaire provoqué par lui présente une inertie appréciable. Il en résulte que le courant total, à travers la cellule, ne se stabilise qu'après plusieurs secondes.

Cette inertie limite l'emploi de ces cellules aux très basses fréquences. La variation de courant peut atteindre une valeur de 200 *microampères par lumen*. Ces cellules sont sensibles aux radiations visibles, jusqu'au rouge et à l'ultra-violet (fig. I-21).

Divers sulfures présentent des propriétés analogues à celles du sélénium, et en particulier les sulfures d'antimoine, de bismuth et de plomb. Il en est de même pour certains oxydes (argent, cuivre, etc.).

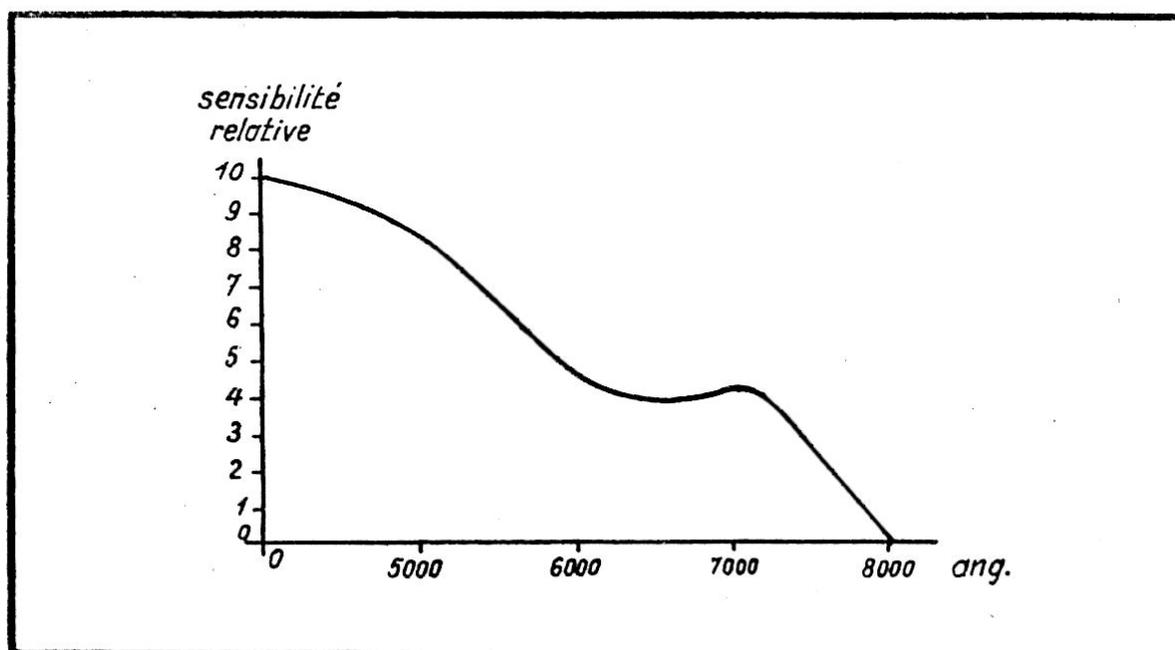


Fig. I-21

### Appareils spéciaux sensibles à la lumière.

L'action photoélectrique peut provoquer de nombreux phénomènes physiques ou chimiques dont on peut tirer parti.

La lampe à photoluminescence est une lampe photoélectrique à gaz dans laquelle la lumière provoque une décharge électrique suffisante pour illuminer les gaz. On règle dans l'obscurité la tension d'excitation de manière qu'elle soit légèrement inférieure à la tension d'amorçage. La lumière, en provoquant

une émission d'électrons, fait naître la décharge qui ne cesse que lorsque la tension devient inférieure à la tension d'extinction propre à la lampe. Dans le cas du courant alternatif cela se produit vers la fin de la demi période positive qui a été utilisée pour l'amorçage.

La lampe à photoluminescence de *Knowles* (Westinghouse Research Laboratories) se compose d'une cathode au caesium sur du magnésium formant le revêtement interne des parois de l'ampoule. Une anode en nickel est placée au centre de l'ampoule: elle est entièrement entourée par un manchon de verre, sauf à une extrémité. L'ampoule contient de l'argon à basse pression. Lorsqu'une tension est appliquée entre cathode et anode, la charge spatiale intense, concentrée à l'extrémité non protégée de l'anode, empêche la décharge de se produire. Les électrons libérés par la cathode, sous l'effet de la lumière, produisent des ions positifs qui dissipent la charge spatiale, et la décharge se produit.

Une autre forme de cette lampe utilise du potassium, comme matière active, sur une cathode cylindrique de gaze de nickel.

La lampe à photoluminescence permet de faire fonctionner un relais ordinaire *sans amplification intermédiaire*.

L'effet photoélectrique dans les gaz peut modifier la valeur des courants d'ionisation passant entre deux électrodes et, par suite, donner lieu à des applications intéressantes. *Schrotter* a décrit deux de ces applications. Dans la première, l'absorption sélective d'une radiation, par un gaz conducteur de l'électricité, engendre des ions qui augmentent la conductibilité du gaz. On peut, par exemple, éclairer de la vapeur d'iode placée entre deux électrodes. Les molécules d'iode sont excitées, et certaines d'entre elles subissent des chocs, provenant d'électrons à grande vitesse, qui les ionisent. Ce phénomène augmente la conductibilité de la vapeur.

La seconde application décrite par *Schrotter* est d'une explication théorique beaucoup plus compliquée qui sortirait du cadre de cet ouvrage. En voici le principe: si l'on introduit quelques traces d'argon dans du néon, et si l'on éclaire le tube par une lampe au néon, la décharge se produit pour une différence de potentiel d'une centaine de volts seulement. De plus, la valeur du courant de décharge dans le mélange néon-argon est une fonction définie de l'intensité et de la qualité de la lumière incidente.

Divers constructeurs ont placé, dans une même ampoule, une cellule et une lampe amplificatrice (triode ou penthode).

Ces ensembles permettent une diminution de la capacitance des connexions et une économie d'espace. La complexité de leur construction fait qu'ils ne paraissent pas appelés à un grand développement.

Sur des principes différents fonctionnent des appareils dans lesquels la lumière produit des réactions chimiques. Dans cette catégorie nous signalerons le photos-relais *Chilowski-Tubest* dans lequel on utilise la décomposition électrolytique de l'acide chlorhydrique, et sa recombinaison sous l'action de la lumière. La quantité de gaz varie en raison inverse de l'action de la lumière. Les variations du volume gazeux provoquent le déplacement d'une membrane qui commande un relais par l'intermédiaire d'un contacteur à mercure. Ce genre d'appareil a été utilisé pour l'allumage automatique des feux de position d'une voiture à la tombée du jour.

### **Le choix des cellules photoélectriques.**

Il est difficile d'établir une règle générale pour le choix d'une cellule. Ce choix dépend essentiellement de l'application en vue et, de plus, un genre de cellule peut remplir convenablement plusieurs usages. On peut, cependant, fixer quelques principes.

Pour des utilisations employant la lumière blanche continue ou à fréquence d'interruption très faible (quelques périodes par seconde), il est avantageux de se servir des cellules photovoltaïques ou des cellules spéciales qui ont une grande sensibilité (plusieurs centaines de microampères par lumen). Ces cellules sont particulièrement avantageuses pour la commande directe d'un relais, car elles exigent une faible résistance d'utilisation, ce que l'on peut obtenir sans difficulté avec un relais convenablement étudié.

Les cellules à vide seront choisies d'après la courbe spectrale de la lumière employée. Pour la lumière d'une lampe à incandescence, riche en radiations rouges, on choisira une cellule au caesium. Pour l'infra-rouge, on adoptera également ce type de cellule. Les cellules au cadmium ou à l'uranium seront utilisées dans le cas de radiations ultra-violettes.

Les cellules au caesium et à argon conviendront pour la lumière blanche, à condition toutefois que la fréquence d'interruption ne dépasse pas une fréquence de quelques dizaines de milliers de périodes par seconde. Ce sont des cellules de ce type qui sont utilisées pour le cinéma parlant. Leur sensibilité est assez bonne: une centaine de microampères par lumen environ.

Ces cellules offrent l'avantage d'utiliser une source de tension extérieure. La résistance d'utilisation qui est placée en série peut avoir une valeur très importante, si l'on adopte une tension de départ élevée. Cette résistance qui peut atteindre plusieurs dizaines de milliers d'ohms sera intercalée dans le circuit grille cathode d'une lampe amplificatrice. Un tel ensemble permet une sensibilité considérable. Nous examinerons ultérieurement plusieurs modes d'amplification.

Lorsque la lumière est interrompue à grande fréquence, on utilisera encore des cellules au caesium, mais ce seront des cellules à vide, c'est-à-dire sans trace de gaz inerte. La sensibilité est beaucoup plus faible — une vingtaine de microampères par lumen pour les modèles commerciaux — mais elles se prêtent bien à l'amplification pour les mêmes raisons que celles qui s'appliquent aux cellules à gaz.

Pour l'adaptation de l'impédance d'utilisation on distinguera deux cas, suivant que le courant photoélectrique est utilisé directement ou non. Le premier cas concerne les cellules photovoltaïques et photorésistantes; on utilisera plusieurs relais en cascade, le premier relais ayant une faible résistance.

Le second cas est en général celui des cellules à vide et à gaz. L'impédance d'utilisation, ou le relais, doit être adaptée à la résistance interne de la dernière lampe amplificatrice.

### **Exemple d'une commande électromécanique commandée par un relais photoélectrique.**

Quand la fréquence de coupure est très basse et quand on utilise la lumière blanche, on se sert avec avantage des cellules photovoltaïques ou photoconductrices et de relais. La figure I-22 montre le montage d'une cellule photovoltaïque C avec un relais de cellule à cadre mobile  $R_1$ , qui commande à son tour un relais de puissance  $R_2$ . Celui-ci commande l'utilisation U : moteur électrique, lampe de signalisation, électroaimant, compteur, etc.

Pour la facilité de l'emploi il a été prévu une alimentation directe sur le secteur alternatif. Le transformateur T alimente le redresseur  $S_1$  monté en pont. Les éléments redresseurs utilisés sont des rondelles de *Sélénofér*. Le relais de cellule  $R_1$  est du type à cadre mobile, et sa sensibilité variera de 50 à 200 microampères suivant l'importance de l'éclairement. Nous examinerons plus loin les éléments qui déterminent la sensibilité à adopter. Les établissements L.M.T. fabriquent un relais de ce genre *LMT-ASP 2824*. On pourra utiliser pour la cellule photovoltaïque C une cellule L.M.T. du type 3001, 3002 ou 3003.

La source lumineuse utilisée pour l'excitation de la cellule est généralement une lampe à filament de tungstène de forme ponctuelle.

On estime que le déclenchement d'un relais de 200 microampères nécessite une énergie lumineuse de *un lumen*. Cela correspond à un éclairage de 900 Lux pour les cellules *type A 3001*, et à un éclairage de 400 Lux pour les cellules 3002 et 3003. Dans les applications où la source lumineuse est située à grande distance, il y a intérêt à utiliser un relais de cellule  $R_1$  sensible à 50 microampères. On peut alors se contenter d'une énergie lumineuse de 0,2 lumen seulement, ce qui correspond à des éclairages respectifs de 180 et 80 Lux pour les types de cellules cités précédemment.

Lorsqu'un système optique est placé devant la cellule, il faut considérer que la surface active est celle de la lentille et non

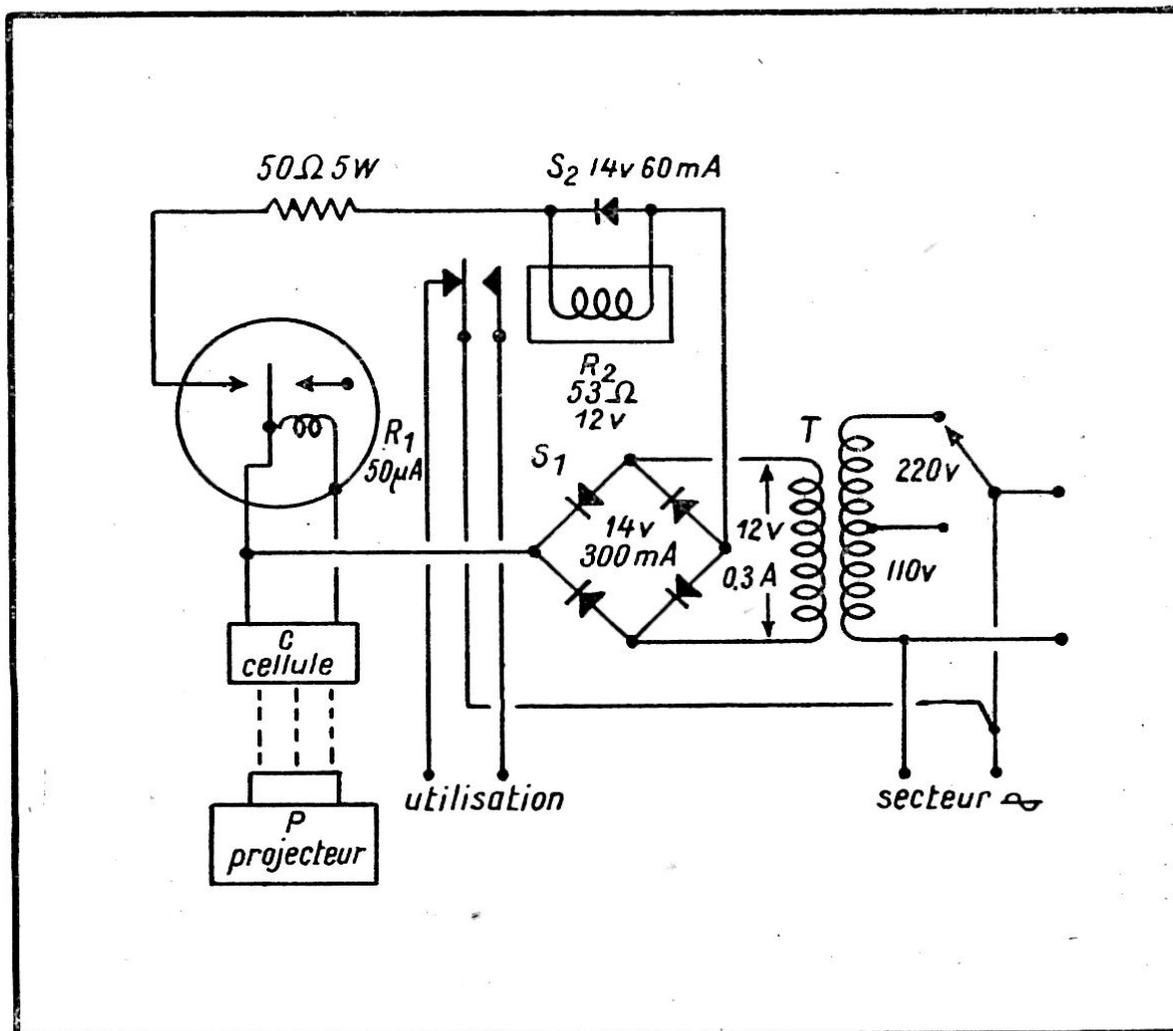


Fig. I-22

celle de la cellule. On doit, cependant, tenir compte de l'absorption provoquée par le système optique.

L'éclairement d'une surface étant inversement proportionnelle au carré de sa distance à la source, il y a souvent intérêt, afin d'éviter l'emploi de sources trop puissantes, à utiliser des projecteurs munis de systèmes optiques spéciaux. Nous étudierons, dans le chapitre de la *protection*, la détermination d'un tel ensemble.

L'ensemble des relais de commande doit, autant que possible, être placé dans un coffret métallique situé dans un endroit abrité. Lorsque la distance entre la cellule et les relais est grande, l'armature des conducteurs devra être mise à la terre afin d'éviter les effets d'induction nuisible. Il sera parfois utile d'avoir plusieurs mises à la terre convenablement espacées.

### L'amplification du courant photoélectrique.

Nous avons vu précédemment que le courant fourni par les cellules photoélectriques est, en général, très faible et qu'il faut l'amplifier pour pouvoir l'utiliser.

Les amplificateurs employés peuvent être classés en deux catégories: ceux qui amplifient *indifféremment* les courants continus et alternatifs, et ceux qui n'amplifient que les courants alternatifs.

L'étude des amplificateurs à lampes sort du cadre de cet ouvrage. Rappelons seulement quelques notions essentielles. Soit une lampe (triode, tétrode ou pentode) ayant un coefficient d'amplification  $K$ , une résistance interne  $r$  et une impédance de charge  $Z$  dans le circuit anodique. On applique sur la grille une tension alternative sinusoïdale  $u$  et l'on recueille dans le circuit d'anode une tension correspondante  $v$ . L'amplification de l'étage sera de

$$A = \frac{v}{u} = K \frac{Z}{Z+r}$$

Pour une penthode, on a pratiquement

$$A = sZ$$

formule dans laquelle  $s$  désigne la pente de la lampe.

On peut monter plusieurs étages amplificateurs en cascade et obtenir des amplifications de plusieurs dizaines de milles. Cependant il faut remarquer qu'un amplificateur dont le gain dépasse 100.000, d'une façon constante, est d'une réalisation assez délicate.

Le bruit de fond constitue également une limite de l'amplification. Ce bruit est dû aux champs parasites, à la nature discontinue du courant électrique, aux éléments de montage tels que les résistances, etc. Il est particulièrement sensible pour les amplificateurs susceptibles d'amplifier des fréquences de plusieurs centaines de milliers de périodes par seconde; cela s'explique par le fait que le bruit de fond est constitué essentiellement par des fréquences élevées.

Dans les paragraphes suivants nous examinerons quelques exemples d'amplificateurs, et indiquerons les valeurs des éléments nécessaires à leurs réalisations.

### Un amplificateur simple pour courant continu.

La figure I-23 donne le montage d'un amplificateur très simple à une lampe pouvant amplifier soit une tension continue, soit une tension alternative. Cet appareil permet d'obtenir des déviations acceptables, sur l'instrument de mesure, lorsque les courants dépassent un microampère dans le circuit d'entrée. Etant alimenté à l'aide de batteries de pile, il est léger et facilement transportable. On peut adopter une autre lampe que celle qui est indiquée sur le schéma (6C5) pour économiser la consommation de courant filament.

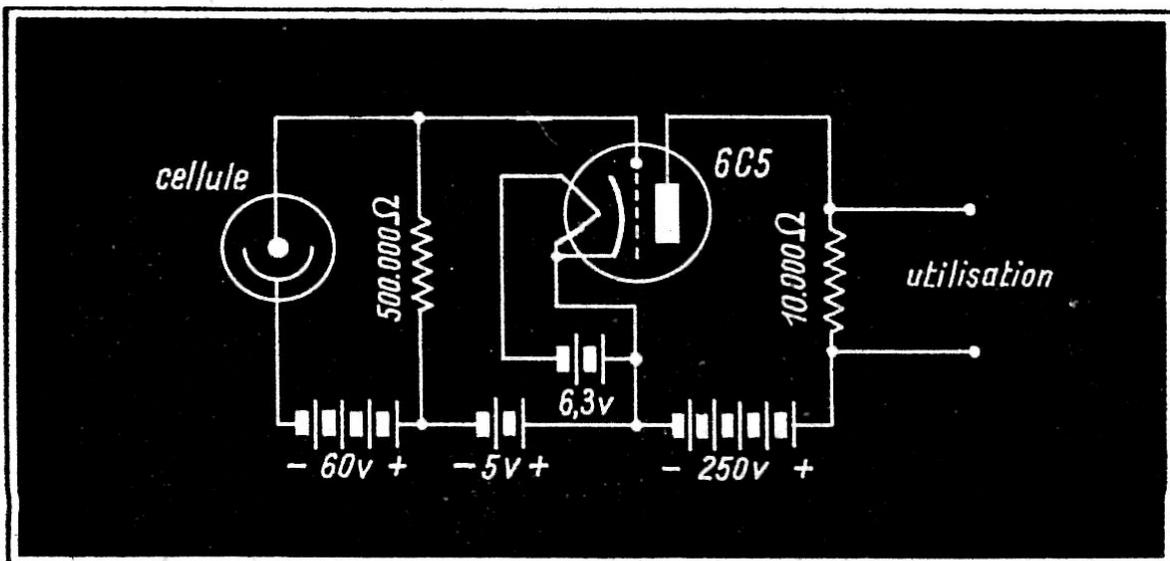


Fig. I-23

### Un amplificateur à couplage direct.

Nous avons reproduit dans la figure I-24 le principe de l'amplificateur à liaison directe type *Loftin-White*. Ce montage est déjà ancien, mais il reste intéressant car il a donné lieu à de nombreuses variantes qui sont actuellement en service. Ce mon-

tage peut servir aussi bien pour l'amplification du courant continu que du courant alternatif, et il se prête parfaitement à l'amplification du courant photoélectrique. Les constantes du circuit sont *assez critiques*.

Ce montage utilise deux lampes en série : 224 et 245. La charge de sortie peut être constituée par un appareil de mesure ou par un relais. Les valeurs des éléments critiques du montage sont indiquées ci-après, les chiffres entre parenthèses indiquant les tensions par rapport à la masse.

$R_1 a = 425 \Omega$  (12 volts).

$R_1 c = 775 \Omega$  (24 volts).

$P = 200 \Omega$  (6 volts).

$R_1 d = 4.700 \Omega$  (140 volts).

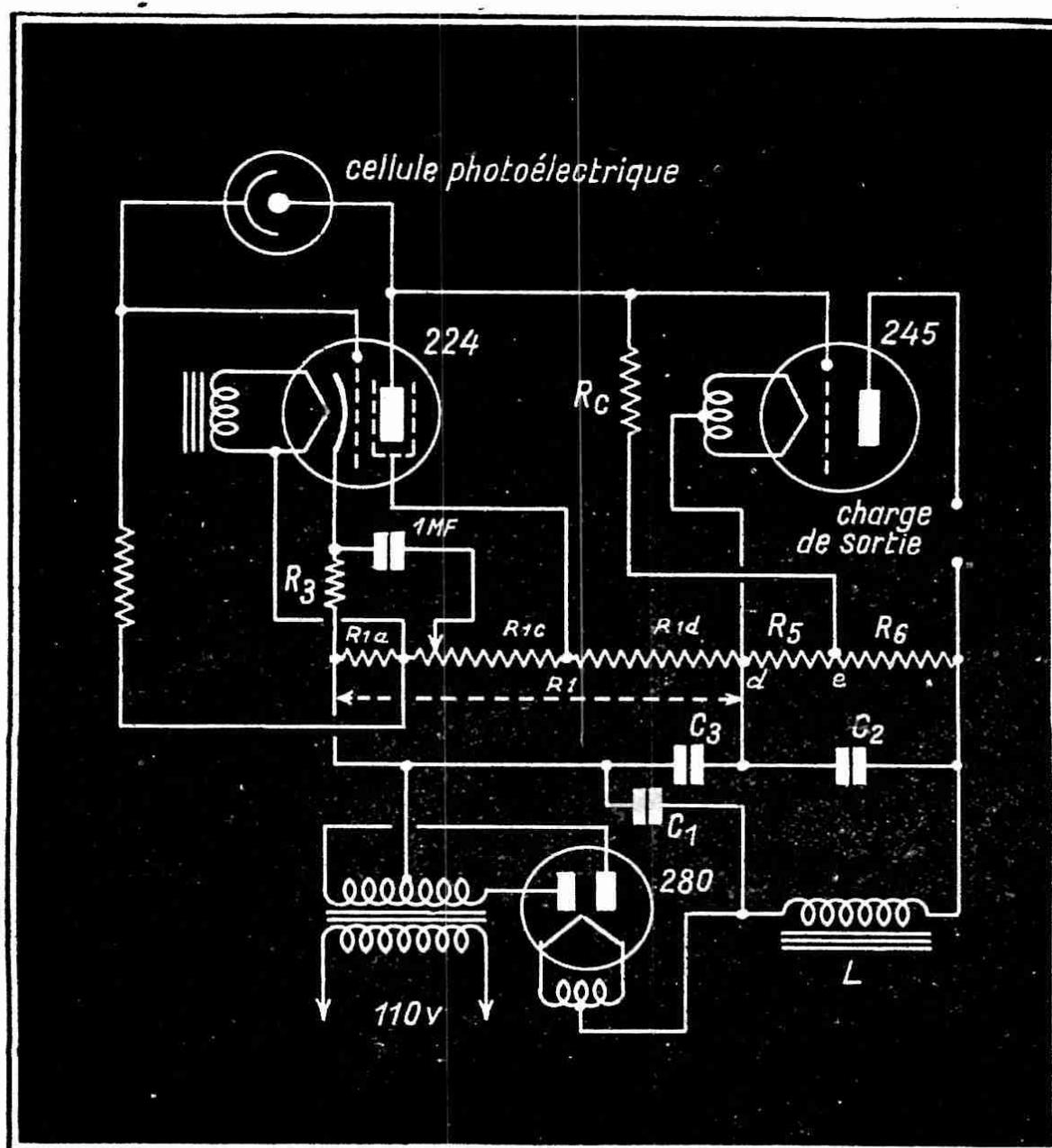


Fig. I-24

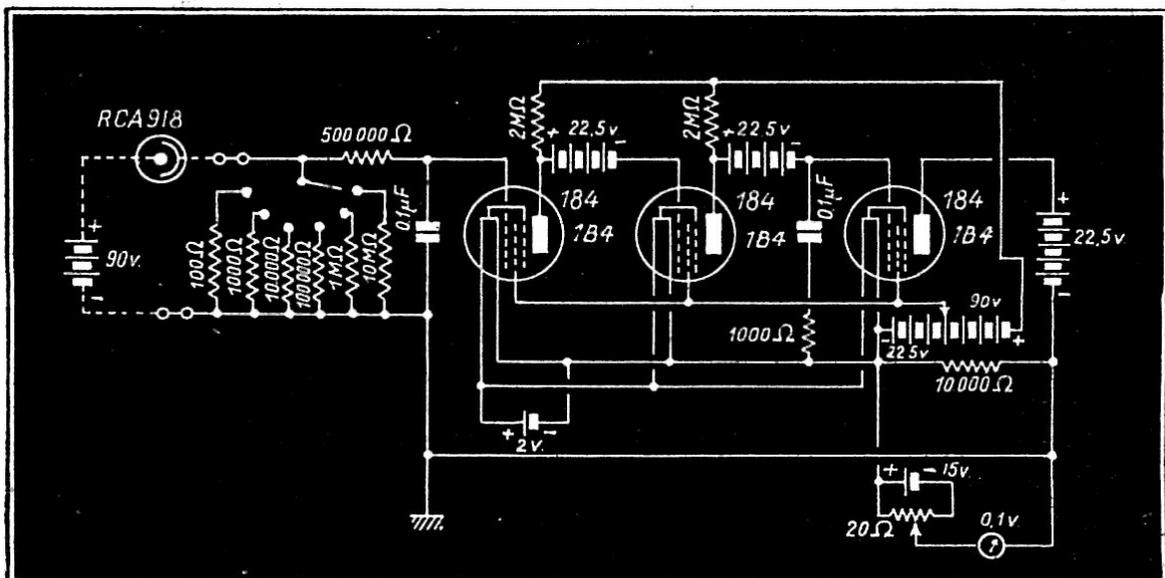
La haute tension doit être de 433 volts avec un transformateur T de 250 + 250 volts, une inductance L de 20 Henrys et une redresseuse 280. Cette tension de 433 volts se divise en 250 volts pour la lampe 245 et 183 volts pour la résistance  $R_1$ . On adoptera enfin les valeurs de 1 microfarad pour  $C_1$ , de  $0,5 \text{ M}\Omega$  pour  $R_c$ ,  $50.000 \Omega$  pour  $R_3$ ,  $25.000 \Omega$  pour  $R_5$  et  $100.000 \Omega$  pour  $R_6$ .

La tension de 14 volts développée aux extrémités de la résistance  $R_3$  s'oppose aux 12 volts existant dans  $R_1 a$ , ce qui laisse une tension de polarisation de 2 volts sur la grille. La tension de 250 volts se répartit entre  $R_5$  et  $R_6$  avec 50 volts entre  $d$  et  $e$ . Ces 50 volts ajoutés aux 183 volts existant aux bornes de  $R_1$  fournissent la tension entre la cathode de la lampe 224 et le filament de la lampe 245. Il y a 110 volts aux bornes de la lampe et 110 volts aux bornes de  $R_c$ . La polarisation de la grille est égale à  $110 - 50 = 60$  volts. La grille-écran de la lampe 224 est à + 240 volts.

### Un amplificateur ultra-sensible pour courant continu.

La figure I-25 donne le schéma d'un amplificateur à courant continu dont les propriétés essentielles sont: une grande résistance dans le circuit d'entrée et un gain élevé.

Un gros condensateur, en shunt sur le circuit de sortie, évite les oscillations. C'est un voltmètre de 0,1 volt de sensibilité maximum qui, placé dans le circuit de sortie, permet d'apprécier la valeur du courant d'entrée. Ce voltmètre rend l'appareil



N.-B. — Lire 1B4 au lieu de 184 dans ce schéma.

Fig. I-25

facilement transportable car il est plus robuste qu'un galvanomètre à cadre mobile. On peut apprécier des courants de  $10^{-8}$  à  $10^{-12}$  ampère.

L'ensemble résistance-condensateur placé en série avec le circuit grille du troisième tube empêche l'amplificateur d'osciller spontanément. Les tubes employés sont des pentodes 1B4. La cellule est du type à cathode complexe au caesium (R.C.A. 918). Sa sensibilité est d'environ 110 microampères par lumen pour une source à incandescence dont la température est de 2870 degrés Kelvin.

Le schéma de la figure I-25 prévoit l'amplification d'un courant photoélectrique, mais l'appareil peut parfaitement remplacer un galvanomètre sensible pour une utilisation quelconque.

### **Amplificateur à courant alternatif pour cellules photoélectriques.**

Le couplage se fait par résistances-condensateur. Le schéma de principe est indiqué dans la figure I-26, et n'offre pas de difficultés particulières de réalisation. Cet appareil ne pouvant fonctionner que sur courant alternatif ou modulé, il est nécessaire que la lumière tombant sur la cellule soit modulée.

Pour moduler la lumière, on peut utiliser une lampe à incandescence dont le filament est fin, et est alimenté en courant alternatif, ou encore une lampe au néon alimentée en alternatif. On pourrait également avoir une alimentation en courant continu et un vibreur mécanique ou un disque percé de trous. Ce serait une sorte de modulation mécanique de la lumière.

Cet amplificateur fonctionne correctement pour des fréquences comprises entre quelques périodes et plusieurs milliers de périodes par seconde. Le réglage de l'amplification se fait à l'aide de résistances variables intercalées dans les circuits de grille des premiers étages, ce qui permet d'éviter la saturation des lampes. L'amplification totale peut atteindre 50.000 environ.

La lampe finale (6L6) peut fournir une puissance appréciable dans un appareil d'utilisation dont l'impédance serait de 3.000 ohms.

### **Amplificateurs à large bande passante.**

Quand le signal d'entrée est constitué par une large gamme de fréquence, l'amplificateur doit pouvoir amplifier aussi bien les fréquences très basses de quelques périodes par seconde que les fréquences très élevées. Dans l'amplificateur classique à liaison par résistances-capacité, les fréquences basses sont



défavorisées par suite de l'augmentation de la réactance des condensateurs de liaison. Par ailleurs, les capacités parasites des lampes et des circuits agissent comme des shunts pour les fréquences élevées, et en limitent l'amplification.

La compensation des pertes aux basses fréquences (inférieures à 20 périodes par seconde) peut être faite par des filtres constitués par une capacité en parallèle avec une résistance (fig. I-27). Les valeurs des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont telles que leurs réactances deviennent suffisamment importantes par rapport aux résistances  $R_a$  et  $R_b$  lorsque les fréquences sont très basses. L'affaiblissement provoqué par l'augmentation de réactance  $1/C\omega$  de  $C_{g1}$  et  $C_{g2}$  est ainsi compensée.

La compensation des pertes d'amplification aux hautes fréquences peut être réalisée par plusieurs méthodes dont les plus employées sont :

a) *La réaction par capacité* (fig. I-28). — Le voltage provenant du troisième étage est reporté grâce au condensateur  $C_r$  sur la grille du premier étage. La réaction augmente avec la fréquence et compense la perte d'amplification pour les fréquences élevées. Mais le remède ne doit pas être exagéré, une réaction trop poussée amènerait un bruit de fond important au voisinage de la limite d'accrochage, et pourrait également produire une auto-oscillation.

b) *Les filtres passe-haut* (fig. I-29). — Cette méthode consiste à réduire l'amplification des fréquences basses, pour qu'elles ne soient pas plus amplifiées que les fréquences élevées. Les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont tels que, pour les fréquences basses, leurs réactances soient élevées par rapport aux résistances  $R_1$  et  $R_2$ . Pour les fréquences élevées, ces réactances deviennent relativement faibles puisque  $R_1$  et  $R_2$  restent constantes. La somme  $R_1 + R'_1$  doit être telle que, pour la valeur donnée à  $C_1$ , l'atténuation soit minimum pour les fréquences les plus basses.

c) *Les filtres passe-bas* (fig. I-30). — Ces filtres sont destinés à améliorer l'amplification des fréquences les plus élevées. Des inductances  $L_1$  et  $L_2$  sont montées en série avec les résistances  $R_1$  et  $R_2$ . Les impédances de  $L_1$  et  $L_2$  sont proportionnelles aux fréquences d'après la formule :

$$Z = L\omega = 2\pi fL$$

Les inductances  $L_1$  et  $L_2$  doivent être choisies de telle sorte que leur propre fréquence de résonance — résultant de leur

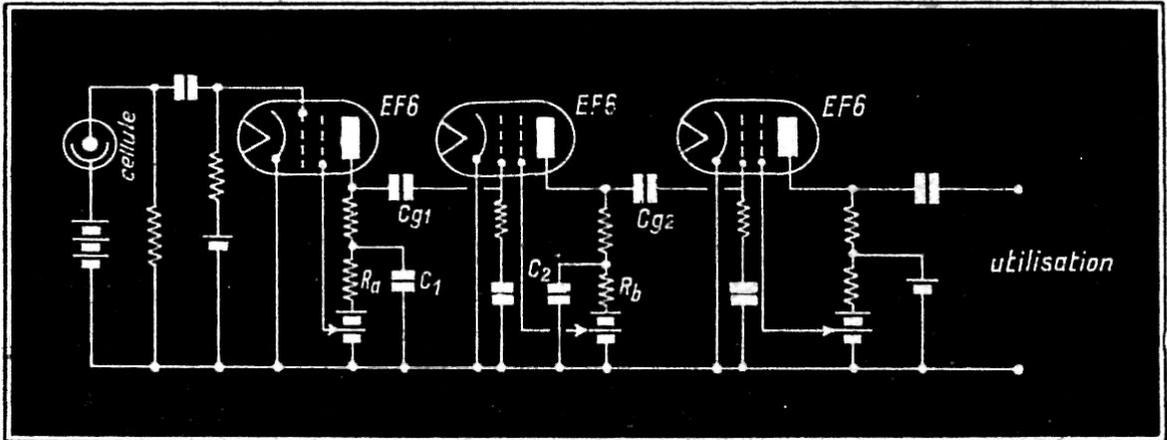


Fig I-27

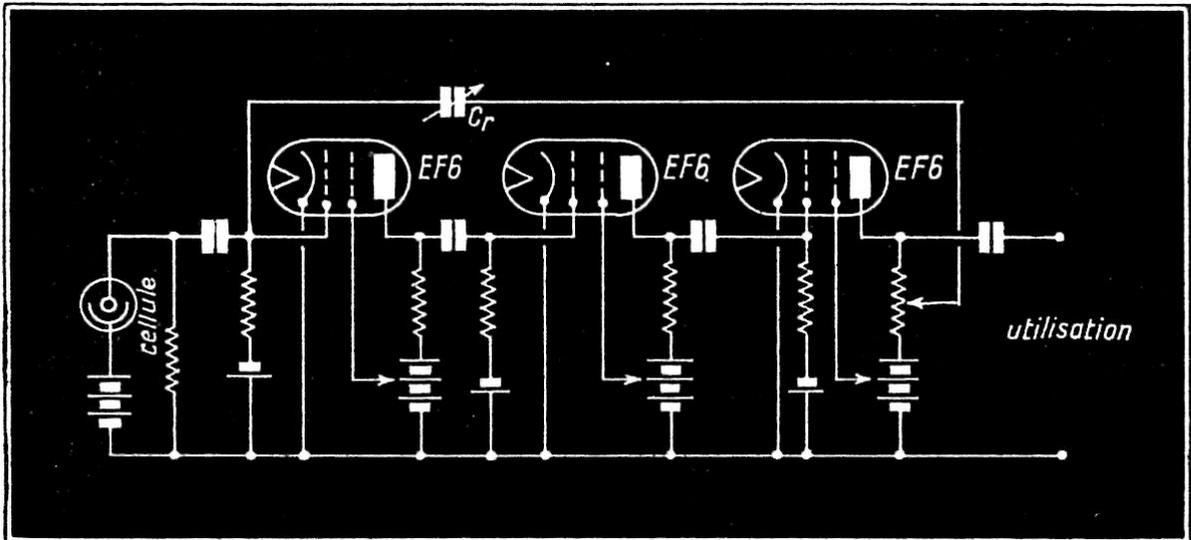


Fig. I-28

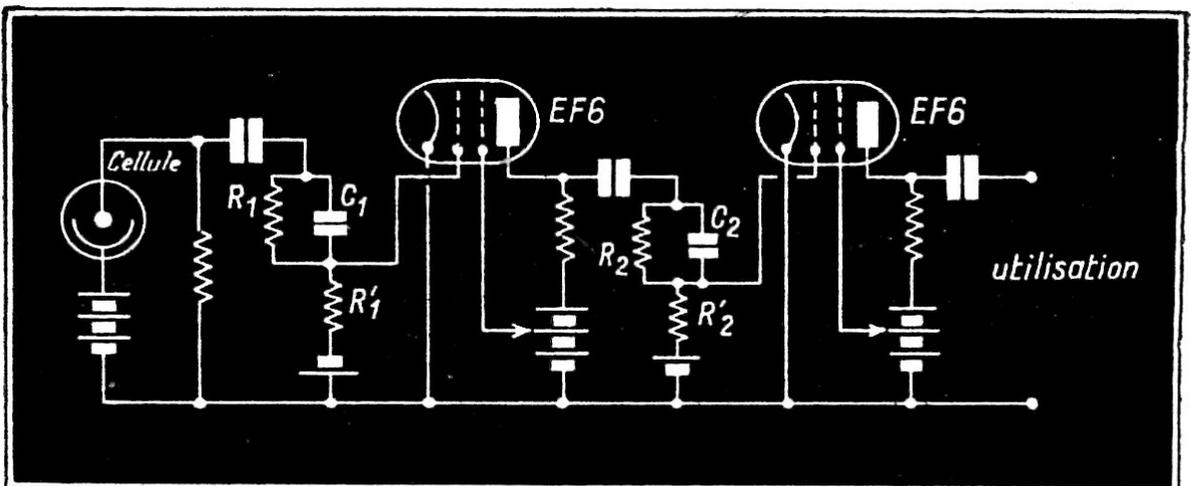


Fig. I-29

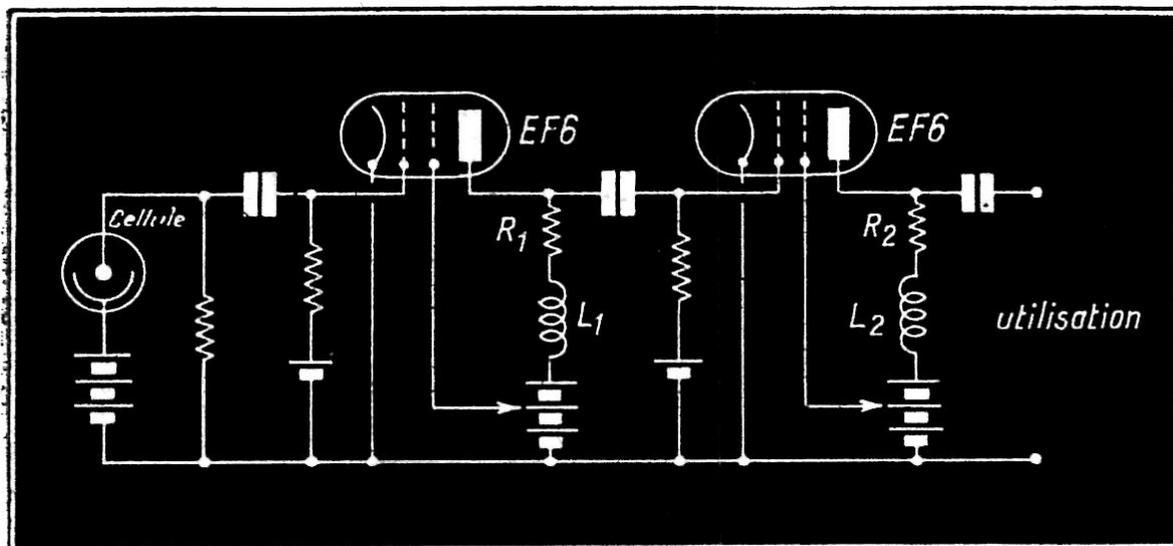
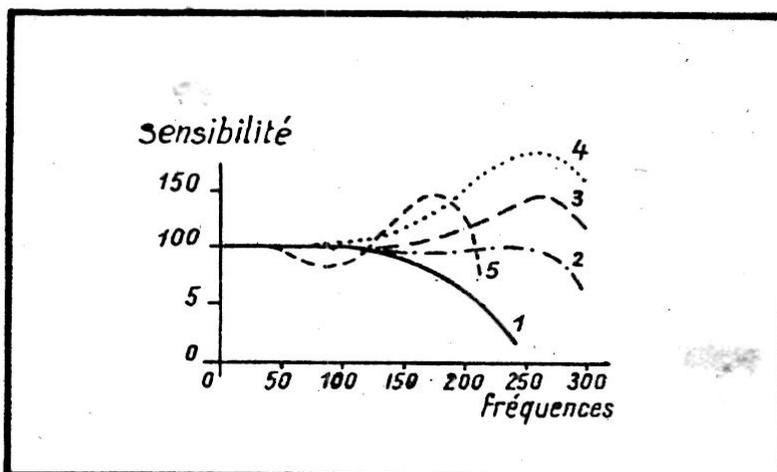


Fig. I-30

Fig. I-31



coefficient de self-induction et de la capacité répartie — ne tombe pas dans la bande de fréquence pour laquelle l'amplificateur doit fonctionner.

Les valeurs de  $L_1$  et  $R_1$  dépendent des capacités internes et du fait que l'amplificateur doit, ou non, avoir une pointe de compensation pour la cellule photoélectrique et son circuit. Des résistances placées en parallèle avec les inductances permettront éventuellement d'éviter l'auto-oscillation de l'amplificateur.

La figure I-31 montre l'effet des filtres passe-bas pour la correction d'un amplificateur. Les courbes de 1 à 5 montrent un effet de compensation croissant.

### Couplage par inductances.

Pour une fréquence  $f$  l'impédance d'un bobinage est égal à

$$Z = L\omega = 2\pi Lf$$

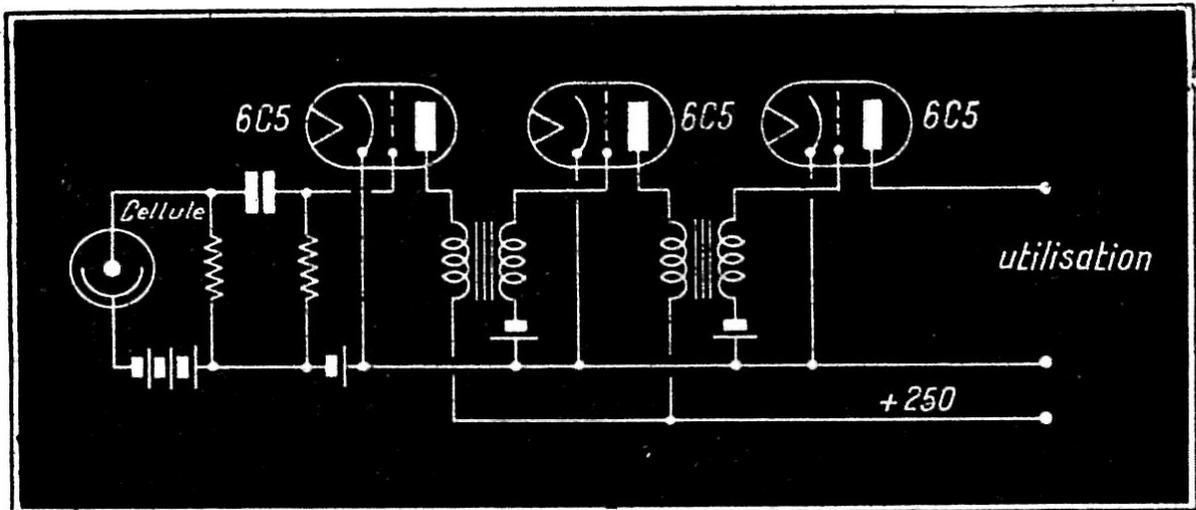


Fig. I-32

Dans un amplificateur on peut remplacer les résistances de charge d'anode par des inductances. Ce procédé est peu employé, sauf dans des cas spéciaux. On l'utilise en particulier lorsque les fréquences sont relativement basses (25 à 10.000 périodes par seconde).

Le montage de la figure I-32 donne le principe d'un montage avec couplage par transformateurs basse-fréquence. Il est, en général, utilisé avec des lampes triodes. Les lampes penthodes modernes exigeraient des transformateurs à haute impédance difficiles à établir.

### Exemple de réalisation d'un amplificateur à large bande passante.

Comme application des principes examinés dans les paragraphes précédents, nous donnons tous les éléments de réalisation pour un amplificateur à large bande de fréquence. Cet appareil peut convenir pour l'amplification de courant photoélectrique, ou pour tout autre usage nécessitant l'utilisation d'un courant très faible. Le schéma est représenté dans la figure I-33. Les inductances  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  placées en série avec les résistances d'anode  $R_1$ ,  $R_{11}$  et  $R_{12}$  permettent l'amplification convenable des fréquences atteignant  $25 \cdot 10^6$  périodes par seconde.

Une contre-réaction est obtenue en ne plaçant pas de condensateurs en parallèle sur les résistances de polarisation  $R_3$ ,  $R_7$  et  $R_9$ .

### Adaptation des relais dans les circuits de sortie des amplificateurs.

L'ingénieur E.-E. GEORGE, après avoir étudié de nombreux relais — en majorité téléphoniques — a indiqué les formules suivantes utiles pour leur choix :

$$T = 600 R^{1/2}$$

$$P = \frac{E_r^2}{R} = I_r^2 R = E_r I_r$$

$$MMF = I_r T = 600 I_r R^{1/2} = 600 P^{1/2}$$

Dans ces formules, MMF désigne la force magnétomotrice, T le nombre de tours et R la résistance du relais, P la puissance consommée par le relais. Par ailleurs,  $I_r$  est le courant à travers le relais,  $I_p$  le courant anodique à vide,  $E_b$  la tension totale d'alimentation,  $E_p$  la tension effective d'anode,  $E_r$  la tension existant aux bornes de l'enroulement du relais.

Lorsque le relais est placé dans le circuit anodique d'un tube à vide, on a :

$$\begin{aligned} I_r &= I_p \\ E_r + E_p &= E_b \\ MMF &= I_r T = 600 [(E_b - E_p) I_p]^{1/2} \end{aligned}$$

La figure I-34 indique le nombre d'ampères-tours en fonction de la tension et du courant pour ce genre de relais. Si l'on superpose les caractéristiques du tube aux caractéristiques du relais, si une variation de 100 volts sur les caractéristiques du relais correspond à une variation de tension  $E_1$  sur la caractéristique du tube, et si enfin une variation  $I_1$  du courant anodique correspondant à une variation de 100 mA sur les caractéristiques du tube, le coefficient d'échelle sera pour les puissances :

$$F = (F_u F_i)^{1/2} = 0,01 (E_1 I_1)^{1/2} = 0,01 P^{1/2}$$

$F_u$  et  $F_i$  étant les facteurs de multiplication de la tension et du courant.

Dans la figure I-34 les caractéristiques des relais sont superposées à celles d'un tube 6L6. Sur les caractéristiques du relais 100 milliampères correspondent à 196 mA sur les caractéristiques du tube, et par suite :

$$F_i = \frac{196}{100} = 1,96$$

De même, 198 volts sur les caractéristiques du tube correspondent à 100 volts sur les caractéristiques du relais :

$$\begin{aligned} F_u &= 1,98 \\ F &= (1,96 \times 1,98)^{1/2} = 1,972 \end{aligned}$$

L'origine des caractéristiques des relais est placée au point correspondant à un courant anodique nul, et à une tension anodique de 400 volts ( $I_p = 0$ ;  $E_b = 400$  volts).

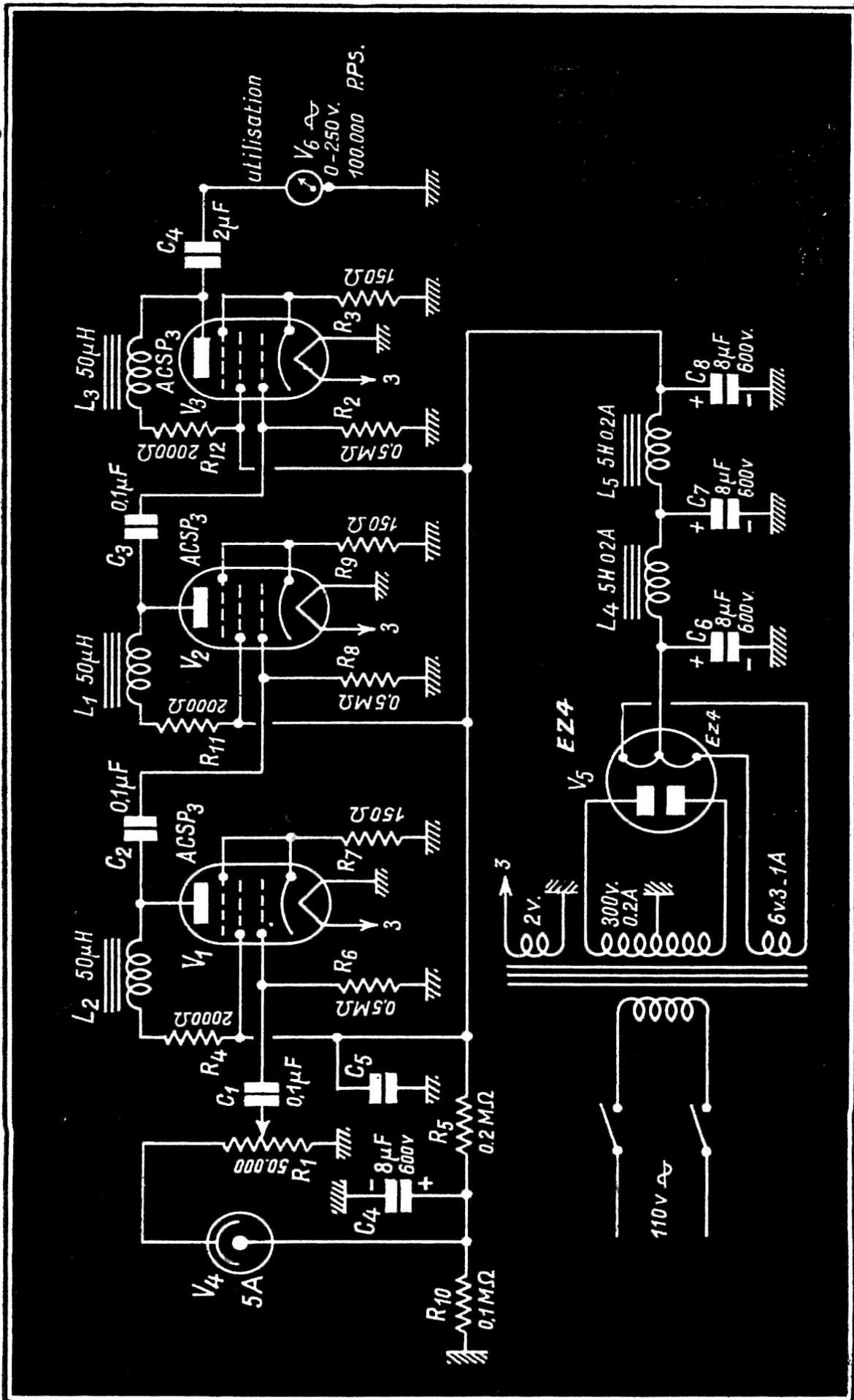


Fig. I-33

Les axes de coordonnées étant parallèles, le point pour lequel la caractéristique du relais devient tangente à la caractéristique du tube correspondant à une tension grille donnée indique la force magnétomotrice qui pourra être développée dans les conditions choisies. Une droite reliant le point de tangence à l'origine des caractéristiques des relais donnera la *droite de charge optimum*.

Inversement, pour des tensions données d'anode et de polarisation, on peut déterminer les limites supérieure et inférieure de la force magnétomotrice développée par le relais, si les variations de la tension grille sont connues. Prenons, par exemple, le cas d'un tube 6L6 alimenté à 400 volts et admettons que la tension grille ne doit pas être positive; la force magnétomotrice maximum sera développée quand la droite de charge reliera le point de tangence correspondant entre la caractéristique du tube et celle du relais d'une part, et le point correspondant à  $E_b = 400$ ,  $I_p = 0$  d'autre part. La résistance de charge sera :

$$\frac{E_b}{I_p} = \frac{400}{0,225} = 1.780 \text{ ohms.}$$

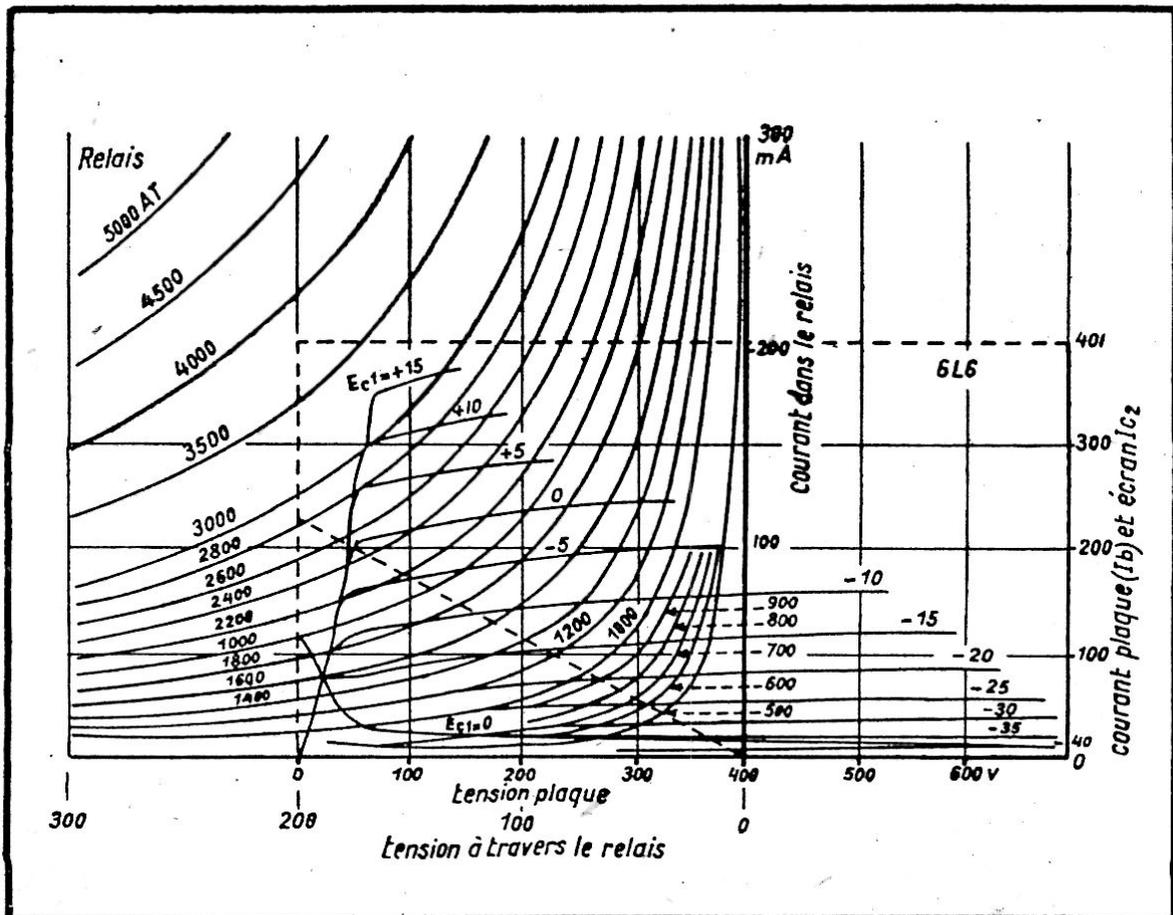


Fig. I-34

Avec le facteur d'échelle déterminé plus haut, on obtient la force magnétomotrice développée par le relais à 0 volt de tension grille, soit :

$$2.500 \times 1,972 = 4.935 \text{ ampères/tour.}$$

2.500 ampères/tours correspondent à l'intersection de la droite de charge et de la caractéristique  $V_g = 0$ .

Si la polarisation de grille est de  $-15$  volts, et l'amplitude maximum du signal à amplifier de 10 volts, la force magnétomotrice moyenne sera de :

$$1.250 \times 1,972 = 2.460 \text{ ampères/tour.}$$

Les forces magnétomotrices maximum et minimum seront respectivement :

$$2.120 \times 1,972 = 4.170 \text{ ampères/tour.}$$

$$600 \times 1,972 = 1.180 \text{ ampères/tour.}$$

En pratique, pour le choix des conditions de fonctionnement, il y a lieu de tenir compte des variations possibles des caractéristiques des tubes et des relais ainsi que des variations des tensions d'alimentation.

### Rappel des principes des tubes à gaz.

Sous l'influence de diverses actions physiques : Rayons X, corps radioactifs, champs électriques, etc., un gaz s'ionise et devient conducteur du courant électrique. Si l'on établit une

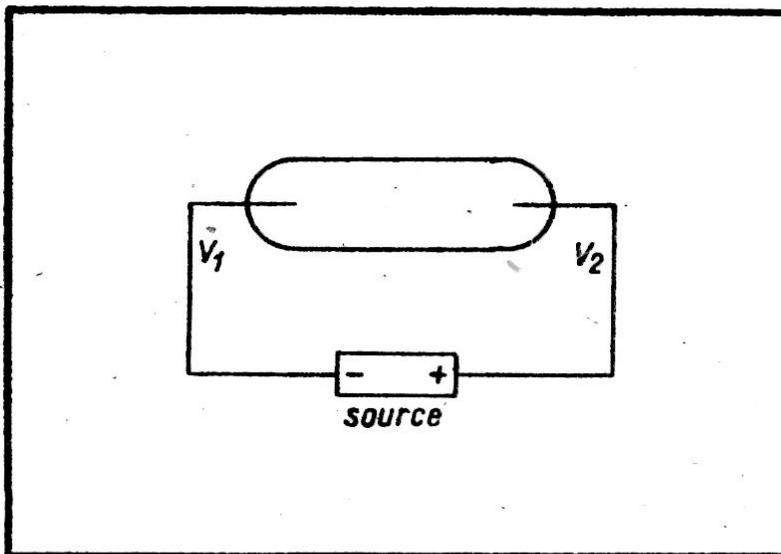


Fig. I-35

différence de potentiel entre les deux électrodes d'un tube à gaz, le courant croît avec la valeur de la tension jusqu'à une valeur  $I_0$  appelée *courant de saturation* (fig. I-35 et I-36). La valeur du courant  $i$  est donnée par la formule

$$i = (k_1 + k_2) n e E$$

dans laquelle  $k_1 E$  et  $k_2 E$  représentent les vitesses des ions positifs et négatifs;  $n$  est le nombre d'ions et  $E$  le champ électrique.  $e$  est la charge de l'électron.

On admet, en général, que les électrons et les molécules ionisées positivement s'agglomèrent électrostatiquement à des molécules neutres et forment des ions polymoléculaires. Si l'on augmente la différence de potentiel au delà de la valeur produisant le courant de saturation, il se produit une ionisation par choc lorsque l'énergie des électrons

$$\frac{1}{2} mv^2 = eV$$

est supérieure au potentiel d'ionisation  $W$  du gaz. Lorsque le gaz étudié est un gaz monoatomique, le travail d'ionisation  $W$  représente le travail qu'il faut dépenser pour faire sortir un électron de l'atome. Lorsque cet électron y rentre par suite de la recombinaison des ions, l'atome doit restituer la même énergie  $W$ .

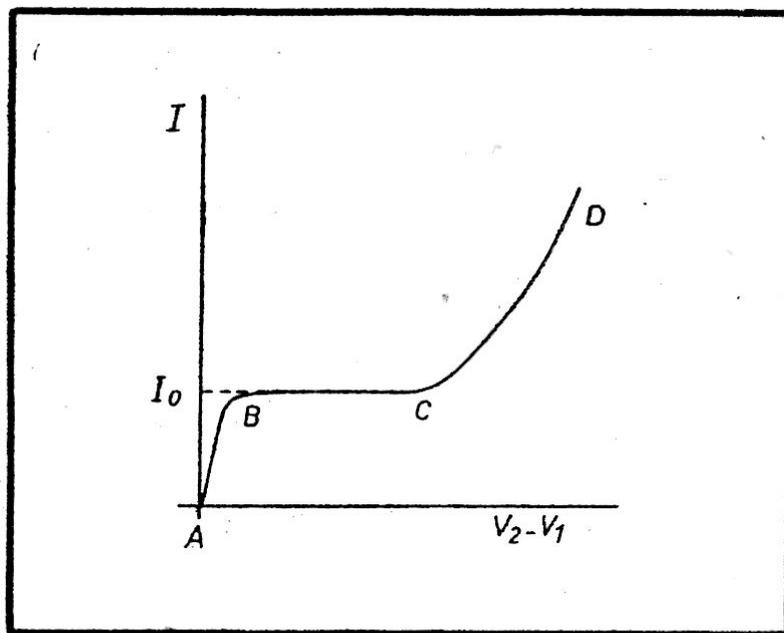


Fig. I-36

On admet qu'il la restitue sous forme de *radiations lumineuses*. La fréquence la plus élevée qui puisse être émise satisfait à la relation

$$W = h\nu$$

et l'on en déduit la valeur de la longueur d'onde

$$\lambda = \frac{hc}{eV}$$

Dans cette formule,  $h$  est la constante de Planck,  $\nu$  la fréquence de la radiation,  $V$  la différence de potentiel appliquée,  $c$  la vitesse de la lumière. Pour la vapeur de mercure, par exem-

ple, le potentiel d'ionisation est de 10,3 volts, et son spectre d'arc a pour limite la longueur d'onde ultra-violette  $\lambda = 1.188$  Angstroms.

*Potentiel de résonance.* — Si l'on applique une différence de potentiel entre l'anode et le filament d'un tube contenant un gaz monoatomique, de telle façon que l'anode soit de plus en plus positive par rapport à la cathode, et si l'on mesure le courant passant, on constate que la courbe  $V = f(I)$  présente plusieurs points anguleux. L'un correspond au potentiel d'ionisation, les autres à des potentiels de résonance. Ces derniers points sont provoqués par le passage des atomes entre des états différents A et B. Au potentiel  $V'$ , si l'atome revient de l'état B à l'état A, il émet une quantité d'énergie  $W'$  et libère un rayonnement lumineux de fréquence  $\nu'$  tel que

$$h\nu' = eV'$$

*Loi de Paschen.* — Le potentiel explosif entre deux plateaux indéfinis ne dépend que de la masse de gaz contenue entre ces plateaux par centimètre carré de surface.

Si l'on porte en abscisse le potentiel explosif et en ordonnée le produit de la pression par la distance entre les plateaux, on obtient une courbe présentant un minimum (fig. I-37). On croit que l'ionisation par choc serait produite par les ions des deux signes.

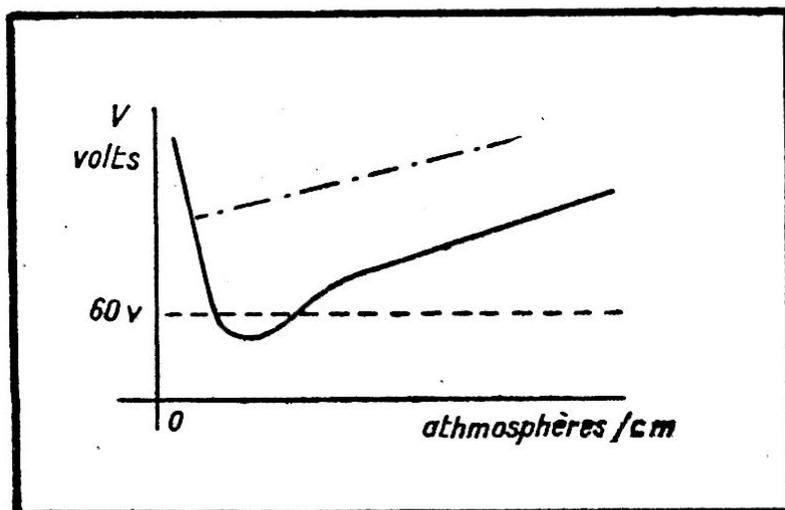


Fig. I-37

### Les diodes à gaz.

Lorsqu'on introduit dans un tube à vide, comportant une cathode et une anode, quelques traces de gaz, les caractéristiques de ce tube sont complètement modifiées. Il y a passage du courant de la cathode C à l'anode A quand le potentiel de A

Fig. I-38

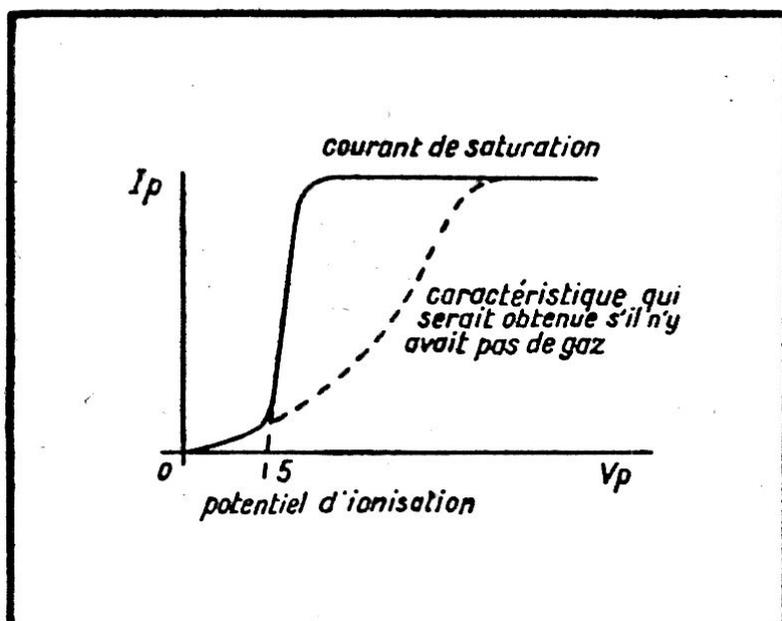
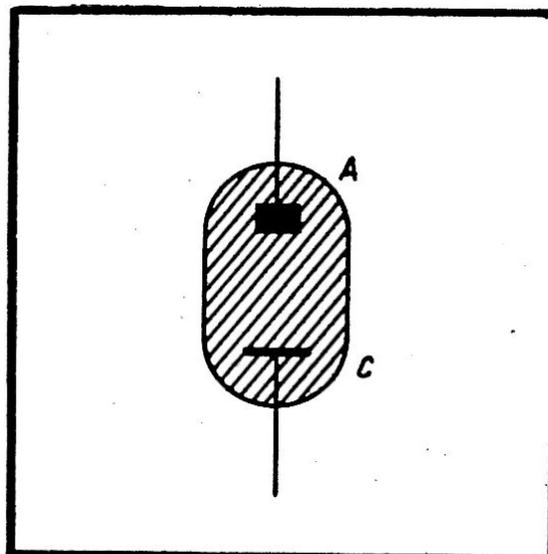


Fig. I-39

est supérieur à celui de C (fig. I-38). Les ions positifs, produits par la collision entre les molécules de gaz et les électrons, se déplacent en sens inverse des électrons et se dirigent sur la cathode.

Les cathodes constituées par une plaque métallique froide sont peu employées. On utilise, plus fréquemment, des cathodes liquides (mercure sur lequel un arc est amorcé) ou des cathodes thermoïoniques analogues comme principe aux cathodes des tubes amplificateurs. Les anodes sont semblables à celles des tubes à vide. Les gaz, dont la pression est généralement de quelques millièmes de millimètre de mercure, sont choisis en général ainsi : vapeur de mercure, argon, hélium, néon, etc.

Ils peuvent être constitués par des mélanges de ces différents éléments.

La figure I-39 donne l'allure de la caractéristique courant plaque - tension plaque par rapport à la cathode pour une diode à gaz. A partir d'une certaine tension, l'ionisation par choc se produit, et la caractéristique diffère de celle d'un tube à vide.

Le courant devient important pour une très faible augmentation de la tension d'anode. Les ions positifs neutralisent alors la charge d'espace négative produite par les électrons autour de la cathode, ce qui permet à un grand nombre d'électrons d'affluer vers l'anode. L'effet de répulsion, dû aux électrons constituant la charge d'espace, sur les électrons sortant est annulé. Les ions lourds, se déplaçant lentement, n'interviennent que peu dans la production du courant. Ce dernier est limité par le nombre total d'électrons émis par la cathode (courant de saturation). Néanmoins il faut dire que le courant de saturation peut être considérable — plusieurs centaines de milliampères, sinon plusieurs ampères — et on peut l'utiliser pour la commande directe des relais.

### Les triodes à gaz.

Rappelons les principales propriétés des triodes à gaz. Dans un tube à vide poussé, pour des tensions déterminées appliquées sur les diverses électrodes, on obtient des courants bien constants et parfaitement contrôlables.

Une grille placée entre la cathode et l'anode permet de contrôler le courant d'électrons allant vers cette dernière (fig. I-40). Les électrons forment une charge d'espace négative autour de la cathode. Dans les tubes à gaz, les électrons émis par la cathode peuvent être attirés par l'anode si elle est positive. Dans ce cas les électrons rencontrent les atomes de gaz et peuvent les ioniser par collision.

Les ions positifs produits peuvent neutraliser la charge d'espace, comme dans les diodes à gaz. Toutefois, si la grille est portée à un potentiel suffisamment négatif, il faudra appliquer sur la plaque un potentiel positif, supérieur à une valeur dépendant de la tension grille, pour obtenir l'ionisation par choc et l'amorçage (fig. I-41).

Le courant, une fois amorcé, continuera à passer quelque soit le potentiel de grille. Pour l'arrêter, il faudra diminuer suffisamment le potentiel d'anode. Pendant que le tube est amorcé, les électrons se dirigent vers l'anode, et les ions se dirigent vers la cathode. Ces ions sont beaucoup plus lourds

Fig. I-40

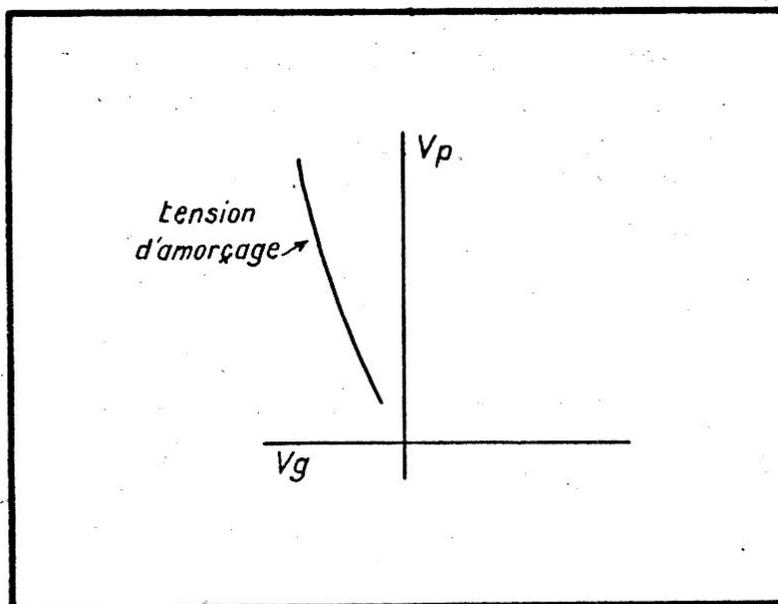
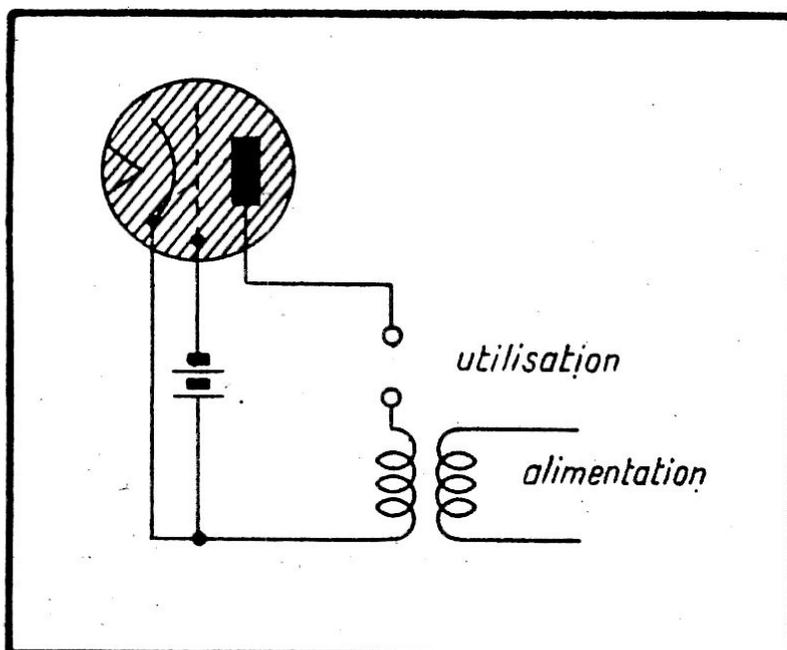


Fig. I-41

et se déplacent moins rapidement que les électrons. Le courant est presque exclusivement composé d'électrons. Il ne cessera que lorsque le potentiel d'anode sera devenu inférieur au potentiel d'ionisation.

Des ions positifs parviennent à la grille négative, ce qui l'entoure d'une sorte d'écran positif, neutralise son effet électrostatique, et lui enlève tout effet de contrôle.

Comme dans le cas de la diode à gaz, le courant est limité par le courant de saturation que peut fournir la cathode et peut atteindre plusieurs ampères. On peut donc commander directement un relais ou alimenter des appareillages électriques importants. Les triodes à gaz sont connues sous la dénomination de tube à décharge et à grille, ou encore *thyratrons*.

Pour des oscillations à basse fréquence (50 périodes par exemple) on utilise très souvent des tubes à vapeur de mercure. Lorsque la fréquence d'utilisation est plus élevée — cas des bases de temps — on emploie des tubes à néon, argon, hélium, etc. L'ionisation et la désionisation de ces gaz sont plus rapides que pour le mercure.

Le potentiel de la grille permet de commander la tension anodique qui produit l'amorçage, et par suite permet de déterminer le moment de chaque période pour lequel le courant commence à passer. Cette dernière éventualité concerne évidemment le cas d'un thyatron alimenté en courant alternatif. La tension grille règle donc la *quantité de courant* qui traverse le tube. Le fait que le courant anodique ait un démarrage brusque permet de comparer les thyatrons à des relais à seuil.

### L'optique électronique.

L'optique électronique est la nouvelle branche de la science qui étudie le mouvement des électrons dans les champs électrostatiques et électromagnétiques. L'optique électronique a été étudiée, à son origine, pour le perfectionnement des oscillographes cathodiques. Des études récentes ont porté sur la réfraction et la diffraction des électrons, et ont conduit à la théorie de l'onde associée à l'électron.

Lorsqu'un électron passe d'une région de potentiel  $V_1$  à une région de potentiel  $V_2$  (fig. I-42) l'on a les relations suivantes :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{u_2}{u_1} = \mu$$

$$\frac{1}{2} m u_2^2 = \frac{1}{2} m u_1^2 + e (V_2 - V_1)$$

$$\mu = \frac{u_2}{u_1} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}}$$

dans lesquelles  $u_1$  et  $u_2$  sont les vitesses de l'électron avant et après le passage,  $i$  l'angle d'incidence et  $r$  l'angle de réfraction.

L'analogie entre un faisceau d'électrons émis par une cathode, et soumis à des champs électriques, et les rayons lumineux a conduit à la notion de lentille électronique et d'image électronique. On sait que la distance focale d'une lentille en verre est donnée par la relation

$$f = \frac{4 K}{\mu_1 \mu_2}$$

Fig. I-42

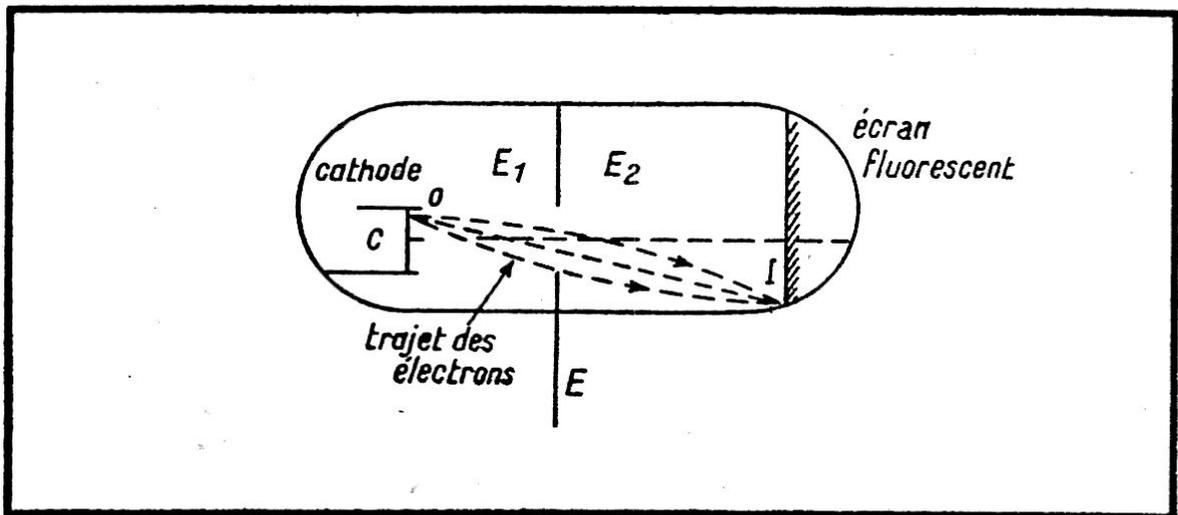
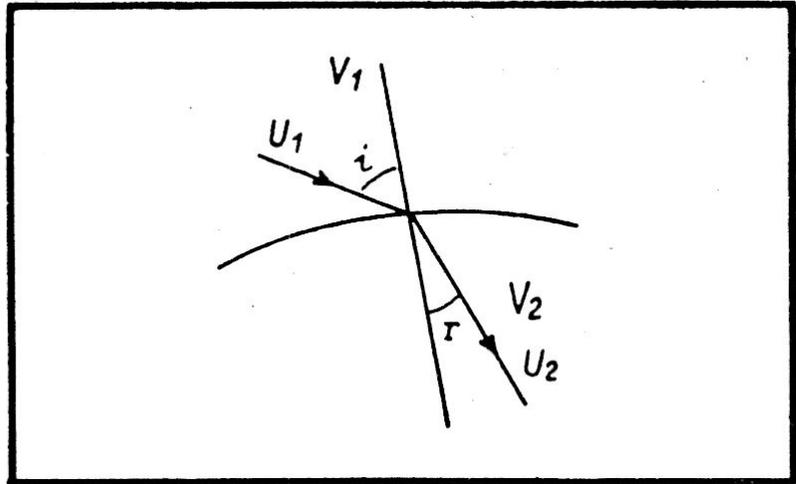


Fig. I-43

où  $K$  est une constante dépendant des dimensions de la lentille,  $\mu_1$  et  $\mu_2$  étant les indices de réfraction du verre et de l'air. D'une façon analogue on peut écrire la formule de la distance focale électronique :

$$f = \frac{4v}{E_2 - E_1}$$

où  $v$  est le potentiel de l'électrode  $E$ ,  $E_2$  et  $E_1$  étant les gradients de potentiel de chaque côté de la lentille. Les électrons émis d'un point  $O$  — sur une cathode thermoionique ou photo-électrique — peuvent être à nouveau concentrés en un point  $I$  situé, par exemple, sur un écran fluorescent. On peut aussi créer une *image visible* de l'ensemble de la cathode. La cathode  $C$  émet des électrons par une ouverture circulaire de petite dimension dans un écran métallique  $E$  peu épais (fig. I-43).

L'oscillographe cathodique fait un usage intensif des lentilles électroniques; les électrons issus de la cathode sont concentrés en un point de l'écran fluorescent. Le microscope et le télescope électroniques sont d'autres applications récentes de l'optique électronique.

La « focalisation » des électrons peut être également réalisée par un champ magnétique (bobinage traversé par un courant continu). Dans le dispositif de la figure I-44 la distance focale de la lentille sera d'environ

$$f = 42.000 \frac{Vdp}{A^2}$$

formule dans laquelle  $p$  est un facteur de forme voisin de 1,1,  $A$  est le nombre d'ampère-tour du bobinage (il peut atteindre la valeur de 1.000),  $V$  est le potentiel auquel sont soumis les électrons, et  $d$  est le diamètre de la bobine.

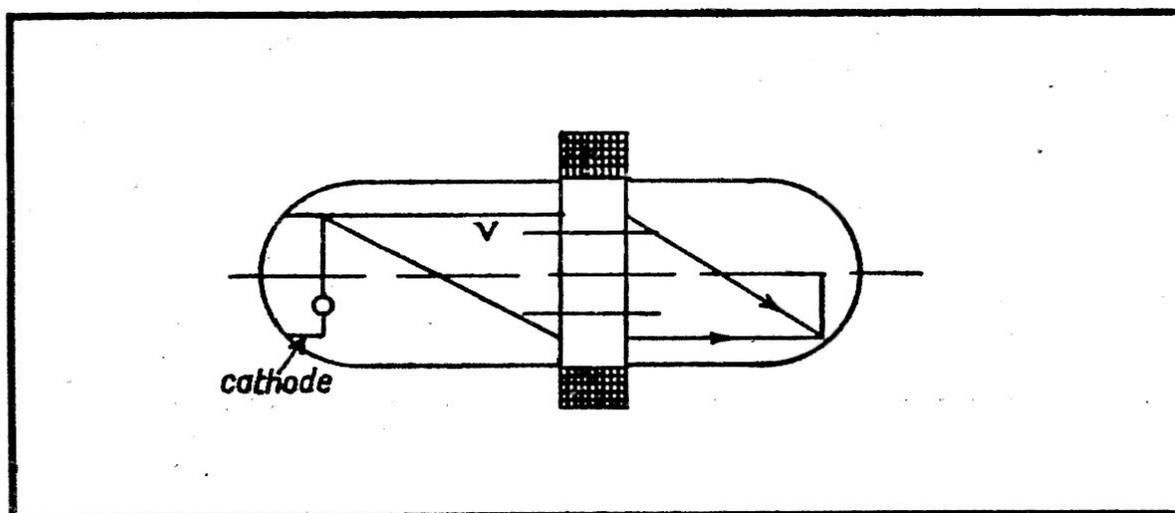


Fig. I-44

Cet ouvrage n'ayant pas pour but l'étude des tubes à vide, nous nous contenterons de ce bref aperçu de l'optique électronique. Cette nouvelle branche de la science est encore au stade expérimental plutôt qu'au stade théorique. Elle a néanmoins permis le développement d'instruments tels que l'oscillographe cathodique, le microscope électronique, les multiplicateurs d'électrons, les transformateurs de lumière, etc.

### Les multiplicateurs d'électrons.

Lorsqu'un électron tombe sur une surface il peut soit y pénétrer, soit se réfléchir, soit émettre des radiations électromagnétiques, soit émettre des électrons secondaires. Tout cela dépend de la vitesse d'arrivée de l'électron, de la nature du corps sur

lequel il tombe, ou de l'état de la surface. Ces différents effets peuvent d'ailleurs se combiner.

L'effet d'émission secondaire, nuisible dans les tubes à vide ordinaires, est systématiquement recherché dans les multiplicateurs d'électrons. Ces appareils utilisent les électrons secondaires pour produire une amplification du courant.

Les électrons émis par une cathode sont dirigés vers une première électrode (anode ou grille) où ils provoquent l'émission de nombreux électrons secondaires. Ces derniers sont, à leur tour, dirigés vers l'électrode suivante où se renouvelle le phénomène. L'opération peut recommencer plusieurs fois, à chaque stade le nombre des électrons libérés se trouvant plus important.

Le multiplicateur de *Zworykin* utilise une cathode photoélectrique (fig. I-45) analogue aux cathodes des cellules photoélectriques au caesium. Lorsque la cathode est éclairée, les électrons émis sont dirigés vers une première électrode I où ils provoquent l'émission de nombreux électrons secondaires. Ceux-ci sont dirigés vers une seconde électrode II, et l'opération se répète un certain nombre de fois (10 par exemple). Une dernière anode émissive termine la chaîne et les électrons sont recueillis par une plaque collectrice P.

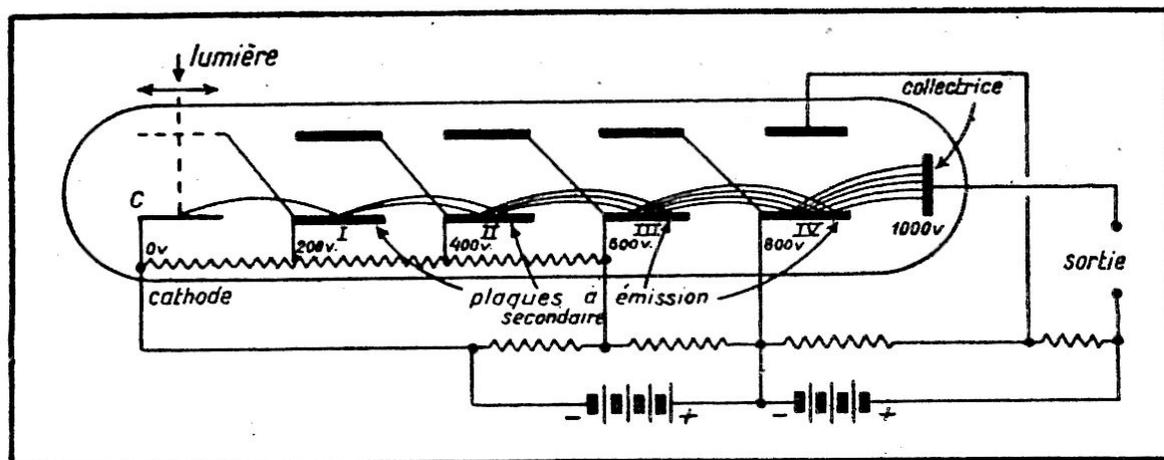


Fig. I-45

On arrive à diriger les électrons d'une plaque à la suivante grâce à l'action combinée d'un champ magnétique perpendiculaire à la figure, et d'un champ électrique. Ce dernier est créé par des électrodes spéciales situées en face de chaque anode, et dont le potentiel leur est supérieur. Il en résulte que chaque électrode de champ, ou chaque anode a un potentiel plus élevé que l'électrode ou l'anode précédente. C'est ainsi que si la pre-

mière anode a une tension de 200 volts par rapport à l'anode, la seconde a une tension de 400 volts par rapport à la cathode, et ainsi de suite.

Le tableau suivant donne la valeur du rapport  $n_2/n_1$  du nombre d'électrons secondaires par rapport au nombre des électrons primaires, en fonction de l'énergie des électrons primaires évaluée en *électrons-volts*. Il s'applique au cas d'une cathode du type (couche d'argent), (oxyde de caesium), (caesium); cette cathode est analogue à celle des cellules photoélectriques au caesium.

$e v$	$\frac{n_1}{n_2}$
100 .....	5
200 .....	7
300 .....	8
400 .....	8,2
500 .....	8,2
600 .....	8,1
700 .....	8

Divers métaux ont été utilisés avec succès pour la fabrication des électrodes à émission secondaire. Il faut citer, en particulier, le glucinium, certains bronzes spéciaux, ainsi que des alliages de métaux légers. L'état de la surface (oxydation) a également une grosse importance.

Il existe d'autres dispositifs multiplicateurs électrostatiques (*Baird, Rachman, etc.*). De nombreuses variantes sont possibles, et c'est ainsi que les anodes à émission secondaire peuvent être remplacées par des grilles successives.

Quelque soit la forme constructive adoptée on aura la formule

$$i = (IN)^p$$

dans laquelle  $i$  est le courant de sortie,  $I$  le courant de la cathode,  $N$  le rapport entre le nombre d'électrons incidents et d'électrons de rebondissement,  $p$  le nombre d'électrodes à émission secondaire.

Les multiplicateurs d'électrons permettent une très grande amplification avec un bruit de fond très faible. Entre autres applications, on peut les utiliser pour la signalisation à distance. Un faisceau lumineux ou infra-rouge — modulé ou non — est envoyé sur la cathode photoélectrique, et les électrons recueillis sur l'anode finale collectrice peuvent commander un haut-parleur, un relais, ou un indicateur quelconque.

Un multiplicateur d'électrons peut fonctionner pour de hautes fréquences, et sa sensibilité peut atteindre *plusieurs ampères par lumen*, alors que la sensibilité d'une cellule à vide au caesium n'est que d'une vingtaine de micro-ampères par lumen. Il faut cependant dire que le multiplicateur d'électron est de fabrication délicate, et cela en restreint actuellement l'emploi. Mais il y a tout lieu de supposer que cet instrument nouveau ne tardera pas à être perfectionné et cela en généralisera l'emploi industriel.

### Le télescope électronique.

On sait que des ondes d'une longueur d'onde déterminée peuvent produire des ondes de longueur d'onde plus grande qui présentent une énergie, ou *quanta*, plus réduite. C'est ainsi que dans les phénomènes de fluorescence les radiations ultra-violettes produisent des radiations visibles. Le phénomène inverse, c'est-à-dire la production de lumière visible à partir de longueurs d'ondes supérieures (infra-rouge) n'est possible, dans le télescope électronique, que grâce au passage intermédiaire par les électrons. Une cathode photoélectrique produira des électrons sous l'influence des rayons infra-rouges. Ces électrons, grâce à des combinaisons de champs électrostatiques et électromagnétiques, seront projetés sur un écran fluorescent où ils produiront de la lumière visible.

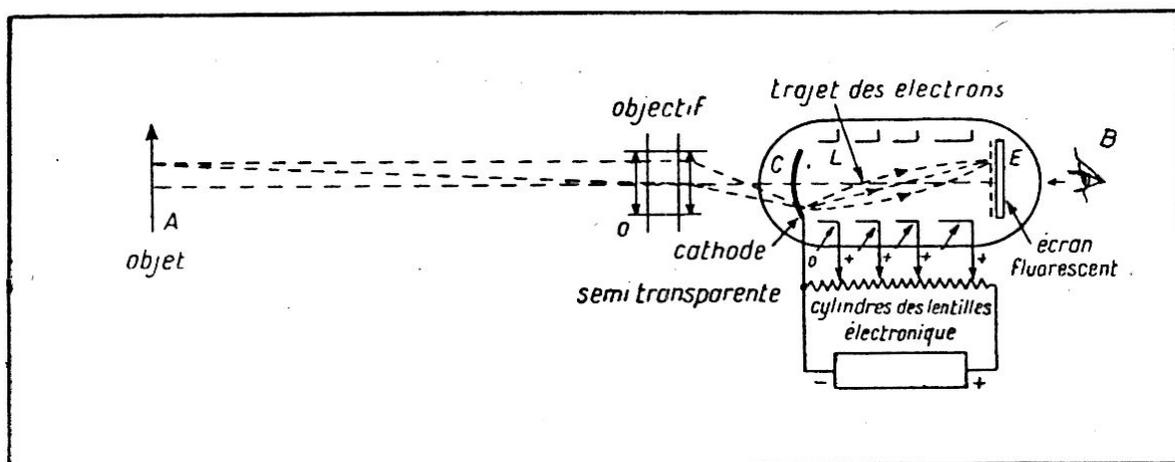


Fig. I-46

Le télescope électronique est basé sur les principes d'optique électronique que nous avons examinés dans un paragraphe précédent. Il se différencie du microscope électronique par le fait qu'il peut donner des images de grandes dimensions.

Divers laboratoires se sont attaqués à ce problème, en France comme à l'étranger (Etats-Unis, Allemagne, Hollande).

Il faut citer en particulier les laboratoires R.C.A., L.M.T. et Philips.

La figure I-46 donne le principe de la réalisation d'un télescope électrostatique.

Un système optique O forme (en lumière visible ou infra-rouge) l'image d'un objet extérieur A sur une cathode photoélectrique C presque transparente. Cette cathode émet des électrons qui traversent un système de lentilles électro-optiques L. Les électrons forment une image visible de C en tombant sur un écran E recouvert d'une substance fluorescente (Willémite par exemple). C et E établis, sur des plaques de verre, sont relativement transparents. On peut donc observer l'image sur E en se plaçant derrière l'appareil, en B par exemple.

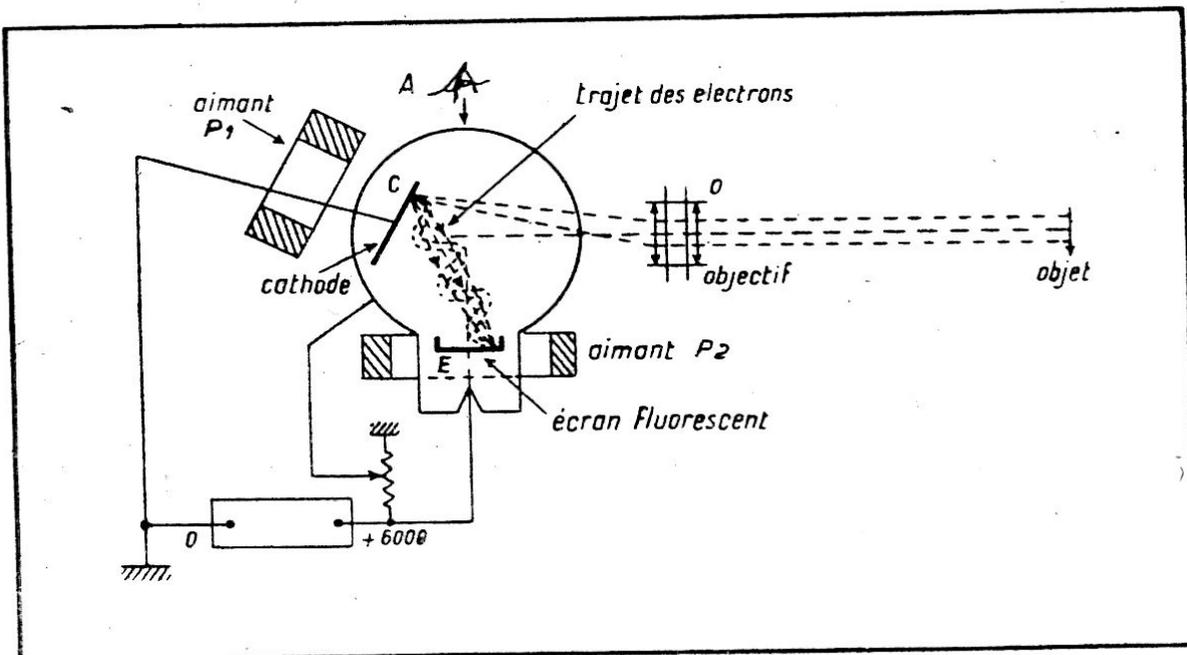


Fig. I-47

L'ensemble C, L, E est placé dans le vide. La lentille électro-optique L est constituée par un ensemble de cylindres portés à des potentiels croissants, le premier à + 100 volts, le second à + 200 volts par rapport à la cathode, et ainsi de suite. La couche photoélectrique de C peut être analogue à celle des cellules photoélectriques au caesium. On sait que ces cellules sont sensibles non seulement pour la lumière visible, mais aussi pour les radiations rouges et infra-rouges.

Le réglage des potentiels des lentilles électro-optiques permet d'agir sur le grossissement de l'appareil. La cathode est sphérique ce qui évite la distorsion « en coussinet » de l'image. L'objectif utilisé doit, pour que l'appareil soit intéressant, avoir

une grande ouverture. Les lentilles électro-optiques L peuvent être électromagnétiques au lieu d'être électrostatiques.

C'est le cas du tube *Philips* dont le schéma est indiqué dans la figure I-47. Ce tube utilise une lentille électro-optique constituée par deux aimants permanents toroïdaux  $P_1$  et  $P_2$  qui constituent une lentille électromagnétique.

Le système optique O forme une image de l'objet sur la cathode C, en lumière visible ou en radiations infra-rouges. Les électrons émis par C sont focalisés sur un écran E recouvert d'une substance fluorescente. L'écran est porté à une tension de + 6000 volts par rapport à la cathode. Un champ électrostatique est créé par un dépôt conducteur recouvrant le verre de l'ampoule. Ce dépôt a une tension positive de quelques centaines de volts par rapport à la cathode. La combinaison des deux champs, électrostatique et électromagnétique, amène les électrons issus d'un point quelconque de C à se focaliser en un point correspondant de l'écran fluorescent E. On voit l'image sur E en regardant de l'emplacement A.

Le télescope électronique peut être utilisé avec des radiations infra-rouges, visibles ou ultra-violettes, suivant la nature de sa cathode. En fait, il est surtout intéressant pour l'infra-rouge. Cette propriété permet d'utiliser le télescope électronique dans divers dispositifs pour la signalisation, la détection des fumées, la vision à longue distance dans l'infra-rouge, le contrôle d'une image avant la photographie dans l'infra-rouge, etc... Nous examinerons quelques-unes de ces applications dans les chapitres suivants.



## CHAPITRE II

# APPLICATIONS DE L'ELECTRONIQUE AU LABORATOIRE

---

Diverses mesures telles que celles de photométrie, de calorimétrie, de contrôle d'homogénéité, de relevé de diagrammes, etc. ont été rendues beaucoup plus faciles grâce à l'électronique. Celle-ci a permis de mettre au point des méthodes de mesure objectives avec des appareillages souvent très simples et peu encombrants.

### **Emploi des cellules photoélectriques en photométrie.**

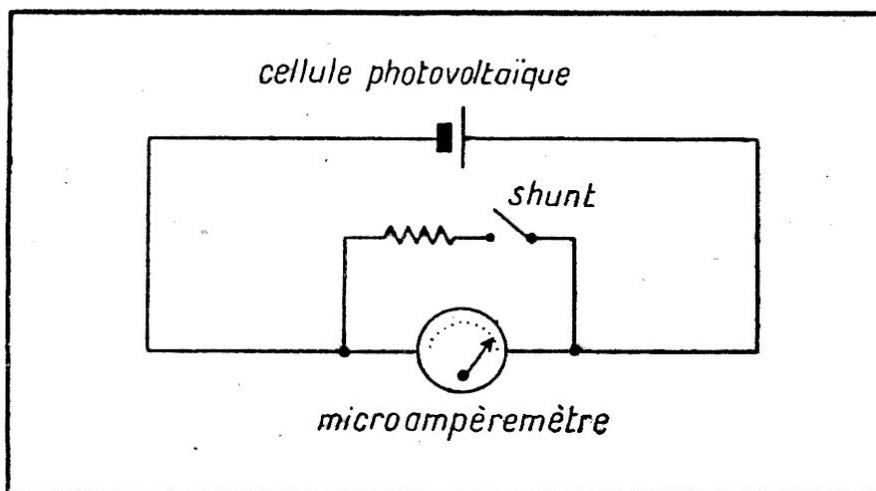
Bien que la sensibilité d'une cellule varie un peu avec le temps, il a été reconnu possible d'utiliser les cellules photoélectriques et photovoltaïques pour les mesures de photométrie. Cette utilisation a, en outre, été rendue nécessaire par suite du manque de précision des méthodes habituelles photométriques qui reposent sur l'appréciation délicate de l'égalité d'éclairement de deux surfaces.

L'œil présente un maximum de sensibilité pour des longueurs d'onde situées dans le vert (5.500 Angstroms). Sa sensibilité n'est pas proportionnelle à l'intensité de la source lumineuse et, de plus, il n'est pas capable de comparer des éclairagements de couleurs différentes.

On utilise comme étalons des lampes électriques à filament de tungstène étalonnées à partir d'étalons primaires qui sont constitués par des bougies de dimensions et composition déterminées. Une vraie comparaison d'intensité lumineuse ne peut être faite que lorsque les sources sont de même couleur, ou sont efficacement ramenées à la même couleur au moyen de filtres compensateurs. Le courant électrique fourni par la cellule permettra, grâce à un étalonnage préalable, de comparer l'intensité de sources lumineuses de même couleur.

Pour les lampes à incandescence, on compare les couleurs des filaments à l'aide d'un pyromètre optique. Le principe de cet appareil consiste à comparer la couleur du filament dont on veut mesurer la température à la couleur d'un filament étaloné. On règle la tension aux bornes du filament de la lampe à étudier de manière à obtenir la couleur désirée.

Fig. II-1



Ces études peuvent être grandement facilitées par l'emploi de certaines cellules photovoltaïques (3001 L.M.T. par exemple) qui présentent approximativement un maximum de sensibilité dans la même région que l'œil (5.500 Angstroms). Il existe d'ailleurs des filtres en verres spéciaux qui, placés devant ces cellules, font correspondre la courbe de sensibilité de l'ensemble à celle de l'œil. L'énergie équivalente à 1 bougie-mètre est d'environ 15 ergs par seconde, la limite de sensibilité de l'œil correspondant environ à  $10^{-8}$  ergs par seconde. Une telle sensibilité ne peut être atteinte que par des cellules photoélectriques suivies de puissants amplificateurs ou multiplicateurs d'électrons. Le courant produit est alors suffisant pour le fonctionnement d'un galvanomètre sensible.

En pratique, les éclairagements que l'on peut avoir à mesurer sont beaucoup plus importants. Généralement il suffira de placer en série un microampèremètre, aussi peu résistant que possible, et la cellule photovoltaïque (fig. II-1). Les éclairagements habituels donneront une déviation suffisante de l'instrument. Des shunts seront utilisés pour obtenir plusieurs sensibilités. Une bonne cellule photovoltaïque donne plusieurs centaines de microampères par lumen sur une résistance de quelques ohms. C'est ainsi que sont construits la plupart des luxmètres ou photomètres pour les usages industriels, les études d'éclairage, la photographie, le cinéma, etc...

## L'intégrateur de lumière.

L'intégrateur de lumière est un appareil permettant de mesurer la quantité totale de lumière fournie par une source quelconque pendant une période déterminée. Cette mesure est importante pour certaines industries: photogravure, élevage artificiel, application médicale des rayons ultra-violets, etc...

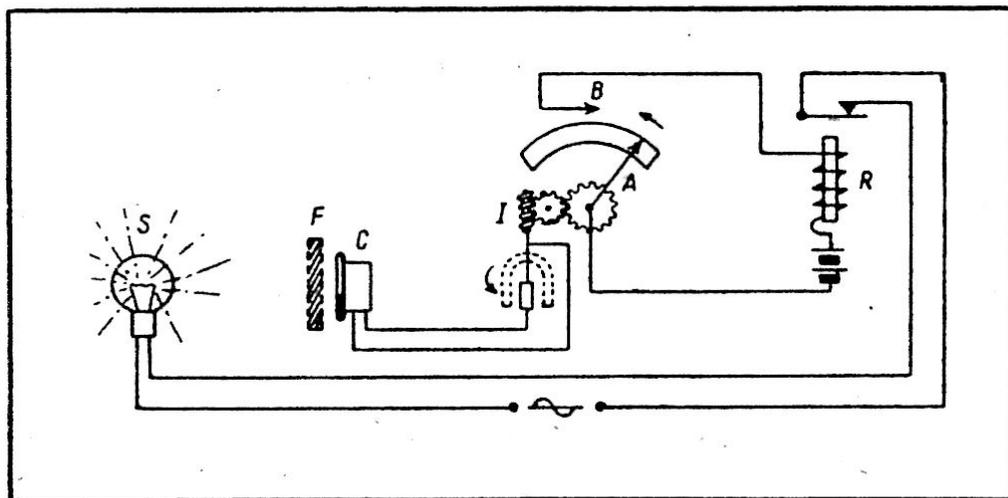


Fig. II-2

Dans la photogravure, en particulier, l'éclairement fourni par la source lumineuse peut varier dans de fortes proportions sans que l'œil s'en aperçoive; or le résultat final dépend de la quantité totale de lumière ayant servi au tirage du cliché.

La figure II-2 donne le principe d'un tel appareil. La cellule photoélectrique C reçoit une partie de l'énergie lumineuse fournie par la source S; le courant photoélectrique fait tourner un compteur sensible I dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la lumière reçue par la cellule. Un mouvement d'horlogerie entraîné par le rotor déplace une aiguille A sur un cadran ce qui donne, par lecture directe, la quantité de lumière reçue.

La cellule sera, par exemple, une cellule photovoltaïque 3001 A LMT. Le compteur sera du type classique O K. Un filtre F en verre coloré, interposé entre la source lumineuse et la cellule, permet de mesurer éventuellement la quantité de lumière correspondant à une couleur déterminée. Un perfectionnement de l'appareil peut être prévu sous la forme d'une butée B sur laquelle l'aiguille vient établir un contact électrique; cela ferme le circuit d'un relais R qui commande l'extinction de la source lumineuse S.

## Assortissement des couleurs.

La cellule photoélectrique ne peut distinguer entre une variation d'intensité lumineuse et une variation de couleur. Elle ne pourra donc comparer que les intensités lumineuses d'une partie étroite et bien déterminée du spectre lumineux. On sait que la couleur d'un objet est due à la présence de longueurs d'onde différentes. Pour établir, à l'aide d'une cellule photoélectrique une comparaison utile entre les couleurs des différents objets, il sera nécessaire de spécifier la couleur de la lumière incidente et de comparer les quantités de cette couleur émises par deux surfaces.

Les appareils habituellement utilisés pour la comparaison des couleurs emploient une méthode de substitution dans laquelle la lumière d'un objet standard est rapidement comparée, par la même cellule, avec la lumière provenant de l'objet à mesurer. La figure II-3 donne à titre d'exemple un « assortisseur de couleur » établi par la société Westinghouse.

Deux cellules photoélectriques sont montées dans un circuit différentiel. La lumière émise par une lampe est envoyée symétriquement sur deux échantillons des pièces à comparer. Des cylindres peints en blanc mat à l'intérieur renvoient la lumière vers les cellules. On dispose de 3 groupes de filtres (rouge, bleu et vert) ce qui permet de faire des comparaisons dans ces 3 cou-

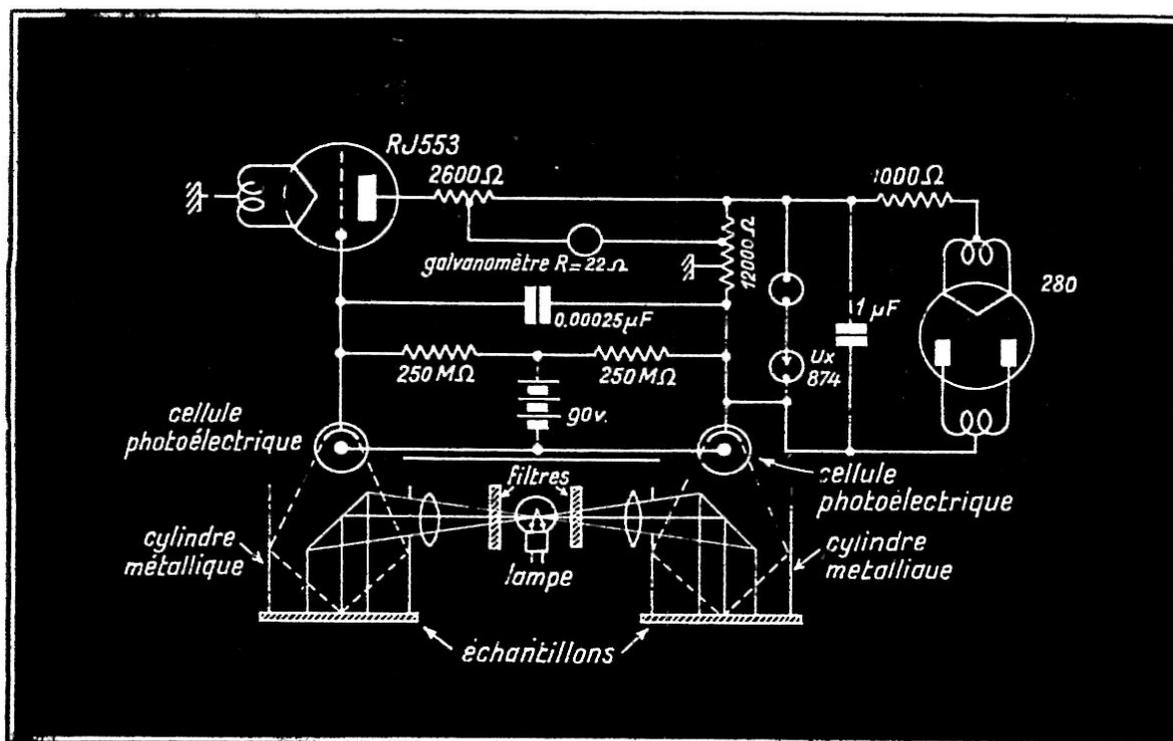


Fig. II-3

leurs qui sont les principales du spectre visible. Les 2 cellules sont d'abord exposées à la lumière réfléchie par 2 échantillons d'une surface standard. Le circuit est ajusté pour que l'appareil de mesure soit au zéro. On fait alors tourner tout le système optique autour d'un cylindre comme pivot afin d'exposer la deuxième cellule à la lumière réfléchie par une deuxième surface, celle à étudier. Si l'appareil de mesure est encore au zéro, les deux surfaces sont semblables pour la couleur envisagée. On fait successivement cette mesure pour les 3 couleurs, rouge, bleue et verte. Les échantillons ainsi sélectionnés paraîtront semblables pour n'importe quel éclairage.

### Analyseur de couleur.

L'analyseur de couleur est un appareil permettant d'identifier et mesurer les différentes composantes spectrales d'une couleur. Il comporte une source lumineuse d'intensité réglable à l'aide d'un secteur de Brodhuin. La lumière, après avoir traversé la substance à analyser est envoyée dans un spectromètre qui permet de choisir une radiation d'une longueur d'onde dé-

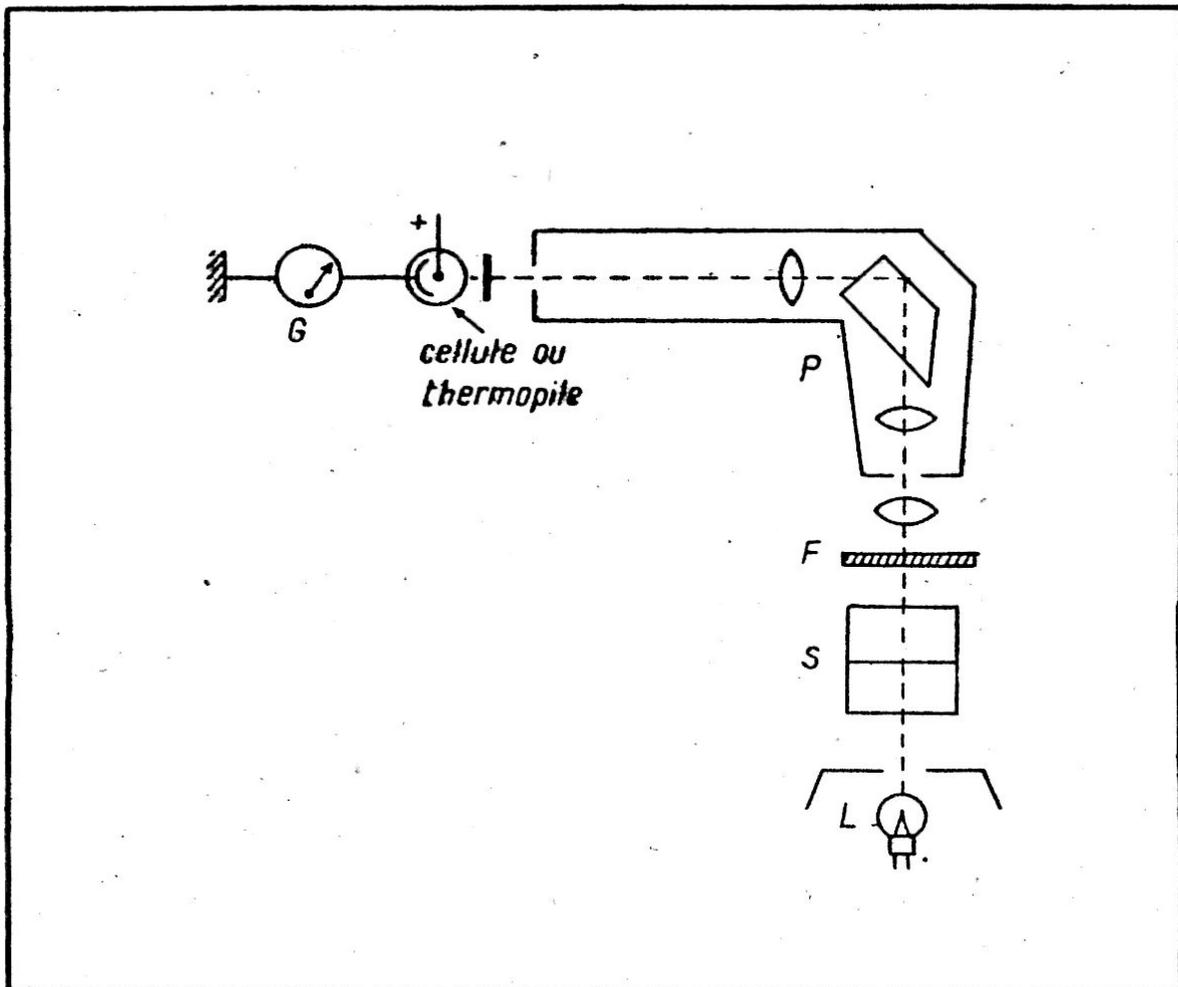


Fig. II-4

terminée. L'intensité de cette radiation est mesurée à l'aide d'une thermopile ou d'une cellule photoélectrique.

La figure II-4 montre l'ensemble d'un analyseur de couleurs pour matières transparentes. Il comprend: une lampe à incandescence L, un secteur de Brodhuin S constitué par des rhomboèdres pivotant autour de l'axe parallèle au faisceau lumineux. Après avoir traversé la matière à étudier F, la lumière arrive sur un spectromètre à déviation constante P. Une radiation de longueur d'onde déterminée en sort et est dirigée sur une thermopile ou une cellule photoélectrique.

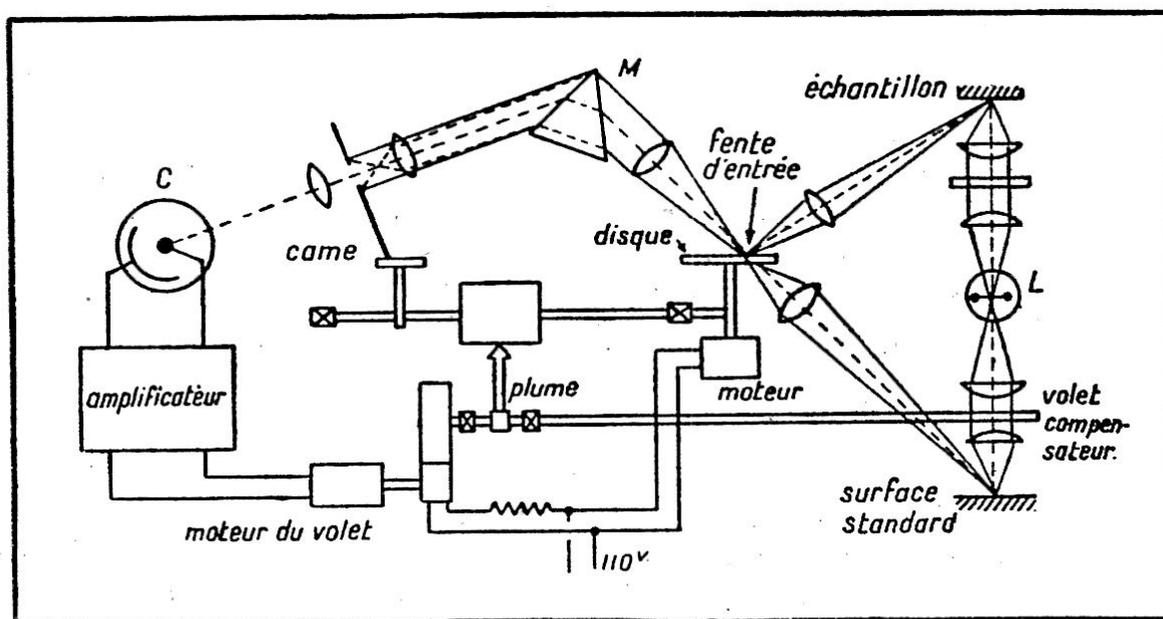


Fig. II-5

L'usage de tels instruments est délicat et peu recommandable pour la pratique industrielle courante. C'est pourquoi l'on a construit des appareils plus simples et dont la précision, bien qu'inférieure, est largement suffisante. Nous décrirons rapidement l'analyseur automatique de Hardy (fig. II-5). La lumière provenant d'une lampe L à filament de tungstène tombe simultanément sur la surface de référence de carbonate de magnésium et sur la surface à analyser. La lumière diffusée par chaque surface est projetée alternativement à travers un monochromateur M dans la cellule C. Une came liée mécaniquement au tambour enregistreur permet de faire varier la couleur admise sur la cellule, et l'on obtient ainsi l'exploration de toutes les couleurs en même temps que le tambour fait sa rotation. Un mécanisme automatique, contrôlé par le courant de sortie de la cellule, enregistre sur un tambour T — pour différentes longueurs d'onde — le rapport entre l'énergie réflé-

chie par l'échantillon et l'énergie provenant de la surface de référence. Cet appareil est indépendant de la forme de la courbe de sensibilité de la cellule aux différentes couleurs.

### Mesure du courant haute fréquence.

Dans une lampe à filament de tungstène, l'éclat lumineux du filament ne dépend que du courant efficace. Il faut cependant que la fréquence soit grande par rapport à la capacité calorifique du filament.

Le courant à très haute fréquence, difficile à apprécier par d'autres méthodes, pourra être mesuré de la façon suivante: on étalonnera une ou plusieurs lampes en courant continu, et l'on mesurera le courant photoélectrique correspondant. On remplacera le courant continu dans la lampe par le courant haute fréquence. L'éclat lumineux produit engendrera un courant photoélectrique qui permettra de connaître la valeur de l'*intensité efficace* grâce au précédent étalonnage.

Pour de très hautes fréquences il y a lieu de tenir compte de la forme du filament de la lampe. En effet, certaines formes de filament présentent une capacité ou une self-inductance répartie considérable ce qui a comme conséquence la modification électrique des circuits à étudier. La figure II-6 indique un dispositif permettant cette mesure.

Le courant haute fréquence à mesurer traverse la lampe d'éclairage L qui agit sur la cellule C; on note la valeur du courant photoélectrique. Ensuite on fait passer dans la lampe un courant continu ou alternatif à basse fréquence (50 pé-

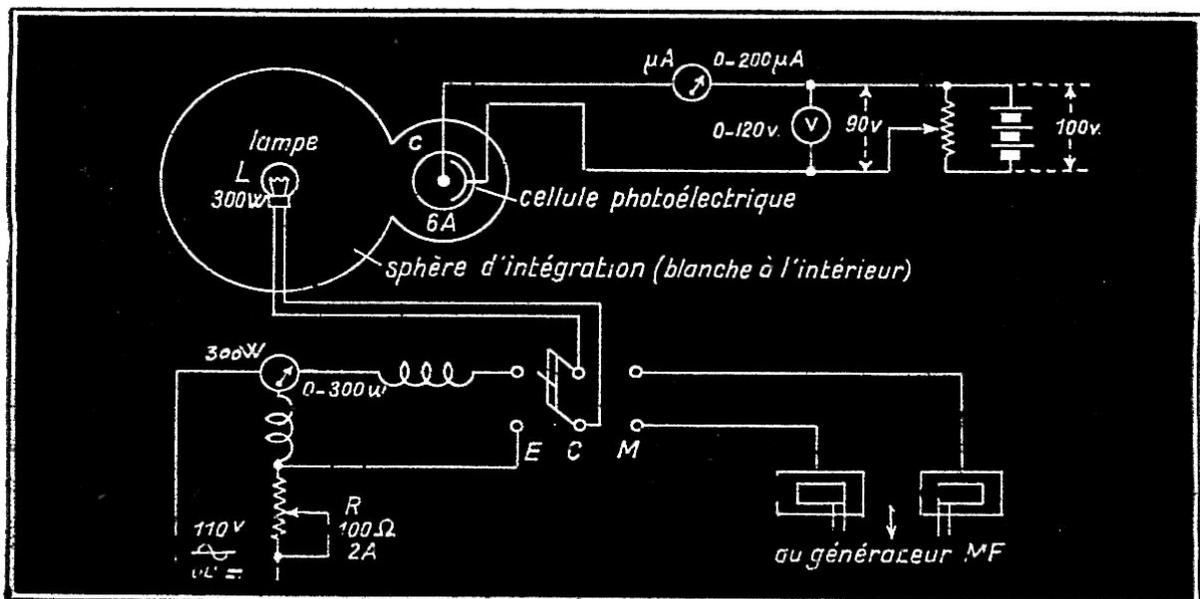


Fig. II-6

riodes par seconde), et l'on règle ce courant afin d'obtenir la même action sur la cellule. On sait alors que les deux courants sont égaux et la valeur est facile à mesurer dans le cas du courant continu. C'est une méthode de substitution.

Pratiquement on procédera de la manière suivante: le contacteur C étant sur la position M (mesure), on lit le courant photoélectrique sur le microampèremètre ( $\mu\text{A}$ ). On place ensuite le contacteur C sur la position E (étalonnage) et l'on règle le courant dans la lampe, au moyen de la résistance calibrée R pour obtenir la même lecture du microampèremètre. Le wattmètre W indique la puissance correspondante. Ce montage est utile pour la mesure de la puissance fournie par un petit émetteur radioélectrique ou un appareil de diathermie.

### Mesure de l'intensité lumineuse et de la température des lampes à incandescence.

La comparaison de l'intensité lumineuse de deux lampes peut être faite, soit à l'aide d'un photomètre optique (à écran, à tache d'huile, etc...), soit à l'aide d'un photomètre photoélectrique analogue à ceux que nous avons décrits.

La mesure de la température du filament incandescent est habituellement faite à l'aide d'un pyromètre optique. Ces mé-

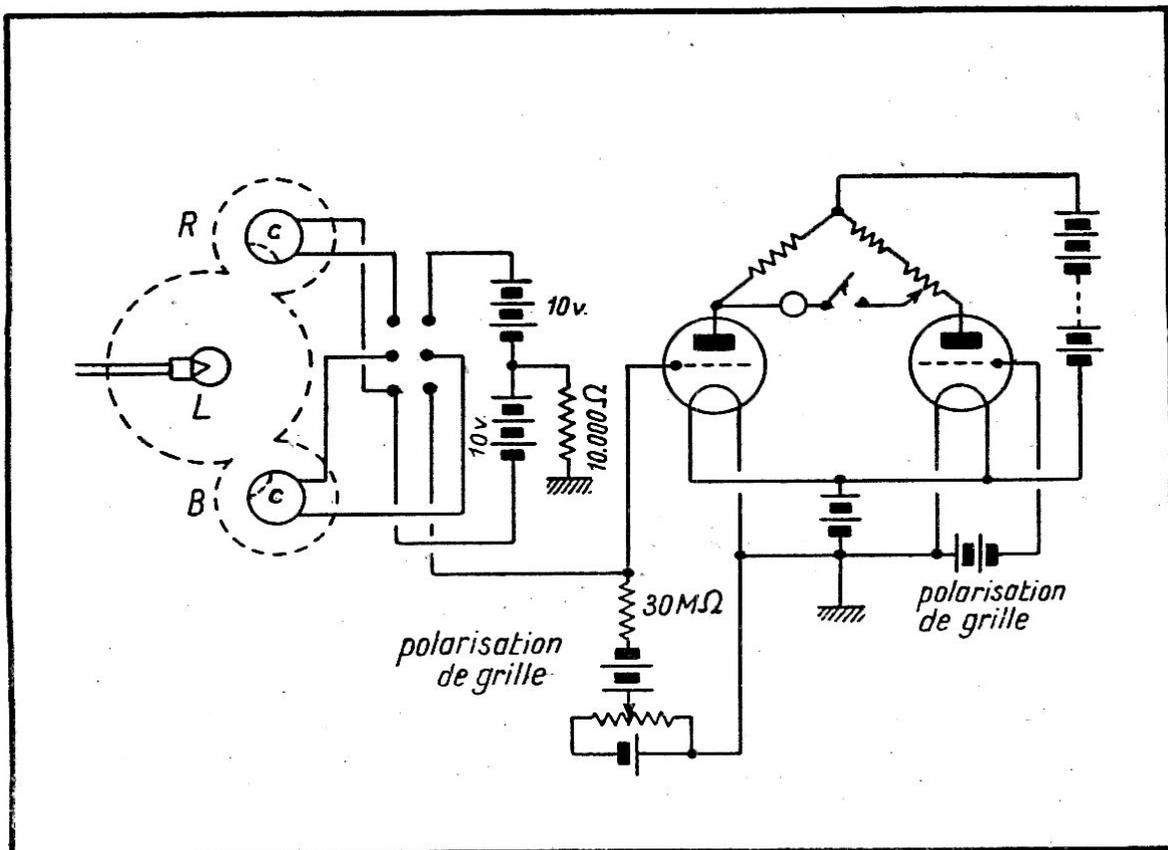


Fig. II-7

thodes peuvent être remplacées, pour les usages industriels courants par d'autres plus simples et plus rapides.

Winch a décrit un photomètre photoélectrique pouvant mesurer à la fois la température et l'intensité des lampes; la figure II-7 en indique le principe. L'appareil comporte deux cellules, l'une sensible au rouge R, l'autre sensible au bleu B. On peut les mettre en parallèle au moyen d'un contacteur. L'indicateur de l'appareil de mesure donne alors la luminosité totale de la lampe à étudier L.

Lorsque les deux cellules sont montées en opposition, le courant résultant est fonction de la température de la lampe. Un circuit à pont amplifie les courants produits. Les cellules sont montées dans des sphères photométriques adjacentes à celle où est placée la lampe à étudier. Des volets ajustables permettent un calibrage de l'appareil. Le circuit de mesure utilise la méthode du zéro.

### Les microscopes électroniques.

Les microscopes optiques ont fait l'objet, depuis plus de 200 ans, de nombreux travaux théoriques et pratiques. Actuellement, le microscope optique a atteint un perfectionnement tel qu'on peut estimer que les progrès qu'il est susceptible de faire sont peu importants. Des considérations théoriques fixent en effet les limites des microscopes optiques; or, ces limites ne sont pas loin d'être atteintes dans les meilleurs microscopes actuels.

Le pouvoir séparateur, en particulier, c'est-à-dire la faculté que possède l'instrument de permettre de séparer 2 points très voisin est limité par la longueur d'onde de la lumière utilisée. La relation entre le pouvoir séparateur, la lumière utilisée, et l'indice de réfraction du verre est:

$$s = \frac{2 n \sin u}{1,22 \lambda}$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière utilisée,  $n$  l'indice de réfraction du verre utilisé pour l'objectif,  $u$  l'angle d'ouverture suivant lequel, de l'objet, on voit le diamètre d'entrée de l'objectif. Des perfectionnements, tels que les objectifs à ultraviolet et à immersion, ont permis d'approcher ou de reculer la limite imposée par le pouvoir séparateur.

Ce phénomène limite le microscope puisque, quel que soit le grossissement, 2 taches lumineuses, séparées par une dis-

tance inférieure à celle correspondant au pouvoir séparateur maximum du microscope, *ne pourront être isolées par l'œil*. La valeur de la longueur d'onde associée à l'électron permet, dans le cas du microscope électronique, d'améliorer le pouvoir séparateur.

C'est le développement de l'optique électronique qui a permis la réalisation du microscope électronique avec un grand pouvoir séparateur. Dans cet appareil, à l'aide d'électrodes portées à des potentiels différents, ou à l'aide de champs magnétiques, on constitue des lentilles électroniques analogues à celles que nous avons étudiées dans le paragraphe consacré à l'optique électronique. Les électrons, issus d'un point situé sur un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie de l'appareil, viennent se concentrer sur un plan conjugué, également perpendiculaire à l'axe de symétrie. De même que pour les microscopes optiques, un plan objet a pour *conjugué* un plan image. On peut diviser les microscopes électroniques en 2 catégories:

1° On forme une image de la surface qui émet les électrons (cathode). Le système d'optique électronique est généralement constitué par des cylindres métalliques co-axiaux portés à des potentiels différents.

2° Le faisceau électronique est utilisé pour irradier un objet dont on peut examiner la structure sur un écran fluorescent ou une plaque photographique.

### **Microscopes électroniques donnant une image visible d'une cathode.**

Il s'agit d'un appareil appartenant à la première catégorie, et il est analogue à une lentille grossissante ordinaire (fig. II-8). Plusieurs réalisations pratiques sont à citer: Du Mont, General Electric, Philips, Le Matériel Téléphonique (M. Leboiteux).

### **Microscopes électroniques donnant une image agrandie de l'objet.**

Dans cette catégorie d'appareils le grossissement et le pouvoir séparateur peuvent être considérablement augmentés par rapport au microscope optique.

La limite du grossissement de ce dernier est d'environ 2.000.

Elle atteint 6.000 pour les microscopes à rayons ultra-violets. Avec le microscope électronique on a obtenu des valeurs de 30.000. Comme, de plus, on peut agrandir 3 fois le cliché photo-

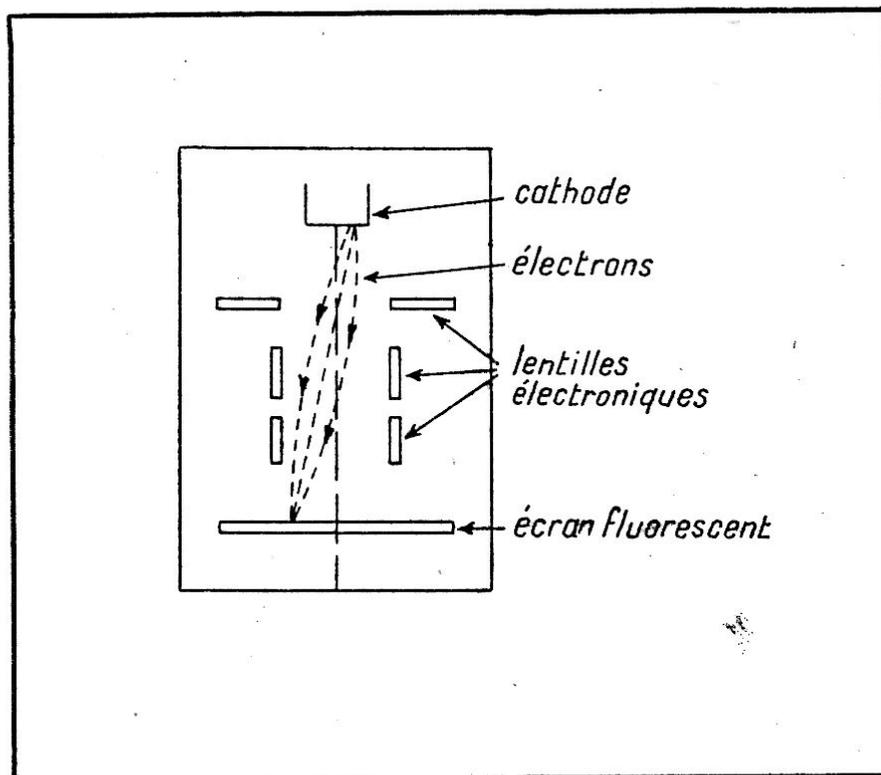


Fig. II-8

graphique obtenu, on réalise un grossissement total de 100.000. On peut ainsi *voir* les bactéries et les colloïdes.

Des microscopes électroniques de ce type ont été construits par Siemens et Halske, par le Collège de Technologie de Londres, et par l'Institut de Technologie en Californie. Les éléments essentiels (fig. II-9) comprennent: la source émissive, le système d'optique électronique, l'objet, l'écran ou plaque photographique, et les dispositifs auxiliaires (pompes à vide, redresseurs, etc...).

La cathode peut être chaude ou froide. Les électrons qu'elle émet sont accélérés par des potentiels qui atteignent 100.000 volts quand il faut obtenir un grossissement et un pouvoir séparateur importants. Le faisceau électronique traverse une anode, puis un enroulement qui le condense sur l'objet. Un système objectif donne de l'objet une image intermédiaire servant aux réglages, image placée au centre de l'écran. Un deuxième système optique électronique donne une image définitive que l'on observe ou photographie.

Les lentilles électroniques ne sont pas comparables à des lentilles optiques à indice de réfraction constant. L'indice de réfraction dépend ici des constantes électriques ou magnétiques; de même, la distance focale dépend des champs élec-

triques ou magnétiques. Lorsque de grands grossissements sont nécessaires, on emploie de préférence des lentilles magnétiques avec lesquelles on peut obtenir des champs très importants. Le courant doit être réglé et maintenu constant avec une très grande précision. Le grossissement étant très important, toute variation mécanique des distances, par vibration particulièrement, doit être évitée.

Le support de l'objet doit être mince et doit laisser passer le faisceau électronique. On peut employer une membrane de  $10^{-5}$  millimètre d'épaisseur constituée de la manière suivante: on laisse tomber goutte à goutte sur de l'eau une solution légère de collodion dans de l'acétate d'amyle; l'acétate d'amyle très volatil s'évapore et laisse subsister une couche de collodion sur l'eau; celle-ci est enlevée, et le film de collodion est placé sur une petite fenêtre de 0,03 à 0,3 mm. de diamètre.

Le réglage du microscope est fait d'abord à l'aide de deux

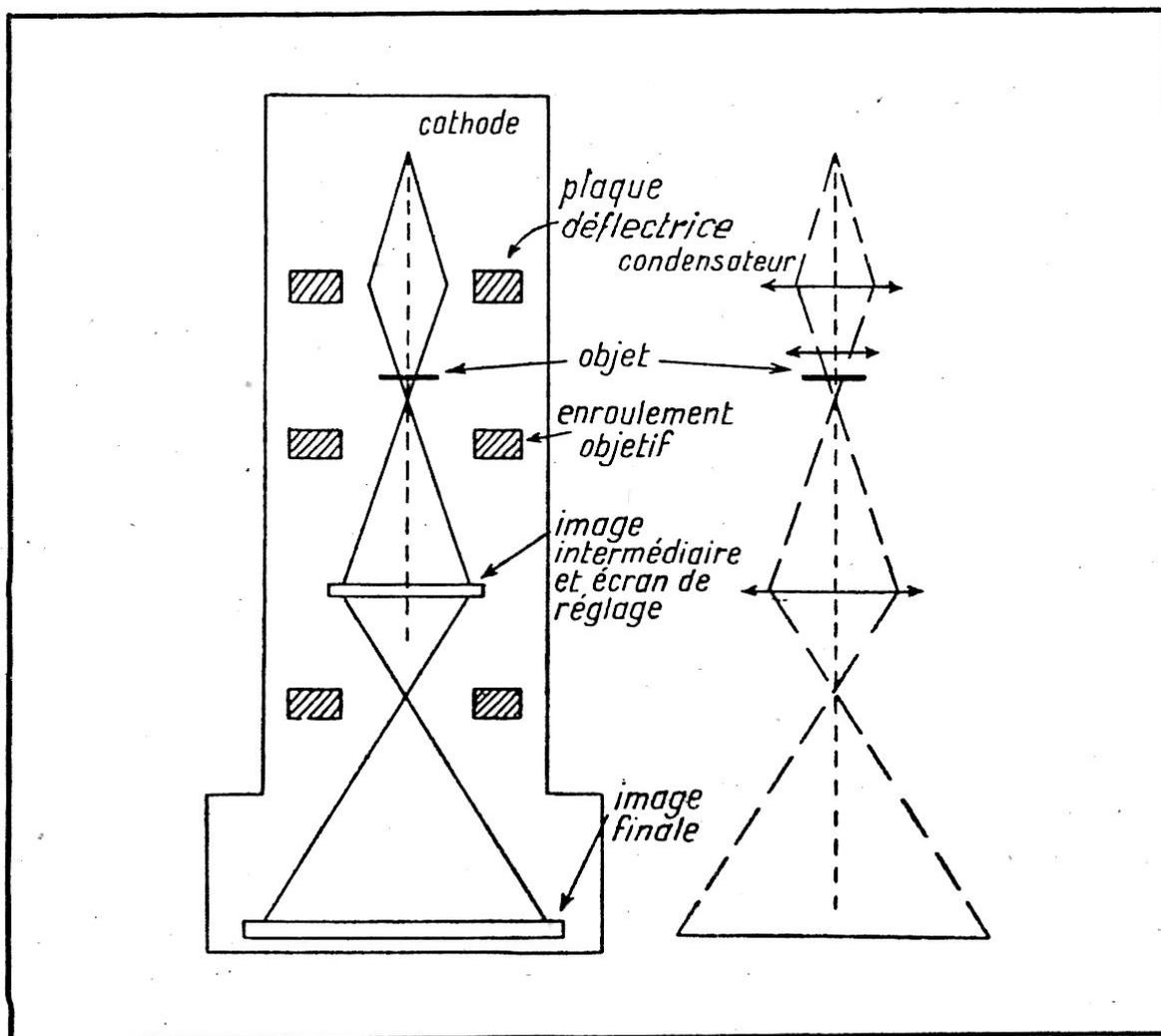


Fig. II-9

fil très fins, il est fait ensuite avec l'objet lui-même en observant successivement l'image intermédiaire et l'image finale. On diminue le temps de bombardement de l'objet à examiner en défléctant le faisceau électronique pendant les manipulations à l'aide d'anodes ou d'enroulements situés au-dessus de l'ouverture supérieure. Cette précaution est nécessaire, car les préparations mises sous vide sont soumises à un bombardement intense qui peut les détruire dans certains cas.

### Examen des pièces métallurgiques à l'aide des ultra-sons.

Sous certaines conditions, un liquide traversé par une onde ultra-sonore peut agir comme un réseau de diffraction optique. Imaginons un faisceau lumineux éclairant une fente placée devant une cuve contenant un liquide transparent. Si la cuve est surmontée d'un quartz émetteur de très haute fréquence et de faible puissance, on observe sur un écran placé près de la cuve la diffraction du faisceau lumineux. Cette diffraction sera d'autant plus grande que le trajet lumineux dans la région troublée par les ultra-sons est plus long, et que les ultra-sons sont plus intenses.

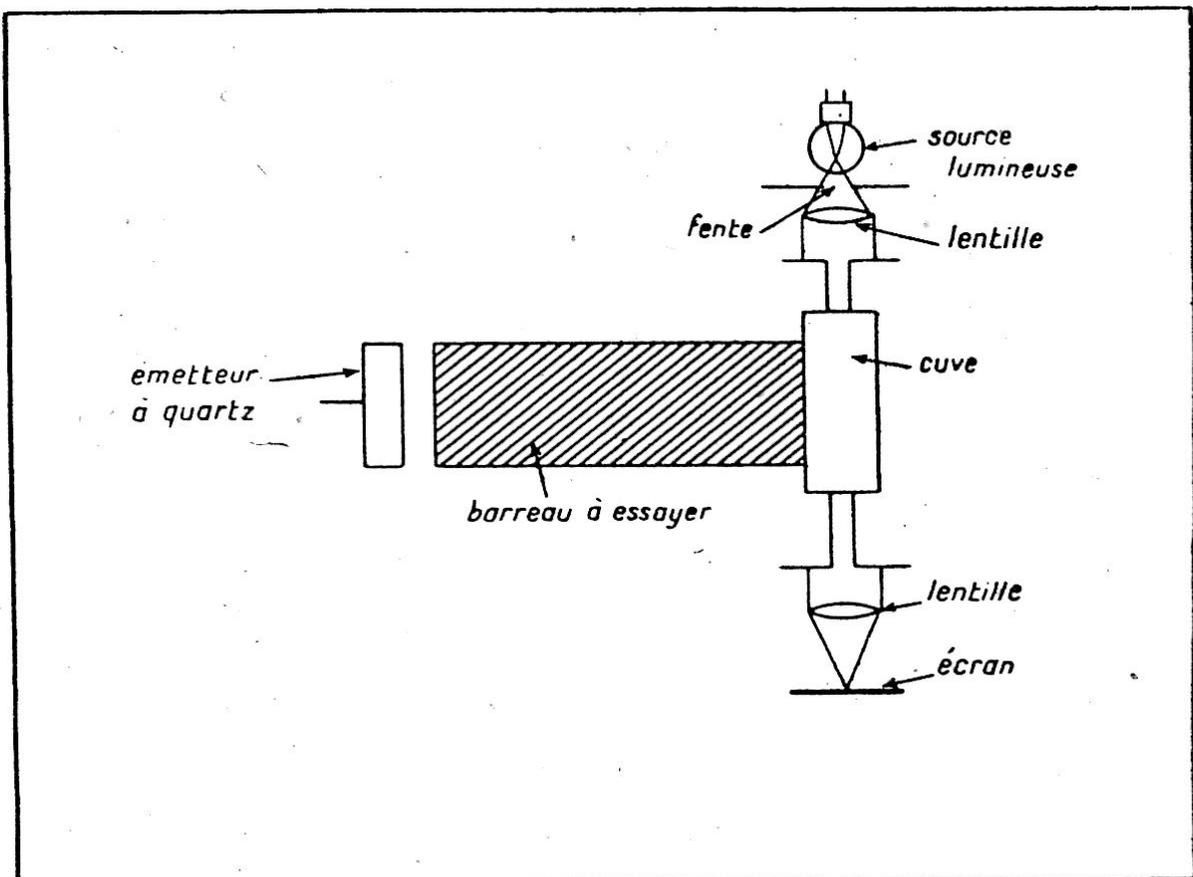


Fig. II-10

Skoloff a utilisé cette propriété pour l'examen des pièces métallurgiques. La figure II-10 représente l'ensemble de l'installation. La pièce à examiner est intercalée entre le quartz et la cuve. Si elle est homogène, les franges de diffraction sont nettes. S'il y a des fissures, criques ou vides, on constate une atténuation ou même une disparition de certaines franges.

La possibilité de rendre visibles les ondes ultrasonores au moyen d'un dispositif stroboscopique a permis d'utiliser les ultra-sons pour les études d'acoustique et de résistance des matériaux. Si l'on veut étudier la propagation du son émis par une membrane vibrante, on peut utiliser un modèle réduit de la membrane sous forme d'un quartz piézoélectrique spécialement taillé. On photographie alors le champ ondulatoire produit par la membrane.

Pour la détermination des constantes élastiques des milieux transparents, on observe en lumière polarisée les phénomènes de diffraction causés, les uns par des ondes longitudinales, les autres par des ondes transversales dont on peut ainsi mesurer les longueurs d'onde.

Signalons encore comme autres applications: l'activation de certains gaz en solutions liquides, l'homogénéisation des émulsions et suspensions colloïdales, le dégazage des bains métallurgiques, la préparation des sérums et vaccins, l'accélération de certaines réactions pour la synthèse chimique, etc...

### **La séparation des microbes par les ultra-sons.**

Le Docteur A. Chambers de l'Université de Pensylvanie a utilisé un générateur électronique d'ultra-sons, dont la fréquence est supérieure de 2 octaves à celle d'un piano classique, pour l'élimination de certains bacilles nocifs.

### **Les méthodes modernes pour le tracé des diagrammes de moteurs.**

Rappelons d'abord le principe des méthodes anciennement utilisées. Le tracé du diagramme donnant, à chaque instant, la pression de l'agent moteur, en fonction du volume qu'il occupe, est d'une importance capitale pour l'amélioration des moteurs thermiques. Ce tracé présente pratiquement de très grandes difficultés dues à la vitesse de rotation des moteurs modernes.

Le premier appareil utilisé pour ce tracé est l'*indicateur de Watt* dont voici le principe: un petit piston traceur, équilibré par un ressort, supporte un crayon venant s'appliquer

sur une planchette mobile. Ce piston est placé dans un cylindre communiquant avec le cylindre moteur; il monte et descend suivant une amplitude proportionnelle à la pression subie. La planchette se meut par un mouvement de va-et-vient dans le plan horizontal; elle est en liaison, par l'intermédiaire d'un excentrique avec le va-et-vient du piston. La composition du mouvement vertical et du mouvement horizontal se traduit par une courbe fermée dont l'aire mesure le travail pendant un cycle moteur.

L'indicateur de Watt primitif a profité de plusieurs perfectionnements; on a, en particulier, remplacé les leviers mécaniques par des leviers optiques. Des petits miroirs placés sur les organes mobiles *défectent* plus ou moins les faisceaux lumineux qui tombent sur un papier photographique. Nous n'insisterons pas sur ces méthodes inapplicables aux moteurs modernes à grande vitesse de rotation.

### Utilisation du manomètre à quartz piézoélectrique pour le relevé des diagrammes moteurs.

Le principe du quartz piézoélectrique a été rappelé dans le paragraphe du chapitre I<sup>er</sup> relatif aux ultra-sons. L'enceinte contenant le quartz piézoélectrique est séparé du cylindre du moteur par une membrane M (fig. II-11). Par l'intermédiaire de l'axe A, cette membrane transmet au quartz Q des déplacements proportionnels à la pression. La tension électrique résultante est transmise à un amplificateur qui est suivi d'un enregistreur ou d'un oscillographe cathodique.

Cette méthode qui a donné de meilleurs résultats que les méthodes mécaniques est cependant d'une mise au point assez

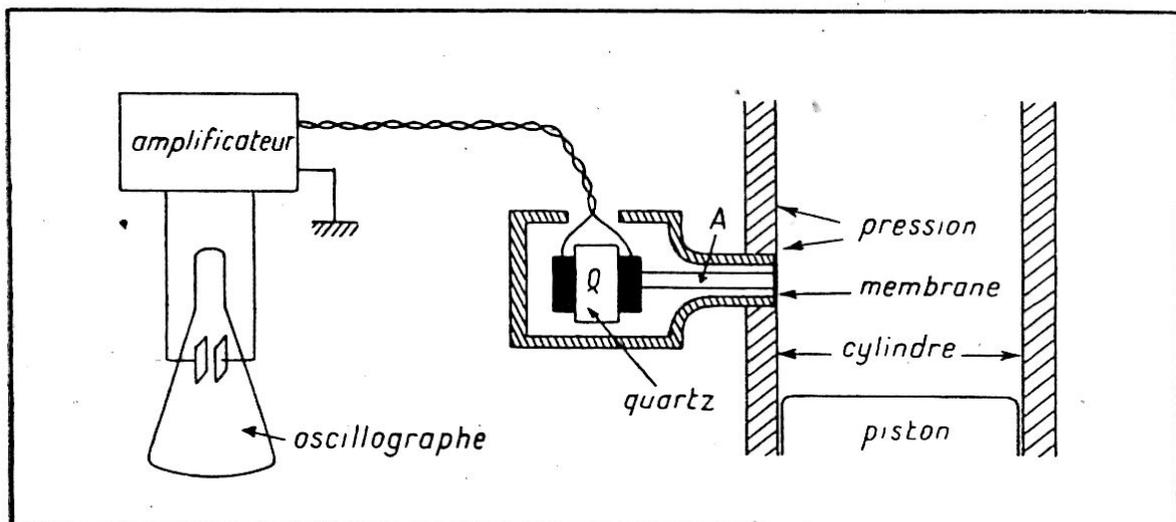


Fig. II-11

délicate. Le manomètre à quartz a d'autres applications dans le cas des pressions importantes telles que celles qui se produisent dans une bouche à feu, au crochet d'une locomotive, dans une machine-outil, etc...

Certains expérimentateurs ont remplacé le quartz et utilisé d'autres principes pour l'indication d'une pression: variation de résistance d'une rondelle de carbone, variation de la capacité d'un condensateur dont les armatures se rapprochant sous l'action de la pression motrice, etc. Dans ce dernier cas l'une des armatures est fixe, l'autre (membrane) est en communication avec le cylindre.

### Relevé du diagramme moteur à l'aide du manographe photocathodique.

Ayant constaté qu'aucun des systèmes que nous venons d'examiner ne donne entièrement satisfaction, M. Labarthe a réalisé, au Laboratoire de Mécanique de la Faculté des Sciences de Paris, le manographe photocathodique.

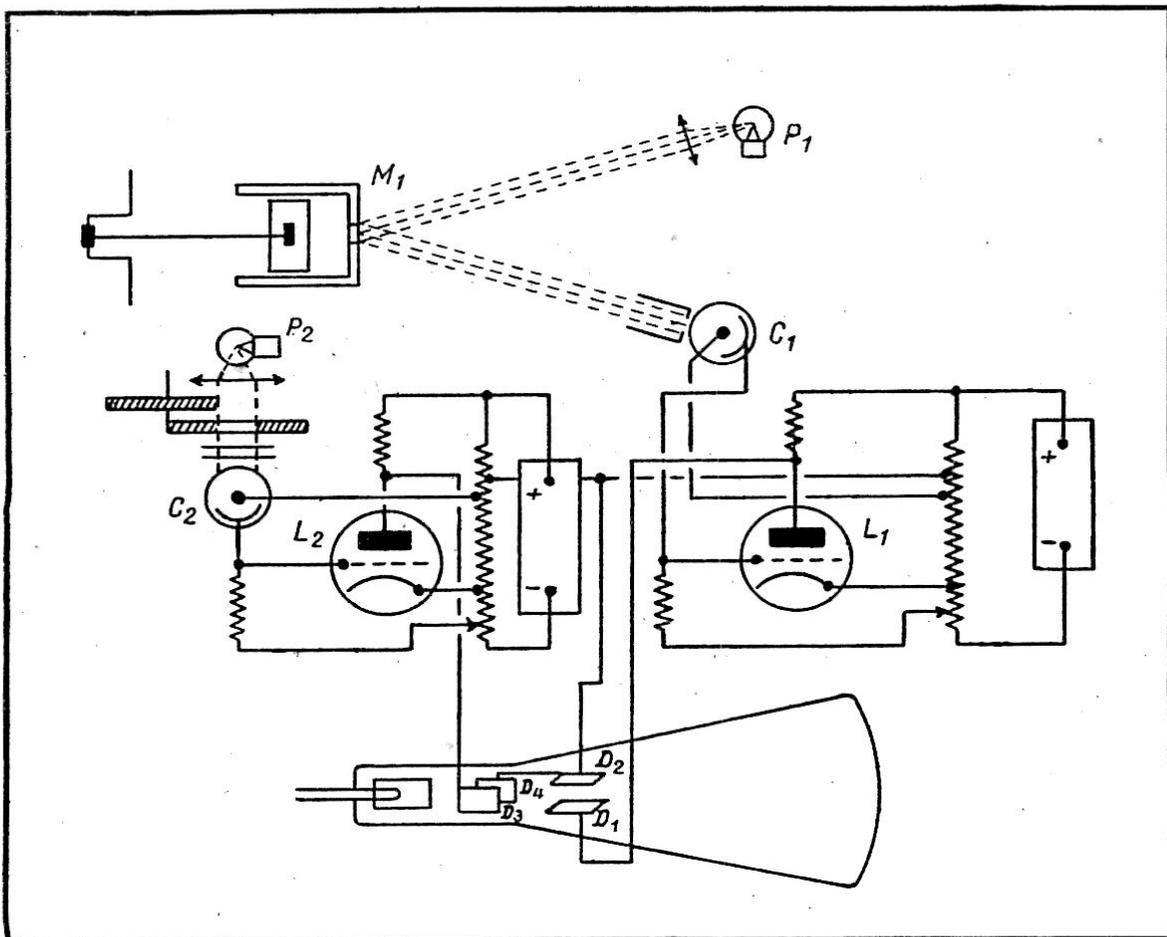


Fig. II-12

La figure II-12 donne le principe de cet appareil. Le projecteur  $P_1$  envoie son faisceau sur une membrane réfléchissante  $M_1$  placée sur le cylindre moteur. Cette membrane enregistre, par son élasticité, les variations de pression du cylindre moteur. Le rayon réfléchi tombe sur la cellule  $C_1$  et l'éclairement produit est fonction des déformations de la membrane. Le courant photoélectrique résultant est amplifié par la lampe  $L_1$  et appliqué aux plaques déflectrices  $D_1$  et  $D_2$  de l'oscillographe. Un second projecteur  $P_2$  éclaire une seconde cellule  $C_2$  à travers une fente que vient obstruer périodiquement un volet excentrique lié au vilebrequin. Le courant photoélectrique, ainsi modulé, est appliqué aux lampes déflectrices  $D_3$  et  $D_4$  de l'oscillographe après amplification dans la lampe  $L_2$ .

Le point d'impact du faisceau cathodique sur l'écran dépend donc à la fois de la pression et du volume de gaz dans le cylindre. Le diagramme moteur est ainsi tracé avec fidélité. Le manographe présente plusieurs avantages sur les systèmes antérieurs : les vibrations du bâti n'ont aucune influence sur les tracés optiques et, aucun effet d'inertie appréciable ne vient parasiter les diagrammes.

### Contrôle d'une machine à souder.

La soudure des tubes métalliques exige souvent des courants de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'ampères. Il est important de pouvoir évaluer la quantité totale de courant passant pendant une soudure. La mesure au moyen d'un shunt et d'un enregistreur est difficile. Une méthode plus pratique consiste à placer, autour de l'élément à souder, un enroulement toroïdal dont les extrémités sont reliées à un ensemble constitué par une diode et un condensateur monté en série (fig. II-13).

Le courant de soudure étant sinusoïdal, la différence de potentiel aux bornes de l'enroulement est également sinusoïdale et proportionnelle au courant de soudure. La caractéristique de la diode, pour de faibles intensités, est telle que le courant qui la traverse est approximativement proportionnel au carré de la tension entre ses électrodes. Le condensateur emmagasine une charge proportionnelle au courant traversant la diode. Ce condensateur ne doit pas avoir une capacité trop grande afin de ne pas troubler la proportionnalité entre le courant dans la diode et la tension aux bornes de l'enroulement toroïdal. La différence de potentiel aux bornes du condensateur atteint alors une valeur qui est *proportionnelle au carré de la quantité de courant* ayant passé pendant un temps donné.

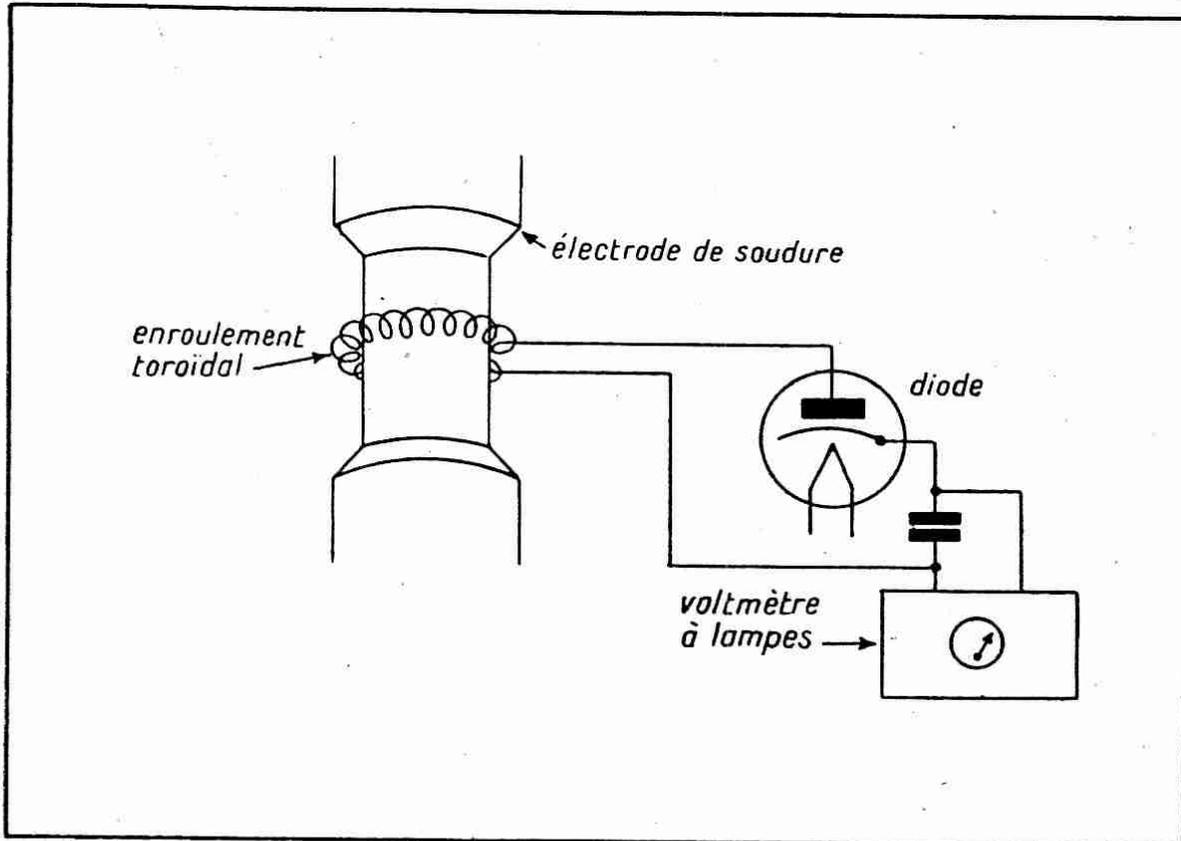


Fig. II-13

L'énergie totale dépensée pendant la soudure est égale à la valeur totale de  $RI^2$ ,  $R$  étant la résistance de la soudure. Cette résistance n'est pas constante, mais on peut admettre que sa variation est identique pour chaque soudure. La tension aux bornes du condensateur est donc proportionnelle à l'énergie dépensée pour la soudure. On se servira d'un voltmètre à très grande résistance interne pour lire cette tension. Celle-ci étant très faible on ne pourra se servir d'un électromètre et l'on utilisera un voltmètre à lampes.

Cette mesure est particulièrement utile quand on règle une nouvelle machine à souder. On peut agir soit sur l'intensité maximum de soudure, soit sur la durée de passage du courant. On règle la machine de façon à se rapprocher des conditions ayant donné de bons résultats dans des essais préalables.

### La mesure du PH.

Rappelons que le PH d'une solution liquide est le logarithme de l'inverse de la concentration en ions hydrogènes. Cette valeur permet d'apprécier la basicité ou l'acidité d'une solution.

Les méthodes habituelles pour cette mesure utilisent un circuit de mesure de tension pour l'évaluation de la différence de

potentiel se trouvant dans la solution. D'autres méthodes sont basées sur les propriétés calorimétriques de la solution étudiée.

Finlay a décrit un circuit simple pour la mesure du PH (fig. II-14). Ce circuit utilise l'amplification d'un tube 32 pour permettre une lecture facile sur un galvanomètre. Lorsque la clé  $S_1$  est sur la position  $P_2$ , la grille se charge, ainsi que le condensateur  $C_1$ , au potentiel correspondant à un courant grille nul. Mais cette valeur du potentiel n'est atteinte que très lentement, car la résistance équivalente à l'espace filament-grille est très grande et la constante de temps  $RC_1$  est considérable. Donc, si le potentiel du point  $P_3$  varie vite, le potentiel de grille ne suivra que très mal ces variations. C'est ce qui arrivera si l'on bascule rapidement la clé  $S_1$  entre les deux positions  $P_1$  et  $P_2$ . Les variations de la tension grille provoqueront une variation de l'intensité anodique, donc une variation de la tension aux extrémités de  $R_1$ . Il s'en suivra une variation de la charge de  $C_2$ , et par suite une indication du galvanomètre qui est en série avec ce condensateur.

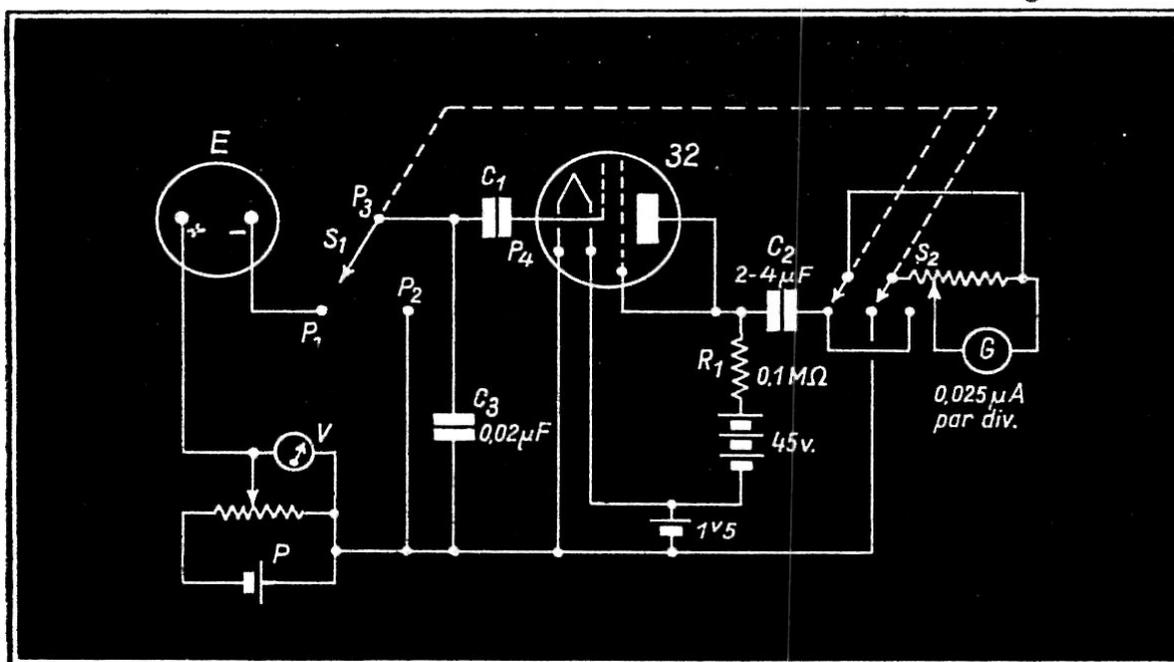


Fig. II-14

Les indications du galvanomètre varieront donc entre les deux positions de la clé  $S_1$ . Le rôle de la clé  $S_2$  est de faire passer le courant dans le galvanomètre toujours dans le même sens. En pratique, on basculera les clés  $S_1$  et  $S_2$  qui sont solidaires environ une fois par seconde, et l'on réglerà le potentiomètre  $P$  pour qu'aucune déviation ne soit lisible sur le galvanomètre. Lorsque cette condition est réalisée, on sait que la

tension fournie par P et lue en V est égale et opposée à la tension recueillie par les électrodes plongées dans le liquide.

La courbe du PH en fonction de la force électromotrice pour l'électrode de verre E utilisée donnera immédiatement la valeur du PH de la solution. L'auteur de la méthode avait utilisé une électrode *Leeds et Northrup*. Le rôle du condensateur C<sub>2</sub> est d'éviter des grandes déviations du galvanomètre dues à des forces électromotricés de contact. La valeur est assez critique et dépend des conditions de réalisation du montage. Cette méthode a permis des mesures dont la précision était de  $\pm 0,2$  PH. Le circuit que nous venons de décrire est sensible au millivolt, et peut être utilisé comme millivoltmètre pour d'autres usages.

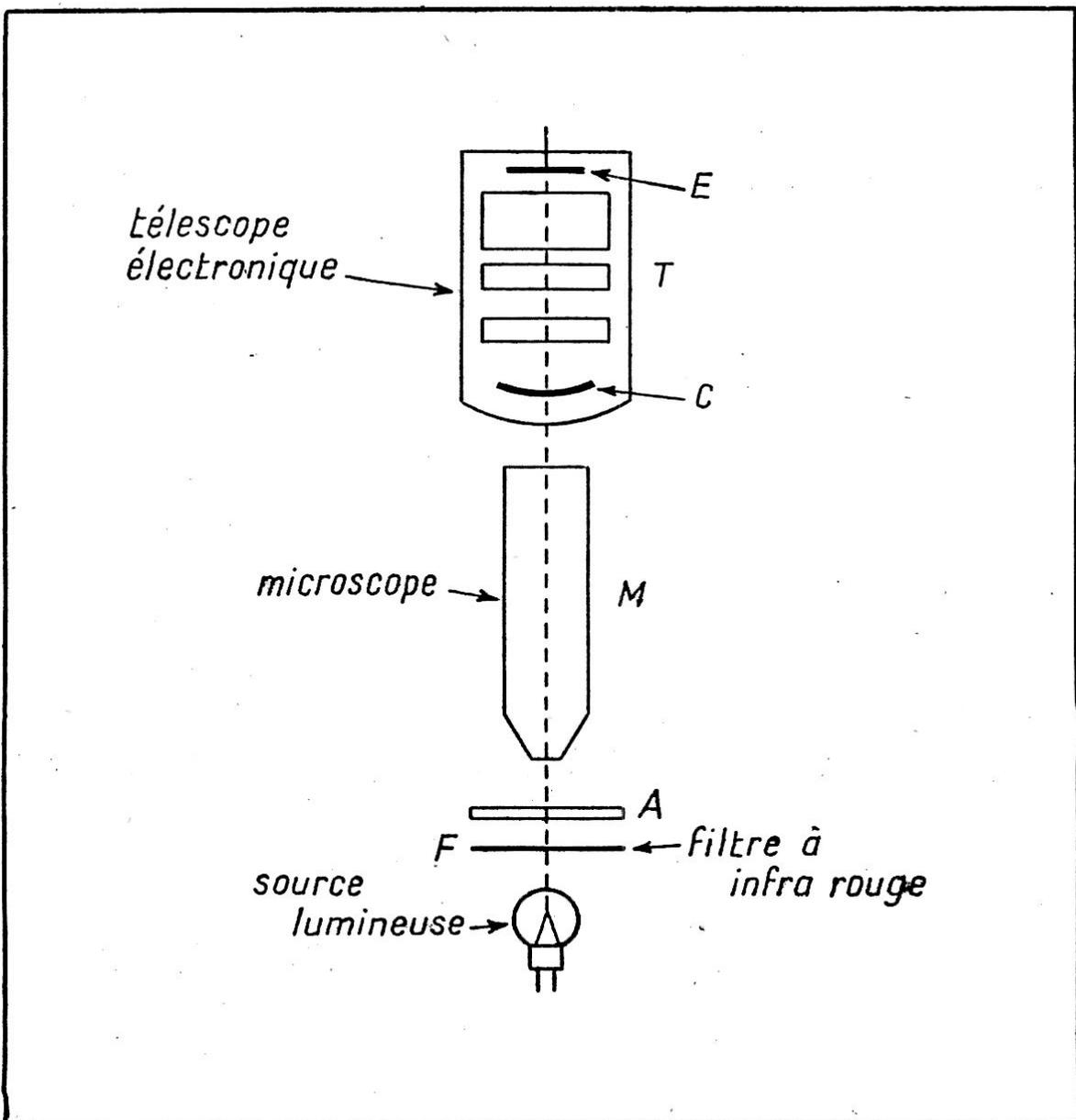


Fig. II-15

## **Recherches biologiques dans l'infra-rouge.**

L'étude de certains phénomènes biologiques tels que la vie dans l'infra-rouge est facilitée par le télescope électronique. Cet appareil, dont nous avons vu le principe dans le chapitre I, permet la transformation des rayons infra-rouges en lumière visible, donc la vision directe des phénomènes en cours d'étude. La figure II-15 donne le principe d'un montage dans lequel le télescope électronique est associé à un microscope pour des recherches de ce genre.



**Les applications de l'Electronique sont innombrables. Pour chaque problème industriel, l'ingénieur devra rechercher les solutions les plus simples et les plus économiques.**

## CHAPITRE III

# APPLICATIONS AU PROBLÈME DE LA PROTECTION

---

La nécessité de contrôler l'entrée dans un local ou un espace déterminé peut s'imposer pour diverses raisons. Cette entrée peut être interdite parce que dangereuse : nécessité d'éviter la proximité du bord de certains ponts, quais, etc. (garde-fous), d'installations à haute température ou à haute tension. Enfin, l'entrée d'un local peut être interdite dans le but de protéger un coffre-fort, un trésor, etc.

La surveillance humaine restera toujours le moyen le plus souple et le plus complet, toutefois elle peut avantageusement être complétée par des dispositifs mécaniques ou électriques. Cela peut amener une économie, et éviter au personnel de surveillance une attention permanente parfois pénible et difficile.

Les dispositifs mécaniques — portes, grillages, etc. — ne sont pas toujours les plus avantageux. Ils sont dans certains cas d'une réalisation difficile, par exemple lorsque l'espace à protéger est de grandes dimensions. De plus, les dispositifs purement mécaniques sont difficilement protégeables contre l'effraction.

### **Protection d'un local par rayons infra-rouges.**

Diverses méthodes ont été utilisées pour protéger un local : portes, verrous, grilles, etc. parcourus par un courant électrique; oscillateur H.F. dérégulé par l'approche d'un corps quelconque; interruption d'un faisceau de lumière blanche qui agit sur une cellule photoélectrique et des relais qui provoquent l'alarme. La protection par rayons infra-rouges donne une bonne sécurité pour diverses raisons. On peut la rendre indé-réglable malgré le débranchement des sources d'alimentation, ou plus exactement on peut faire que ce débranchement provoque l'alarme. De plus, elle est invisible et ne risque pas d'être troublée par les circonstances ambiantes. En voici le principe:

Une source émet un faisceau de rayons infra-rouge qui tombe sur une cellule photoélectrique. L'occultation de ce faisceau déclenche un dispositif d'alarme (fig. III-1). Le courant photoélectrique doit être amplifié car il est très faible.

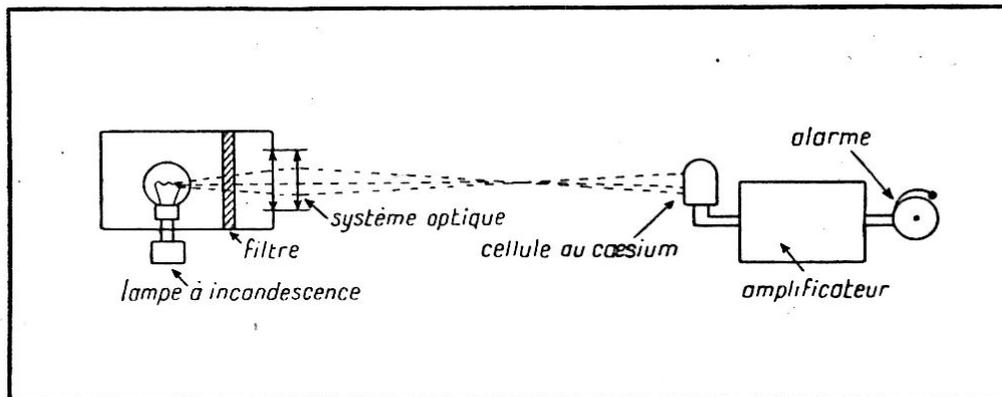


Fig. III-1

Envisageons le cas d'une source lumineuse à incandescence de 10 bougies, le flux total émis sera de 250 lumens environ. Si une cellule photoélectrique de 20 cm<sup>2</sup> est placée à 1 mètre elle recevra un flux

$$\Phi = ES = \frac{20}{4\pi \cdot 100} 250 = 0,04 \text{ lumens.}$$

Si la sensibilité en lumière blanche est de 25 microampères par lumen, le courant sera d'environ 1 microampère. En infra-rouge la sensibilité pourra descendre très en dessous de cette valeur, quelques microampères par lumen par exemple.

Pour obtenir un faisceau infra-rouge on place devant une lampe à incandescence un filtre de composition spéciale qui arrête la lumière visible: verre *Manganal* des verreries de Saint-Gobain, cellophane noire, etc. On peut augmenter la sensibilité de l'ensemble en intercalant sur le faisceau une lentille qui est placée de manière à former l'image de la lampe sur la partie active de la cellule. Dans le cas général, la cellule ne pourra fournir plus de quelques microampères. Un amplificateur sera donc indispensable pour actionner un relais.

Pour assurer l'inviolabilité de l'installation, le dispositif doit être prévu pour qu'en l'absence de lumière sur la cellule, le courant soit maintenu dans le relais. Un dérangement ou une panne de l'installation produira le relâchement du relais, exactement comme dans le cas de l'occultation du faisceau infra-rouge. Cette condition est réalisée dans l'amplificateur de la figure III-2.

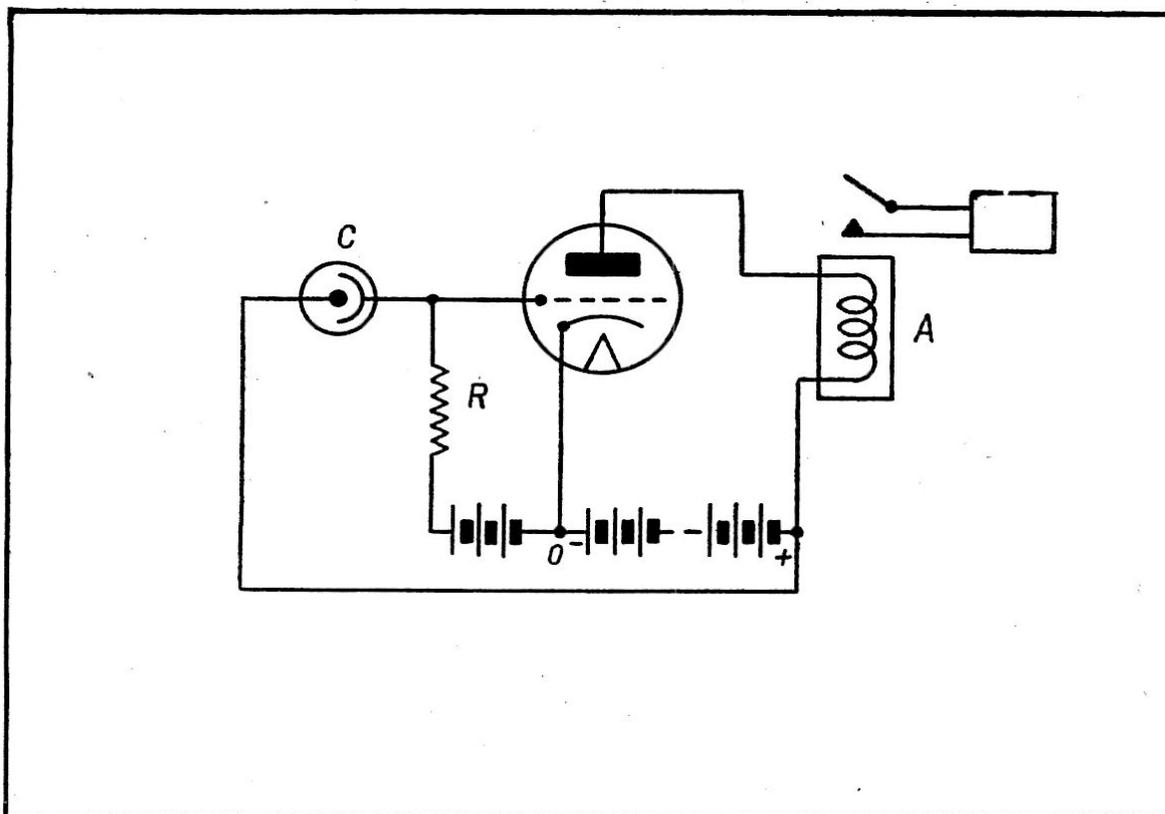


Fig. III-2

Lorsque la cellule C n'est pas éclairée, aucun courant ne traverse la résistance R et la grille est sensiblement au potentiel de la cathode. Le courant qui traverse le relais A est faible et l'armature est relâchée. Si la cellule est éclairée, la grille de la lampe L devient positive, le courant anodique augmente, et le relais attire son armature mobile.

Si l'on désire faire parcourir au faisceau protecteur un assez long trajet, il sera indispensable d'augmenter l'amplification, la quantité de lumière recueillie par la cellule étant très faible. L'amplificateur dont nous reproduisons le schéma est du type à courant continu. La réalisation d'un amplificateur à courant continu à plusieurs étages est délicate, surtout si l'on désire une alimentation directe sur courant alternatif. On utilisera donc, de préférence, un amplificateur à courant alternatif, ce qui fait que *la tension à amplifier doit être alternative*. Cela s'obtient en alimentant l'anode de la cellule en courant alternatif, ou encore en donnant à la lumière incidente un caractère intermittent.

Les systèmes basés sur cette dernière solution ont évidemment l'avantage de ne pas être sensibles à une lumière incidente continue. Avec eux, il devient impossible d'interrompre le faisceau de protection et de le remplacer, par exemple, par celui

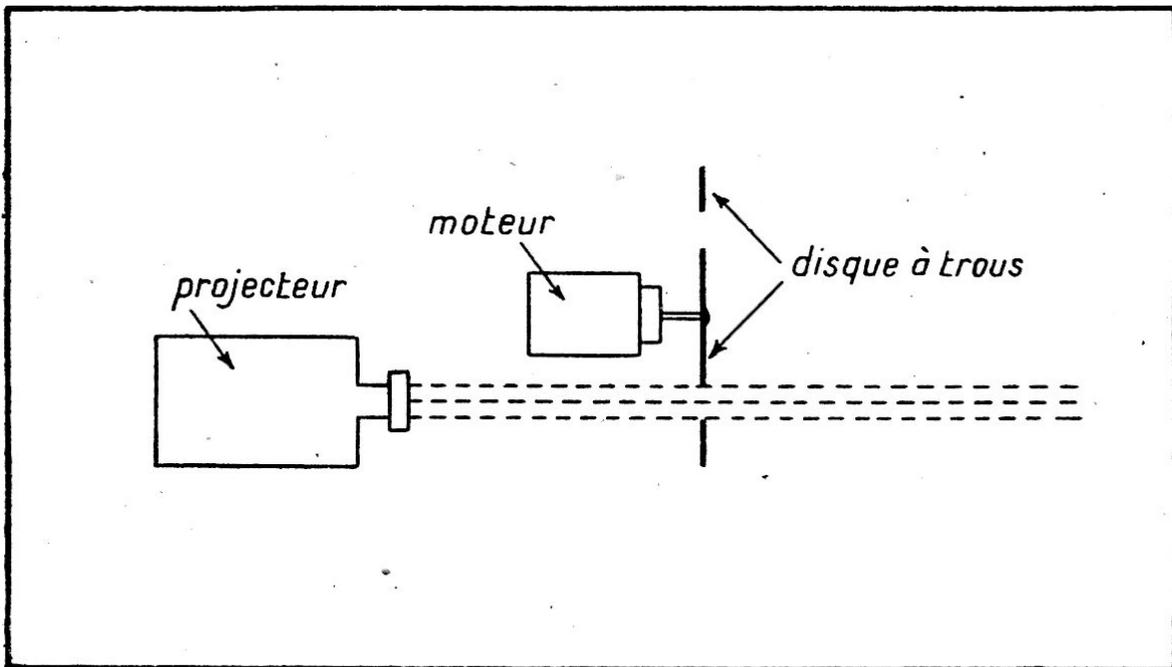


Fig. III-3

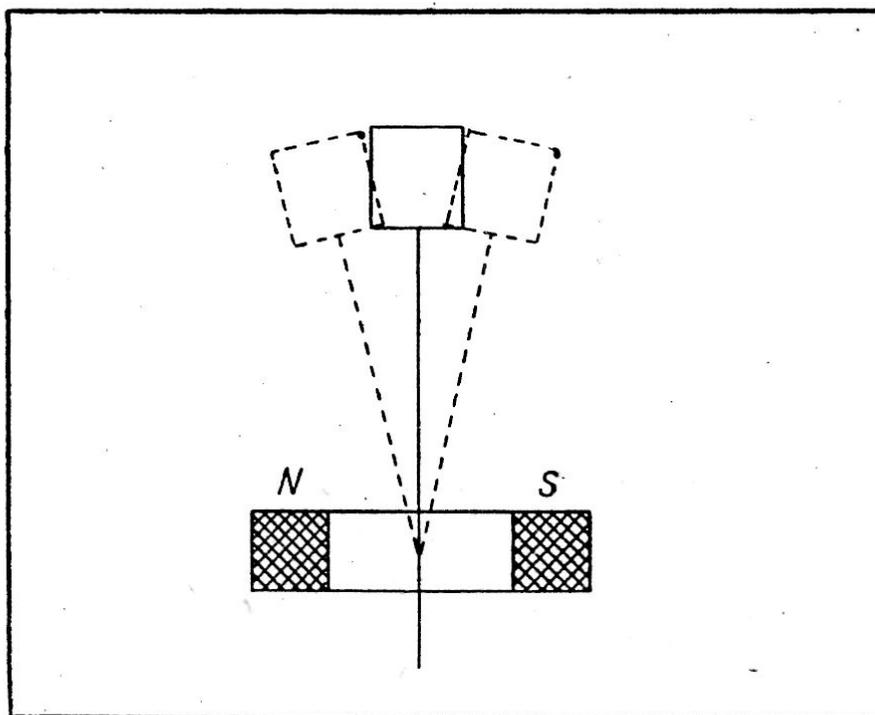


Fig. III-4

d'une lampe de poche braquée sur la cellule photoélectrique. On peut obtenir une lumière modulée en plaçant entre la lampe et la cellule — au voisinage de la lampe — un disque percé de trous et entraîné par un moteur. La succession des trous produit l'intermittence désirée de la lumière (fig. III-3).

Un dispositif de lumière modulée et d'amplificateur à courant alternatif a été mis au point dans les Laboratoires Philips. La lumière est interrompue par le moyen d'un ressort vibreur en acier portant un volet, et placé dans le champ d'un électro-aimant semblable au bobinage d'un haut-parleur (fig. III-4). Si l'on branche la bobine sur le secteur alternatif — 50 périodes par seconde — un mouvement de va-et-vient anime le volet à la fréquence de 50 par seconde. L'ensemble, ainsi constitué, est placé dans un projecteur entre la lampe électrique et la lentille. Au repos, le volet coupe environ la moitié du faisceau capté par la lentille; un très faible déplacement du ressort permet donc l'établissement ou la rupture du faisceau.

Le faisceau modulé tombe sur la cellule photoélectrique C et produit une chute de tension dans la résistance R (fig. III-5). La variation de tension est amplifiée par la lampe amplificatrice  $L_1$  et détectée par la lampe  $L_2$  fonctionnant en détectrice par courbure de caractéristique plaque. Le relais A sera traversé par un courant dont les valeurs varieront entre deux limites extrêmes qui correspondront à l'ouverture et la fermeture du relais. On ajuste la valeur du courant moyen pour l'adapter aux caractéristiques du relais.

On a pu réaliser des relais tels que le courant attractif soit de 0,6 mA et le courant répulsif de 0,2 mA. Il faut alors une tension de 0,015 volt sur la grille de la première lampe, ce qui correspond à un courant de cellule de 1 microampère dans une résistance de 15.000 ohms. La valeur du courant de crête sera

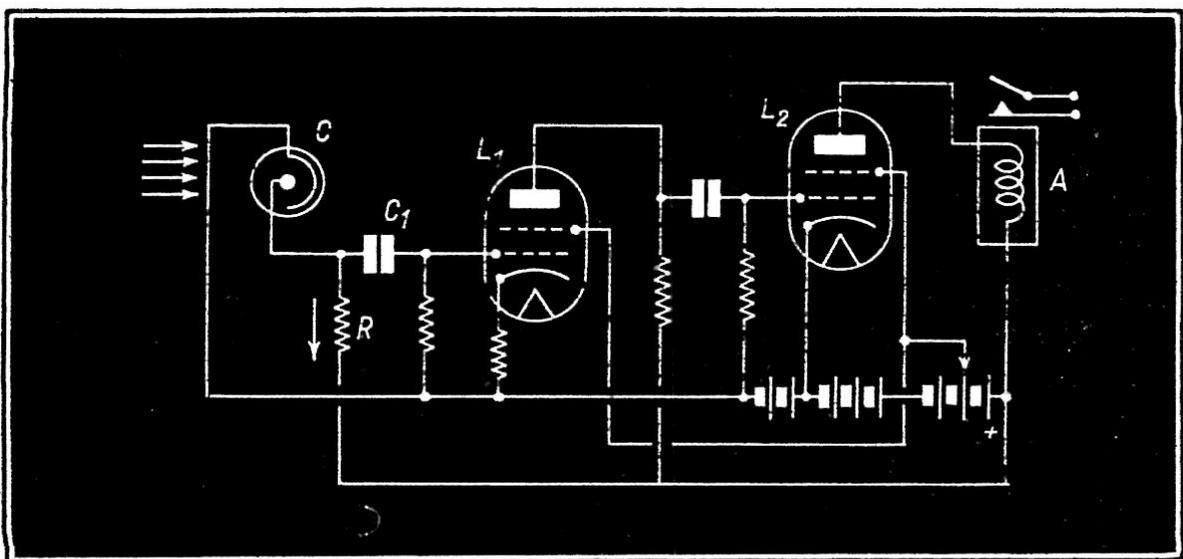


Fig. III-5

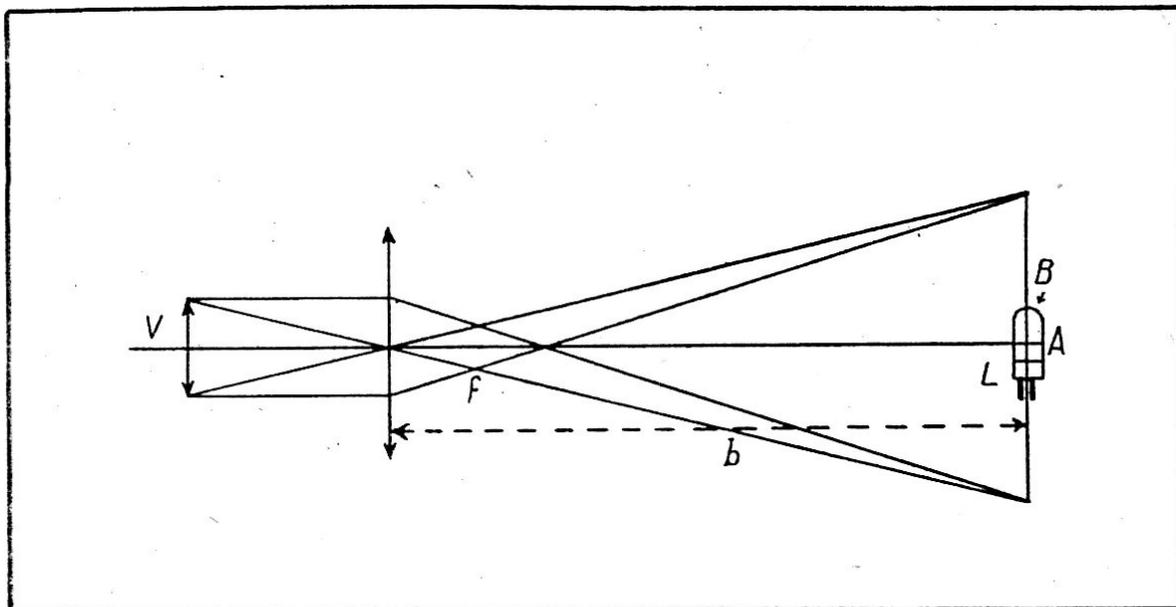


Fig. III-6

environ deux fois plus élevée. L'éclairement variant de 0 au maximum, cette valeur sera :

$$2 \times 0,015 \times \sqrt{2} = 0,042 \mu\text{A}$$

Si la sensibilité de la cellule à atmosphère gazeuse est de  $150 \mu\text{A}$  par lumen, l'éclairement correspondant sera de  $0,00028$  lumens en lumière blanche. Si la sensibilité en infra-rouge est trois fois plus faible, il faudra une intensité lumineuse en lumière blanche de  $0,00084$  lumens.

Lorsque la distance à protéger est grande, l'image du filament peut occuper une surface plus grande que celle de la cellule. Il est alors possible d'augmenter le rendement de l'installation en plaçant la cellule au foyer d'un miroir parabolique ou d'un système optique (fig. III-6).

Soit  $V$  la dimension de la source lumineuse,  $f$  la distance focale de la lentille,  $l$  le flux reçu par la cellule de dimension  $A$ ,  $L$  le flux reçu par l'image dont la dimension est  $B$ ,  $b$  la distance protégée. On a les deux formules :

$$l = \frac{A^2}{B^2} L = \frac{A^2 f^2}{b^2 V^2} L$$

$$b = \frac{f}{V} \sqrt{\frac{A^2 L}{l}}$$

Prenons un exemple avec les données suivantes :  $f = 25 \text{ cm.}$ ,  $V = 0,2 \text{ cm.}$ ,  $A^2 = 200 \text{ cm}^2$ ,  $L = 2,32 \text{ lumen}$ ,  $l = 0,00084 \text{ lumen}$ .

Fig. III-7

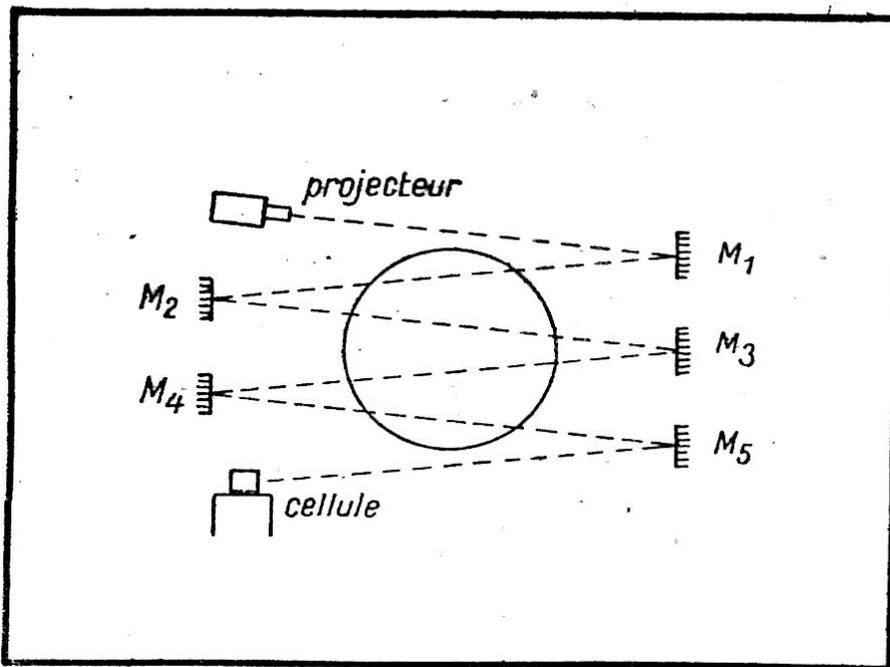
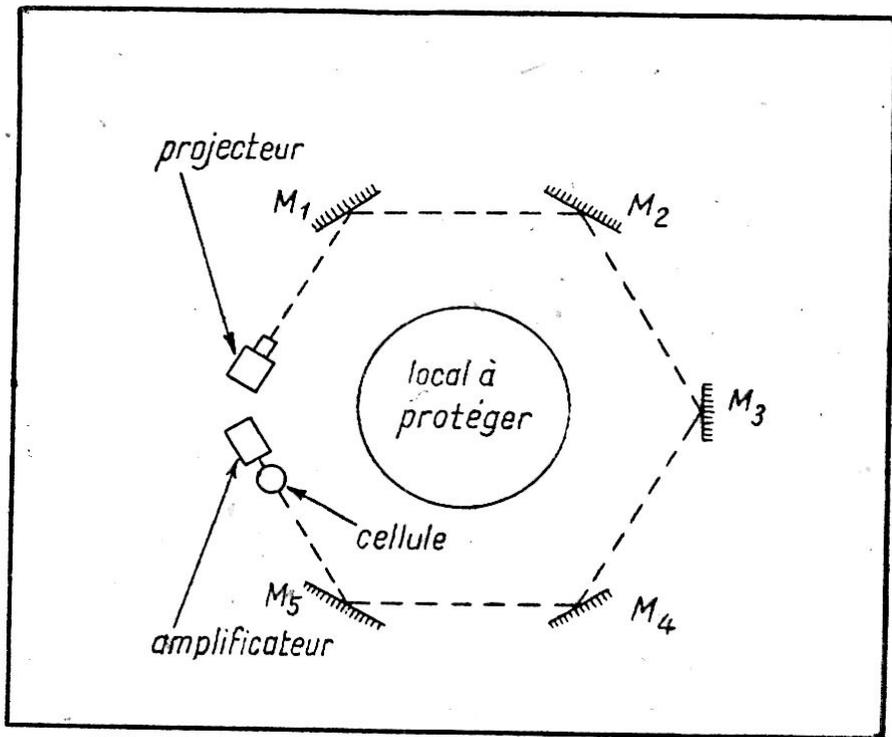


Fig. III-8

La distance maximum de protection sera :

$$b = \frac{25}{0,2} \sqrt{\frac{200 \times 2,3}{0,00084}} = 93.000 \text{ cm.} = 930 \text{ mètres.}$$

Or dans une installation pratique, le faisceau lumineux est brisé par un ensemble de miroirs, ce qui permet d'augmenter la protection en multipliant le nombre d'éléments de faisceaux susceptibles d'être interrompus. Les figures III-7 et III-8 mon-

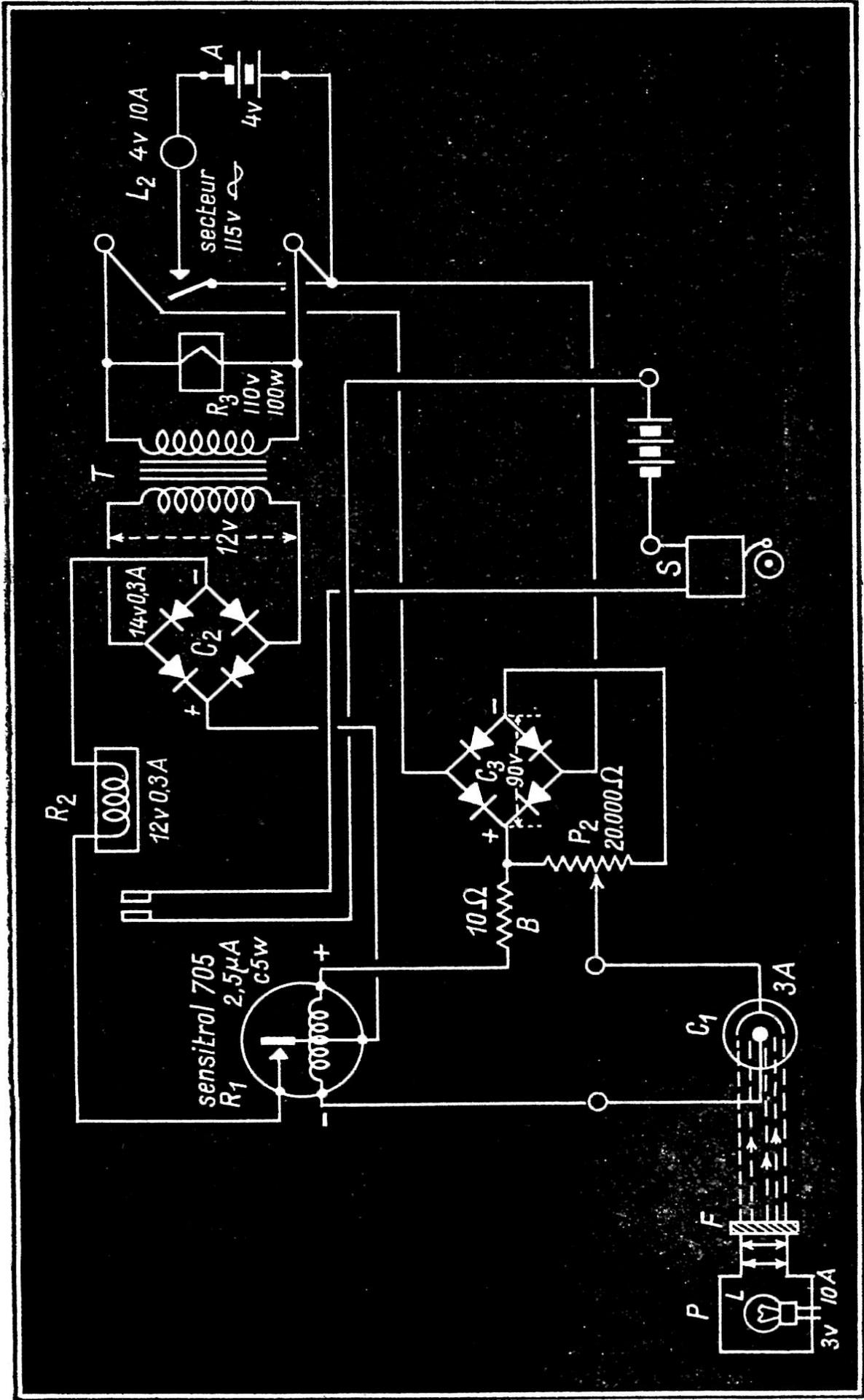


Fig. III-9

trent deux modalités d'applications de ce principe. Mais il faut tenir compte du coefficient d'absorption des miroirs plans successifs  $M_1, M_2, \text{etc.}$  Si l'on admet que ce coefficient, pour chaque miroir, est de 20 %, il faudra multiplier la distance  $b$ , calculée précédemment, par  $\sqrt{0,85}$  s'il y a 5 miroirs comme dans le cas des figures. La distance maximum protégeable devient alors :

$$b' = 930 \sqrt{0,85} = 425 \text{ mètres.}$$

L'ensemble ainsi réalisé a l'inconvénient d'être sensible aux perturbations du secteur électrique. Le principe de l'amplification en alternatif est avantageux. De plus, grâce à la présence d'un système optique, une source lumineuse, étrangère à l'installation, ne peut que difficilement la troubler, un réglage très précis étant nécessaire. La construction d'amplificateurs alimentés par le courant alternatif du réseau pourra être entreprise en utilisant les renseignements donnés dans le chapitre I.

### **Un dispositif simple de protection par cellule photoélectrique.**

Nous avons donné, dans les paragraphes précédents, une vue d'ensemble sur le problème de la protection et sur diverses solutions possibles. Dans le cas de la protection sur de faibles distances — quelques mètres par exemple pour la protection d'un coffre-fort — il est possible de simplifier considérablement l'installation en supprimant l'amplificateur à lampes. La fig. III-9 donne le schéma d'une telle installation.

Le projecteur  $P_1$  produit un faisceau lumineux qui vient impressionner la cellule photoélectrique  $C$ . Pour le fonctionnement en rayons infra-rouges, un filtre  $F$  est intercalé entre le projecteur et la cellule. Le courant photoélectrique fait fonctionner un relais ultra-sensible  $R_1$  qui commande, à son tour, un relais de puissance  $R_2$ . Celui-ci, en cas de coupure du faisceau lumineux, ferme le circuit d'une sonnette d'alarme  $S$ .

Ce dispositif simple ne fonctionne plus en cas d'arrêt du secteur d'alimentation. Pour être prévenu de ce non-fonctionnement, on peut compléter l'ensemble de la façon suivante : un relais  $R_3$ , placé directement aux bornes du secteur, maintient constamment ouvert le circuit d'une lampe d'éclairage  $L_2$  alimentée par une batterie d'accumulateur  $A$ . L'allumage de cette lampe prévient du dérangement de l'installation.

### **Sécurité du travail.**

La cellule photoélectrique, avec son faisceau lumineux, constitue un relais électrique sans contact qui permet de diminuer

considérablement les risques d'accidents de travail. C'est ainsi que dans beaucoup d'usines les presses à emboutir, les scies à ruban, les poinçonneuses, etc. ne peuvent fonctionner si la main de l'ouvrier est dans la zone dangereuse voisine de la partie mobile (fig. III-10).

Tant que les mains de l'ouvrier sont sur la machine pour ajuster la pièce à travailler, aucune énergie ne peut alimenter la machine. Un relais commandé par la cellule interrompt le circuit d'alimentation, et le fonctionnement n'est possible que lorsque les mains sont retirées. De plus, la machine ne doit pas pouvoir être mise en action si une partie quelconque du dispositif de sécurité se révèle défectueuse.

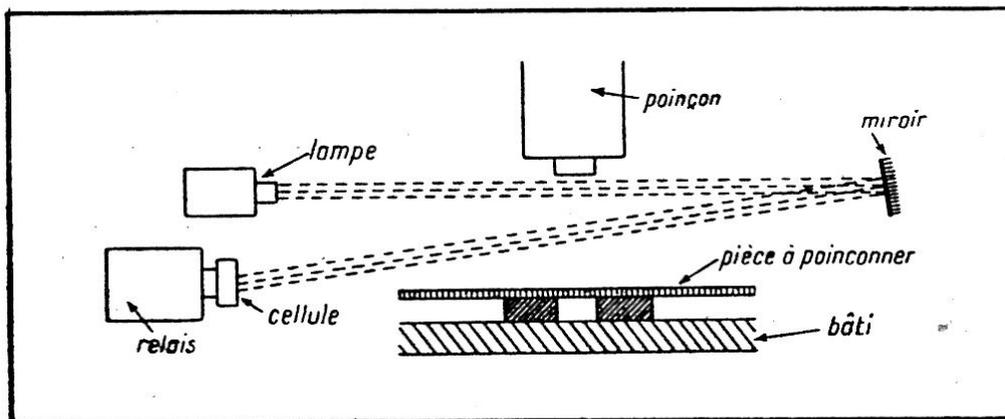


Fig. III-10

### La détection des incendies et des fumées.

Le danger présenté par l'incendie pouvant avoir de très graves conséquences, il importe que les services de sécurité soient alertés dès qu'un incendie se déclare en un point quelconque d'un local, d'un bâtiment, d'un navire, etc. Certains dispositifs utilisent le débouchage de conduites d'eau à l'aide de pastilles fondant pour une faible élévation de température. D'autres dispositifs utilisent le courant produit par une pile thermoélectrique sous l'influence de l'échauffement dû à une combustion voisine de la pile.

L'inconvénient de ces systèmes est que l'incendie peut être important avant d'atteindre le seuil de fonctionnement du relais avertisseur. Le dispositif schématisé dans les figures III-11 et III-12 fonctionne sur un principe différent. Installé à la partie supérieure d'un couloir ou d'une salle quelconque il prévient de tout dégagement anormal de fumée.

Un projecteur P produit un faisceau lumineux qui traverse l'aire à surveiller et vient impressionner une cellule C<sub>1</sub>. Une

deuxième cellule  $C_2$  est montée sur le projecteur lui-même et reçoit directement une partie de l'énergie lumineuse. Le montage des deux cellules est tel qu'en l'absence de fumée aucun courant ne traverse le relais  $R_1$ . L'apparition de fumée diminue le courant produit par la cellule  $C_1$ , un courant traverse le relais  $R_1$  qui commande le relais  $R_2$  dont le contacteur à mercure  $M$  ferme le circuit d'une sonnerie  $S$ , d'une lampe, ou d'un appareil de signalisation quelconque. Les cellules  $C_1$  et  $C_2$  sont du type photovoltaïque; afin d'éviter des tâtonnements nous avons indiqué, dans ce montage, des cellules commerciales courantes (L.M.T.).

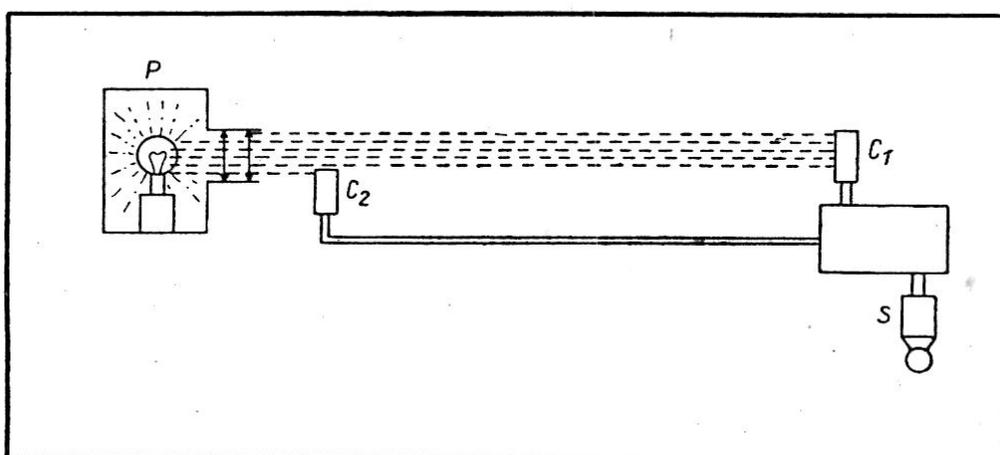


Fig. III-11

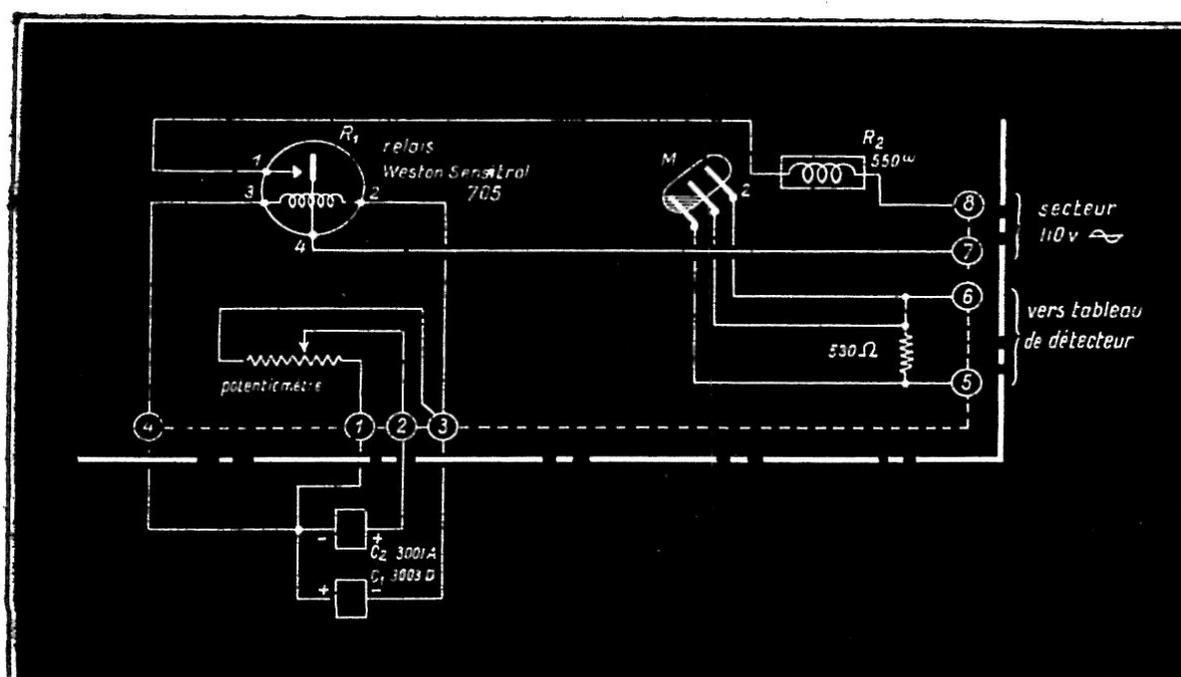


Fig. III-12

## Ouverture des portes.

L'ouverture des portes a été l'une des premières grandes applications des cellules photoélectriques. Le principe consiste à faire intercepter un faisceau lumineux tombant sur une cellule soit par une personne, soit par un véhicule. La cellule commande l'ouverture de la porte à l'aide d'un dispositif électropneumatique ou à l'aide d'un moteur électrique (fig. III-13).

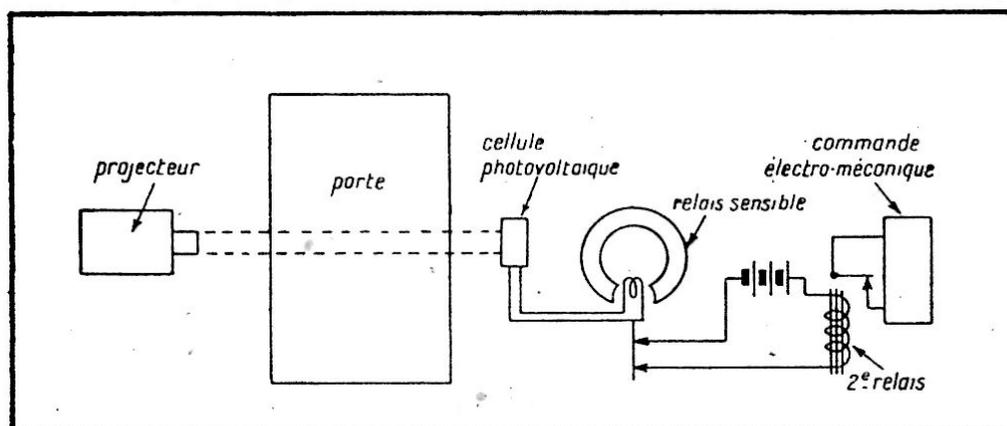


Fig. III-13

La cellule photovoltaïque commande un premier relais sensible qui, à son tour, déclenche le relais de puissance mettant en route le système électromécanique (fig. III-14). Les éléments sont les mêmes que ceux utilisés pour le relais photoélectrique décrit dans le chapitre I.

Si la porte doit s'ouvrir lorsqu'un camion se présente, mais non dans le cas d'une personne, il suffit de prévoir deux faisceaux lumineux espacés de quelques mètres et devant être interceptés simultanément. La fermeture peut être automatique ou non. Dans ce dernier cas, la fermeture est généralement commandée par un bouton poussoir. Il faut prévoir certains dispositifs de sécurité dont le plus simple consiste à utiliser un relais suffisamment retardé pour commander la fermeture. On peut réaliser la protection en plaçant un ou plusieurs faisceaux lumineux dans un plan voisin de celui de la porte; cette dernière ne peut pas être fermée lorsqu'un de ces faisceaux est intercepté, c'est-à-dire lorsqu'un objet ou une personne se trouve au voisinage de la porte.

*Trafic dans les deux sens.* — Lorsque des véhicules doivent emprunter un passage étroit tel qu'une rampe de garage, il peut être nécessaire de signaler à tout véhicule venant en sens inverse l'occupation du passage. Cela peut se réaliser par l'intermédiaire d'une lampe rouge commandée par une cellule située à l'entrée du passage.

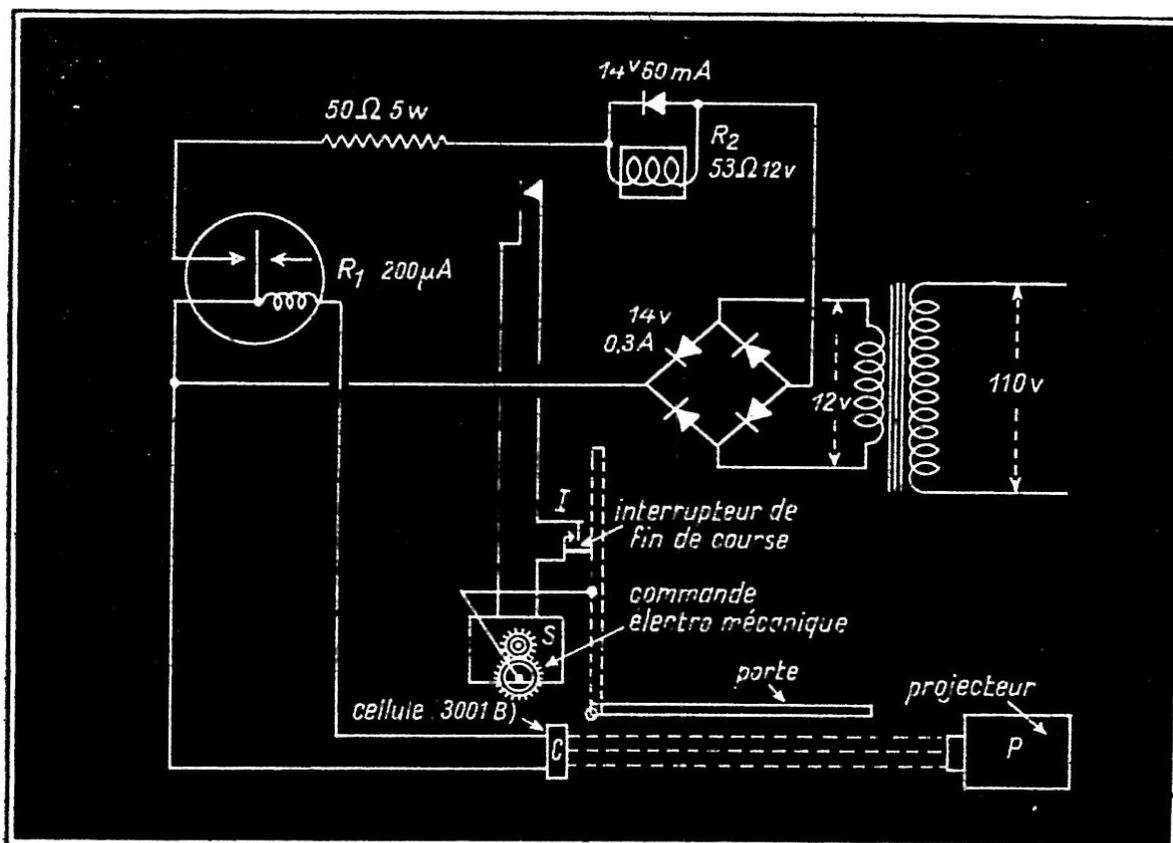


Fig. III-14

*Contrôle des portes lorsque la fréquence des passages est grande.* — Dans ce cas, il est intéressant de prévoir une porte d'entrée A et une porte de sortie B (fig. III-15). Des sources lumineuses sont disposées en  $A_2$  et  $A_4$  (ou  $B_2$  et  $B_4$ ), et les faisceaux lumineux tombent sur  $A_1$  et  $B_1$  où sont les cellules. Une personne, en entrant, coupera le faisceau  $A_1A_2$  et commandera l'ouverture de la porte; tant que cette personne interceptera le faisceau  $A_1A_4$  la porte ne pourra se fermer. Le fonctionnement de l'ensemble  $B_1B_2$  et  $B_1B_4$  est identique.

Pour que le faisceau  $A_1A_4$  n'empêche pas la porte de se refermer lorsqu'elle intercepte ce faisceau, il faut que ce dernier soit sans action quand la porte est entre les positions AC et AD. On doit, de plus, éviter que les personnes sortent par la porte d'entrée et inversement; dans ce but, il faudra placer des inscriptions très visibles, ou tendre des chaînes pour canaliser le flot des visiteurs. L'ensemble de l'installation cellule, amplificateur et relais doit être simple, compacte et étanche lorsqu'elle est disposée à l'extérieur.

*Portes intérieures.* — Quand certaines portes intérieures doivent laisser passer un trafic important — entre une boutique

et un atelier, entre une salle de restaurant et la cuisine par exemple — il est intéressant d'installer une manœuvre automatique si les personnes ont à transporter un matériel lourd, fragile ou encombrant. On facilite ainsi le trafic, et les portes restent normalement fermées. L'installation peut souvent être simplifiée par la suppression des faisceaux lumineux de protection en diagonale. Le personnel, habitué à la manœuvre automatique, sait qu'il a largement le temps de passer, mais qu'il ne doit pas stationner dans le plan de la porte.

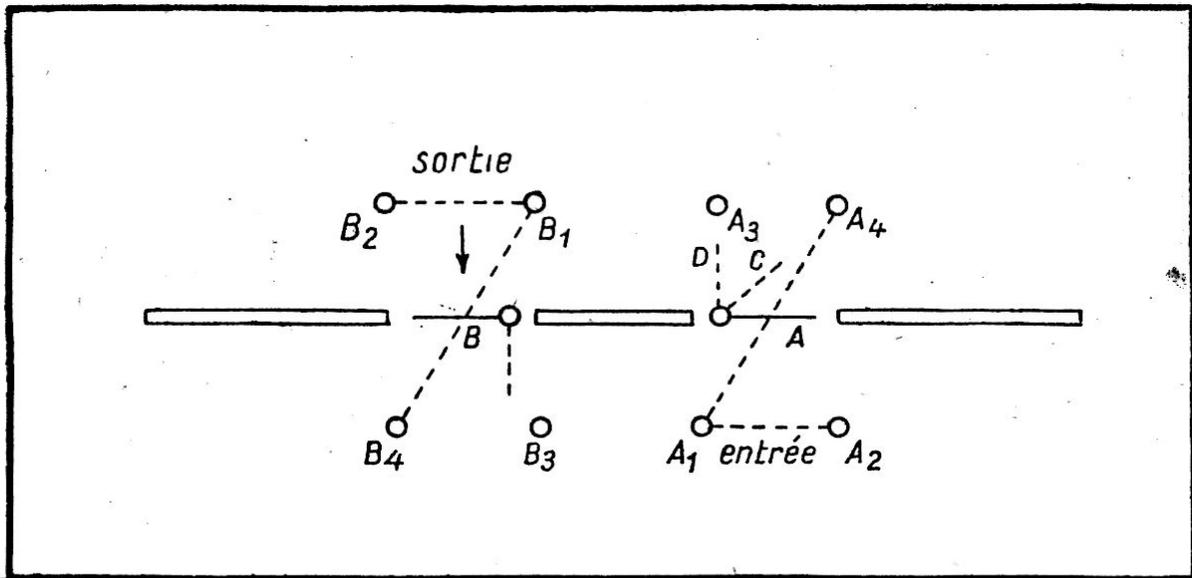


Fig. III-15

### Commande automatique des signaux lumineux pour la circulation routière.

Le passage des véhicules aux carrefours est très souvent commandé à l'aide de signaux lumineux : verts pour le passage libre, rouges pour le passage interdit. Lorsqu'une voie principale croise une voie secondaire à très faible circulation il y a intérêt à n'interrompre le trafic de la voie principale que pendant le minimum de temps nécessaire. Ce résultat peut être obtenu automatiquement grâce au dispositif schématisé dans la figure III-16.

Deux faisceaux lumineux croisent la voie secondaire de chaque côté, et à une certaine distance de la voie principale. Ces faisceaux éclairent une cellule photoélectrique lorsqu'ils ne sont pas interceptés par un véhicule. La lumière verte est maintenue constamment sur la voie principale et n'est remplacée par la lumière rouge que si une voiture se présente sur la voie secondaire.

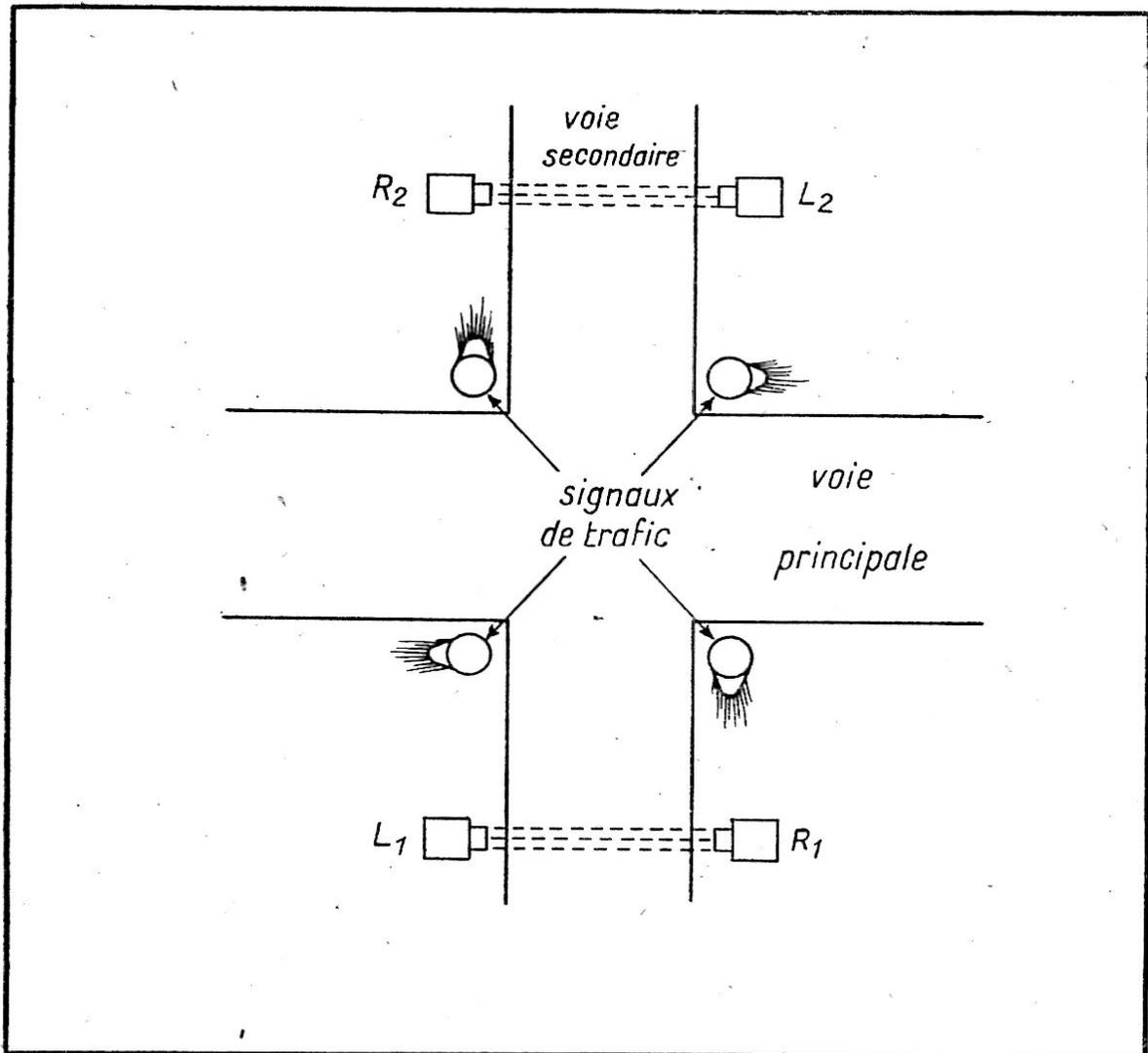


Fig. III-16

Hitchcock a décrit une installation dans laquelle les sources de lumière envoient, à travers des collimateurs, des faisceaux traversant la voie secondaire et impressionnant les récepteurs placés en face. Chaque faisceau est concentré, par une grande lentille, sur un diaphragme perforé en face d'une cellule. Le diaphragme ne laisse pénétrer dans la cellule que la lumière de la source. Les appareils récepteurs comportent, en plus de la cellule, une lampe lumineuse à grille de contrôle. Le schéma est représenté dans la figure III-17.

Quand le signal de la voie principale est au vert, le relais principal est ouvert, le moteur est coupé et le frein du moteur est actionné. Si une voiture coupe temporairement le rayon lumineux, comme dans le cas d'une voiture qui tourne de la voie principale dans la voie secondaire, les relais contrôlés par la lumière s'ouvrent. Les fils du circuit marqués A et B,

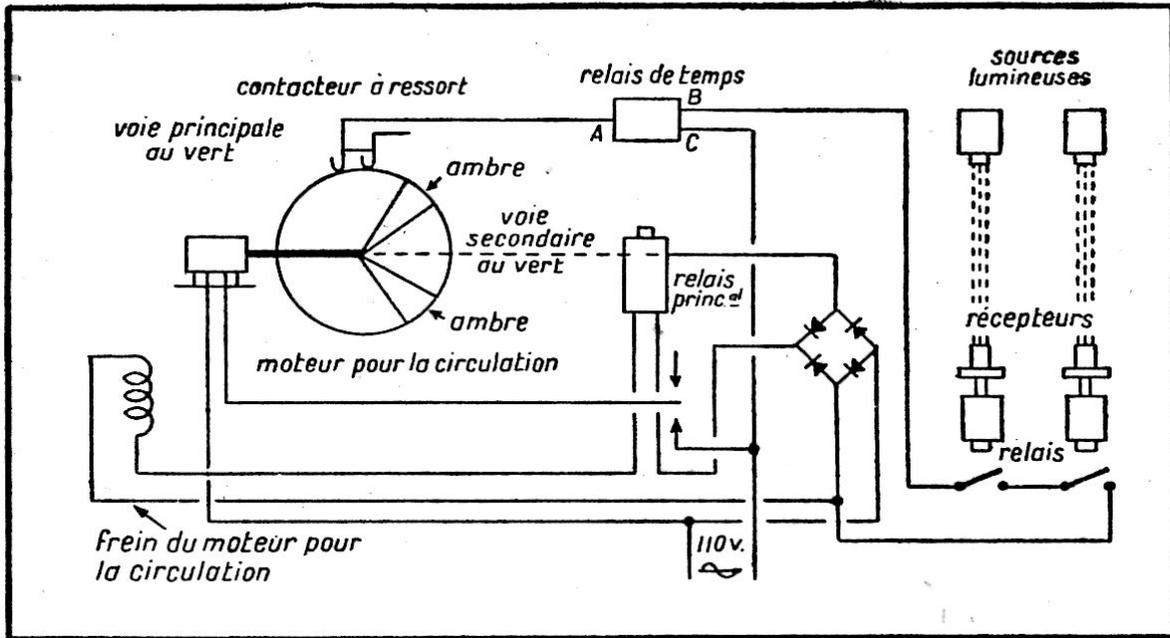


Fig. III-17

du système de retardement, sont en circuit ouvert. Cependant, à moins que le véhicule ne stationne dans le trajet du rayon pendant un temps spécifié, il n'y a aucune action sur le contrôleur. Si la voiture stationne dans le rayon pendant 3 secondes, le circuit AB s'ouvre, le moteur se met en marche et le cycle commence: la lumière jaune, puis la lumière verte s'éclairent dans la voie secondaire.

A l'usage, on constate que cette installation fait économiser 20 % du temps par rapport aux autres systèmes automatiques. D'une manière analogue, on a employé les cellules photoélectriques pour accélérer la marche du métro, pour amener les ascenseurs au niveau exact, trier le courrier postal, vérifier les entrées dans les théâtres, etc.

### Vérification de la hauteur des camions.

Certains ponts ou ouvrages d'art présentent une hauteur de passage insuffisante. Un contrôle préalable de la hauteur maximum des camions et véhicules divers permet d'éviter de nombreux accidents. La coupure d'un faisceau lumineux, placé en travers de la route, à la hauteur maximum à ne pas dépasser, interrompt le courant photoélectrique et actionne un signal lumineux d'avertissement, rouge par exemple.

### Signalisation ferroviaire.

L'électronique a contribué, dans de notables proportions, à augmenter la sécurité dans les chemins de fer. Il faut particu-

lièrement citer la commande automatique de freinage. De nombreuses compagnies ont adopté pour cette commande un ensemble dit *crocodile* dans lequel un frotteur entre en contact avec une rampe conductrice, ce qui actionne automatiquement le dispositif de freinage lorsque le signal rencontré est fermé.

La cellule photoélectrique permet une commande automatique sans contact mécanique ou électrique entre la locomotive et un circuit extérieur. La sécurité de fonctionnement s'en trouve accrue, spécialement en cas d'intempéries.

Les figures III-18 et III-19 donnent le principe de l'installation. Un faisceau lumineux produit par une lampe L est rendu intermittent par son passage à travers un disque tournant percé de trous D. Ce faisceau lumineux est dirigé vers le ciel. Au moment où la locomotive passe à côté d'un signal, le faisceau sera réfléchi soit sur l'une des cellules, soit sur l'autre, soit sur aucune d'entre elles, cela suivant la position du miroir.

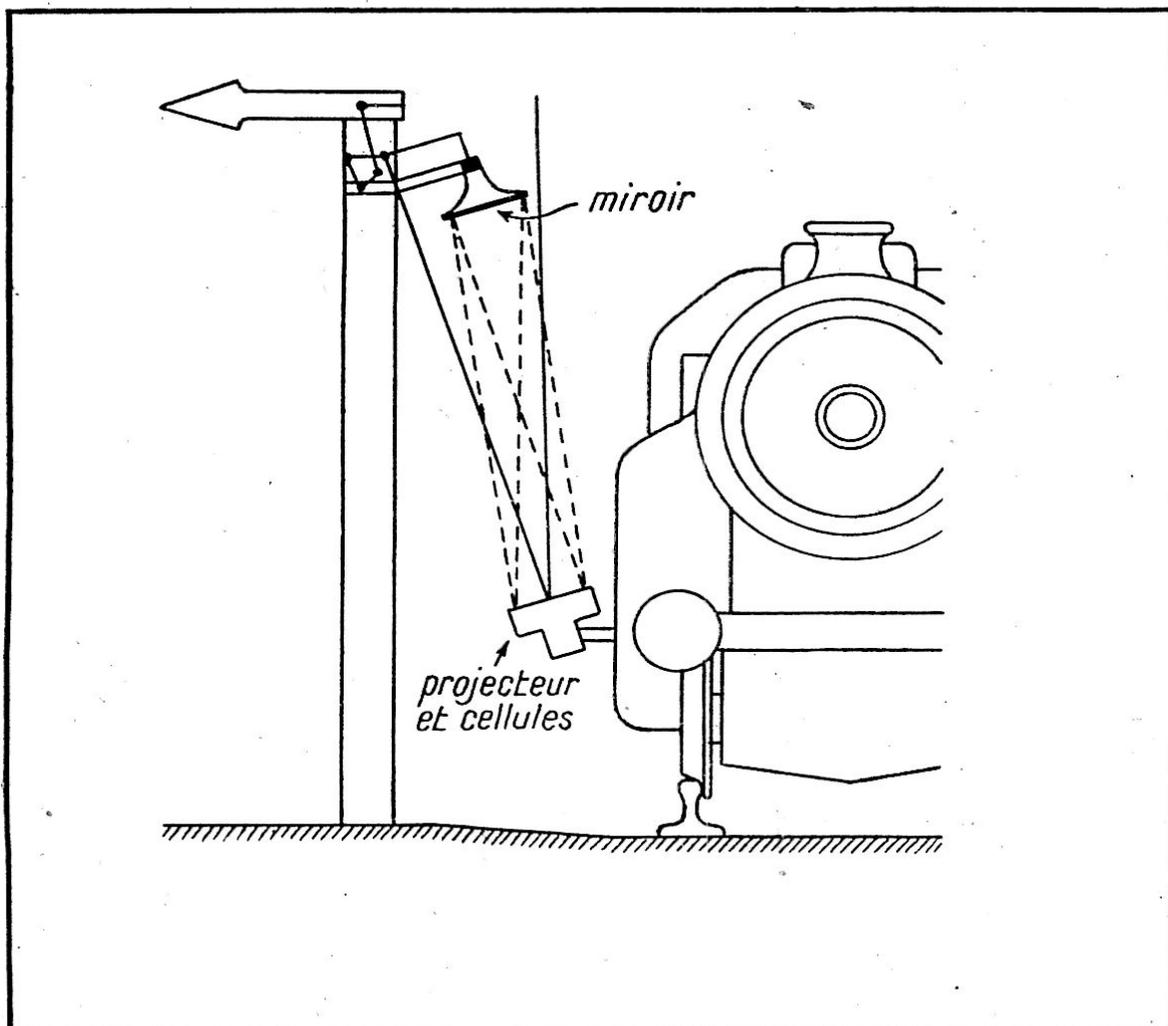


Fig. III-18

Lorsque le signal est fermé, l'angle du miroir varie et le faisceau tombe soit sur la cellule correspondant à l'avertissement du mécanicien, soit sur la cellule qui commande l'arrêt automatique immédiat du convoi. Dans ce dernier cas, le courant photoélectrique amplifié provoque le fonctionnement du relais et la mise en communication, avec l'atmosphère, de la conduite à air comprimé servant à la commande des freins. L'arrêt rapide est ainsi obtenu.

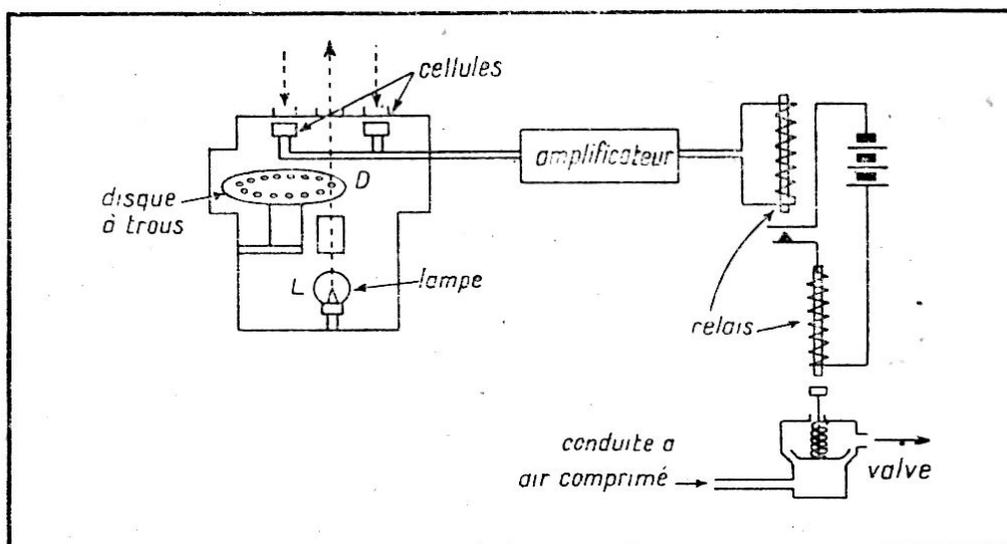


Fig. III-19



**Le problème de la sécurité est d'une importance capitale en Electronique. L'ingénieur établira ses installations avec le coefficient de sécurité maximum.**

## CHAPITRE IV

# LA MEDECINE ET L'ELECTRONIQUE

---

### **Influence du courant électrique sur l'organisme.**

Suivant la fréquence et la tension appliquée, le courant électrique a sur l'organisme des effets très divers.

*Courant continu.* — Le courant galvanique ou continu produit surtout un effet analogue à l'électrolyse qui se traduit par une décomposition chimique avec déplacement d'ions à travers le corps. Les sources de courant continu, généralement utilisées en médecine, ont une force électromotrice comprise entre 30 et 60 volts. Le courant est transmis à l'aide de deux électrodes appliquées sur le corps: la cathode (négative), et l'anode (positive). Une électrode de faibles dimensions permet de produire un effet plus intense dans une région localisée du corps. On peut ainsi provoquer, avec une anode, une action calmante sur les névralgies, ou avec une cathode activer diverses sécrétions glandulaires.

Pour provoquer des effets sensitifs et vasomoteurs, en souffle ou en douche statique, on a employé des machines à addition dans le genre de celle de Wimshurst. Ces applications ont, en particulier, un effet sédatif et calmant sur la douleur. Le malade est assis sur un tabouret isolant dont les pieds sont placés sur des isolateurs; il est soumis à l'effluve de la machine à l'aide d'électrodes. On utilise généralement le pôle négatif de la machine dont l'action est plus durable que celle du pôle positif et se prolonge après la fin de l'application.

Cette opération, appelée parfois *Franklinisation*, produit une accélération des combinaisons respiratoires, probablement à cause de la production d'ozone résultant du bain électrostatique.

*Courants variables.* — Les courants alternatifs, appelés aussi faradiques, peuvent être combinés avec les courants galvaniques (combinateur de Watteville). La superposition de ces deux

courants produit un phénomène de contraction des nerfs dénommé *électrotonus*. Un courant variable à très basse fréquence — inférieur à 10 périodes par seconde — produit une série de contractions et de relâchements des muscles et des nerfs. Cet effet est utile dans le traitement de certaines affections.

Les courants variant à des fréquences de quelques dizaines

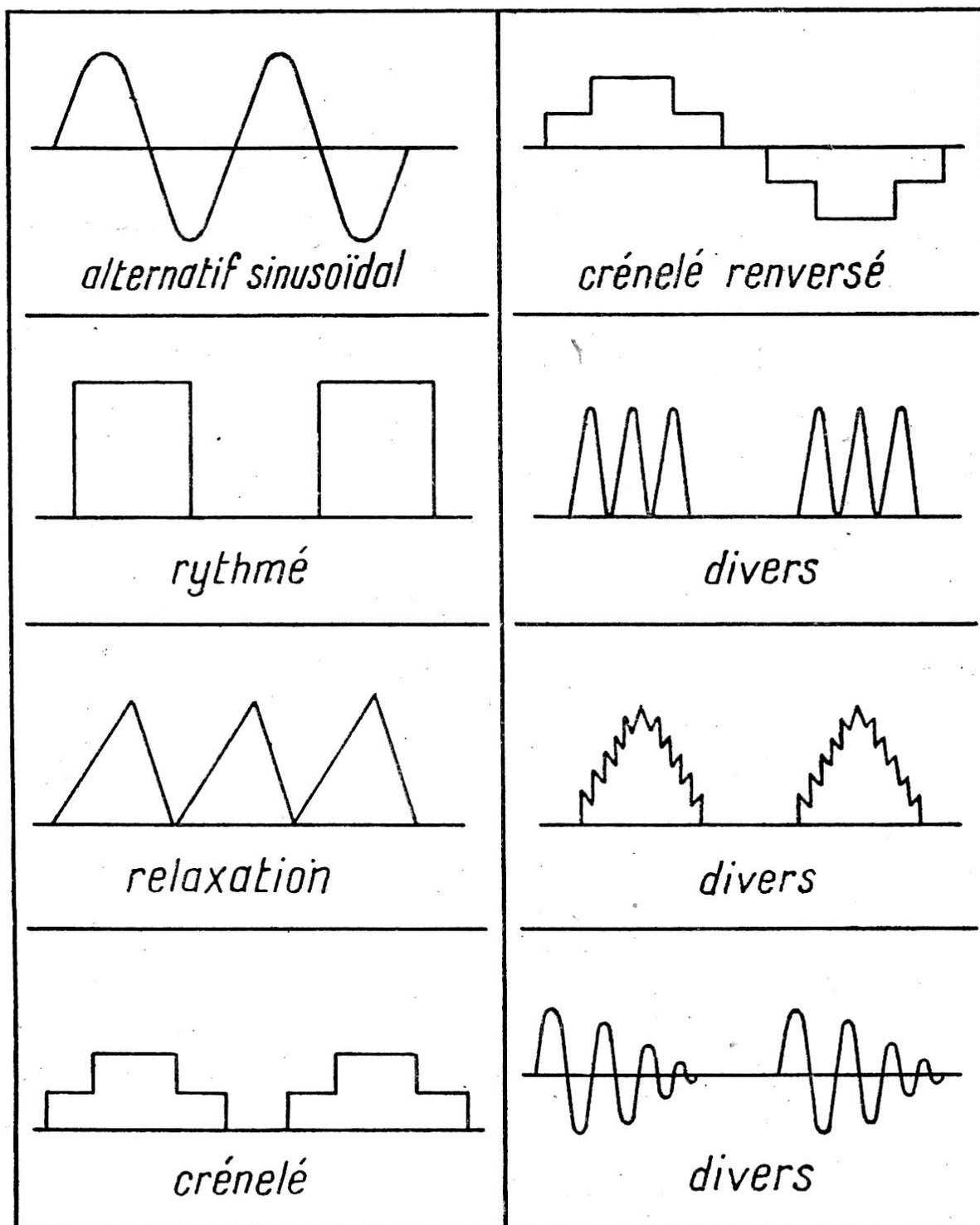


Fig. IV-1

de périodes par seconde peuvent être très nocifs. Nous citerons, en particulier, les courants à 50 périodes par seconde des secteurs industriels. Des appareils ont été construits pour produire les courants les plus divers: continu, alternatif sinusoïdal, pulsé, crénelé, crénelé inversé, relaxation, etc. (fig. IV-1).

D'une manière générale, on peut dire que les formes de courant à front raide produisent des secousses et des contractions musculaires. Par contre, les formes d'ondes de courant à front arrondi permettent une excitation particulière des muscles malades. Darsonval a montré que, dans les courants à basse fréquence, l'excitabilité croît avec la fréquence, passe par un maximum aux environs de 3.000 périodes, et décroît lentement ensuite. Il a montré également que la contraction du muscle dépend de l'intensité du courant, tandis que l'excitabilité du nerf dépend de la rapidité et de la grandeur des variations du potentiel.

Pour les traitements médicaux nécessitant des courants alternatifs à fréquences plus élevées, on a construit des *bobines de Rumkorff* dans lesquelles on peut faire varier la fréquence par le réglage de l'interrupteur primaire.

*Courant à haute fréquence.* — Les effets des ondes électromagnétiques, de longueurs d'onde correspondantes à celles qui sont utilisées en radioélectricité, seront rapidement passés en revue dans les paragraphes réservés à la diathermie. Nous verrons que ces courants H.F. peuvent traverser le corps sans avoir

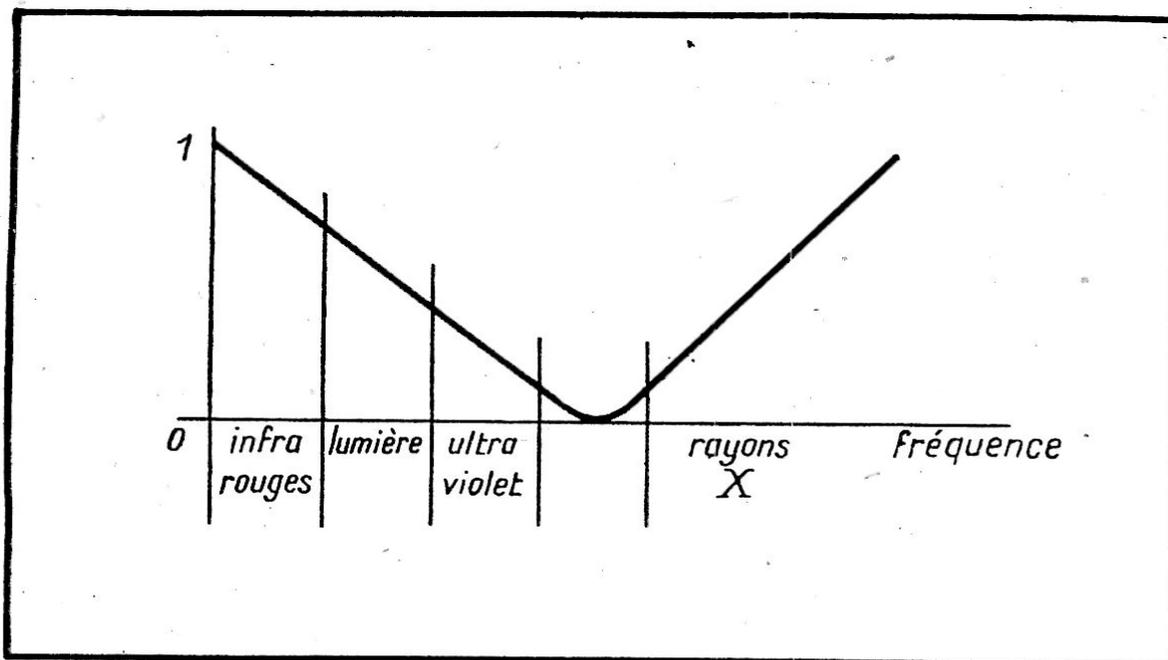


Fig. IV-2

d'effet nocif. Les ondes électromagnétiques utilisées en diathermie ont un effet thermique et divers effets secondaires. La résistance du corps humain, qui est d'environ 10.000 ohms en courant continu, peut descendre à une cinquantaine d'ohms pour des longueurs d'onde de quelques centaines de mètres.

*Rayonnements de très courte longueur d'onde.* — La pénétration des ondes électromagnétiques de très courte longueur d'onde, dans le corps, dépend de la fréquence (fig. IV-2). L'action de ces ondes est d'autant plus énergique que cette fréquence est plus grande, et que le quanta de la radiation est plus élevé. Cette conclusion résulte des travaux de Mrs Holweck et Lacasagne relatifs à l'action des ondes lumineuses, ultra-violettes, rayons X, etc. sur des cellules vivantes. Les photons, ou atomes d'énergie radiante, tueraient ou non les cellules suivant que les organes vitaux de ces cellules seraient ou non atteints. Les résultats fournis par les études expérimentales confirment les prévisions découlant du calcul des probabilités.

### **Applications médicales des courants à haute fréquence.**

Les actions des courants à haute fréquence sur l'organisme peuvent être classés en deux catégories :

1° *Action thermique ou diathermie.* — Les courants à haute fréquence produisent un échauffement des tissus vivants, mais n'ont pratiquement aucune influence sur le système nerveux. Le patient peut être traversé par des intensités énormes dont les actions sont importantes et parfaitement dosables.

2° *Actions électriques.* — Elles sont souvent plus importantes que l'action thermique. Elles ont été indiquées, dès le début, par le professeur Darsonval. Voici quelles sont leurs propriétés essentielles :

a) Les courants à haute fréquence ont une action stérilisante indépendante de la chaleur.

b) Ils ont une action analgésique puissante qui est parfois proportionnelle à l'élévation de température, provoquée par des doses fortes, mais qui est souvent plus importante encore avec des doses faibles ou très faibles.

c) Ils ont une action d'équilibre remarquable, même à des doses trop faibles pour donner une élévation de température appréciable; ils sont un stimulant puissant des glandes endocrines.

d) Certaines formes de courant H.F. ont une action intense sur la circulation et sur la nutrition.

Le courant à haute fréquence est caractérisé par sa fréquence, la forme des ondes (amorties, semi-entretenues, entretenues), son intensité et sa tension. Ces divers éléments permettent de classer les divers modes d'application du courant à haute fréquence.

On distingue : les applications d'intensité ou de quantité (voltage faible, intensité importante) et les applications de tension (voltage fort, intensité faible). Entre les deux se place le bistouri électrique.

On peut également les classer en applications médicales où l'on trouve : la diathermie ou effluvation (application de quantité), l'effluvation (application de tension); et en applications chirurgicales où l'on distingue : la diathermo-coagulation et l'étincelage chaud (applications de quantité), et la fulguration (application de tension). Entre ces deux catégories se trouvera encore le bistouri électrique.

### Les appareils de diathermie.

Les appareils de diathermie se composent d'un oscillateur et d'un appareil d'application. L'oscillateur peut être du type à étincelles, dérivé de la bobine de Rumkorff (fig. IV-3, IV-5, IV-6) ou du type à lampes (fig. IV-4, IV-7 et IV-9). Les appareils d'application peuvent également être classés en deux catégories suivant que le mode d'application est électromagnétique ou électrostatique.

Dans la méthode électrostatique, la partie du corps à traiter est placée entre les plaques d'un condensateur sur les armatures duquel on applique une tension à haute fréquence. Ces armatures sont isolées du corps soit par une couche d'air, soit par les vêtements, soit par des isolateurs spéciaux. Dans ce cas, les pertes sont dues à l'hystérésis diélectrique de la partie du

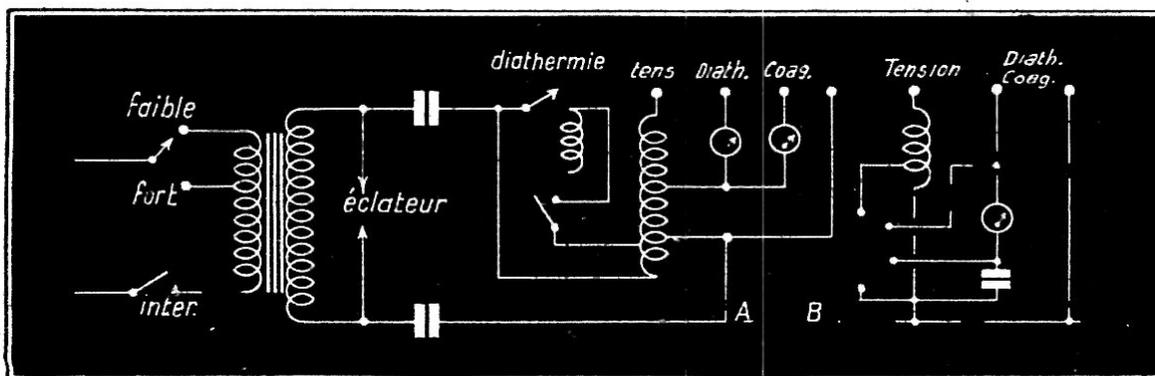


Fig. IV-3

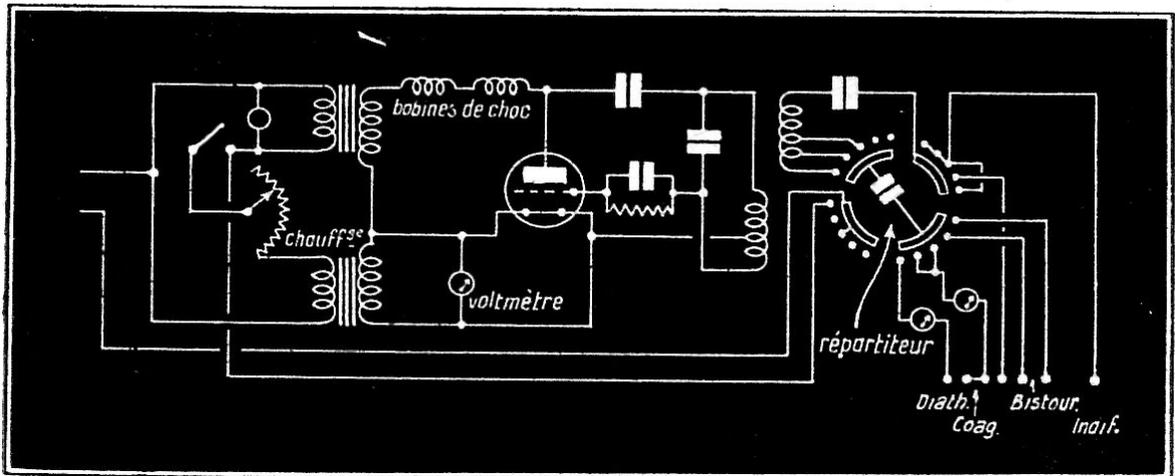


Fig. IV-4

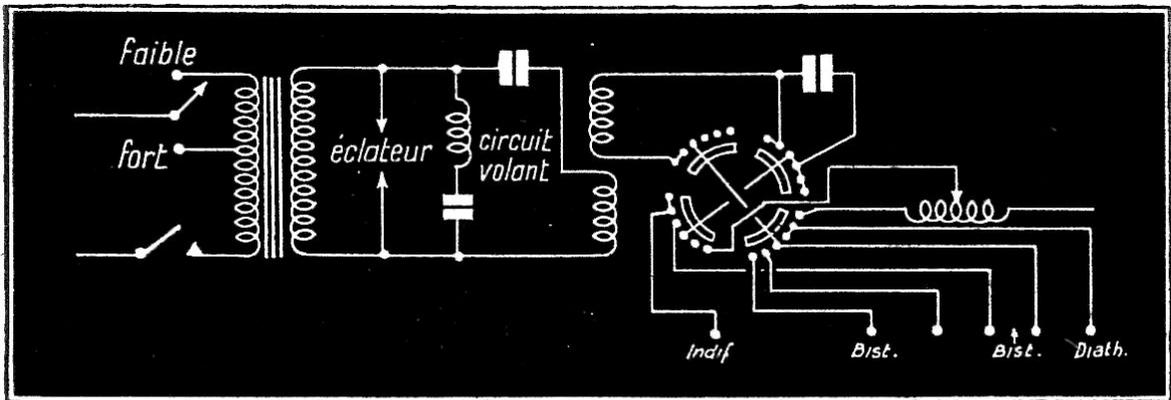


Fig. IV-5

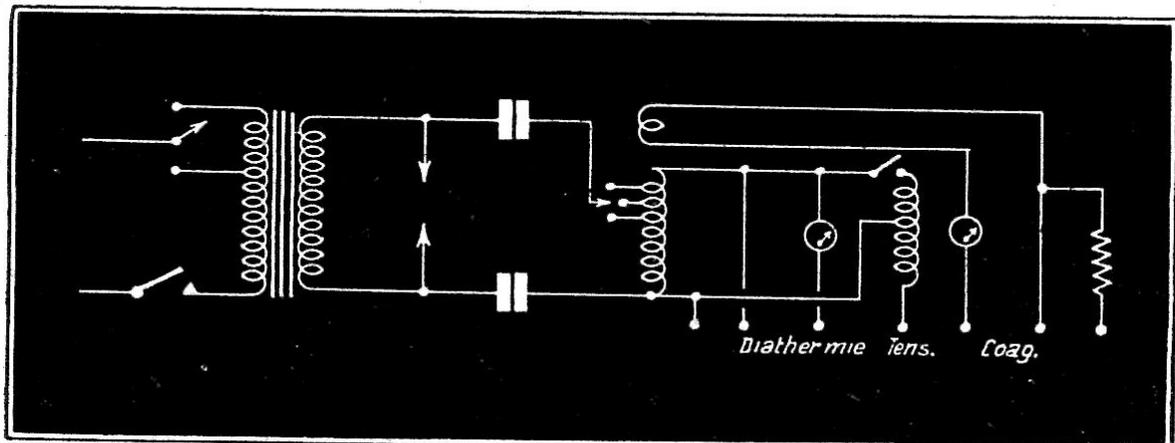


Fig. IV-6

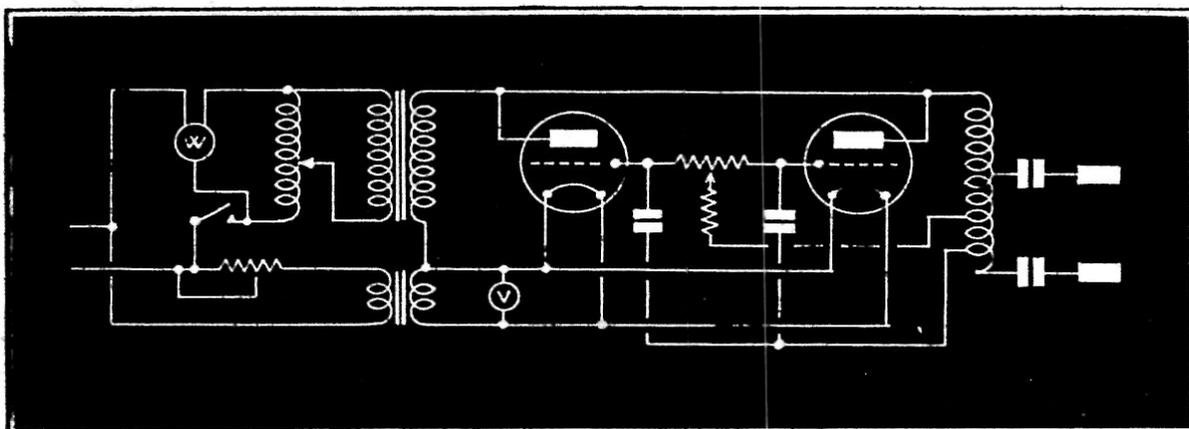


Fig. IV-7

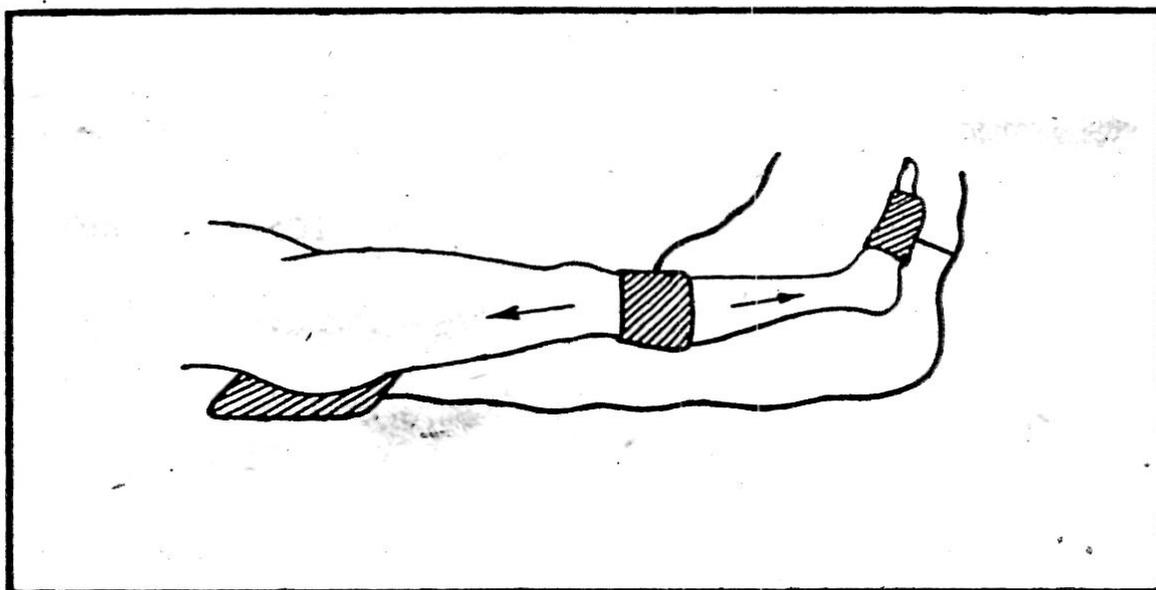


Fig. IV-8

corps traitée, et aux pertes Joule dans le circuit lui-même. Les électrodes utilisées varient avec la région à soigner (fig. IV-8).

1° *Région dorsale ou fessière*: Une grande plaque métallique assez solide pour ne pas se plier, mais assez souple pour se conformer (laiton à ressort).

2° *Région abdominale*: Plaques rigides en plomb à bords très arrondis, ou plaques articulées de Roucayrol.

3° *Endroits faciles*: Electrodes d'étain en bon état.

4° *Endroits difficiles*: Electrodes d'étain recouvertes d'un tampon épais (un centimètre) imbibé d'eau salée à saturation. Le tampon dépasse largement l'électrode métallique.

5° *Figure*: Statif du Docteur Porcher, ou électrodes humides.

Lorsque les électrodes sont grandes et que toute la surface des électrodes est appliquée sur le corps, l'échauffement est à peu près uniforme sur toute la partie traitée. Au contraire, si l'électrode n'est en contact que sur une faible surface, la densité de courant augmentera dans la région en contact et l'échauffement y sera plus grand.

Dans les appareils utilisant la méthode électromagnétique, la portion du corps à traiter est placée dans le champ magnétique d'une bobine parcourue par le courant haute-fréquence (généralement entre 10 et 100 Mégahertz). Les pertes sont dues à l'hystérésis électromagnétique et à l'augmentation de résistance des conducteurs due au fait que le courant se localise sur leur surface. L'échauffement de la chair dépend du courant traversant la bobine, du nombre de tours de celle-ci, et de la façon suivant laquelle la bobine est appliquée sur le corps.

Pour une application plus facile, la bobine est constituée par un câble souple isolé. La flexibilité de cet accessoire permet de l'appliquer au mieux, quelle que soit la forme de la partie du corps à traiter. La puissance haute-fréquence du générateur est pratiquement comprise entre 1.000 et 3.000 watts. La tension fournie aux électrodes atteint plusieurs centaines de volts. En ce qui concerne la longueur d'onde, les meilleurs résultats ont été obtenus dans la bande de 8 à 10 mètres. La forme d'onde qui a donné les meilleurs résultats est la forme amortie avec un faible espacement entre les trains d'onde.

L'appareillage doit être prévu pour que l'on puisse toujours appliquer une puissance inférieure à celle qui serait nocive, et cela quelle que soit la longueur d'onde utilisée. En outre, l'installation ne doit pas rayonner un champ H.F. qui perturberait les radiorécepteurs du voisinage; on évitera particulièrement le rayonnement sur les canalisations du secteur électrique. Dans le cas des oscillateurs à lampes, les anodes sont généralement alimentées en alternatif brut sous une tension de plusieurs milliers de volts. Pour beaucoup d'appareils, la longueur du traitement peut être réglée d'avance grâce à des relais. Divers dispositifs de sécurité sont utilisés; ils consistent, par exemple, à rendre impossible la mise sous haute tension des anodes lorsque les filaments ne sont pas chauds.

Il existe sur le marché un grand nombre d'appareils de diathermie, chacun ayant ses avantages particuliers. Les schémas des figures IV-3 à IV-7 représentent des réalisations commerciales des établissements A. Walter.

### Un appareil à ondes courtes pour la diathermie.

L'appareil dont le schéma de réalisation est donné dans la figure IV-9 permet de produire le champ de haute-fréquence nécessaire pour la diathermie (effet Darsonval). La longueur d'onde est de 20 mètres environ; la puissance utile est de 160 watts. Le montage comporte deux tubes triodes — Tungfram 0Q 71/1000 — branchés en oscillateur symétrique Mesny. Voici les caractéristiques des pièces essentielles :

*Inductances.* —  $L_1 = L_2 = 2,3$  microhenrys constituées par 13 spires d'un tube de cuivre de diamètre 5 mm. La longueur du bobinage est de 20 cm., et le diamètre des spires, également de 20 cm.

*Transformateur d'alimentation.* — Primaire 110 volts 50 périodes. Deux secondaires avec points « milieu » : 10 volts 6 ampères et 2.000 volts 1 ampère.

*Bobine de blocage.* — La self-inductance de blocage  $L_3$  a un diamètre de 40 cm. et est constituée par 80 spires d'un fil de cuivre de 0,6 mm. émaillé une couche et bobiné sur un tube en carton bakéliné.

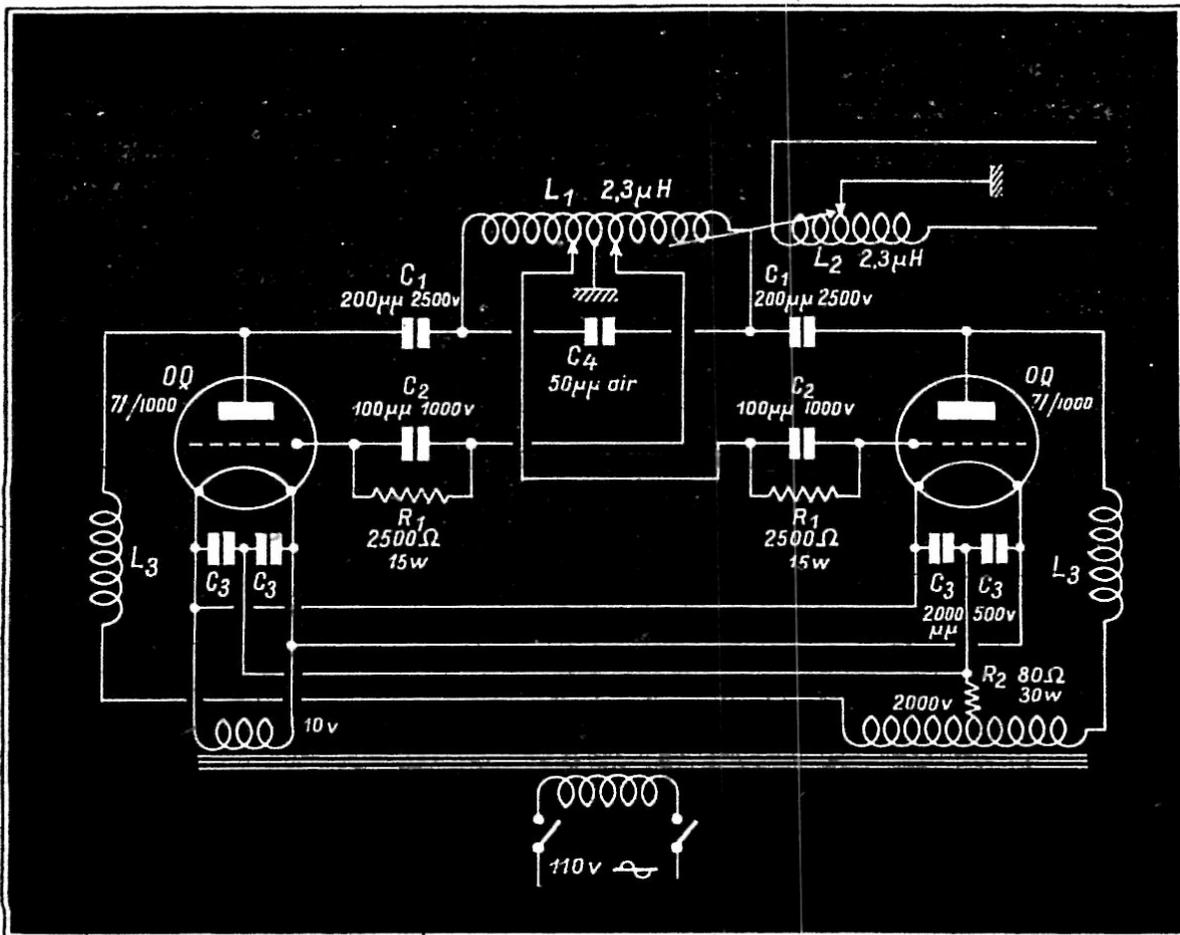


Fig. IV-9

## Diathermo-coagulation.

La diathermo-coagulation recherche la destruction locale des tissus par excès de température. Une dose correcte porte les tissus à la température de coagulation (70°). Ceux-ci changent alors de couleur, toute circulation s'arrête, une escharre se forme qui s'élimine ultérieurement.

La figure IV-10 donne la forme de diverses électrodes de diathermo-coagulation. Si l'on emploie une grande électrode et une petite, la coagulation se produit au voisinage de cette dernière. La grande électrode peut être en contact ou à proximité de la peau. L'emploi de deux petites électrodes voisines permet de détruire assez exactement les tissus séparant les deux électrodes.

Les générateurs à haute fréquence utilisés pour la diathermo-coagulation sont analogues à ceux que l'on utilise pour la diathermie ou le bistouri électrique. D'ailleurs, certains appareils

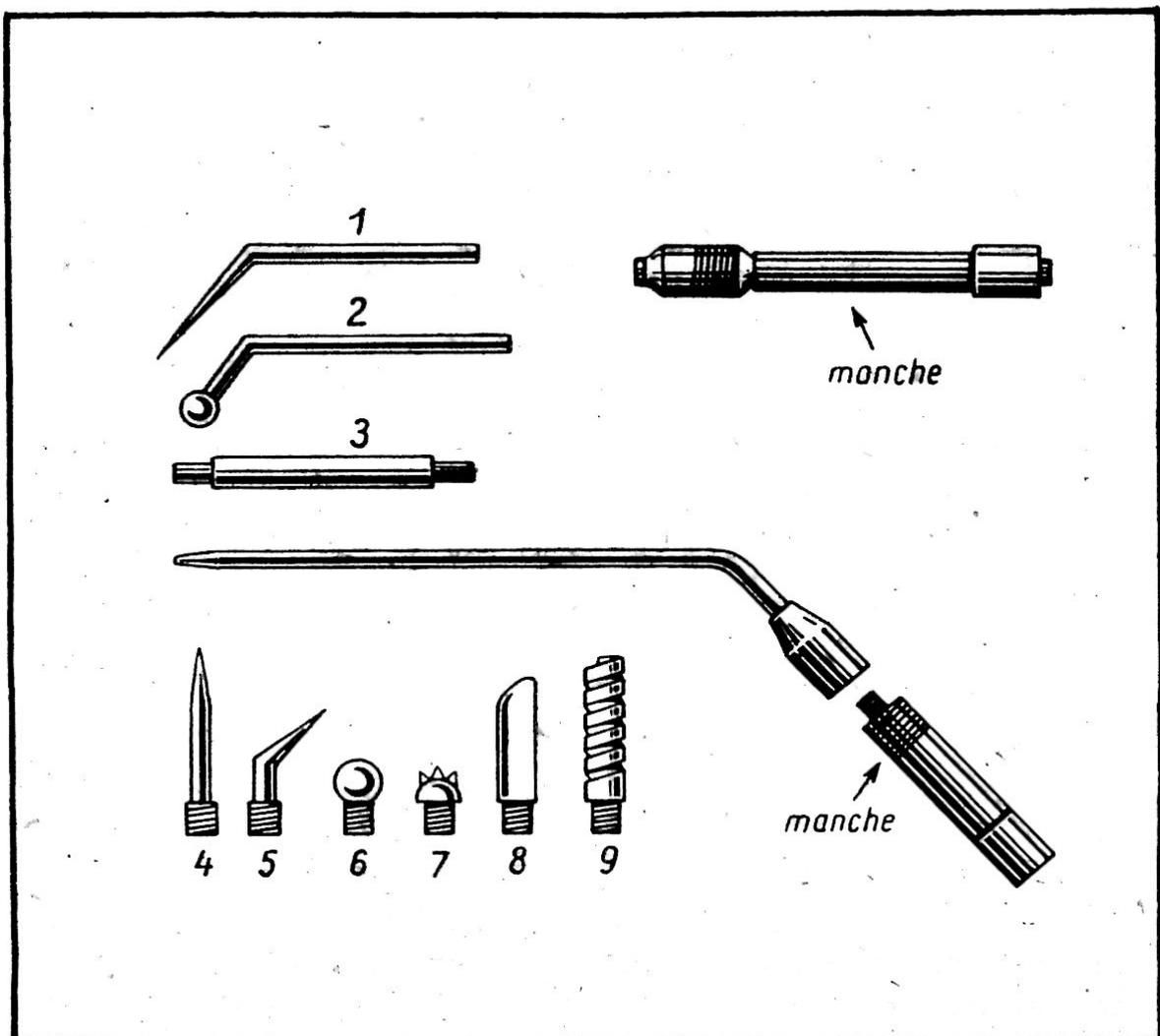


Fig. IV-10

peuvent, grâce à certains réglages particuliers, servir pour les trois usages (fig. IV-3 à IV-6). Les différences de potentiel utilisées pour la diathermo-coagulation peuvent atteindre plusieurs milliers de volts, et le courant peut atteindre quelques centaines de milliampères.

### Le bistouri électrique.

Lorsqu'un fil de petites dimensions est parcouru par certains courants à haute fréquence, il possède la propriété de pénétrer, sans aucune résistance, dans les tissus. Ceux-ci s'écartent en quelque sorte autour du fil qui reste presque froid. Le phénomène est caractérisé par une explosion de cellules en avant de l'électrode, ce qui facilite la pénétration. La chair est coupée sans hémorragie.

La figure IV-11 représente la forme usuelle des deux électrodes; l'une à grande surface relative est dite *indifférente*, l'autre de faible dimension sert à la coupe (électrode *active*).

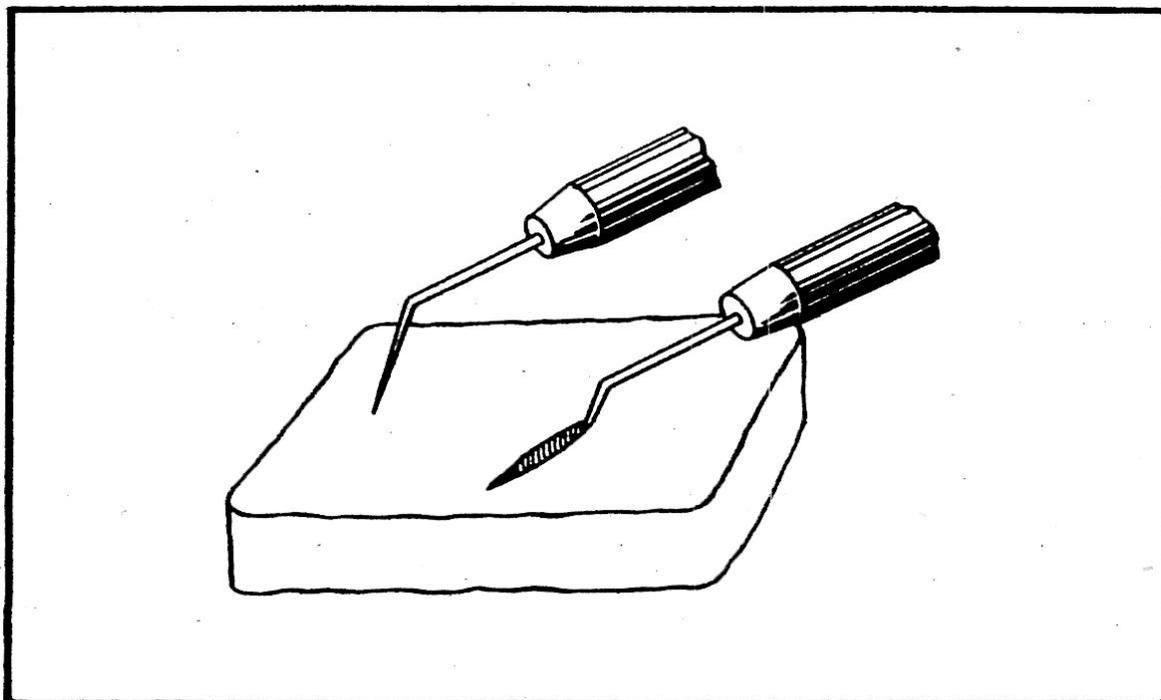


Fig. IV-11

Pour de petites interventions, on utilise une seule électrode active. Parfois, on emploie la *méthode du contrepois* : la borne *active* sert à la coupe tandis que la borne *indifférente* est reliée à une masse métallique importante telle que le corps d'un appareil métallique. Pour certaines applications il est nécessaire de n'enlever qu'une faible couche de tissus; cela peut se faire à l'aide de la curette électrique (fig. IV-12). Un fil très

fin, en forme de boucle, est parcouru par le courant; on le déplace perpendiculairement au plan de la boucle, de manière que le fragment de tissus, détaché par le fil, passe à travers la boucle.

Les courants et tensions utilisés sont analogues et comparables en valeur aux courants utilisés pour la diathermo-coagulation. En général, la H.F. est entretenue ou modulée à 50 périodes; quand elle est amortie, l'espacement entre les trains d'ondes est aussi réduit que possible.

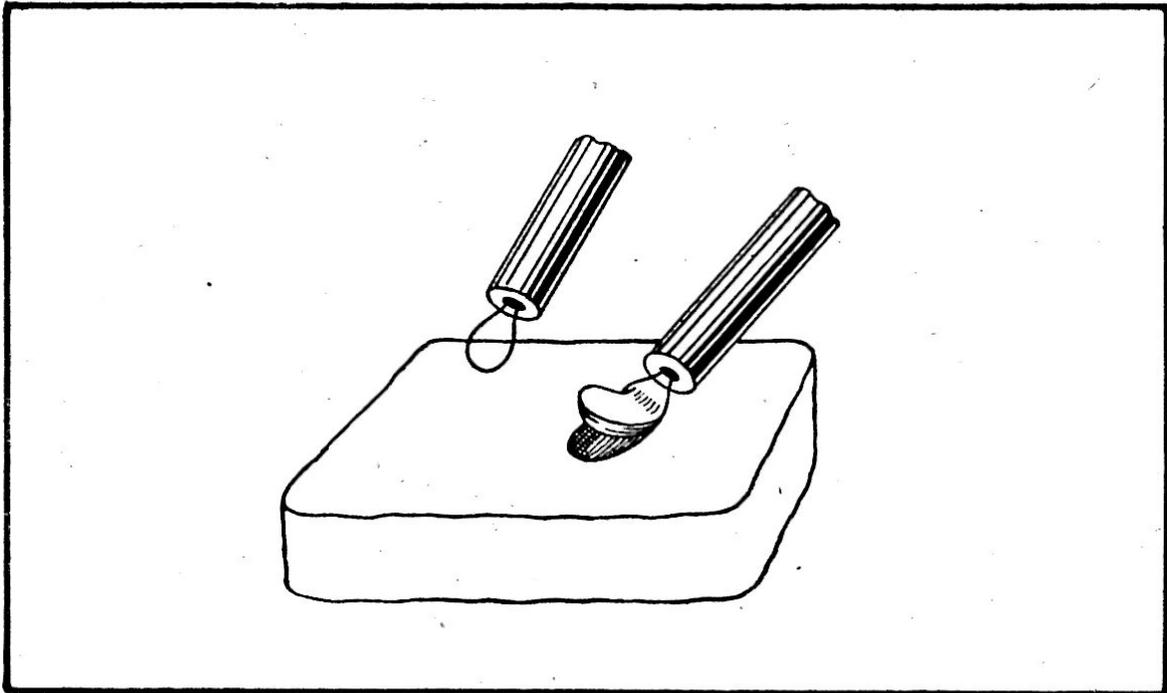


Fig. IV-12

### Applications de tension.

Les appareils destinés à ces applications sont généralement constitués par un éclateur et un résonateur de Oudin (fig. IV-6). L'intensité mise en jeu est très faible mais, par contre, la tension est très élevée (5.000 à 30.000 volts). Les diverses électrodes utilisées pour les applications sont représentées sur la fig. IV-13. Selon les modalités d'emploi, on peut obtenir :

1° *Une effluve vraie et une aigrette violacée* qui donne une légère impression de souffle. Pour cela, il faut approcher de la peau une pointe métallique portée à une tension élevée.

2° *Des étincelles claires et bruyantes.* Longues, elles causent une révulsion très énergique; courtes, elles deviennent chaudes et coagulent (fulguration). Pour obtenir ce résultat, on approche la pointe métallique plus près de la peau.

3° *Des étincelles de condensation violettes.* Par l'interposition d'une lame isolante, on obtient des étincelles multiples qui produisent beaucoup d'ozone (électrodes de Delherm, de Vignal). Il n'y a formation d'ozone que s'il existe une couche d'air entre le verre et la peau.

4° *Une décharge dans un gaz raréfié.* Une ampoule, contenant un gaz raréfié, mise dans le champ électrique, devient lumi-

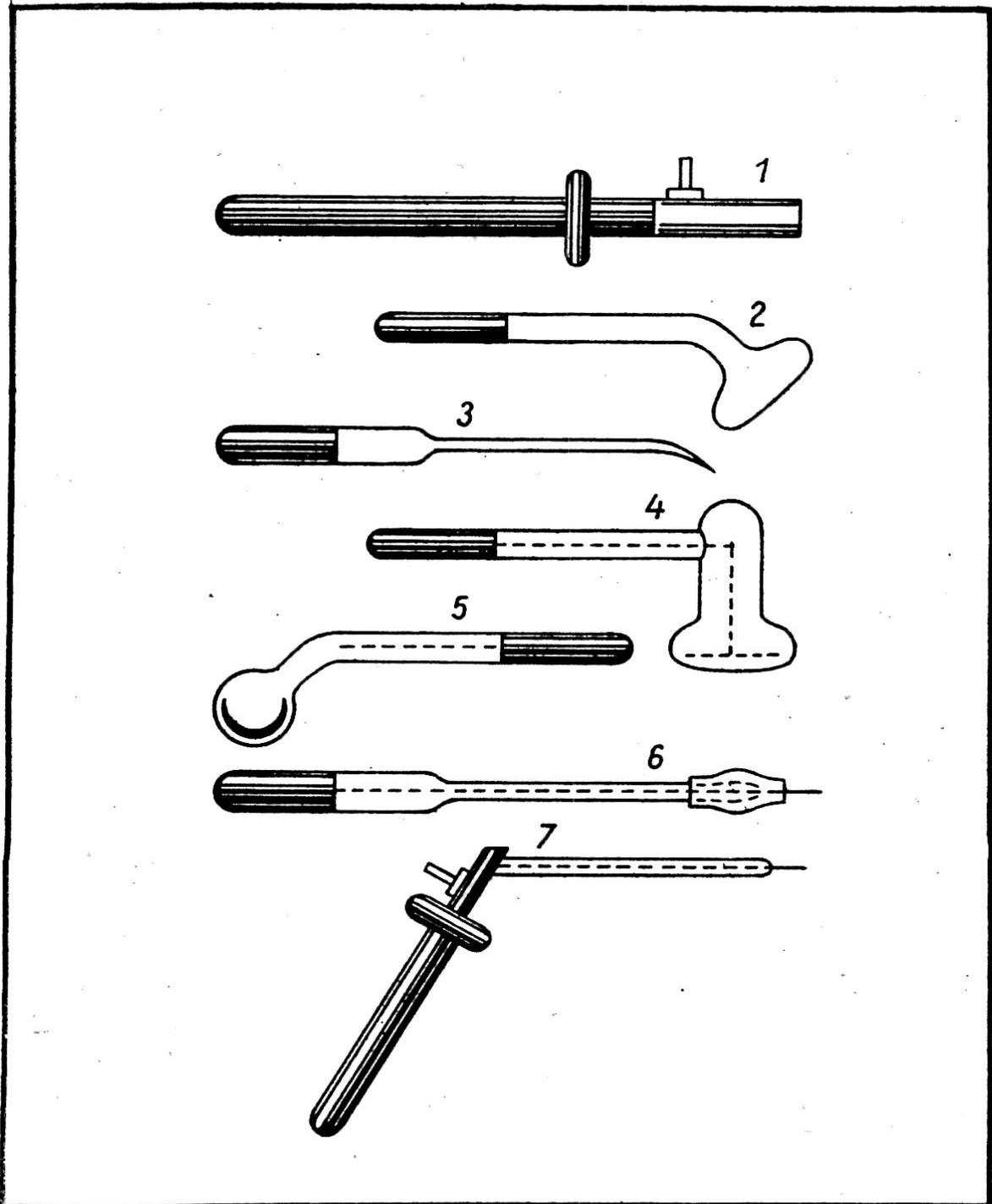


Fig. IV-13

nescente. Le violet est obtenu avec l'air raréfié; si le vide est plus poussé, la teinte devient bleue; le néon donne une couleur rouge (électrode de Mac Intyre). Le phénomène est analogue au précédent, mais beaucoup plus faible à cause de la résistance non négligeable du gaz.

Les applications de tension sont utilisées comme révulsif en otorhinolaryngologie, en urologie, etc. Dans l'électromassage, le patient est réuni à l'électrode indifférente, tandis que la main nue du médecin tire de la peau du malade des étincelles indolores. Le massage ainsi réalisé est très efficace sur certaines algies. Il provoque une vasodilatation importante et persistante.

### **Utilisation des rayonnements électromagnétiques de très faibles longueurs d'onde.**

Les rayonnements électromagnétiques les plus divers sont utilisés en médecine. Chaque gamme de rayonnement correspond à un traitement déterminé, tout comme un produit pharmaceutique. C'est ainsi que l'on traitera le rachitisme par l'ultra-violet, le rhumatisme par les ondes courtes, le cancer par les rayons X, etc.

Les ondes électromagnétiques très courtes permettent d'apporter aux cellules une certaine quantité d'énergie rayonnante. Suivant les caractéristiques et les doses, ces cellules pourront être soit détruites, soit activées. Selon les cas, c'est l'une ou l'autre de ces actions qui sera nécessaire. Dans le traitement du cancer, il faudra détruire certaines cellules; dans celui du rachitisme il faudra activer des cellules. Une faible dose de rayons X appliqués sur la rate permet de lutter contre l'anémie, l'hémophilie, l'érythémie, la leucémie, etc. Une forte dose provoque des destructions de tissus.

Une maladie peut être traitée par plusieurs médicaments, et un même médicament peut être efficace pour plusieurs maladies. De même, diverses combinaisons de rayonnements sont possibles. L'ultra-violet, par exemple, sera utile en gynécologie, dermatologie, ophtalmologie, otorhinolaryngologie, stomatologie, etc. Cette universalité d'emploi s'explique par le fait que les rayons ultra-violets activent la vie de la cellule, régénèrent les globules rouges du sang, stimulent les sécrétions internes, améliorent la respiration et les échanges cellulaires, augmentent le péristaltisme et la diurèse, fixent le calcium, etc. etc.

Les rayons X ayant fait l'objet de nombreux ouvrages spéciaux, il n'en sera pas question dans celui-ci. Nous nous contenterons d'examiner les applications des ondes à haute fré-

quence et des radiations proches du visible. Nous étudierons, plus spécialement, le cas des rayons ultra-violet et infra-rouges.

### **Application médicale des ultra-violet.**

D'une manière générale, les radiations ultra-violettes peuvent être utilisées pour le traitement de toutes les maladies dues au manque de lumière. Ces radiations permettent d'exciter les cellules, de régénérer les globules rouges du sang, de stimuler les échanges cellulaires, etc.

Sur tous les animaux, les radiations ultra-violettes biologiques — comprises entre 2.800 et 3.200 Angstroms — permettent une ossification plus rapide, une diminution du rachitisme, et une augmentation du nombre des globules rouges du sang.

Les ultra-violet facilitent l'assimilation du calcium par l'organisme; cette propriété a été utilisée pour améliorer la ponte des poules. Celles-ci doivent, en effet, prélever sur leurs propres réserves la quantité de calcium nécessaire pour la coque de l'œuf. Le poussin vit dans l'œuf grâce à la substance de celui-ci, et la coque fournit le calcium nécessaire à l'ossification du poussin.

La *Funsentherapie* consiste à provoquer, à l'aide des ultra-violet, une nécrose sélective sur le tissu malade qui finit par être détruit et expulsé. Ce procédé a été découvert à Copenhague en 1894 par Funsen qui avait constaté l'action du soleil sur le lupus tuberculeux. Faute de soleil, il avait utilisé les rayons ultra-violet émis par un arc de charbon. Le rayonnement infra-rouge émis par l'arc était arrêté par une cuve d'eau. Par contre, les rayons ultra-violet la traversaient et étaient concentrés par un dispositif optique en quart refroidi par circulation d'eau. La peau, dont le sang est chassé par un compresseur, est exposée au rayonnement. Après une heure ou deux, on constate l'apparition des cloques.

En *dermatologie*, les rayons ultra-violet excitent la repousse des cheveux péléadiques et la repigmentation de certaines achromies, exfolient certains éléments de psoriasis, réduisent les plaques de sclérodermie. Leur influence sur l'état général permet d'agir indirectement sur des affections cutanées. Les tuberculoses non pulmonaires, le lupus, la furonculose, les psoriasis des sujets fatigués sont traités à l'aide des ultra-violet en bain général.

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, nous avons passé en revue les méthodes de production des ultra-violet. Les utilisations médicales sont facilitées par l'emploi de certaines lampes commerciales, Biosol (Métalix) par exemple.

## **Applications médicales des infra-rouges.**

Les radiations infra-rouges n'interviennent pas seulement par leur action calorifique, mais aussi par la quantité d'énergie qu'elles transportent. Relativement pénétrantes dans les tissus, elles se transforment en chaleur qui se transmet par conductibilité ou convection. On les utilise sur une petite partie du corps et non sur sa totalité.

Lorsqu'une région du corps est soumise aux infra-rouges, les petits vaisseaux superficiels se dilatent (vasodilatation), la peau rougit, les vaisseaux sont congestionnés et le nombre des globules blancs diminue. Ces phénomènes sont accompagnés de sudation avec élimination des toxines; la peau se gonfle. Une application prolongée produit un érythème rouge et brunâtre. Une intensité de rayonnement trop puissante — source très rapprochée — peut provoquer une véritable dessiccation de la peau.

Grâce à leur effet calorifique, les infra-rouges calment les douleurs névralgiques, peuvent produire la fièvre artificielle, augmenter les oxydations, détruire les toxines, accroître la proportion de globules rouges et activer la prolifération des cellules.

Le patient est, en général, placé à quelques dizaines de centimètres de la source de rayons infra-rouges. On peut combiner l'action de ces derniers avec d'autres rayonnements, par exemple avec les ultra-violets dont ils augmentent l'action tout en diminuant l'érythème.

Les infra-rouges sont aussi utilisés pour le traitement des épanchements péritonaux et pleuraux, des abcès, des adénites, de l'anémie, de l'arthrite, des coliques hépatiques, des engelures, de l'entérite, de la goutte, de l'hydarthrose, des névralgies et névrites, des douleurs articulaires, etc. En dermatologie, ils facilitent la cicatrisation, par exemple dans le cas des plaies atones et des radiodermites ulcéreuses.

Dans le domaine végétal, les infra-rouges ont une grosse importance car ils facilitent la croissance des plantes.

Nous avons traité dans le chapitre premier les moyens de production des infra-rouges. Pour les applications médicales, les appareils les plus courants sont constitués par des plaques ou résistances chauffantes (Walter, Compagnie générale de Radiologie, etc.).

## **L'électricité dans le corps humain.**

Depuis la découverte de l'électricité animale par Galvani au XVIII<sup>e</sup> siècle, de nombreuses tentatives ont été faites dans le

but d'étudier les lois de l'électricité dans les corps vivants. Les méthodes les plus employées consistent à mesurer, à l'aide de sondes ou électrodes, les différences de potentiel entre divers points du corps.

*L'électrocardiographie* étudie l'action électrique du cœur à l'aide d'électrodes placées sur la surface du corps. Cette étude est facilitée par le fait que les cellules du corps humain sont conductrices, ce qui permet de placer les électrodes d'observation loin de l'organe à examiner. Les variations de potentiel produites peuvent être amplifiées et utilisées pour la commande d'un appareil indicateur ou enregistreur (oscillographe cathodique ou électromécanique).

*L'électroencéphalographie* étudie les variations de potentiel provenant du cerveau, et recueillies au voisinage de ce dernier par des électrodes spéciales. Certains travaux ont montré l'existence d'ondes à haute fréquence. Mais la plupart des chercheurs — notamment Berger et Adrian — ont surtout montré la présence d'ondes dont la fréquence est inférieure à 45 cycles par seconde. Les amplificateurs utilisés pour ces très basses fréquences sont analogues à ceux dont on se sert pour l'électrocardiographie.

Ces amplificateurs doivent avoir un coefficient d'amplification pratiquement constant lorsque la fréquence varie entre 1 et 45 périodes par seconde. Les circuits doivent avoir une grande constante de temps, et le bruit de fond doit être très faible par rapport à la tension recueillie. Pratiquement, cela correspond à une tension maximum de bruit de fond de 2 microvolts. Par ailleurs, il faut que l'amplificateur ne soit pas perturbé par la fréquence à 50 périodes par seconde du secteur d'alimentation, fréquence qui est très voisine de celles que l'on désire étudier. On peut avoir plusieurs paires d'électrodes, quatre par exemple, nécessitant chacune un amplificateur séparé. L'observation simultanée par plusieurs électrodes permet, entre autres choses, de localiser par triangulation l'endroit précis d'une tumeur, cette dernière donnant des ondulations caractéristiques.

La figure IV-14 donne le principe d'un amplificateur utilisé par Rahm pour l'encéphalographie. Les résistances d'électrodes doivent être aussi faibles que possible pour diminuer le bruit de fond. Les premiers étages sont alimentés par batteries, et les potentiels d'anodes sont maintenus à des valeurs relativement basses pour assurer une bonne stabilité. Pour éviter d'amplifier les oscillations parasites apparaissant en phase sur les

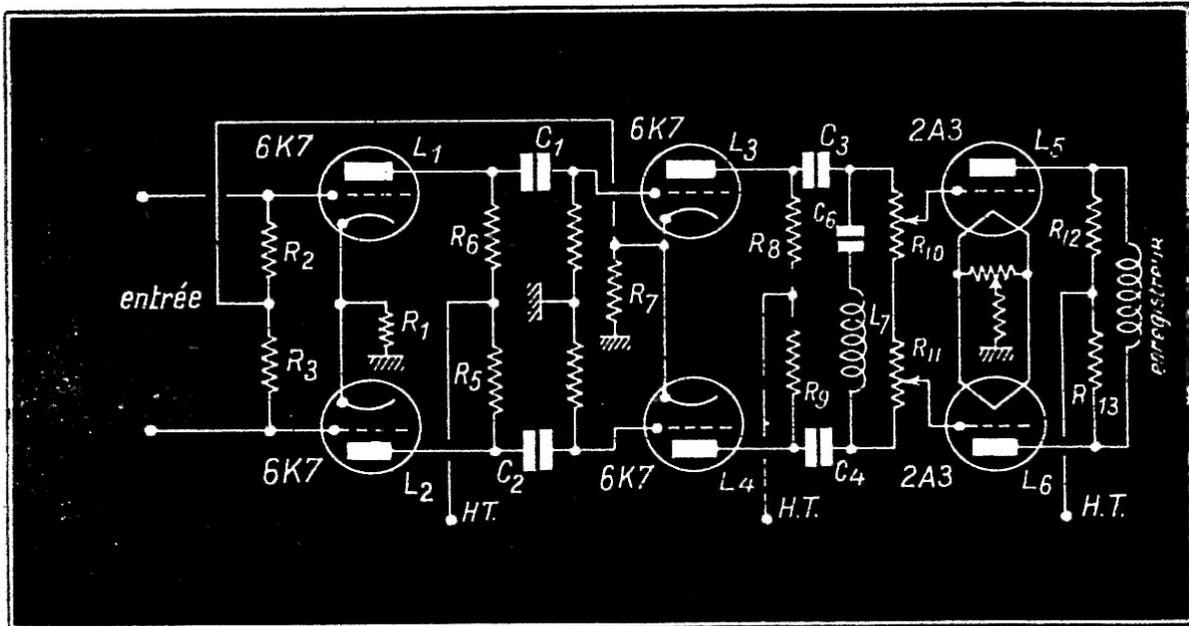


Fig. IV-14

deux grilles d'entrée, on utilise la contre-réaction. Dans ce but, il n'y a pas de condensateur en dérivation sur la résistance  $R_1$ ; de plus, les cathodes des lampes  $L_1$  et  $L_2$  sont reliées au point commun de  $R_2$  et  $R_3$ . Une augmentation des tensions appliquées en phase sur les grilles des lampes  $L_1$  et  $L_2$  provoque une augmentation du courant anodique et, par suite, une augmentation de la tension de cathode qui freine l'accroissement du courant anodique. Par contre, des tensions symétriques par rapport à la masse, appliquées aux grilles des lampes  $L_1$  et  $L_2$ , sont normalement amplifiées. Une de ces tensions est, par exemple, positive quand l'autre est négative.

L'étage de sortie est constitué par deux lampes 2A3 montées en push-pull et couplées à un enregistreur. Pour des fréquences aussi basses, il ne peut être utilisé de transformateurs pour les couplages entre étages. On a adopté des triodes pour l'étage final parce qu'elles ne donnent qu'un minimum de distorsion lorsque l'impédance de sortie est mal adaptée à la résistance interne des lampes. La position du point commun à  $R_{12}$  et  $R_{13}$  doit pouvoir être ajustable pour compenser un mauvais équilibre provenant éventuellement des différences de caractéristiques des lampes. Le filtre constitué par  $L_7$  et  $C_6$  est accordé sur la fréquence du secteur d'alimentation; il rend l'amplificateur pratiquement insensible pour cette fréquence.

Divers expérimentateurs ont utilisé, comme appareils indicateurs, l'oscillographe cathodique, le galvanomètre à fil, l'oscilloscope à miroir, etc. Ces appareils ont l'inconvénient de mal

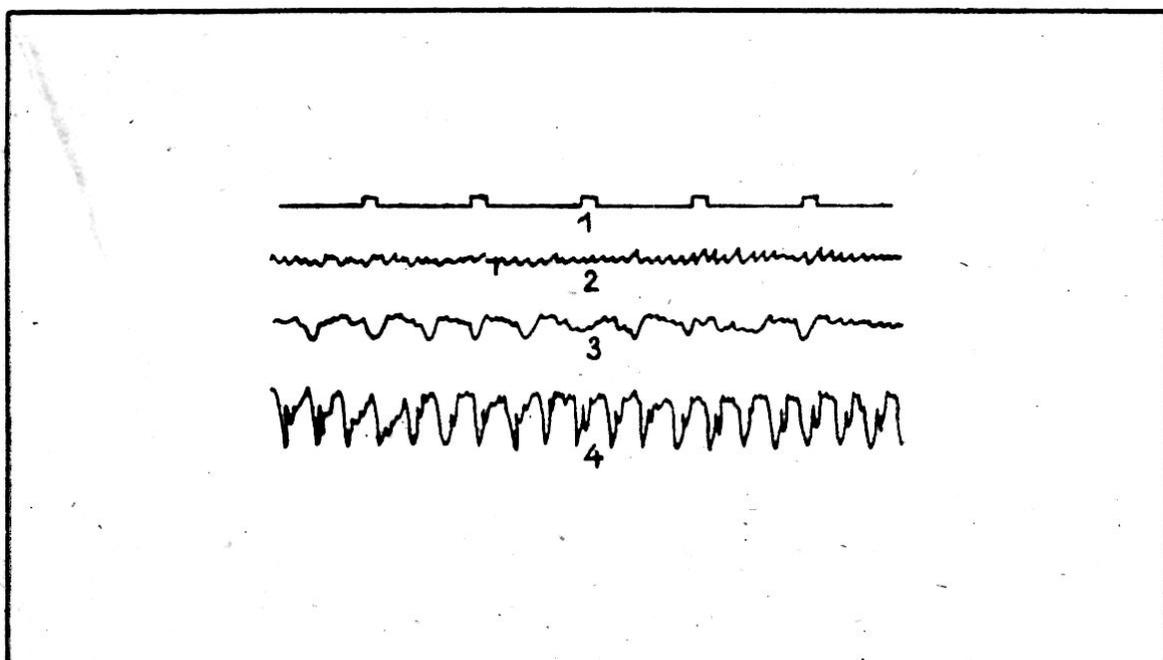


Fig. IV-15

se prêter à l'enregistrement, la photographie n'étant pas commode pour une observation de longue durée.

Le dispositif utilisé par Rahm utilise un enregistreur à ruban de papier. Le stylet à encre est commandé par un « moteur » analogue à ceux des hauts-parleurs électrodynamiques à aimants permanents. La bobine mobile de 300 ohms de résistance est reliée à un système de levier qui amplifie sept fois ses déplacements. La sensibilité de l'ensemble amplificateur-enregistreur est de 2 microvolts pour un déplacement du stylet de 1 millimètre. Le sujet à étudier est placé dans une cabine blindée, et des électrodes de dimensions réduites sont collées sur sa tête. Ces électrodes sont reliées à l'amplificateur par des fils convenablement isolés.

Les études entreprises dans divers pays ont donné des résultats encourageants. Elles ont démontré, par exemple, que l'allure des courbes de potentiel est caractéristique dans le cas de désordres du système nerveux. L'épilepsie donne des courbes hachées, et les tumeurs cérébrales donnent des courbes dites en delta. La figure IV-15 reproduit quelques courbes typiques. Cette branche de la science médicale est encore très récente, et de nombreux chercheurs ne cessent de la perfectionner.



# LA NAVIGATION MARITIME ET AERIENNE

---

L'électronique a permis d'établir des instruments pour la navigation et le repérage. La précision et la sûreté de fonctionnement obtenues font que ces instruments sont utilisés sur une échelle de plus en plus grande. Les méthodes électroniques ne sont pas obligatoirement plus intéressantes que les méthodes classiques; elles ne les supplantent pas, mais les complètent dans les cas où ces dernières sont inutilisables (mauvaises conditions atmosphériques par exemple).

## **L'électronique et l'aviation.**

En plus des appareils de communication radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques, divers appareils électroniques sont venus récemment accroître la précision et la sécurité de la navigation aérienne.

Des récepteurs perfectionnés donnent automatiquement la fréquence et la distance d'une station émettrice. D'autres permettent de recevoir simultanément des émissions radiotéléphoniques et radiotélégraphiques; l'appareil sépare ces émissions de telle sorte que l'on peut entendre la voix transmise et utiliser les signaux Morse pour le repérage de la direction à suivre. Ces dispositifs, spécifiquement radioélectriques, font partie de la technique des récepteurs et sortent du cadre de cet ouvrage.

Enfin, l'aviation utilise de plus en plus les radiogoniomètres, automatiques ou non, et les systèmes d'atterrissage sans visibilité. Ce sont ces applications que nous allons étudier.

## **Protection contre les parasites dus aux particules électrisées de l'atmosphère.**

Dans l'atmosphère, existent des particules susceptibles d'être électrisées: poussière, neige, pluie, brouillard, etc. Ces particules troublent les réceptions radioélectriques, en particulier sur la bande de 200 à 300 kilohertz.

Pour éviter cela, une solution consiste à soustraire le circuit extérieur du récepteur à ces charges électriques: l'antenne

est remplacée par un cadre isolé des champs électrostatiques extérieurs à l'aide d'une gaine métallique. Cette gaine ne doit pas constituer une spire en court-circuit qui s'opposerait à toute réception (loi de Lenz); elle est interrompue sur une courte longueur et remplacée par un isolant. Le récepteur reste sensible au champ électromagnétique, mais est insensible au champ électrostatique provenant des charges électriques.

Toutefois, cette solution simple n'est pas parfaite et certains ingénieurs américains ont proposé une autre solution. Un fil fin, long de plusieurs mètres, est fixé à la queue de l'avion et « traîné » derrière lui. Une résistance de valeur élevée est intercalée entre l'avion et ce fil métallique qui se comporte comme un corps à angles aigus par suite de son faible diamètre. On sait que les arêtes vives favorisent la réception ou le départ des charges électriques (effet Corona). Pratiquement, la résistance qui fait écouler les charges statiques est constituée par un fil d'amiante imprégné de carbone. L'effet Corona n'est pas supprimé, mais il est localisé relativement loin de l'avion, et c'est pourquoi son action sur le récepteur se trouve atténuée.

### Les Radio-Compas.

Rappelons brièvement le principe de la radiogoniométrie : le fait que les ondes émises par un poste émetteur radioélectrique se propagent à la surface de la terre, suivant des grands cercles passant par l'émetteur, permet le repérage de celui-ci. Le dispositif le plus souvent utilisé dans ce but est le récepteur à cadre.

Un cadre est essentiellement constitué par une carcasse sur laquelle sont enroulés une ou plusieurs spires de fils situées dans des plans parallèles voisins. La force électromotrice produite par un cadre de forme quelconque sera :

$$u = 2 \pi \varepsilon N \frac{\text{surface du cadre}}{\lambda} \cos \theta$$

formule dans laquelle

$\varepsilon$  = intensité du champ en volts par mètre

$N$  = nombre de spires du cadre

$\lambda$  = longueur de l'onde reçue, en mètres

$\theta$  = angle formé par la direction de l'émetteur avec le plan du cadre.

Le signal reçu par le cadre est amplifié par un récepteur et agit sur des écouteurs ou sur un indicateur visuel. Le signal

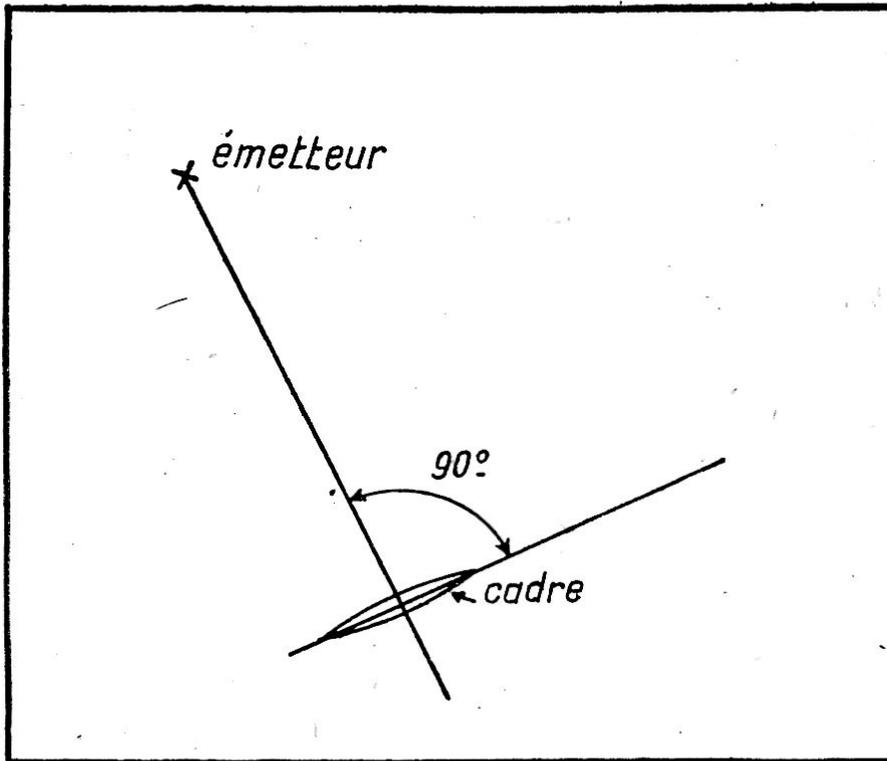


Fig. V-1

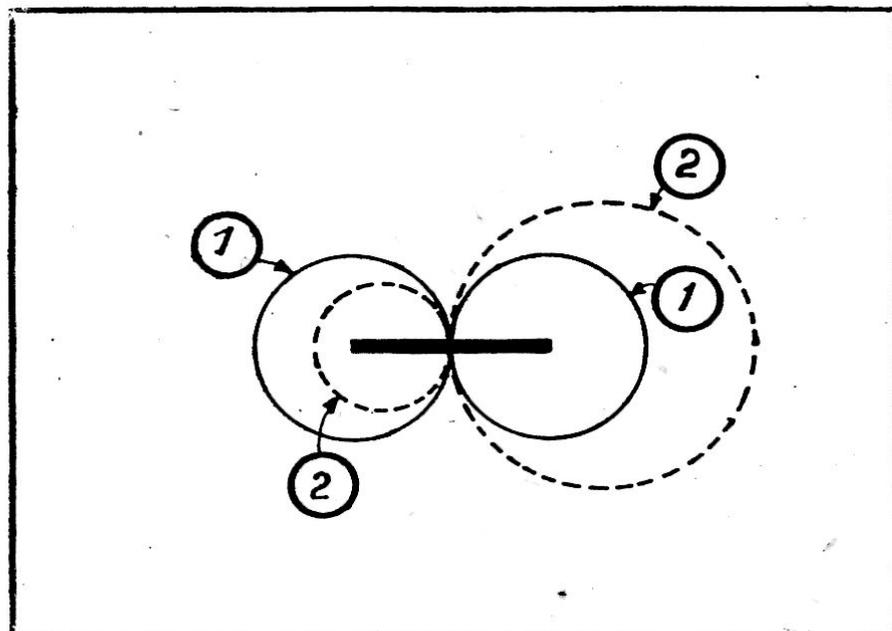


Fig. V-2

reçu donnera une indication minimum lorsque le plan du cadre sera perpendiculaire à la direction de l'émetteur (fig. V-1).

Avec ce dispositif simple, il n'est pas possible de savoir à quelle face du cadre correspond la direction de l'émetteur; on a une incertitude de 180 degrés. L'indécision peut être levée à l'aide d'une antenne verticale combinée avec le cadre. La courbe 1 de la figure V-2 donne la sensibilité du cadre seul

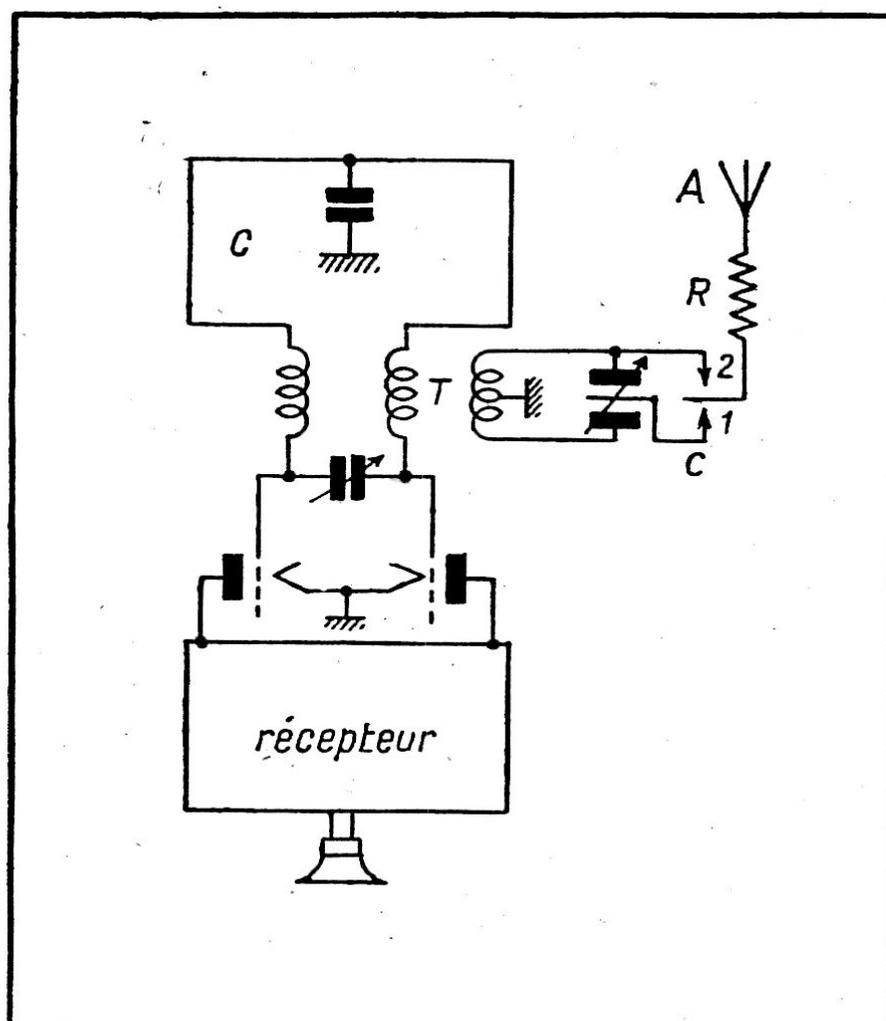


Fig. V-3

dans les diverses directions du plan horizontal. La courbe 2 montre l'effet d'une antenne verticale placée près d'un côté du cadre : cette dernière augmente la sensibilité de l'ensemble dans une direction et la diminue dans l'autre.

L'ensemble du dispositif est schématisé dans la figure V-3. On commence par orienter le cadre de façon à avoir le signal minimum, l'antenne n'agissant pas (position 1 de la clé C). On obtient ainsi la direction de l'émetteur... ou la direction opposée. Le cadre est alors décalé de 90 degrés ce qui assure la réception maximum, et l'on connecte l'antenne par la position 2 de la clé C. Suivant que cette dernière opération augmente ou diminue l'intensité de la réception, on déduira que l'émetteur est dans un sens, ou dans l'autre. C'est ce que l'on appelle la levée de doute.

La résistance R — quelques milliers d'ohms — placée en série avec l'antenne verticale A permet d'avoir un courant en phase avec la tension induite et indépendant de la fréquence.

Le transformateur T permet le couplage du circuit d'antenne et du circuit du cadre avec la phase convenable.

Lorsque les ondes se propagent à la surface du sol, le champ électrique à la réception est verticale. Par contre, si les ondes reçues ont subi une réflexion sur la couche d'Heaviside et si elles ont suivi un trajet indirect, l'extinction du signal est beaucoup moins nette parce que le champ n'est plus vertical. La réflexion sur les couches ionisées d'Heaviside ne se produit guère que la nuit. C'est pourquoi l'effet perturbateur qui en résulte a été dénommé *effet de nuit*. La figure V-4 montre le mécanisme de propagation des ondes directes et indirectes.

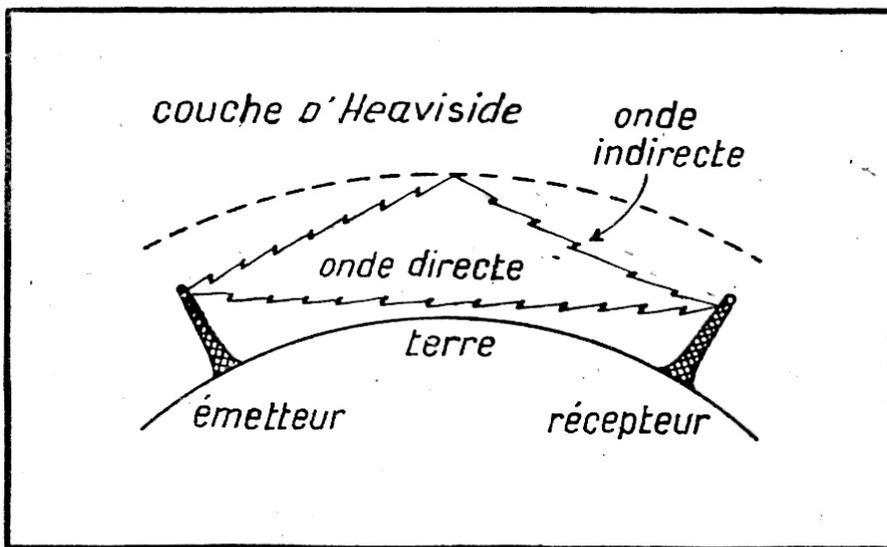


Fig. V-4

L'erreur provenant de l'effet de nuit peut être importante. Malgré cet inconvénient, la méthode de repérage par goniomètre à cadre rend des services importants. La précision peut atteindre un demi-degré dans les meilleures conditions; elle est d'autant plus faible que la distance de l'émetteur est plus grande. De jour, il est possible de repérer de façon satisfaisante une station distante de 300 kilomètres fonctionnant sur une fréquence de 500 kilohertz.

On distingue en radiogoniométrie deux catégories d'installations: la première dans laquelle on a un émetteur terrestre fixe et un radiocompas mobile sur le bateau ou l'avion; la deuxième avec le radiocompas fixe et l'émetteur mobile.

### Antenne Adcock.

L'antenne Adcock permet d'éliminer l'effet de nuit. On remplace le cadre par des antennes verticales (fig. V-5) qui fonctionnent comme les branches verticales d'un cadre. Comme dans le cas de ce dernier, la différence de potentiel utilisable est

due à la différence des tensions créées dans les branches verticales. *La composante horizontale des ondes indirectes est sans effet.* L'antenne Adcock permet de repérer des émetteurs distants de plusieurs centaines de kilomètres et travaillant sur des fréquences atteignant 5 mégahertz.

L'antenne Adcock se comporte comme les branches verticales d'un cadre ayant une seule spire; la tension utilisable est donc très faible. Pour qu'elle soit suffisante, il est nécessaire d'avoir des antennes de grandes dimensions. C'est pourquoi ce dispositif ne peut pratiquement être utilisé que pour des installations fixes terrestres.

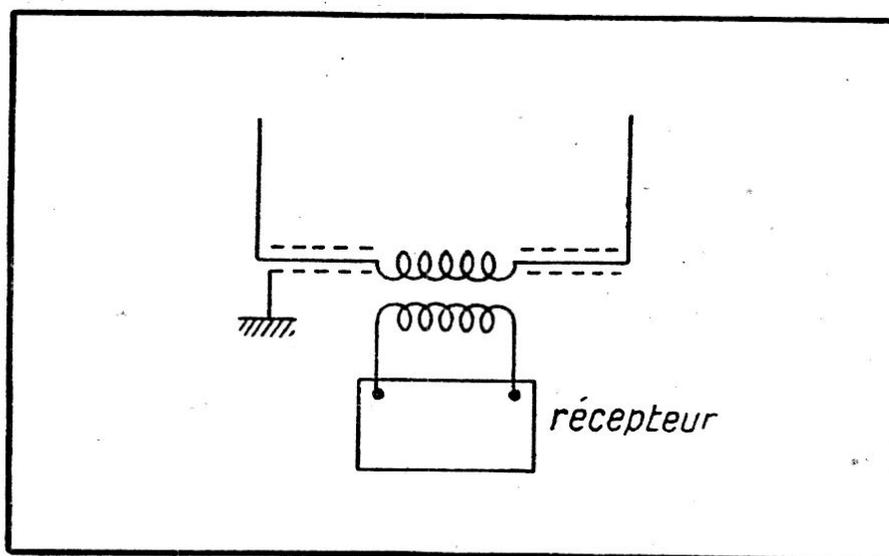


Fig. V-5

### Dispositifs goniométriques.

Les cadres de radiogoniométrie ou les antennes Adcock peuvent avoir de grandes dimensions qui en rendent la rotation difficile. On évite cet inconvénient en utilisant deux cadres ou deux antennes Adcock en croix (fig. V-6 et V-7). Un premier cadre  $C_1$  est relié à deux enroulements primaires  $P_1$  et  $P_2$  placés dans des plans parallèles. Le second cadre  $C_2$  est relié à deux autres enroulements primaires  $P_3$  et  $P_4$  placés dans des plans perpendiculaires aux premiers. Un enroulement secondaire *chercheur*  $S$  est placé de telle manière que l'induction mutuelle entre chaque paire d'enroulements primaires et l'enroulement secondaire soit proportionnelle au cosinus de l'angle formé par les enroulements.

Ainsi, pour chaque portion du secondaire, le signal reçu sera proportionnel à ce qu'il aurait été avec un cadre ou une antenne fonctionnant suivant les principes énoncés dans le paragraphe précédent.

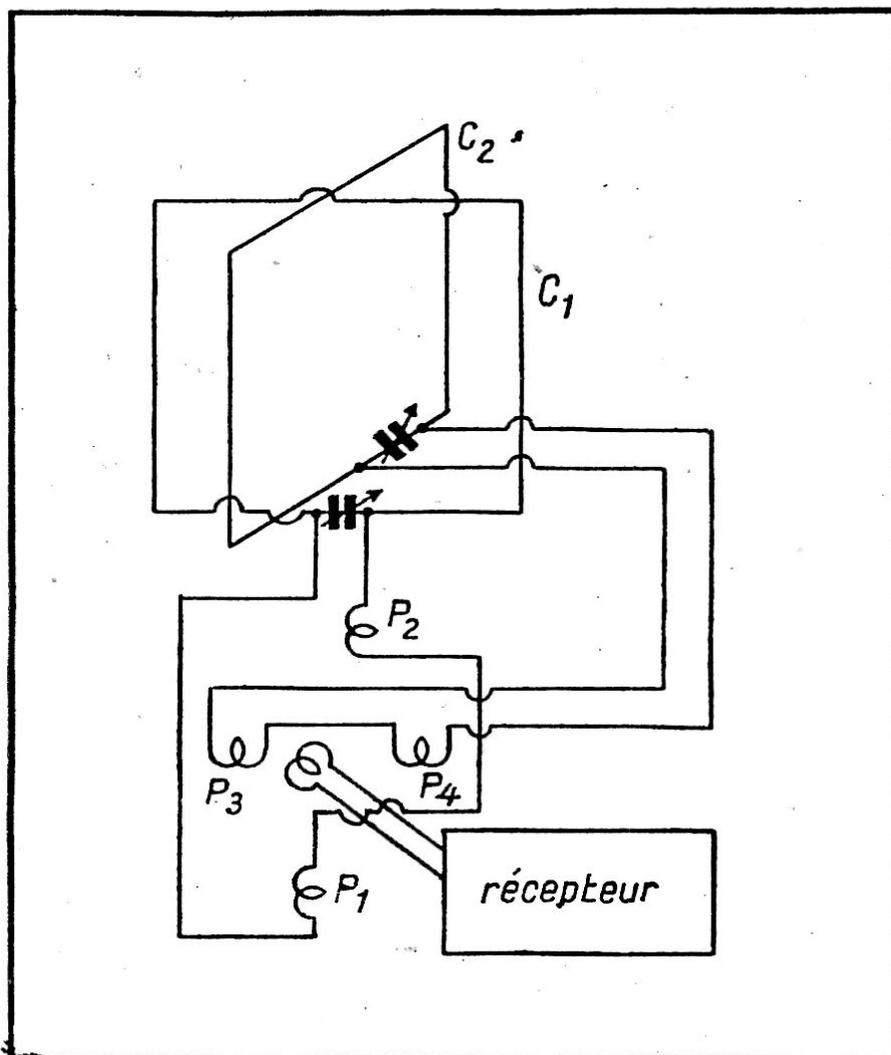


Fig. V-6

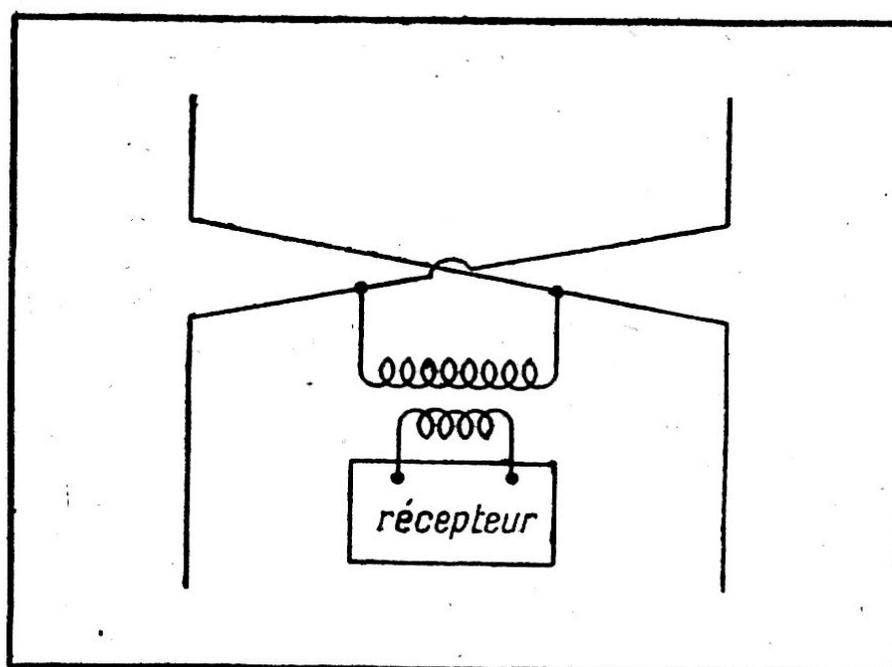


Fig. V-7

Fig. V-8

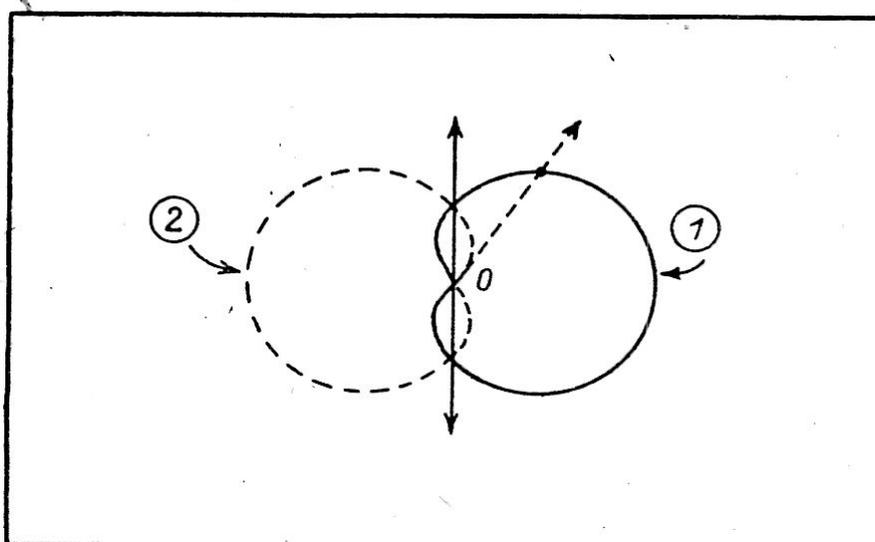
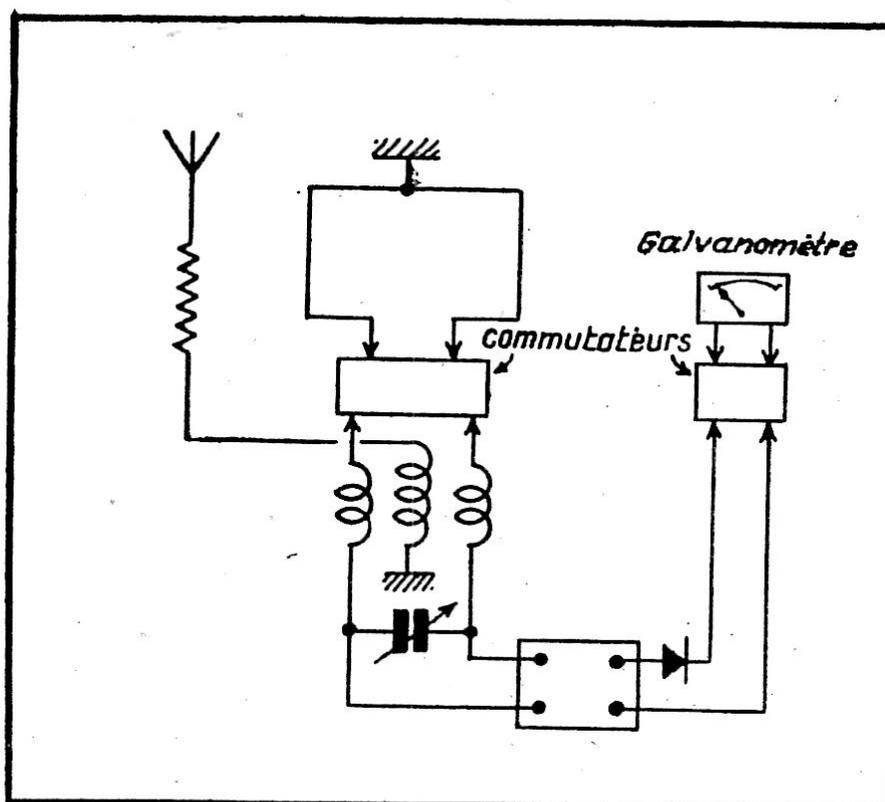


Fig. V-9

### Le « Homing ».

Le dispositif connu sous le nom de *Homing* est plus particulièrement destiné à faciliter le voyage d'un engin mobile (avion ou navire) vers un point déterminé. Il donne directement, sur un appareil de mesure, l'angle que font la direction de l'émetteur et l'axe de l'engin mobile.

Un schéma type est représenté dans la figure V-8. Dans ce dispositif, un cadre et une antenne constituent un dispositif

asymétrique directif. Le signal reçu et démodulé est transmis à un galvanomètre à zéro central. Un commutateur inverse continuellement le sens des connections du cadre, si bien que le diagramme de la sensibilité de l'ensemble affecte alternativement les formes des courbes 1 et 2 de la figure V-9. Un second commutateur, synchronisé avec le premier, inverse continuellement la tension démodulée avant qu'elle ne soit transmise au galvanomètre. Ce dernier indique la différence de potentiel, amplifiée et détectée, correspondant aux deux positions du commutateur.

Le galvanomètre déviara vers la droite ou la gauche suivant que le grand axe de l'avion sera dirigé vers la droite ou vers la gauche de l'émetteur. Si le cadre est perpendiculaire à la direction de l'émetteur, la tension fournie par l'ensemble antenne-cadre est la même pour les deux positions du commutateur. Des courants égaux et opposés traverseront successivement le galvanomètre qui, par suite de l'inertie de son équipage, ne déviara pas.

De nombreuses variantes ont été apportées à ce principe. Dans certaines réalisations, c'est l'antenne qui est branchée successivement vers chacune des bornes d'entrée de l'amplificateur. Enfin, le commutateur mécanique est souvent remplacé par un commutateur électronique composé uniquement de lampes amplificatrices à l'exclusion de tout organe mobile.

Le Homing est donc un dispositif relativement simple qui ne nécessite ni lectures ni réglages délicats. Il est souvent utilisé pour guider un navire vers sa base ou un avion vers son aéroport ou un navire porte-avions.

### **Le guidage radioélectrique.**

L'aéronautique emploie, de plus en plus, pour guider les avions des installations appelées *radiophares*. Ce sont des appareils qui émettent autour d'eux des signaux différents dans des secteurs bien déterminés. D'après les caractéristiques de la réception, le pilote peut savoir dans quel secteur il se trouve.

Un des systèmes les plus connus utilise des cadres croisés (fig. V-10). Lorsque le cadre  $C_1$  est parcouru par un courant haute-fréquence, il émet un champ dont l'intensité dans une direction quelconque est proportionnelle à la distance du point O au point intersection de la courbe (1) avec la direction choisie: OM par exemple. Cette courbe, dite *d'équisignal*, est une cardioïde.

De même, le cadre  $C_2$  a pour courbe d'équisignal la courbe (2). La figure s'applique au cas de cadres identiques parcourus

par des courants égaux. Dans les directions OA, OB, OC et OD les deux cadres émettent des signaux égaux. Si l'on établit une commutation des deux cadres telle qu'ils fonctionnent tour à tour, en envoyant des signaux « Morse » complémentaires — lettre A (. —) et lettre N (— .) — les signaux émis dans les directions OA, OB, OC et OD donneront, à la réception, un trait continu. Dans les autres directions, on entendra soit la lettre A, soit la lettre N.

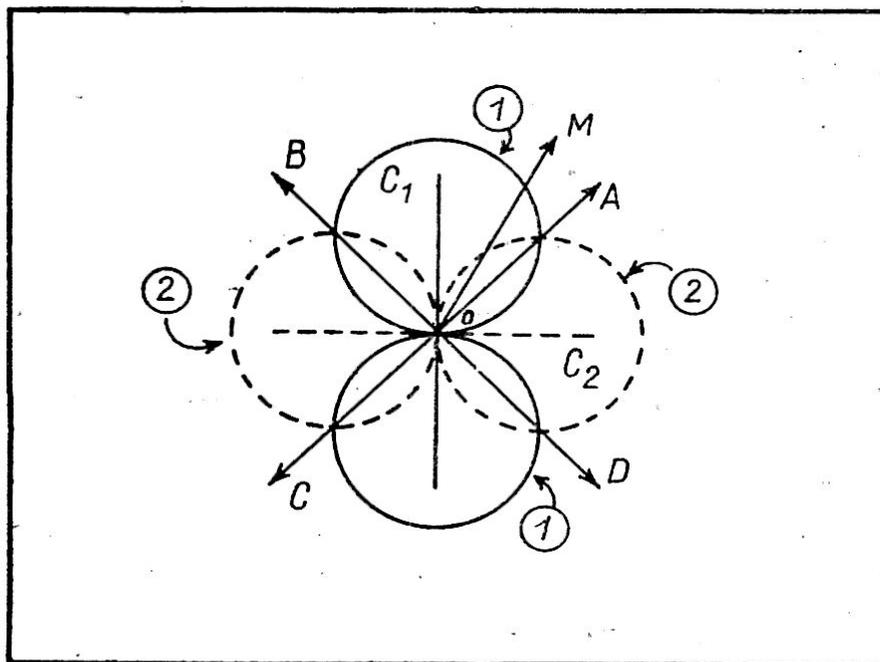


Fig. V-10

Diverses variantes de ce système ont été utilisées. C'est ainsi que l'on peut modifier les angles des directions OA, OB, OC et OD, soit en envoyant dans les cadres des courants différents, soit en ajoutant au rayonnement des cadres celui d'une antenne verticale auxiliaire. Très souvent les cadres sont remplacés par deux antennes Adcock croisées.

La fréquence utilisée est généralement comprise entre 200 et 300 kilohertz. L'emploi des antennes Adcock a l'avantage de donner un champ ayant une plus faible composante horizontale, ce qui diminue l'effet de nuit.

Pour permettre une appréciation de la position de l'avion, sans avoir à utiliser le casque téléphonique, on peut employer un indicateur visuel placé sur le tableau de bord. Pour cela, les deux systèmes d'antennes émettent des signaux modulés à des fréquences différentes — 65 et 86,7 cycles par seconde, par exemple — et un fréquencemètre à lames vibrantes est connecté à la sortie du récepteur. Suivant que les deux lames

correspondant aux deux fréquences vibrent séparément ou simultanément, le pilote déduit le secteur dans lequel se trouve son avion.

Avec des antennes bien construites, dans lesquelles les parties horizontales sont bien symétriques, on peut obtenir un guidage précis jusqu'à 150 kilomètres, de nuit ou de jour, avec des fréquences de 200 à 300 kilohertz.

Les systèmes à cadre ont une portée plus réduite dans les mêmes conditions (moitié environ). La largeur du secteur d'émission est égale à 5 ou 10 % de la distance de l'émetteur. Le guidage par radiophare est actuellement utilisé par plusieurs compagnies de navigation aérienne, tant en Europe qu'en Amérique.

### **Le Radio-Compas automatique.**

Le développement de plus en plus grand de la navigation aérienne crée une demande importante d'appareils de bord d'un fonctionnement sûr et aussi automatique que possible.

Le radio-compas — constitué par un cadre récepteur et un écouteur ou indicateur visuel — fournit des relèvements assez précis. Par contre, sa manœuvre est assez délicate car elle oblige l'opérateur à faire tourner le cadre pour obtenir la position du minimum de réception. Un bon radio-compas doit, entre autres, satisfaire aux conditions suivantes :

a) La direction indiquée par l'appareil doit dépendre de l'angle que font la direction de l'émetteur et le plan du cadre. Elle doit être indépendante du réglage des circuits.

b) L'appareil ne doit pas être sensible à des interférences produites par des émetteurs de fréquences voisines de la fréquence utilisée. Nous décrirons sommairement deux radio-compas que l'expérience a montré particulièrement intéressants.

### **Un radio-compas automatique à cadres tournants.**

Parmi les nombreux radio-compas qui ont été réalisés, nous décrirons celui de Mr. Busignies. Cet appareil, d'un fonctionnement sûr, a fait l'objet de nombreuses réalisations par la Société L.M.T. Citons, en particulier, le radio-compas RC5 schématisé dans la figure V-11.

Un cadre C entraîné par un moteur M tourne à une vitesse de 5 tours par seconde. Sous l'influence du champ de l'émetteur, le cadre produit une force électromotrice modulée à 10 cycles par seconde. Sur l'axe du moteur M est un générateur

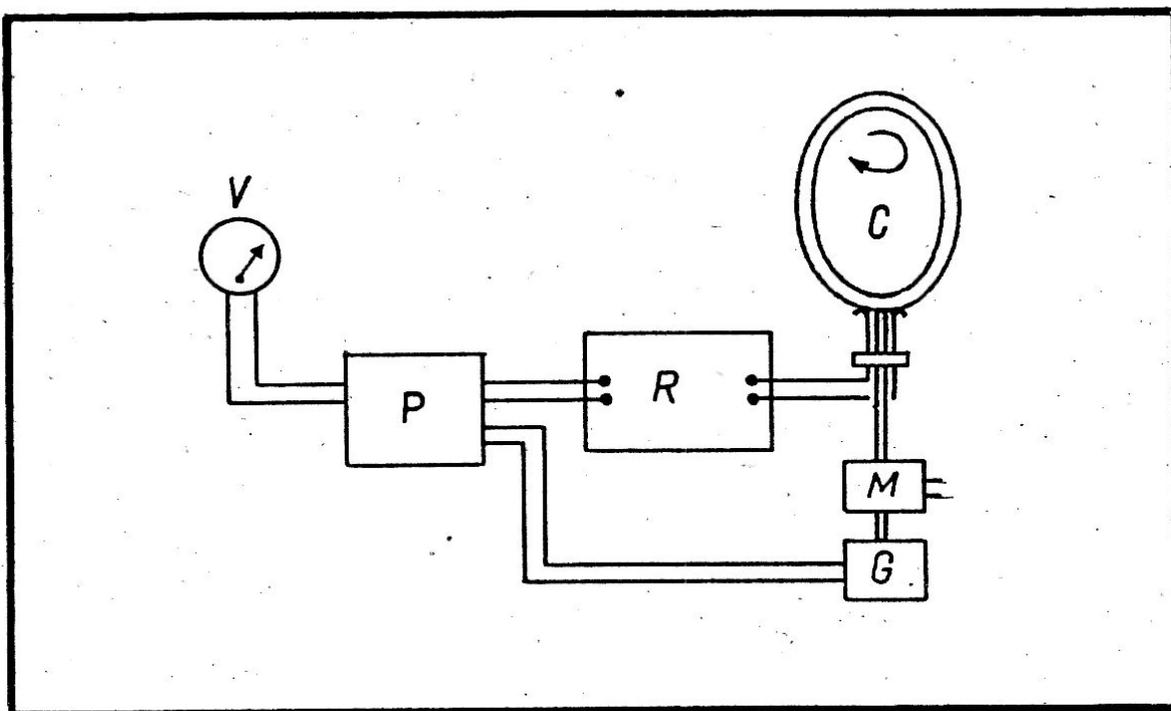


Fig. V-11

G qui fournit un courant alternatif ayant lui aussi une fréquence de 10 cycles par seconde, mais avec un angle de phase déterminé par rapport à l'axe de l'aéronef.

Le signal fourni par le cadre est amplifié et détecté par le récepteur R. Un phasemètre P mesure l'angle de déphasage entre la tension produite par le générateur et la tension issue du cadre. On obtient ainsi l'angle que font l'axe de l'avion et l'onde incidente. Cet angle est lu directement en degrés sur un indicateur visuel V.

Le pilote, même s'il est seul à bord, peut naviguer en se dirigeant vers un émetteur *homing system* dans le genre de ceux qui ont été décrits dans les paragraphes précédents.

Il lui suffit de régler le récepteur sur la longueur d'onde du poste émetteur, et de maintenir constamment au zéro l'aiguille de son indicateur pilote. Par ailleurs, il peut prendre les relèvements d'une station quelconque, la position de l'aiguille sur le cadran gradué de 0 à 360° lui donnant la direction de l'émetteur. Cet appareil est particulièrement utile dans les cas de navigation sans visibilité.

### Un radio-compass à oscillographe cathodique.

Le principe du radio-compass à oscillographe de J. Hefele consiste à amplifier et à combiner les signaux reçus par une antenne et un cadre. La figure V-12 donne une représentation

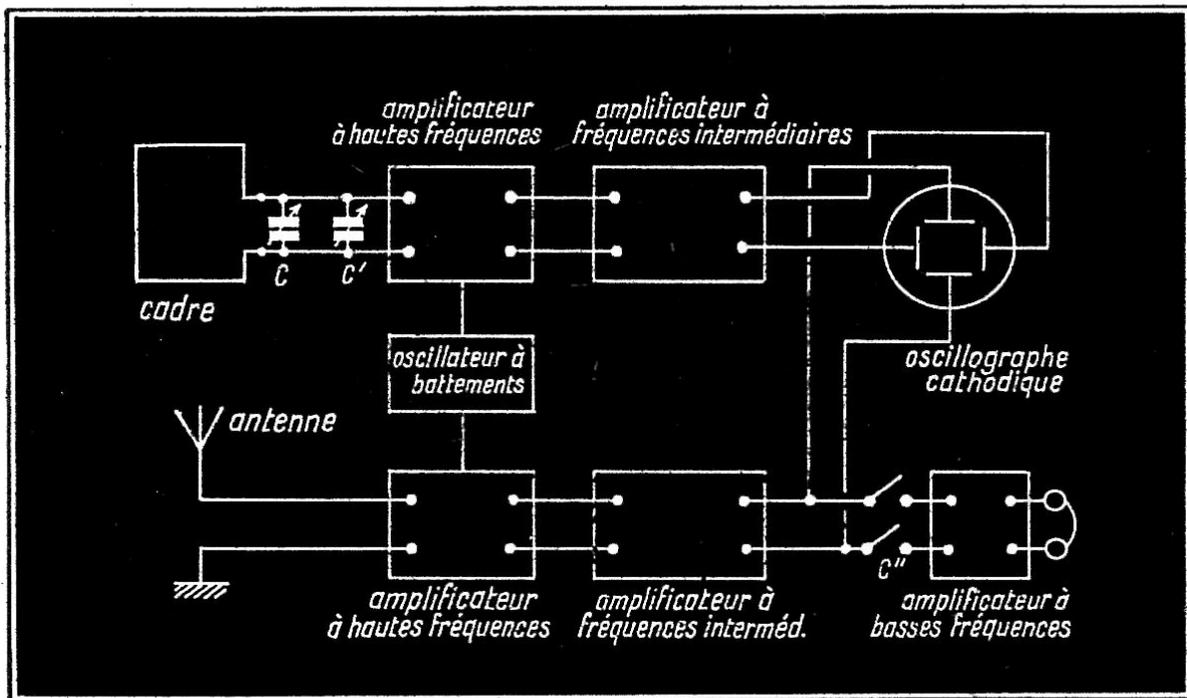


Fig. V-12

schématique de l'ensemble. L'antenne, constituée par un mât situé à l'extérieur de l'avion, donne une différence de potentiel proportionnelle au champ produit sur elle par la station émettrice.

Cette différence de potentiel est amplifiée et transmise aux plaques de déflexion d'un oscillographe cathodique, ce qui provoque une déviation verticale du spot lumineux sur l'écran. Le circuit du cadre est accordé par le condensateur C sur la fréquence de l'émetteur que l'on désire repérer. On sait que le cadre donne à ses bornes une différence de potentiel qui est maximum lorsque son plan passe par l'émetteur, et minimum lorsqu'il est perpendiculaire à la direction de l'émetteur. La tension alternative recueillie par le cadre est amplifiée et transmise aux plaques de l'oscillographe qui donnent une déviation horizontale du spot lumineux.

On peut écouter l'émission reçue en connectant, à l'aide d'une clef C un détecteur et un amplificateur à basse fréquence. On entend ainsi la modulation du signal reçu par l'antenne.

La combinaison des signaux reçus par l'antenne et le cadre produit des *figures de Lissajon* sur l'écran de l'oscillographe. Ces figures se présentent sous la forme d'une ligne droite quand les plaques de déflexion verticales et horizontales reçoivent des signaux en phase. Dans les autres cas, une ellipse apparaît sur l'écran. Le condensateur C' permet de régler la phase du

signal produit par le cadre et d'obtenir ainsi une ligne droite sur l'écran fluorescent.

Lorsque le plan du cadre est perpendiculaire à la direction de l'émetteur, le signal fourni par le cadre est minimum. Le signal de l'antenne donne sur l'écran un trait vertical. Si le plan du cadre est perpendiculaire à l'axe de l'avion, c'est que ce dernier se dirige exactement vers l'émetteur.

Si l'avion dévie de sa route et prend une direction vers la droite ou vers la gauche de l'émetteur, le cadre recevra un signal tel que le trait lumineux sera dévié vers la droite ou vers la gauche. L'angle de déviation de ce trait dépend d'une part de la sensibilité antenne-amplificateur, d'autre part de la sensibilité cadre-amplificateur. En outre, il dépend évidemment de l'angle dont l'avion a dévié de sa route.

Le pilote règle le radio-compas sur un émetteur voisin de l'endroit qu'il veut atteindre, et ensuite manœuvre ses commandes pour *maintenir vertical le trait lumineux de l'écran fluorescent*.

Une panne d'amplificateur ne fausse pas la lecture, elle se traduit simplement par l'absence de la composante verticale ou horizontale sur l'écran fluorescent. Un oscillateur local à battements est utilisé pour les deux amplificateurs. Il provoque la création de deux signaux à fréquence intermédiaire ayant la même forme et la même fréquence. On a ainsi une amplification et des réglages de circuits très stables.

Lorsque le pilote vole vers la station émettrice, une déviation de l'avion vers la droite provoque une déviation à droite du trait lumineux. S'il s'éloigne de l'émetteur, la réaction est inversée — déviation du trait vers la gauche quand l'avion va plus à droite — et le pilote sait automatiquement dans quel sens va son appareil. Au moment du passage au-dessus de l'émetteur, les indications de l'oscillographe passent du sens *direct* au sens *inverse*, et produisent une tache circulaire qui s'éloigne peu à peu du centre. Le pilote peut d'ailleurs passer de l'indication directe à l'indication inverse à l'aide d'une clef d'inversion placée aux bornes du cadre.

Les perturbations dues aux charges statiques, produites par l'atmosphère, provoquent des troubles de faible durée sur l'écran fluorescent. Les variations de polarisation de l'onde reçue — effet de nuit — troublent peu cet appareil, une lecture étant toujours possible même si le trait lumineux se transforme en ellipse aplatie. Un brouillage par une station indésirable produit un deuxième trait moins visible que le premier; l'obser-

vation du trait principal reste toujours possible quand l'interférence n'est pas excessive. En tout cas, la discrimination visuelle est supérieure à la discrimination auditive d'un radio-compass ordinaire.

Le modèle utilisé par les avions garde-côtes américaines emploie un cadre de faibles dimensions (30 cm. environ) monté dans un carénage. La sensibilité du récepteur est telle qu'un champ de 2 microvolts par mètre produit la déviation totale sur l'oscillographe. La sensibilité de l'appareil peut être réglée de telle manière qu'une déviation de 2 degrés de l'avion donne une lecture de 15 à 20 degrés. On a ainsi une installation sensible et sûre, d'un emploi facile pour le pilote; c'est surtout par temps brumeux que le radio-compass à oscillographe peut rendre de grands services.

### L'atterrissage sans visibilité.

L'atterrissage des avions par temps de brume est une des opérations les plus délicates et les plus dangereuses de la navigation aérienne. Ce problème peut être divisé en deux parties:

- a) Le repérage de la direction du terrain d'atterrissage;
- b) La connaissance de l'altitude exacte de l'avion au voisinage du terrain d'atterrissage.

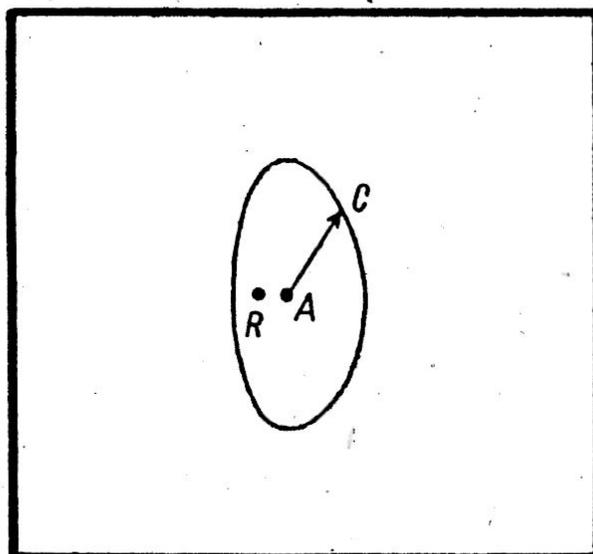


Fig. V-13

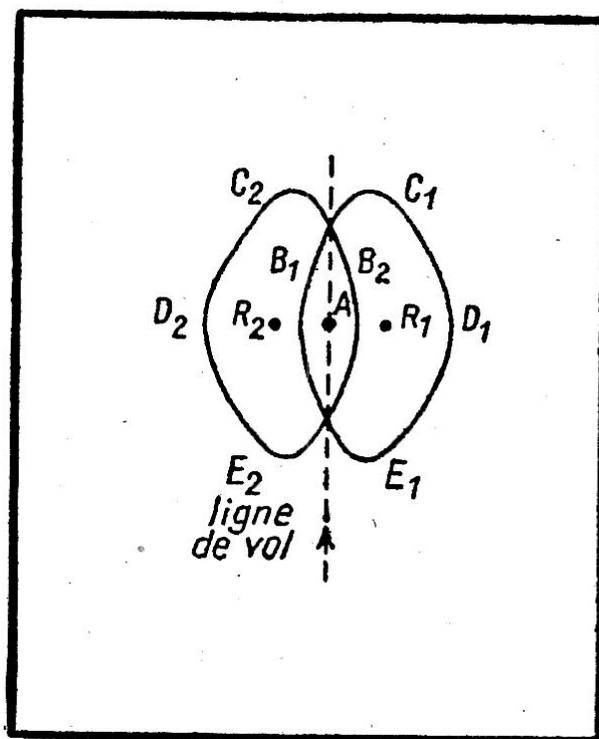
Les dispositifs radiogoniométriques, automatiques ou non, que nous avons décrits dans les paragraphes précédents, permettent de résoudre la première partie du problème. Par contre, la seconde doit faire l'objet de dispositifs spéciaux. En effet, l'altimètre ordinaire pour avion, basé sur la pression barométrique, a une précision généralement inférieure à 10 mètres, ce qui est insuffisant.

Des installations permettant de guider l'avion en direction et en hauteur, au voisinage du terrain d'atterrissage, ont été réalisées dans divers pays, notamment en Allemagne (Lorentz), aux Etats-Unis (Bendix) et en France (L.M.T.). Les systèmes Lorentz et L.M.T. présentent beaucoup d'analogies; nous décrirons sommairement une installation de ce genre.

Le guidage en direction est fait à l'aide d'une antenne verticale du type « dipole » dont la longueur totale est égale à la moitié de la longueur d'onde utilisée. Dans ce type d'antenne, la répartition du courant est symétrique par rapport à son centre.

En plaçant, à une distance égale à une demi-longueur d'onde, une autre antenne semblable (fig. V-13), on obtient un champ déformé ainsi que l'indique la figure. Un vecteur AC est proportionnel à l'intensité du champ dans la direction considérée. L'antenne A rayonne surtout dans une direction opposée à l'antenne R.

Fig. V-14



Cette antenne, dite *réflectrice*, peut n'être parcourue que par les seuls courants induits par l'antenne A; elle n'aura pas alors d'alimentation propre. Si l'antenne émettrice possède deux antennes réflectrices situées de part et d'autre (fig. V-14), et si chacune de ces antennes peut être successivement coupée en son centre par des commutateurs commandés à distance, on obtiendra deux courbes de champ. Quand R<sub>1</sub> sera coupée, on aura la courbe B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>E<sub>1</sub>; on aura la courbe B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>E<sub>2</sub> quand R<sub>2</sub> sera coupée.

L'antenne principale émet constamment une oscillation entretenue de 9 mètres de longueur d'onde modulée à 1.150 cycles par seconde. Les commutateurs placés aux centres des antennes fonctionnent de telle façon que la fermeture de l'un corresponde à l'ouverture de l'autre, et inversement. La première antenne  $R_1$  est interrompue pendant un intervalle très court correspondant aux « points » Morse, tandis que l'antenne  $R_2$  a des interruptions plus longues correspondant aux « traits » du système Morse.

Dans ces conditions, si le récepteur de l'avion est accordé sur 9 mètres, le pilote entendra des points ou des traits suivant que l'avion se trouve à droite ou à gauche de la « ligne de vol ». Sur cette dernière, le pilote entendra un signal continu modulé à 1.150 cycles par seconde.

Dans des installations récentes, les indications acoustiques sont doublées d'indications visuelles visibles sur le tableau de bord. Une aiguille dévie à droite ou à gauche suivant que l'avion est à droite ou à gauche de la « ligne de vol ». Enfin, une autre aiguille indique l'intensité du signal reçu, ce qui permet au pilote de savoir s'il se rapproche ou s'éloigne du terrain d'atterrissage.

Le guidage vertical, pour l'atterrissage proprement dit, est obtenu grâce au fait que la distribution du champ créé par l'antenne d'émission n'est pas uniforme; la direction de rayonnement maximum est inclinée sur l'horizon. La figure V-15 représente les courbes d'égale intensité du champ à haute fréquence émis par le système d'antennes dans un plan vertical. Le pilote n'aura qu'à se maintenir sur l'une de ces courbes pour atterrir convenablement.

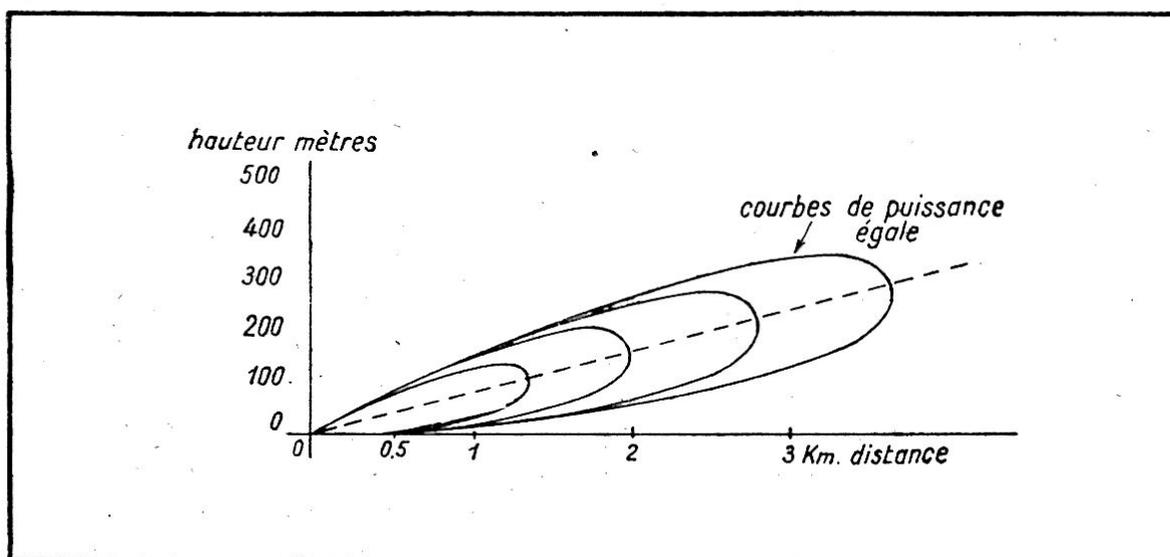


Fig. V-15

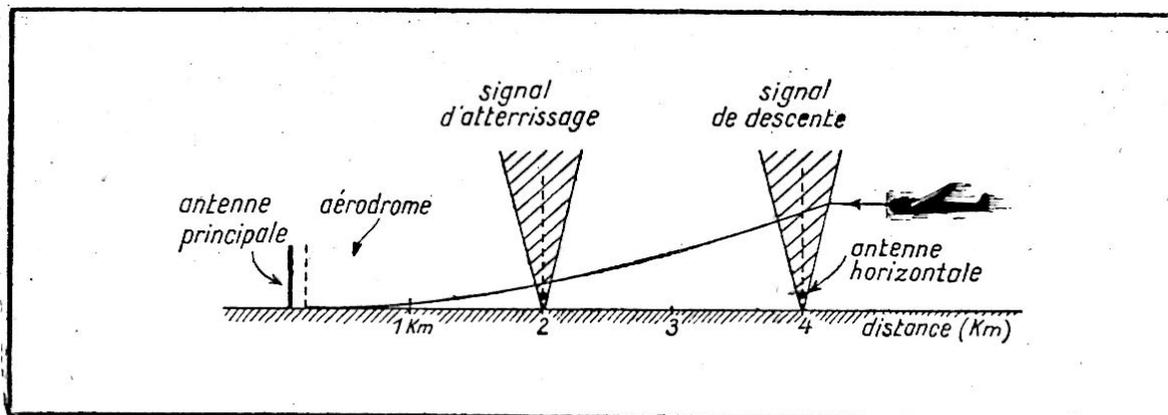


Fig. V-16

Toutefois, il est nécessaire que le pilote soit informé du moment précis où il doit commencer à suivre une courbe de champ égal, c'est-à-dire commencer à descendre. Ce moment lui est indiqué par une émission spéciale constituée par un faisceau vertical (fig. V-16). L'antenne correspondante est placée horizontalement à une demi-onde au-dessus du sol, et à 3 kilomètres environ de l'aérodrome.

L'émission de cette antenne est de faible puissance, et pratiquement n'est pas audible au-dessus de 600 mètres. Le signal, émis sur une onde de 7,9 mètres est modulé à une fréquence légèrement supérieure à celle de l'émission principale. De plus, elle est « découpée » en « traits » de  $4/10^{\circ}$  de seconde.

En passant au-dessus de l'antenne, à une hauteur de 180 mètres environ, le pilote capte le signal par l'intermédiaire d'un récepteur spécial et d'une antenne horizontale. Le pilote reçoit le signal « au casque » et voit une lampe au néon s'allumer pendant 10 secondes environ. Il manœuvre alors de manière à maintenir constante l'intensité de réception provenant de l'antenne principale. Son avion suit ainsi une des courbes de champ qui est tangente au terrain au point prévu pour l'atterrissage.

Lorsqu'il arrive à 500 mètres environ du bord de l'aérodrome, le pilote reçoit un deuxième signal dit « signal d'atterrissage » (fig. V-16). Ce signal, émis également sur 7,9 mètres, est modulé à une fréquence relativement basse et « découpé » en points brefs très rapprochés. Le pilote entend un bourdonnement, et une deuxième lampe au néon s'allume. L'avion se trouve alors à 24 mètres environ au-dessus du sol, et ce dernier est généralement visible. S'il ne l'est pas, le pilote peut poursuivre son vol en suivant les indications du cadran de puissance; mais cela est peu fréquent, les conditions de visibilité étant rarement aussi mauvaises.

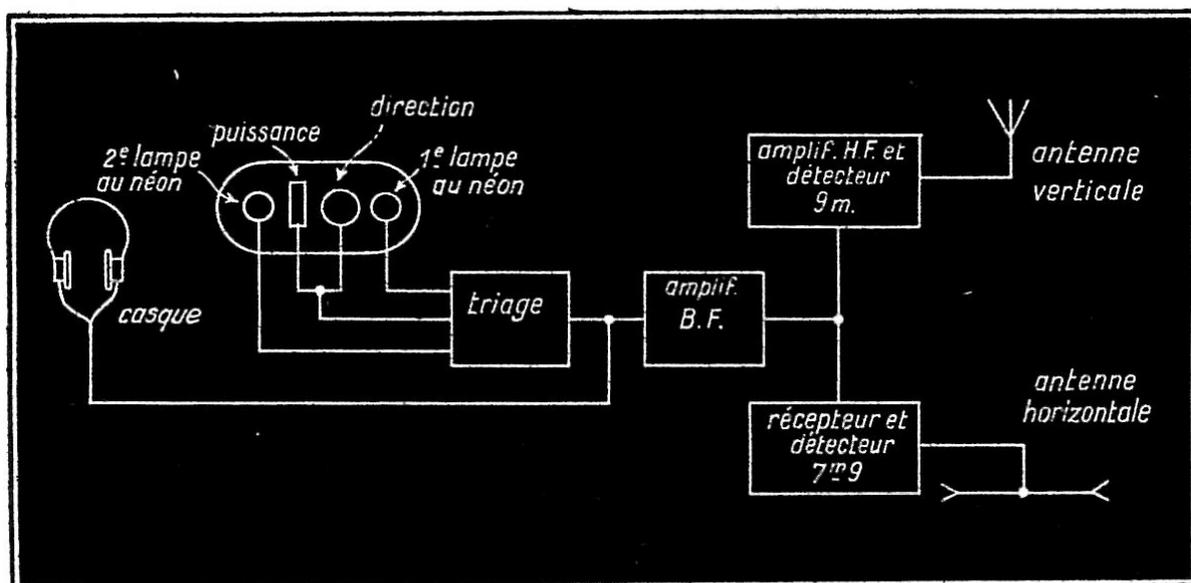


Fig. V-17

La figure V-17 représente le schéma de l'installation à bord de l'avion. Des installations réalisées à Berlin, Zurich, Hanovre, Munich, Troyes, etc. ont donné des résultats satisfaisants. Un entraînement spécial des pilotes est toutefois nécessaire.

### L'altimètre radioélectrique.

La connaissance de la hauteur au-dessus du sol, à laquelle se trouve un avion à un instant donné, est très importante pour sa sécurité. Les altimètres les plus employés jusqu'à présent sont basés sur le principe du baromètre, et donnent la hauteur de l'avion au-dessus du niveau de la mer. Connaissant l'altitude du terrain survolé, le pilote en déduit la hauteur au-dessus du sol.

Cette méthode ne tient compte ni des variations éventuelles de pression barométrique, ni des accidents de terrain dont la hauteur peut être très différente du niveau moyen du sol. La hauteur de ce dernier peut ne pas être connue avec précision, et peut même être absolument inconnue dans le cas d'un avion égaré.

On a construit des altimètres pour avions basés sur l'utilisation des ultrasons dont nous avons rappelé le principe dans le premier chapitre. Un signal ultrasonore est envoyé vers le sol. Le temps écoulé entre son émission et sa réception — après réflexion sur le sol — permet de calculer la hauteur effective au-dessus du sol.

L'inconvénient de ce genre d'appareils est que, avec les avions rapides modernes, le temps mis par le signal pour faire l'aller-

retour entre l'appareil et le sol devient relativement très important. Il s'en suit que l'indication d'altitude se trouve en retard et qu'elle ne correspond plus au terrain survolé. Cet inconvénient est surtout gênant dans le cas de régions à profil tourmenté. De plus, les ultrasons se propagent difficilement dans l'air.

Divers essais ont été faits, en particulier en Angleterre, au Japon et aux Etats-Unis sur des altimètres fonctionnant à l'aide d'ondes électromagnétiques. Un des systèmes les plus perfectionnés est celui de la *Western Electric* (fig. V-18).

Un émetteur envoie vers le sol un signal dont la fréquence change périodiquement. Ce signal qui est réfléchi par le sol revient comme un écho après un *temps égal à deux fois la hauteur divisée par la vitesse de propagation*. Pendant cet intervalle, la fréquence de l'émetteur a changé et diffère de celle de l'écho d'une quantité égale au *produit de la vitesses de changement par le temps d'aller-retour*.

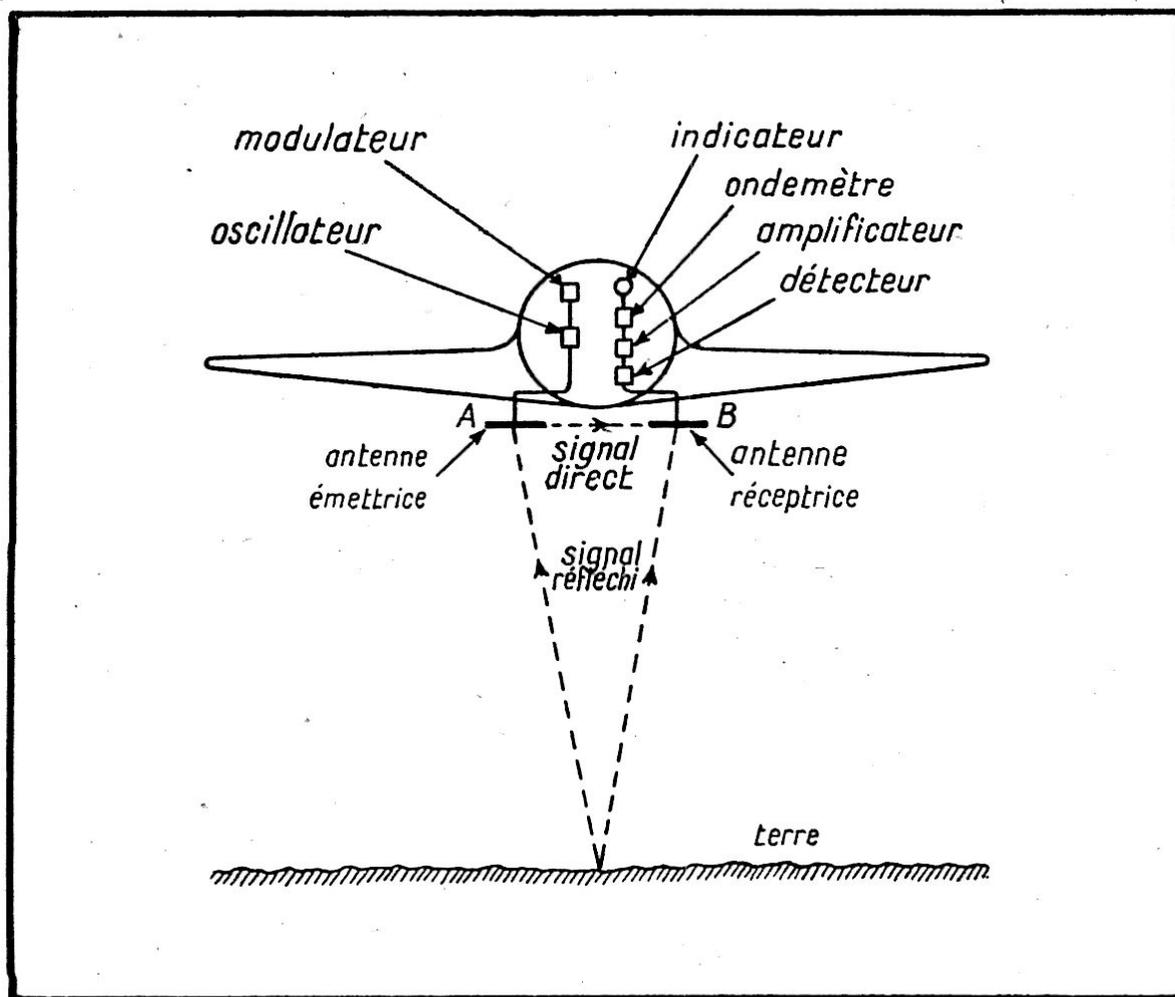


Fig. V-18

L'onde réfléchiée est combinée, dans le récepteur, avec une fraction de l'onde de départ. C'est la différence de fréquence de ces deux ondes qui est mesurée à l'aide d'un ondemètre; celui-ci peut être gradué directement en mètres. Dans le but d'avoir des antennes de faibles dimensions, et pour que la variation de fréquence soit faible vis-à-vis de la fréquence moyenne, on adopte pour cette dernière une valeur élevée (450 Mégahertz). La variation de fréquence est obtenue par l'emploi d'un condensateur tournant qui fait constamment changer la fréquence de l'émetteur. La lecture se fait directement sur un appareil de mesure *gradué en hauteur au-dessus du sol*.

### **Le repérage radioélectrique des objets métalliques (navires, avions, etc.).**

Le repérage radioélectrique des ensembles métalliques a fait, au cours de ces dernières années, l'objet de nombreux travaux tant en France qu'à l'étranger. Avant d'aborder les méthodes purement radioélectriques, rappelons brièvement quelles étaient les procédés précédemment employés.

Dans le cas des avions, le repérage par le son est en usage depuis de nombreuses années. Les méthodes les plus courantes utilisent la différence des effets produits sur les deux oreilles d'un observateur par les ondes sonores provenant d'une même source.

Deux pavillons réunis aux oreilles de l'observateur sont séparés par une certaine distance (base). L'intensité sonore est maximum lorsque l'objet source de bruit est dans une direction perpendiculaire à l'axe joignant les deux pavillons, et en son milieu. Suivant la distance des deux pavillons et la vitesse du son, on peut déduire la direction d'émission; il suffit pour cela de mettre en évidence le décalage résultant de la différence de trajet, lorsque l'engin à repérer n'est pas dans la direction de réception maximum.

Des appareils correcteurs donnent la position présente de l'avion en fonction de la « position ancienne » indiquée par l'appareil de repérage. Divers facteurs viennent fausser cette méthode: influence de la température de l'air sur la trajectoire des ondes sonores, vent, absorption des notes aiguës par l'atmosphère et le brouillard, etc. Les fréquences émises par un avion varient entre 100 et 600 périodes par seconde principalement; le son varie comme l'inverse d'une puissance comprise entre

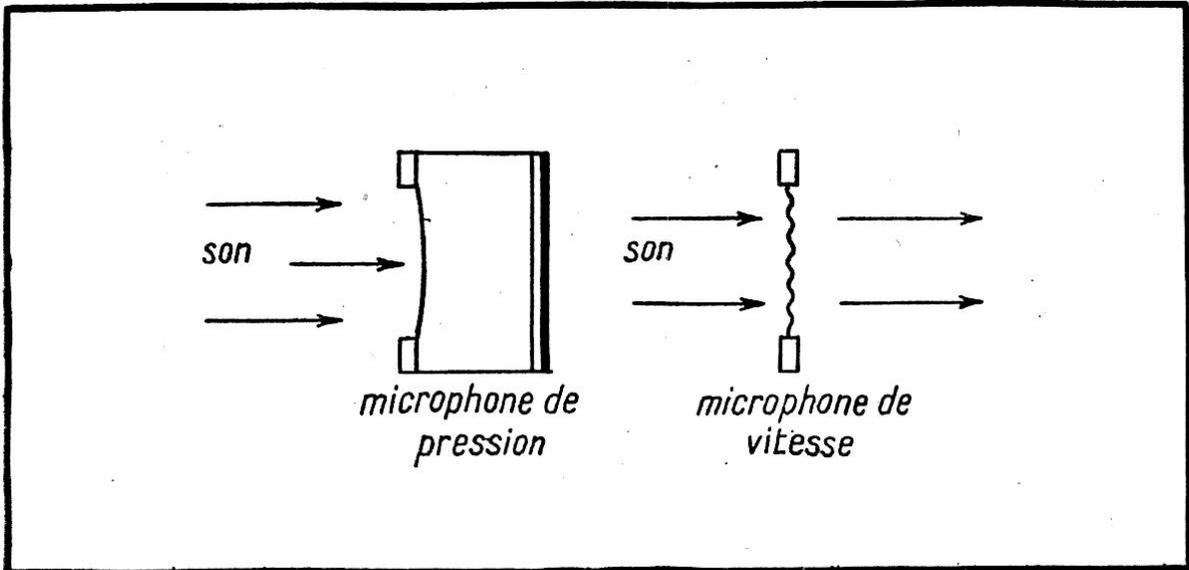


Fig. V-19

la quatrième et la sixième. Enfin, les caractéristiques propres de l'observateur et de l'appareil peuvent fausser les mesures.

En substituant le microphone à l'oreille humaine, on peut supprimer les inconvénients dus à l'observation uniquement acoustique et aux appareils d'amplification sonore. Le principe du repérage à l'aide de microphones consiste à remplacer les pavillons orthophoniques par deux microphones placés à une certaine distance l'un de l'autre.

Rappelons que les microphones à membrane peuvent être classés en deux catégories: les microphones de pression et les microphones de vitesses (fig. V-19). Les microphones ordinaires (pression) comportent une membrane tendue soumise sur une face à l'action des ondes sonores, avec, en arrière, une capsule enregistrant les pressions et dépressions successives. Les microphones de vitesse comportent une membrane très légère, libre sur les deux faces. Ce genre d'appareil a un excellent pouvoir directif et pourra être utilisé dans la détection par le son.

On peut encore améliorer ce pouvoir directif en adaptant, devant le microphone, un concentrateur acoustique. C'est un dispositif un peu analogue à un miroir concave optique, mais de dimensions plus importantes. De plus, la concentration est meilleure pour les fréquences élevées.

On a utilisé des microphones directionnels constitués par des microphones à ruban et des adaptateurs (Olson). Ces adaptateurs sont constitués par une série de tubes acoustiques ouverts, de longueurs décroissantes déterminées par la longueur

d'onde des sons à recevoir (fig. V-20). En arrière du ruban se trouve un tube acoustique permettant de l'amortir.

L'ensemble du dispositif de repérage comprend deux microphones éloignés l'un de l'autre par une distance appelée base. Chaque microphone est connecté à un filtre électrique permettant de sélectionner les fréquences utiles. Les tensions résultantes sont amplifiées par des amplificateurs à lampes et transmises aux plaques défectrices d'un oscillographe cathodique (fig. V-21), chaque microphone agissant séparément sur l'une des paires de plaques. Les deux microphones fonctionnant simultanément et à la même fréquence, les déplacements horizontaux et verticaux du spot forment des courbes fermées dites

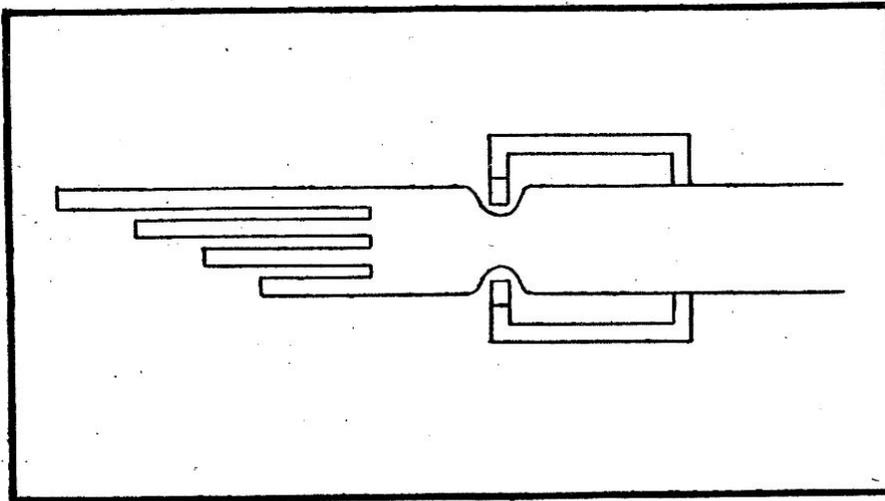


Fig. V-20

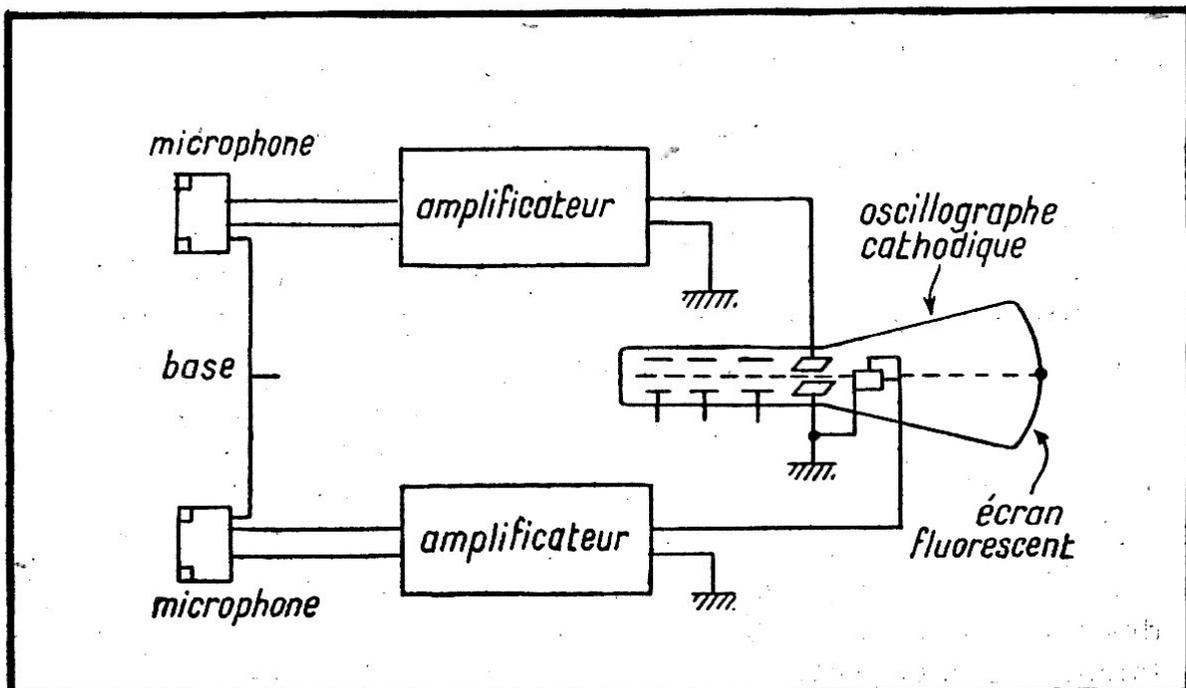


Fig. V-21

de *Lissajou*. En l'espèce, on obtient une ellipse dont l'aplatissement varie suivant la différence de phase des deux oscillations composantes.

Lorsque la source sonore n'est pas dans l'axe du dispositif, on a un déphasage et la courbe obtenue est une ellipse qui devient un cercle pour un angle de déphasage de 90 ou 270 degrés. Lorsque la source est dans l'axe du dispositif, il n'y a pas de déphasage; l'action est la même sur les deux microphones, et l'on a une droite inclinée à 45 degrés.

Le repérage optique constitue la méthode la plus naturelle, et est encore la plus employée, en particulier dans la Marine. Le repérage par viseurs et télémètres bénéficie des progrès de la fabrication des instruments d'optique. Cette industrie a atteint un haut degré de perfectionnement et a produit, par exemple, des télémètres d'une qualité remarquable.

Cette méthode a cependant l'inconvénient de toutes les observations optiques. L'état de l'atmosphère, la présence des brouillards, l'obscurité, etc. sont des causes de trouble. C'est pourquoi il y a eu intérêt à mettre au point des méthodes capables sinon de remplacer, tout au moins de compléter les méthodes optiques.

L'utilisation de deux appareils de prises de vues cinématographiques permet l'étude des avions en vol. Certaines installations comportent deux caméras pour films de 16 mm. placées à 18 mètres l'une de l'autre; les axes des objectifs convergent à une distance de 480 mètres. Les deux appareils fonctionnent en synchronisme à la cadence de 4 images par seconde. La projection des deux films, sur deux écrans contigus, permet d'étudier les mouvements de l'avion. Il suffit pour cela de mesurer, à l'aide d'une échelle graduée, le décalage des images.

### **Le sondage marin par ultrasons.**

Les ultrasons, dont les propriétés essentielles ont été analysées dans le chapitre I, peuvent être avantageusement utilisés pour le sondage marin. La figure V-22 donne le principe d'une telle installation.

Une bobine d'induction excite un circuit de choc dont les oscillations sont transmises au triplet piézoélectrique par l'intermédiaire d'un circuit oscillant dont le couplage avec le circuit de choc est réglable. Les ultrasons produits par le triplet sont réfléchis par l'obstacle et reçus à nouveau par le même triplet, lequel les transforme en vibrations électriques. Celles-ci

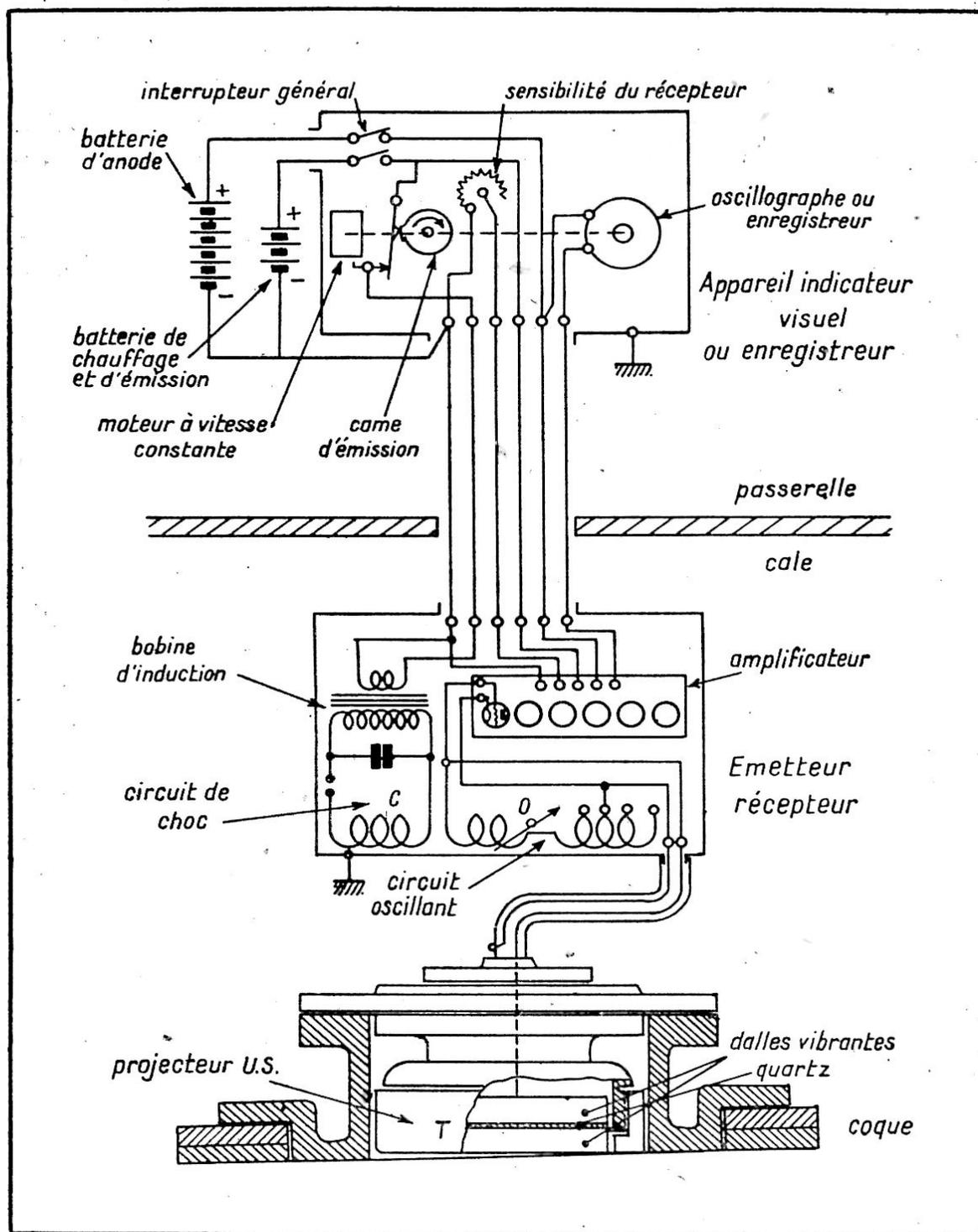


Fig. V-22

sont transmises au circuit oscillant et de là à l'amplificateur et à l'indicateur visuel ou à l'enregistreur.

Le projecteur piézoélectrique est placé à bord dans le tiers central du bâtiment, au voisinage de la quille, sur une partie presque horizontale du bordé et dans le plan de celui-ci. A cet endroit, les phénomènes de cavitation et de remous sont réduits au minimum (fig. V-22 bis).

Ces sondeurs peuvent fonctionner pour des navires dont la vitesse est de 20 ou 30 nœuds. La portée peut atteindre trente mille mètres; on peut sonder avec certains appareils des profondeurs de l'ordre du mètre. Souvent, les installations à faible puissance sont prévues pour être facilement démontables et pour ne nécessiter aucune transformation de la coque du navire, le projecteur étant fixé à l'extérieur.

L'analyseur utilise le plus souvent une sorte d'oscillographe à miroir dans lequel le spot a un mouvement vertical uniforme, le signal produisant un léger déplacement horizontal.

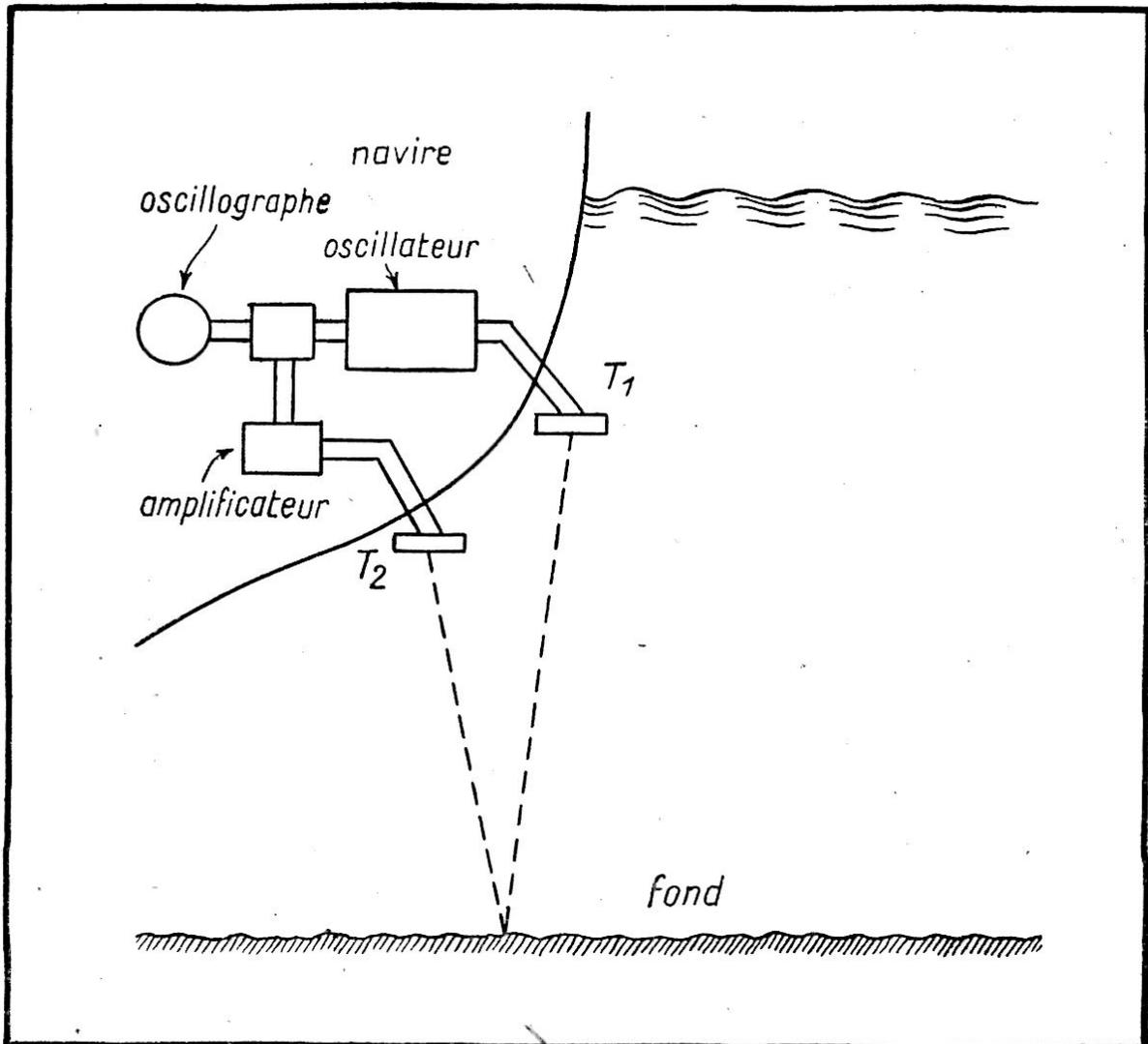


Fig. V-22 bis

### Application des ultrasons à la pêche et à la détection par échos.

De nombreux navires de pêche utilisent le sondeur ultrasonore pour améliorer le rendement de la pêche. Ce sondeur

facilite la recherche des bancs de poisson et permet un réglage facile du chalut.

La détection par ultrasons est presque uniquement pratiquée par les navires de guerre de surface ou par les sous-marins. La face vibrante du projecteur de détection est généralement disposée dans un plan vertical de façon à émettre les ultrasons horizontalement.

La portée de ce genre de détection est de 2.000 à 3.500 mètres environ. Le temps d'écho permet la mesure des distances. La précision est de l'ordre d'une cinquantaine de mètres en distance, et de l'ordre du degré pour les mesures angulaires.

### Le Pélescope.

Le Pételescope de Fitzgerald permet de déceler, dans un champ visuel étendu, les mouvements d'un objet quelconque dont les dimensions sont faibles par rapport à ce champ. La fig. V-23 indique le principe de l'appareil.

Les systèmes optiques  $L_1$  et  $L_2$  fournissent, chacun, sur un damier, une image de l'objet à repérer. Ces damiers sont complémentaires, c'est-à-dire que les cases noires de l'un correspondent aux cases « ouvertes » de l'autre, et inversement; ces

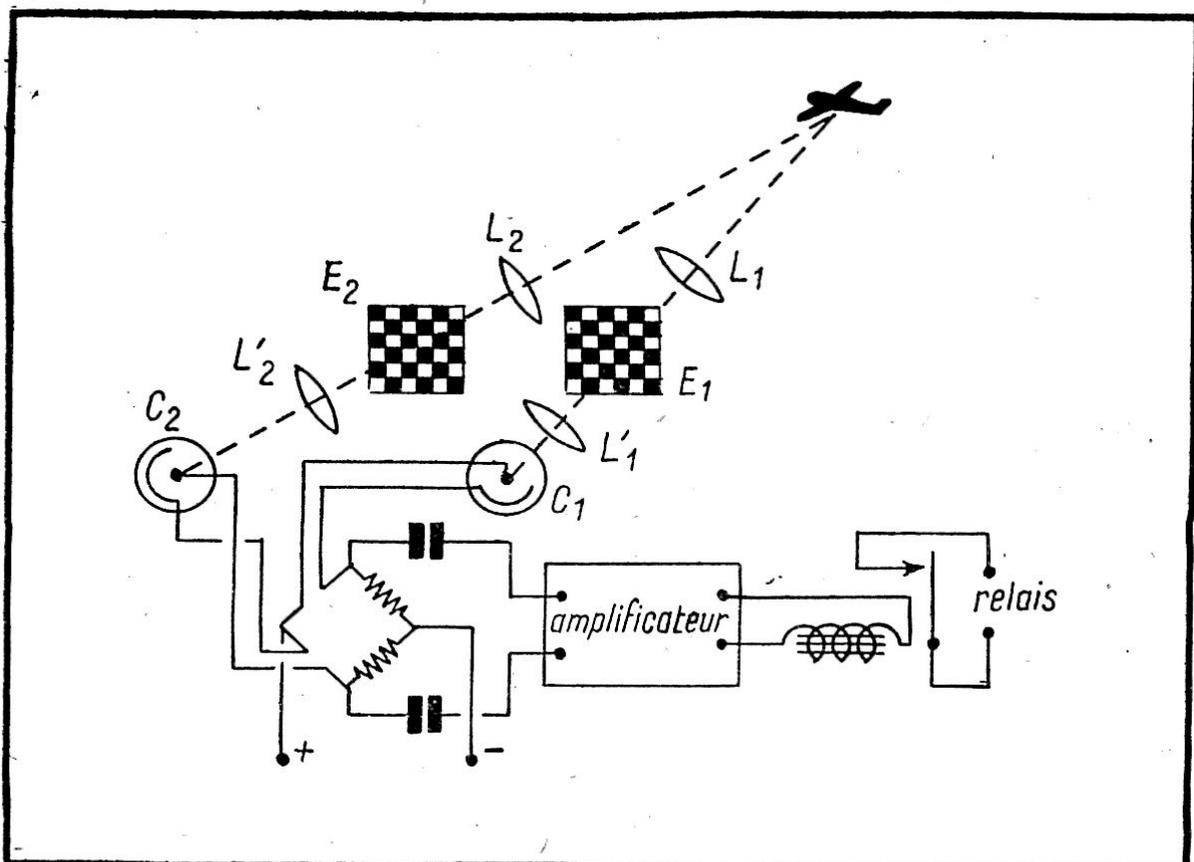


Fig. V-23

damiers sont plus exactement des grilles découpées en petits carrés. Dans ces conditions, une seule image à la fois peut agir sur les cellules photoélectriques  $C_1$  et  $C_2$  disposées derrière ces écrans.

Ces cellules sont montées en pont. Quand l'objet à repérer se déplace, il y a une action alternative sur l'une ou l'autre des cellules, *la fréquence de l'alternance dépendant de la vitesse de déplacement de l'objet.*

Des mouvements lents, tels que les déplacements des nuages, n'agissent pas sur le système, alors que les déplacements rapides, d'un avion par exemple, provoquent le fonctionnement du relais. Les rayons infra-rouges traversant relativement facilement les brouillards, divers expérimentateurs ont utilisé des appareils photoélectriques sensibles à l'infra-rouge. Ces méthodes sont encore peu répandues.

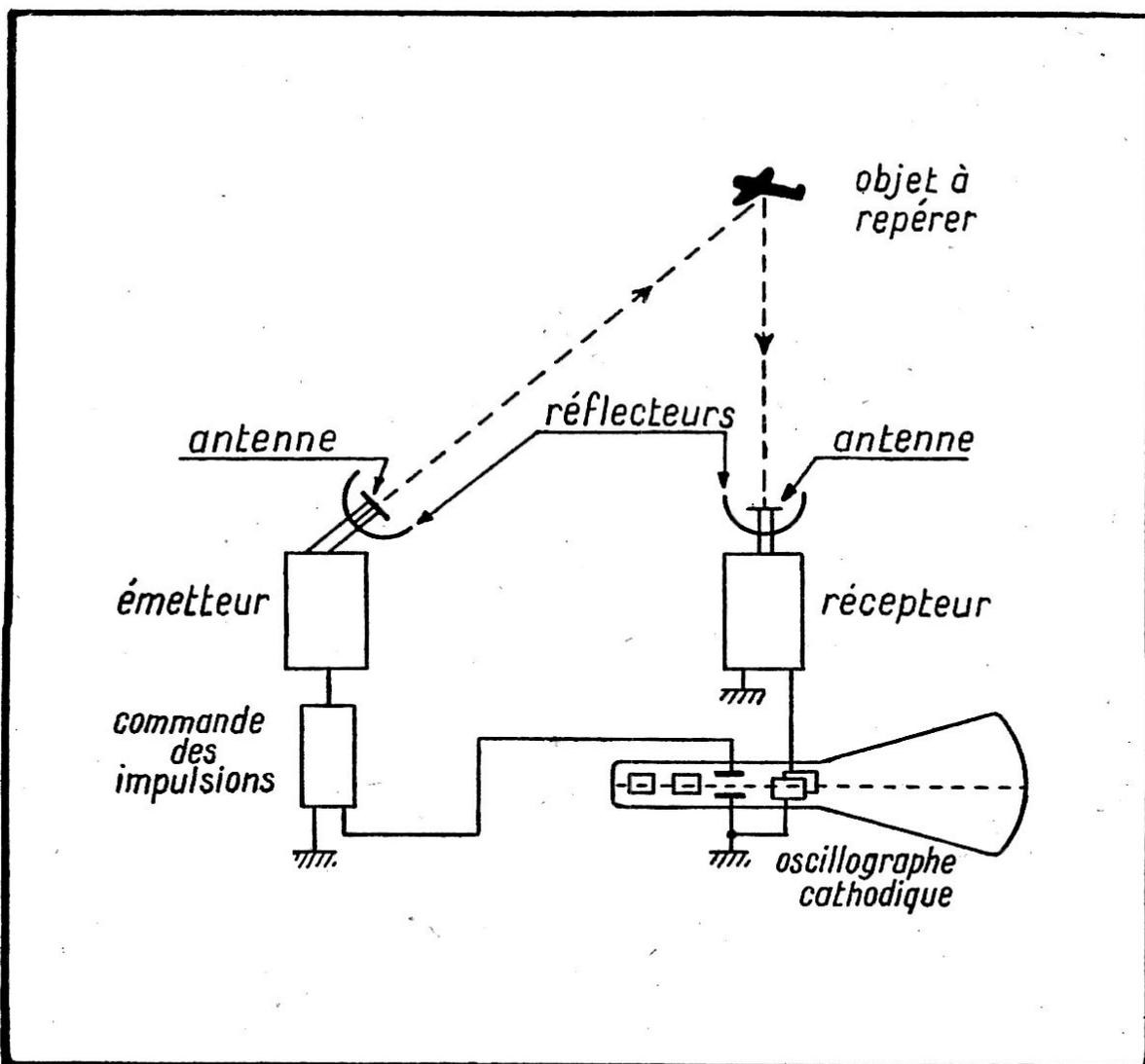


Fig. V-24

## Repérage par ondes radioélectriques ultra-courtes.

Dans le but de s'affranchir complètement des conditions optiques de l'atmosphère, on peut utiliser les ondes ultra-courtes pour le repérage des objets métalliques.

On sait que ces ondes se propagent comme des ondes lumineuses, et c'est pourquoi on n'a pu, jusqu'à présent, que les utiliser entre des points permettant une vision directe. Toutefois, contrairement aux ondes lumineuses, leur propagation n'est pas affectée par le mauvais temps. Différentes réalisations ont été faites, en France notamment, en utilisant des ondes de quelques mètres, et même de quelques décimètres.

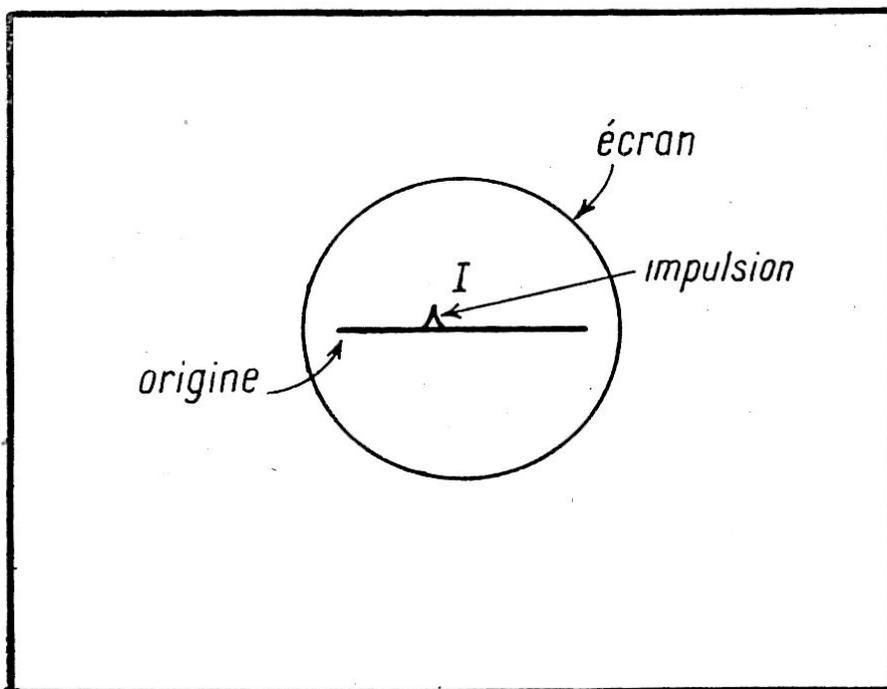


Fig. V-25

La figure V-24 donne le principe du repérage des avions à l'aide d'un dispositif radioélectrique à ondes ultra-courtes. Un émetteur envoie des signaux à très haute fréquence et de très courte durée (quelques microsecondes). Un miroir parabolique, ou un système d'antennes en réseau, permet de diriger le faisceau électromagnétique dans une direction déterminée.

Les ondes se réfléchissent sur l'obstacle et sont reçues à l'aide d'un miroir ou d'un réseau analogues au système émetteur. Un récepteur amplifie les oscillations et les transmet à l'une des paires de plaques d'un oscillographe cathodique. L'autre paire de plaques reçoit une tension de balayage synchronisée avec la période des impulsions envoyées par l'émetteur.

Le signal reçu produit sur l'écran une brusque déviation I dont la position par rapport à l'origine du trait lumineux indi-

que la distance de l'objet à repérer (fig. V-25). La direction de cet objet est déterminée grâce à la propriété directive du projecteur d'émission. Il est ainsi possible de repérer un avion à une distance de plusieurs kilomètres.

Cet appareil peut également être utilisé pour le repérage d'objets non métalliques, et c'est ainsi qu'en matière de navigation maritime l'on s'en sert pour le repérage d'objets de toutes sortes: autres navires, jetées, icebergs, rochers, etc. Le paquebot *Normandie* était équipé d'installations de ce genre.

Un autre dispositif (fig. V-26) consiste à utiliser un émetteur, une antenne à émission dirigée et plusieurs antennes réceptrices branchées successivement par un commutateur sur un amplificateur suivi d'un oscillographe cathodique. Le faisceau d'ondes est projeté vers l'objet à détecter. L'indicateur visuel est constitué par un oscillographe cathodique dont une paire de plaques est reliée à une « base de temps » et dont l'autre paire est reliée à un oscillateur qui module l'émission exploratrice.

Lorsqu'un objet traverse le champ des radiations, il intercepte et réfléchit une partie des ondes qui l'atteignent. Le champ agissant sur une antenne réceptrice se trouve modifié et

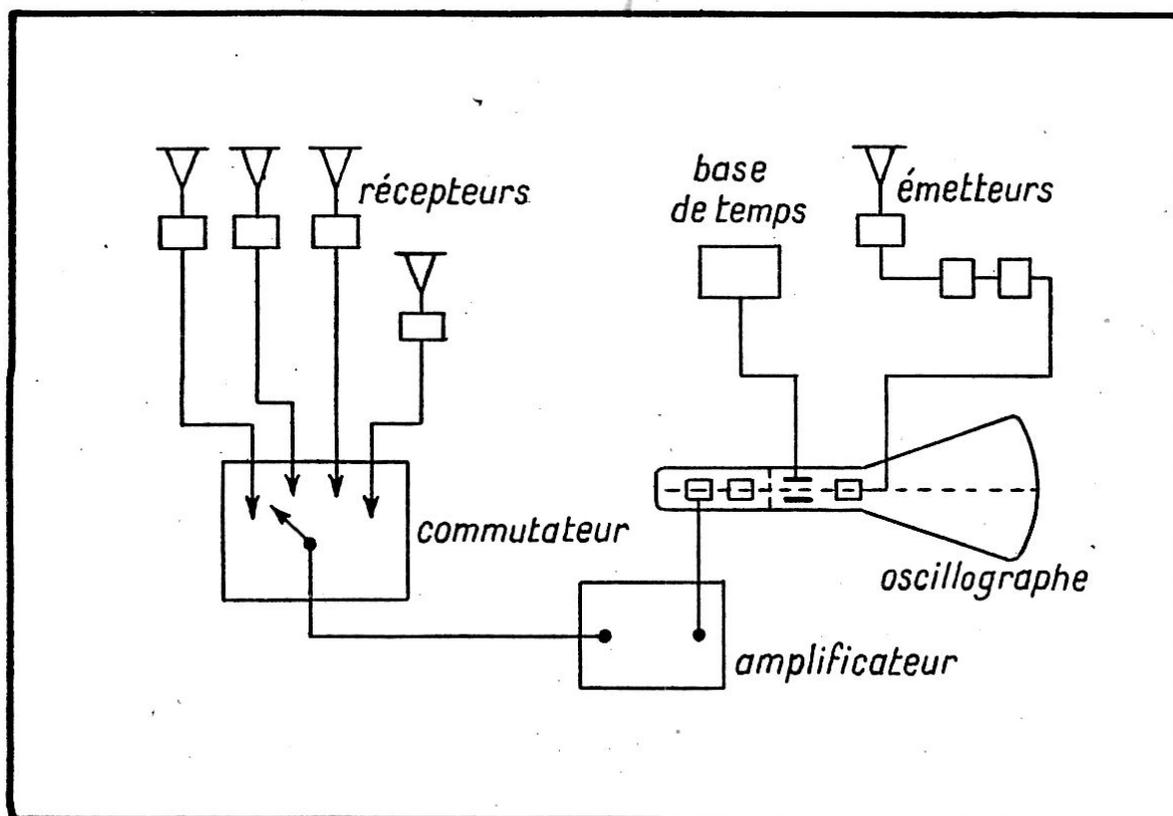


Fig. V-26

provoque une perturbation sur l'écran de l'oscillographe. Connaissant la position du commutateur, on sait quelle est l'antenne réceptrice intéressée, et par suite on en déduit la position de l'objet. Les méthodes radioélectriques de repérage paraissent susceptibles de donner des résultats très avantageux. Elles viendront peut-être remplacer les anciennes méthodes actuellement en usage.

## Les méthodes de vision à travers les brouillards. Le télescope électronique.

Nous avons vu, dans le paragraphe relatif aux rayons infra-rouges, que certains brouillards sont facilement traversés par ces radiations. Cette propriété a d'abord été utilisée en photographie grâce à des plaques spéciales sensibles aux rayons infra-rouges.

Une méthode plus récente consiste à utiliser le télescope électronique pour obtenir une image visible à travers les brumes ou brouillards; nous avons examiné le principe de cet appareil dans le chapitre premier. La figure V-27 schématise une installation de ce genre. L'objectif O est à très grande ouverture ( $f = 1,7$  par exemple).

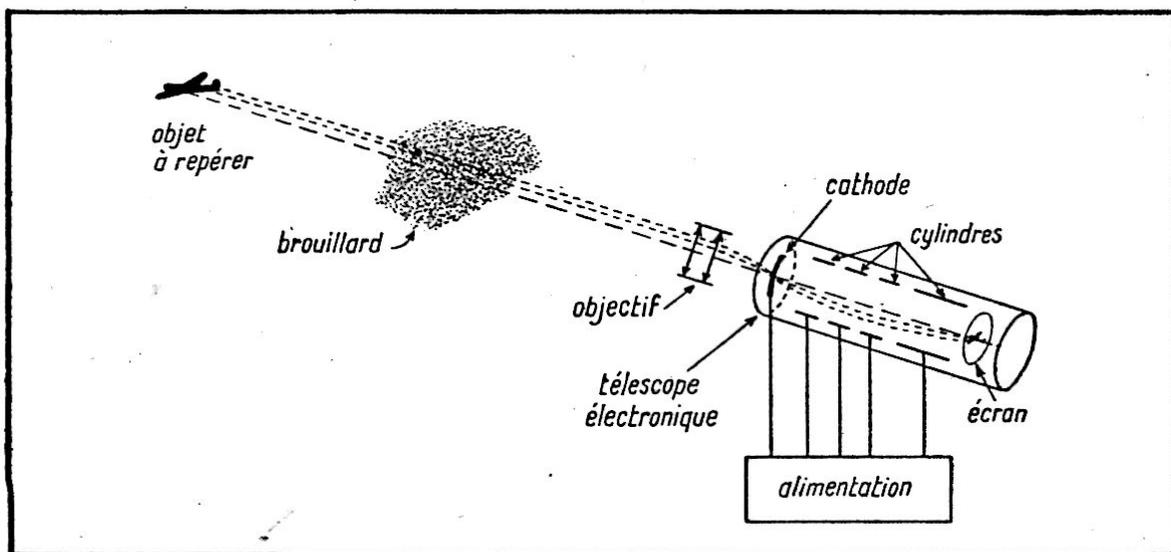


Fig. V-27



## CHAPITRE VI

# LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

---

Dans ce chapitre, nous traiterons des applications de l'Électronique à des problèmes industriels: commandes de machines diverses, contrôles industriels, transformation de l'énergie électrique, etc.

### **Commande automatique de tables transporteuses.**

La figure VI-1 montre la disposition générale des tables transporteuses situées à la sortie des fours de recuit et de traitement thermique de la *Worth Steel Co* de Celaymont (Etats-Unis).

En quittant les rouleaux de planage, la feuille atteint l'extrémité de la table basculante B où elle passe entre un relais photoélectrique et sa source lumineuse. Ce relais arrête les moteurs commandant les rouleaux transporteurs de la table A et des tables basculantes B et D, et il met en route le mouvement de bascule.

Les tables B et D s'inclinent jusqu'à ce que leurs rouleaux soient en dessous du niveau des rouleaux de la table transversale C, et ils sont arrêtés dans cette position par un interrupteur. La feuille se trouve alors sur les rouleaux de la table C, et elle est dégagée des rouleaux de la table B. Le même interrupteur, qui avait arrêté l'inclinaison des tables B et D, met en marche les moteurs des rouleaux de la table transversale C, et transporte la feuille en dehors de la surface occupée par l'intersection des tables B et C.

S'il y a déjà deux feuilles sur C, les rouleaux de la table transversale amènent une feuille entre le relais photoélectrique et sa source lumineuse placée sur D. Le relais arrête les moteurs de la table transversale, met en marche le moteur élévateur de la table basculante, et amène les rouleaux correspondant à une position plus élevée que les rouleaux transversaux.

Un interrupteur arrête les tables basculantes dans cette position et met en marche les moteurs des rouleaux A, B et D. La feuille qui se trouve sur la table D s'échappe alors sur la table E en direction des cisailles. Puis le cycle se répète.

Des installations à cellules photoélectriques ont également été réalisées pour d'autres applications: scies automatiques, machines à papier, contrôle de l'impression du pliage et du coupage, synchronisation des convoyeurs, contrôle de niveaux, réglage des écrans de cinéma, commande de soupapes, etc.

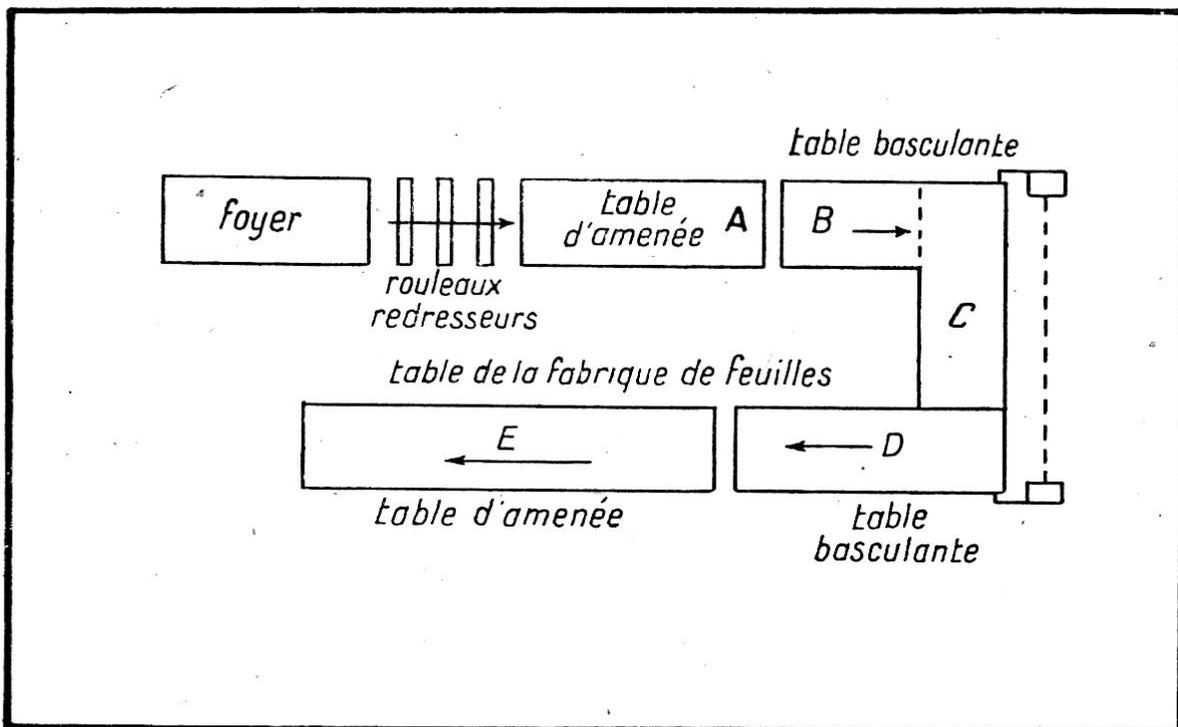


Fig. VI-1

## Comptage.

Le comptage par cellule photoélectrique est basé sur le principe suivant: chaque personne ou objet traversant un plan déterminé coupe un faisceau lumineux tombant sur une cellule photoélectrique; des relais déclenchent l'avance d'un totalisateur (fig. VI-2).

De nombreuses applications du comptage photoélectrique ont été réalisées, signalons entre autres le contrôle du trafic sur les vingt voies du plus grand pont du monde, l'*Ambassador Bridge* sur la *Detroit River* (U.S.A.). On connaît, à chaque instant, le nombre de voies en fonctionnement, la densité de la circulation, le rendement du péage, la façon dont la circulation est déblayée sur chaque voie, et le nombre de véhicules qui ont traversé chaque voie.

Une autre application remarquable du comptage automatique a été faite pour le comptage du nombre des entrées à l'Exposition Internationale de Paris en 1937. Le total des entrées aux différentes portes était fait automatiquement et reproduit sur des tableaux lumineux.

On peut appliquer le même principe pour contrôler les chaînes de production dans les usines, la circulation dans les tunnels ou ailleurs, les battements d'une pendule principale ou la tabulation de n'importe quelle statistique.

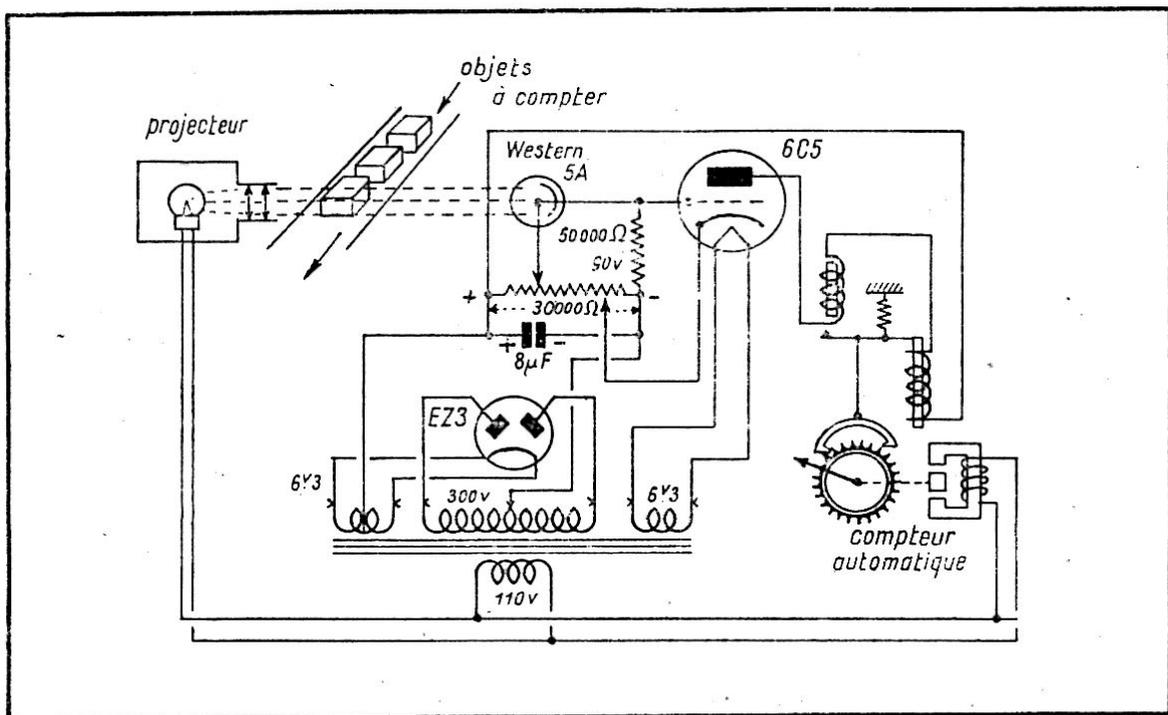


Fig. VI-2

### Triage automatique.

Pour certains objets, la couleur est un criterium de qualité. En éclairant successivement chaque objet, la cellule produit un courant différent suivant que l'objet est clair ou sombre. Le principe a été utilisé pour le triage de divers produits : fer blanc, cigares, tuiles, détection de surfaces défectueuses ou d'étiquettes manquantes, etc.

### Étalonnage des compteurs.

La méthode habituelle pour l'étalonnage des compteurs consiste à faire passer un courant dans les enroulements pendant un temps déterminé, et à mesurer le nombre de tours à l'aide du déplacement de l'aiguille. Cette méthode est longue et délicate.

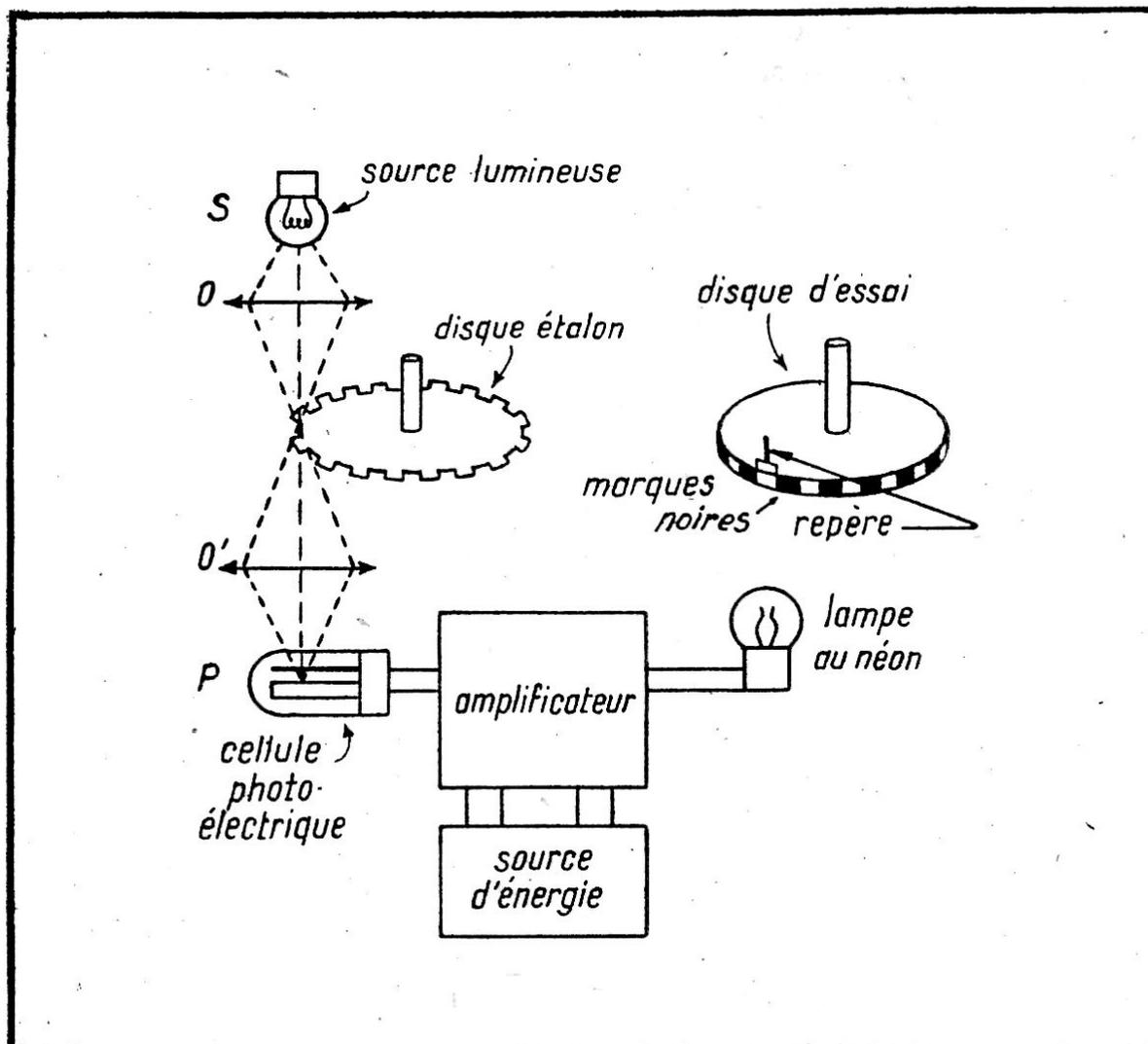


Fig. VI-3

Une méthode simple et pratique proposée par Arnolf et Young consiste à comparer, par l'intermédiaire d'une cellule photo-électrique, la vitesse de rotation du disque du compteur à étalonner à la vitesse du disque d'un compteur étalon traversé par le même courant (fig. VI-3).

Dans ce dispositif, un faisceau lumineux, fourni par une lampe L et un système optique OO', est concentré sur la périphérie à encoches du disque tournant d'un compteur étalon. La lumière tombe sur une cellule placée sous la dernière lentille O' du système optique. Le courant photoélectrique pulsatoire est amplifié par un amplificateur à courant alternatif analogue à ceux que nous avons décrit dans le chapitre I.

Cet amplificateur commande l'allumage ou l'extinction d'une lampe au néon à la fréquence du passage des encoches dans le faisceau lumineux. Des encoches ou marques sont faites sur le disque du compteur à étalonner. Ces repères sont en nombre

égal à celui des encoches du disque du compteur étalon. Lorsque la vitesse des deux disques est identique, le disque du compteur à étalonner paraît immobile. C'est une méthode stroboscopique.

### Un pyromètre photoélectrique.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la mesure des hautes températures: thermo-couples, pyromètres optiques, etc. Un des principaux avantages du pyromètre photoélectrique est qu'il permet une mesure et éventuellement un enregistrement continu de la température, sans retard important.

Le pyromètre photoélectrique de la figure VI-4 est basé sur la *loi de Wien*; parmi les radiations qu'émet un corps chaud, celle correspondant au maximum d'énergie aura une longueur d'onde d'autant plus petite que la température absolue de ce corps est plus élevée. Un métal, par exemple, est d'autant plus brillant que sa température est plus élevée.

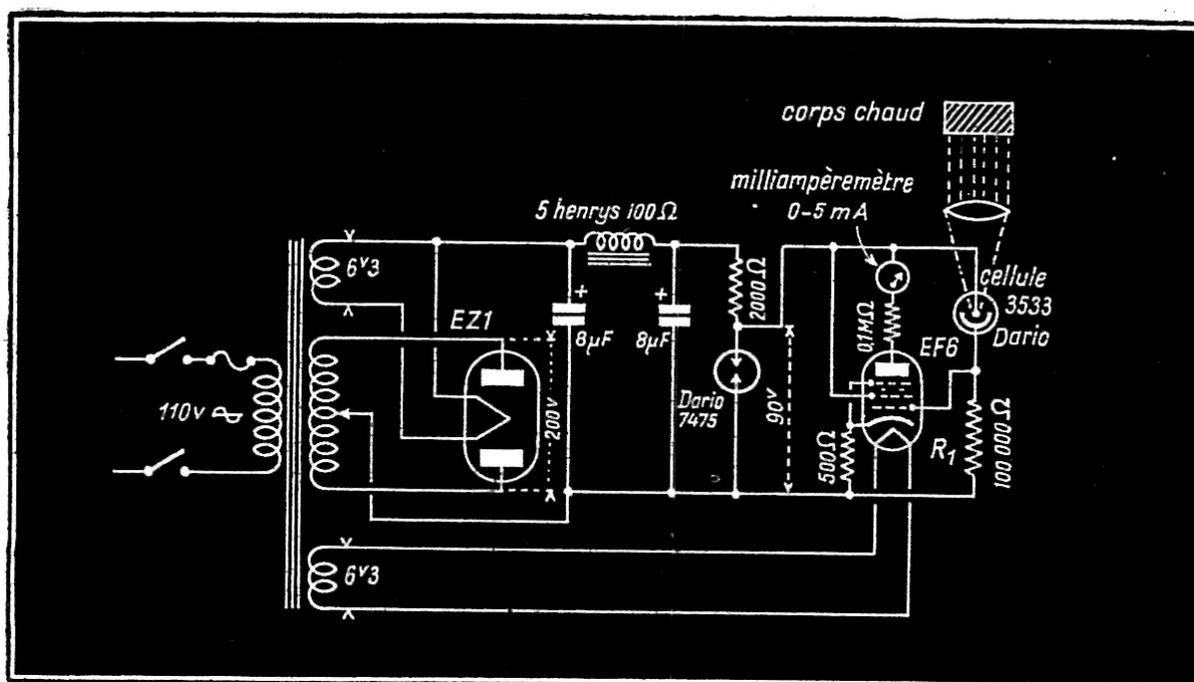


Fig. VI-4

Le courant fourni par la cellule dépend de l'intensité des radiations qui tombent sur elle; il dépend également de sa courbe de réponse spectrale.

L'alimentation du pyromètre de la figure VI-4 est stabilisée à l'aide d'un tube au néon. La lampe EF6 amplifie le courant fourni par la cellule et permet, éventuellement, de faire fonctionner un relais ou un appareil de mesure. La cellule utilisée est du type 3533 Darco (caesium et gaz). Le courant photo-

électrique qui traverse la résistance  $R_1$  détermine le potentiel de la grille. Suivant la variation de ce dernier, il y a une fluctuation du courant anodique de la EF6 qui agit sur le milli-ampèremètre.

L'étalonnage du pyromètre se fera par comparaison avec un thermo-couple ou un pyromètre optique.

### Contrôle de chauffe.

Les dispositifs de contrôle de chauffe utilisent généralement un thermo-couple. Cet appareil, placé dans le foyer, produit une déviation du galvanomètre dont le miroir réfléchit un rayon lumineux.

Le réglage de l'ensemble est fait de telle manière que tout changement de déviation du galvanomètre envoie la lumière sur une cellule et actionne un appareil contrôlant la chauffe. En utilisant deux cellules montées en opposition, et en ajustant le faisceau lumineux pour qu'il les éclaire également toutes les deux, on peut obtenir un contrôle à distance.

### Le contrôle des fumées.

La présence d'une trop grande quantité de fumée dans une agglomération doit être évitée pour des raisons d'esthétique et

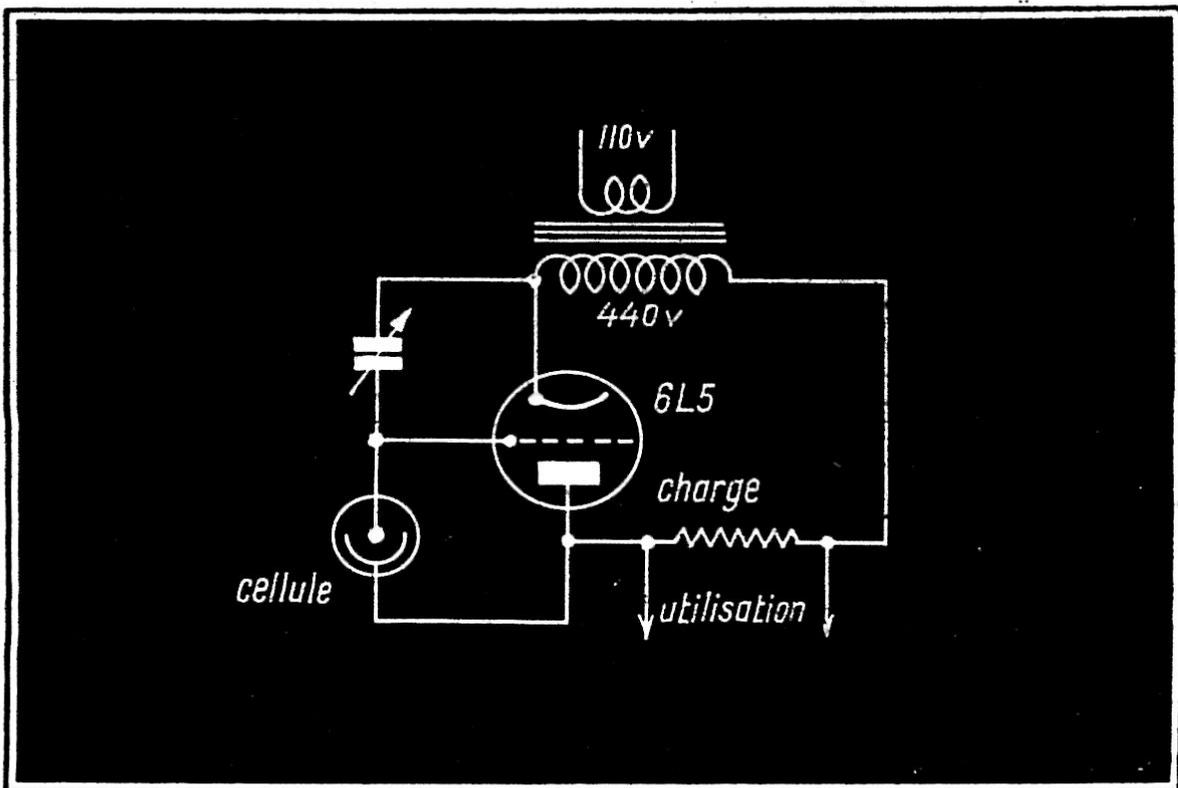


Fig. VI-5

d'hygiène. Des entreprises industrielles importantes ont entrepris le dépoussiérage des fumées. Dans un autre ordre d'idées, l'opacité de la fumée produite par une chaudière renseigne sur le bon fonctionnement de la combustion.

Pour ces diverses raisons, il est utile de contrôler, de façon constante, l'opacité des fumées sortant de la cheminée de l'installation.

Le contrôle, à l'aide d'une méthode optique, basée sur l'appréciation de l'œil humain, est difficile. Il est plus pratique d'utiliser une cellule photoélectrique sur laquelle tombe un faisceau lumineux traversant une couche de la fumée à analyser. Le courant amplifié permet facilement l'enregistrement automatique de l'opacité de la fumée.

La figure VI-5 donne un montage simple pour un contrôle de ce genre. L'amplification est assurée par une lampe 6C5. Remarquons que le problème du contrôle des fumées est différent de celui de la détection des fumées dans le but de la protection contre l'incendie (voir chapitre III).

### La purification de l'air à l'aide de la haute-tension.

La purification de l'air est de plus en plus importante dans les cités modernes. Une des opérations essentielles est le dépoussiérage. La méthode électrique habituelle consiste à ioniser l'air et les particules dont on veut se débarrasser (fig. VI-6).

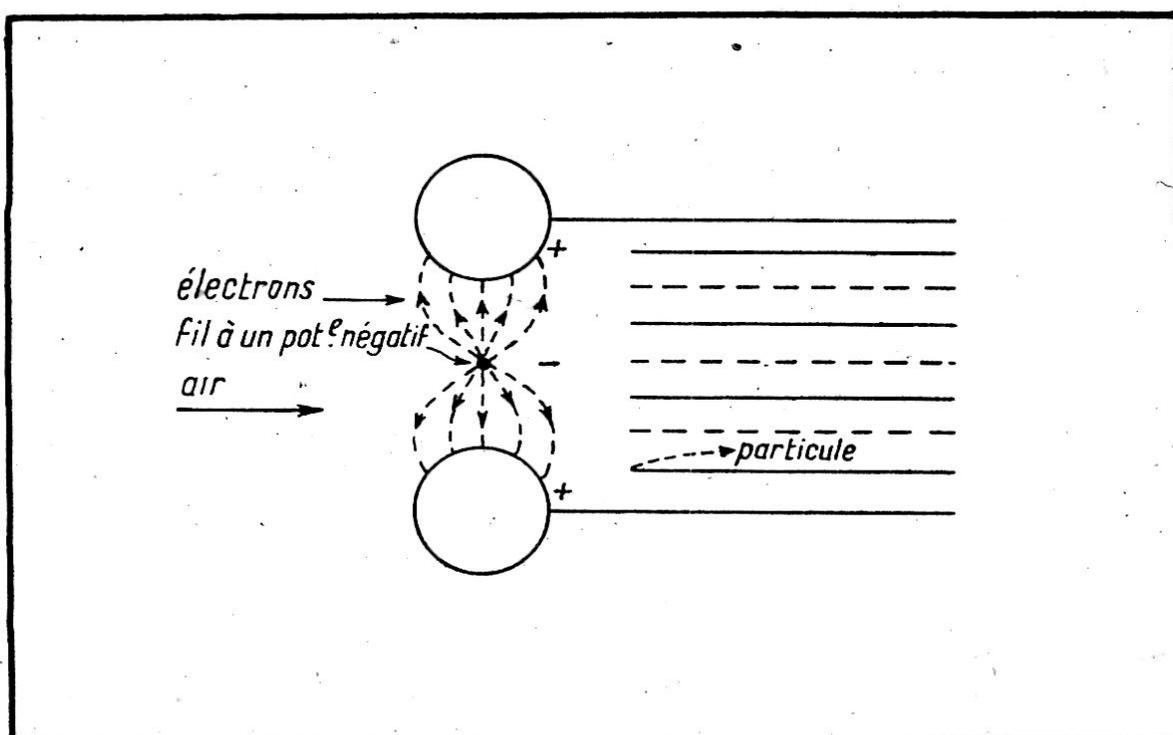


Fig. VI-6

L'air traverse un champ électrique créé par des électrodes dont les unes sont au potentiel du sol et les autres sont constituées par des fils portés à une tension négative importante (— 12.000 volts par exemple). Les particules ionisées passent ensuite entre des plaques dont les unes sont au potentiel du sol, et les autres à un potentiel négatif de — 5.000 volts par exemple. Les particules chargées négativement se déposent sur les plaques reliées au sol.

La figure VI-7 donne le principe du schéma électrique. La tension redressée est fourni par un transformateur et un kénotron (valve redresseuse à vide).

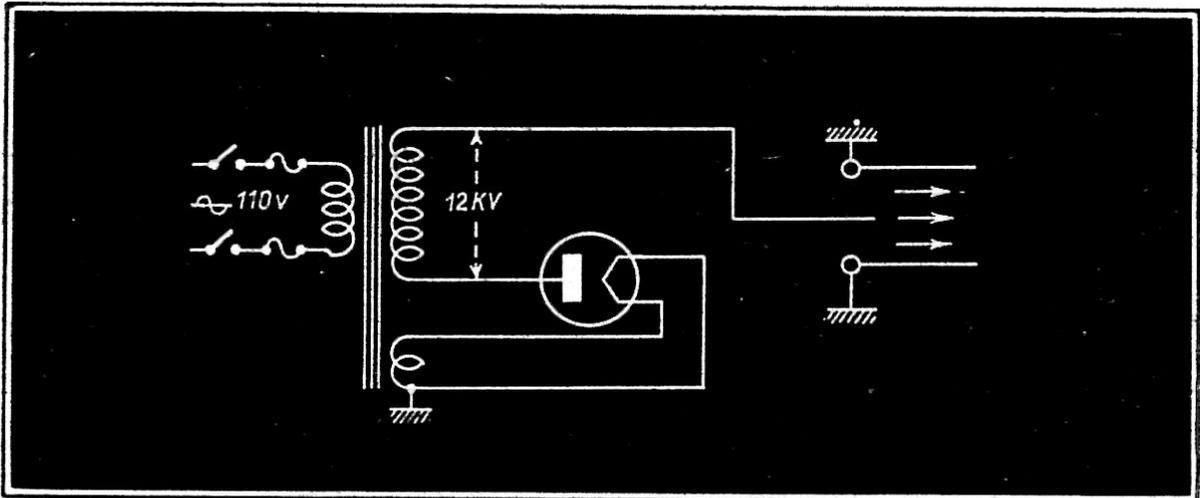


Fig. VI-7

### Fabrication des cartes pour le tissage automatique.

On sait que le tissage consiste à faire passer une série de fils appelée *trame* au-dessus et en-dessous d'une deuxième série appelée *chaîne*.

Pour obtenir un dessin déterminé, on soulève les chaînes convenables pour chaque trame, et chaque trame doit trouver la chaîne qui lui est destinée. Les chaînes peuvent être soulevées à la main ou automatiquement; le *système Jacquard* utilise une série de cartes trouées dont les perforations correspondent au dessin.

Pour chaque chaîne, une épingle pénètre dans les trous des cartes ce qui amène un petit crochet en position pour être soulevé. Ce crochet prépare la chaîne correspondante pour la trame. Lorsque l'épingle ne rencontre pas de trous dans la carte, la chaîne n'est pas soulevée et la trame passe dessus.

Les cartes de Jacquard sont habituellement poinçonnées à la main à l'aide d'une petite machine. C'est un travail fastidieux

qui demande une ou deux semaines pour perforer les mille ou deux mille cartes d'un dessin. Il y a heureusement un dispositif électronique qui permet de simplifier ce travail.

Dans la machine du professeur Korn (fig. VI-8), le dessin est enroulé sur un cylindre entraîné par un moteur électrique. La lumière d'une lampe est concentrée sur l'un des éléments du dessin au moyen d'une lentille. La lumière réfléchie par cet élément est dirigée sur une cellule photoélectrique P qui est suivi d'un amplificateur et des relais  $R_1$   $R_2$   $R_3$   $R_4$  et  $R_5$ .

Le passage d'éléments clairs ou sombres du dessin commande automatiquement le poinçonnage des différentes cartes. Sur des principes analogues repose le fonctionnement d'appareils pour la transmission d'images, la gravure photoélectrique, l'assemblage des fiches imprimées, etc.

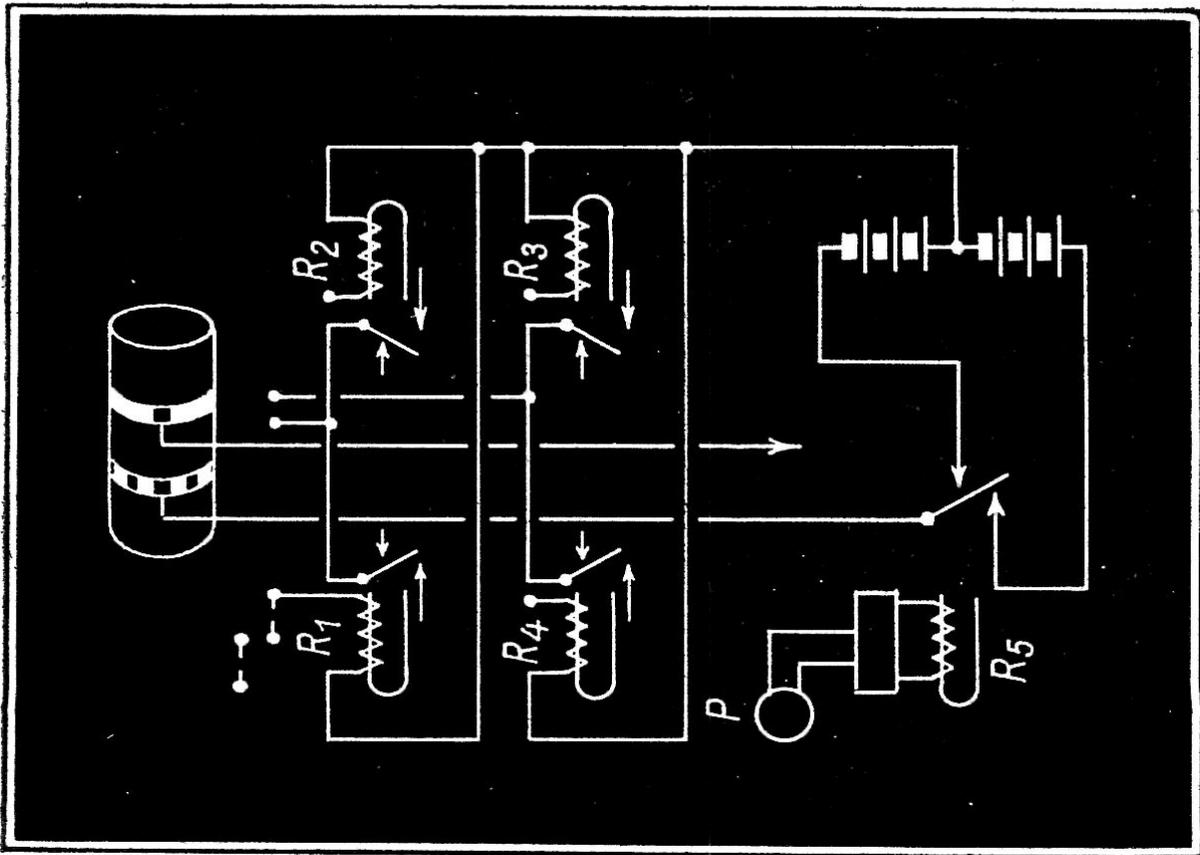


Fig. VI-8

### Enregistrement du temps.

La vie moderne exige, pour de nombreuses applications (navigation par exemple), des horloges réglées avec une très grande précision. La détermination du temps peut être faite à partir du passage d'une étoile sur un méridien donné.

Une cellule photoélectrique est placée derrière la fente du collimateur d'un télescope astronomique, l'image d'un cheveu

étant mise au point au milieu de la fente. La lumière qui dépasse le bord sert à produire une note musicale dans un appareil auxiliaire relié à la cellule.

Lorsque l'image de l'étoile coïncide exactement avec l'image du cheveu, la lumière et, par conséquent, la note musicale sont interrompues. En même temps, on fait un enregistrement photoélectrique du passage. L'exactitude est largement supérieure à celle de l'observation visuelle.

La cellule peut également enregistrer les oscillations d'une pendule, dans une horloge de précision, sans produire de couple retardateur.

### **Commande automatique des pistolets de peinture, spécialement pour l'industrie automobile.**

Des essais ont été faits pour la commande automatique des valves des pistolets à peinture. Ceci a d'abord été réalisé sous la forme d'une cellule photoélectrique sur laquelle on fait tomber la lumière réfléchie par la surface peinte. Lorsque l'objet à peindre n'intercepte plus le faisceau lumineux, le courant de la cellule commande, après amplification, les vannes d'admission d'air aux pistolets.

Malheureusement, le nuage de peinture souille la surface optique placée devant la cellule. Un autre dispositif utilise un oscillateur et un détecteur. Lorsque l'objet à peindre passe au voisinage de l'antenne de l'oscillateur, le détecteur commande les valves à air pour la peinture. Ces valves sont fermées lorsque l'objet quitte le voisinage de l'antenne.

### **Réglage des électrodes de bougies de voitures.**

Le réglage précis de la distance séparant l'extrémité de l'électrode centrale de l'électrode extérieure se fait généralement en intercalant une jauge d'épaisseur. Un marteau pneumatique vient courber l'électrode extérieure pour l'appliquer sur la jauge jusqu'au contact.

Cette méthode est dangereuse car, si le marteau fonctionne trop longtemps, il peut transmettre son effort à l'électrode centrale et détériorer l'isolant. Ce dispositif mécanique peut être remplacé par un ensemble dans lequel un pinceau lumineux passe entre les extrémités des deux électrodes, et remplace la cale d'épaisseur (fig. VI-9).

Lorsque le marteau a réduit la distance entre les deux électrodes à la valeur voulue, le faisceau lumineux tombant sur la cellule diminue d'intensité. L'amplificateur actionne les relais qui arrêtent le fonctionnement du marteau pneumatique.

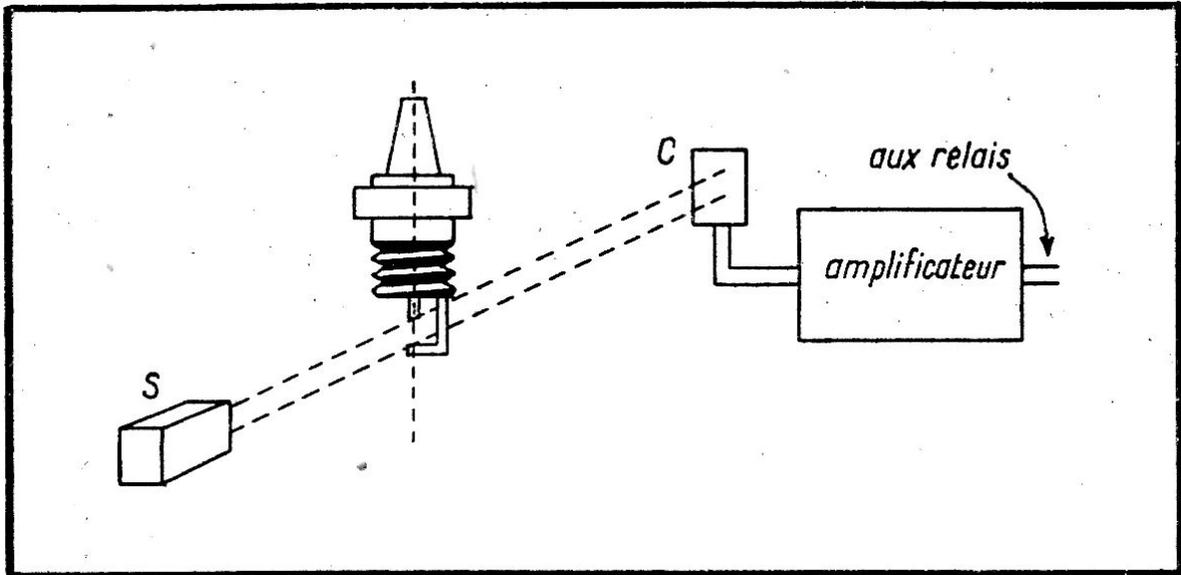


Fig. VI-9

### Contrôle du moulage.

Une pièce métallique rend un son différent, suivant qu'elle est plus ou moins dure, quand on la frappe comme une cloche. Cette propriété peut être utilisée pour déceler les défauts de moulage, crevasses, impuretés, etc.

L'expérience montre que des pièces bien moulées peuvent donner des hauteurs de son analogues à celles des pièces mal moulées, mais, dans le premier cas, la durée de vibration est plus longue.

On utilise un microphone directif placé près de la pièce à vérifier; un ensemble mécanique se déplace et frappe la pièce avec un marteau automatique. Suivant que la durée du son est supérieure ou inférieure à une valeur fixée, la pièce est admise ou rejetée.

### Mesure des dimensions d'une pièce par la méthode de variation de capacité.

Les mesures de dimensions sont généralement faites à l'aide de comparateurs mécaniques tels que: pieds à coulisse, palmers, comparateurs optiques, etc. Dans beaucoup d'applications, cette mesure a été faite, d'une façon plus automatique, par la méthode de variation de capacité.

La figure VI-10 indique le principe de cette méthode. Une plaquette mobile M, fixée sur la pièce P, se déplace en face d'une autre plaque métallique fixe F. Les armatures du condensateur ainsi formé sont reliées d'une part à la masse, d'autre part à la grille d'une lampe triode (électromètre). L'anode de cette lampe

est connectée à un amplificateur et aux plaques d'un oscillographe cathodique.

Une variation de la distance des plaques produit une variation de la tension de grille. Le courant anodique varie et commande la déviation du spot de l'oscillographe cathodique, après une amplification convenable. On a pu ainsi suivre des déformations élastiques de pièces, mesurer des vibrations, des épaisseurs très faibles de l'ordre de un dix-millième de millimètre, etc. etc.

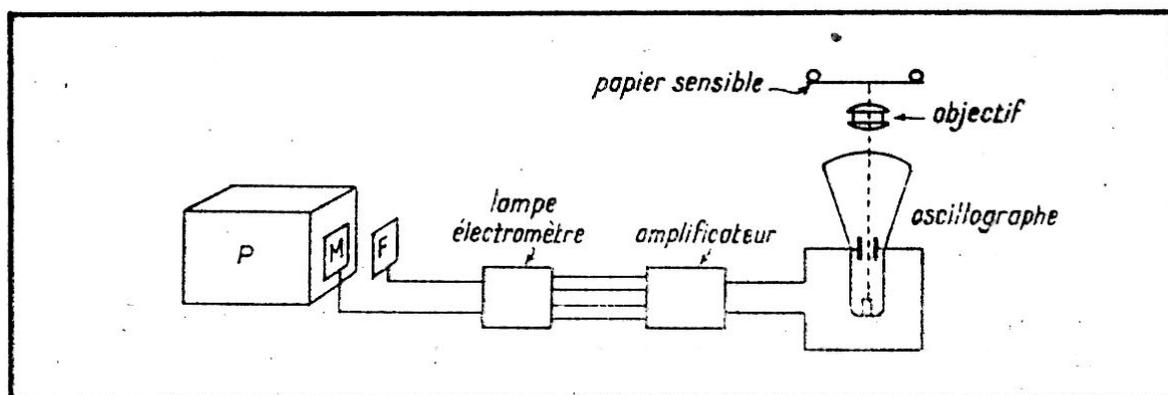


Fig. VI-10

### Un comparateur photoélectrique pour la mesure de très faibles dimensions.

La mesure précise de pièces de très faibles dimensions — quelques dizaines de microns — est très délicate. C'est le cas de pièces très minces ou de fils très fins.

L'appareil le plus souvent utilisé dans ce but est le *Palmer*. Une multiplication mécanique du mouvement, par vis ou par engrenages, permet d'apprécier de très faibles déplacements de la partie mobile de l'appareil. Le *Palmer* permet d'obtenir des précisions de l'ordre d'une fraction de micron.

Toutefois, la réalisation d'un tel appareil est très délicate; le moindre jeu dans le système multiplicateur vient fausser complètement les mesures. En outre, le réglage de la pression sur l'objet à mesurer est important. C'est pourquoi l'on a réalisé des *comparateurs optiques*. Ces appareils donnent de bons résultats, mais sont d'un prix de revient élevé.

Les figures VI-11 et VI-12 montrent le principe d'un comparateur photoélectrique. La lumière émise par la lampe L (fig. VI-11) est concentrée, par le condensateur  $O_1$ , sur une fente F. L'image très fine (largeur 10 microns) de cette dernière est produite par le système optique  $O_2$ .

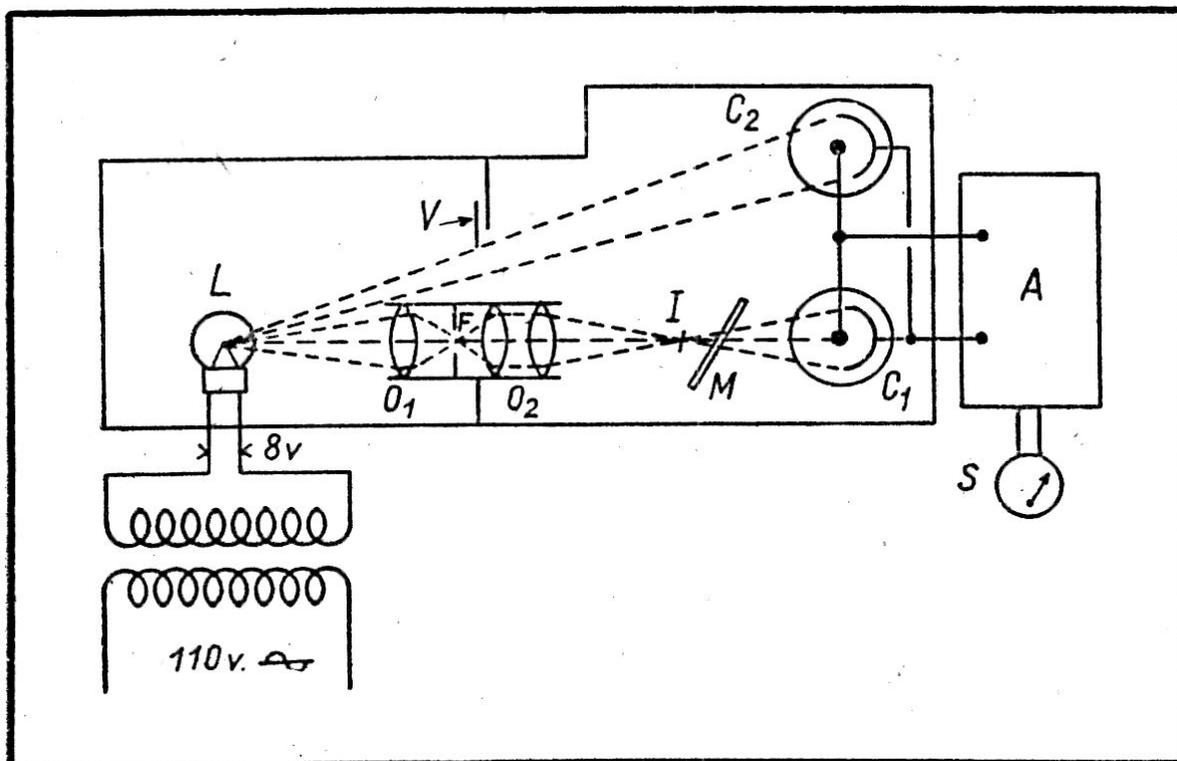


Fig. VI-11

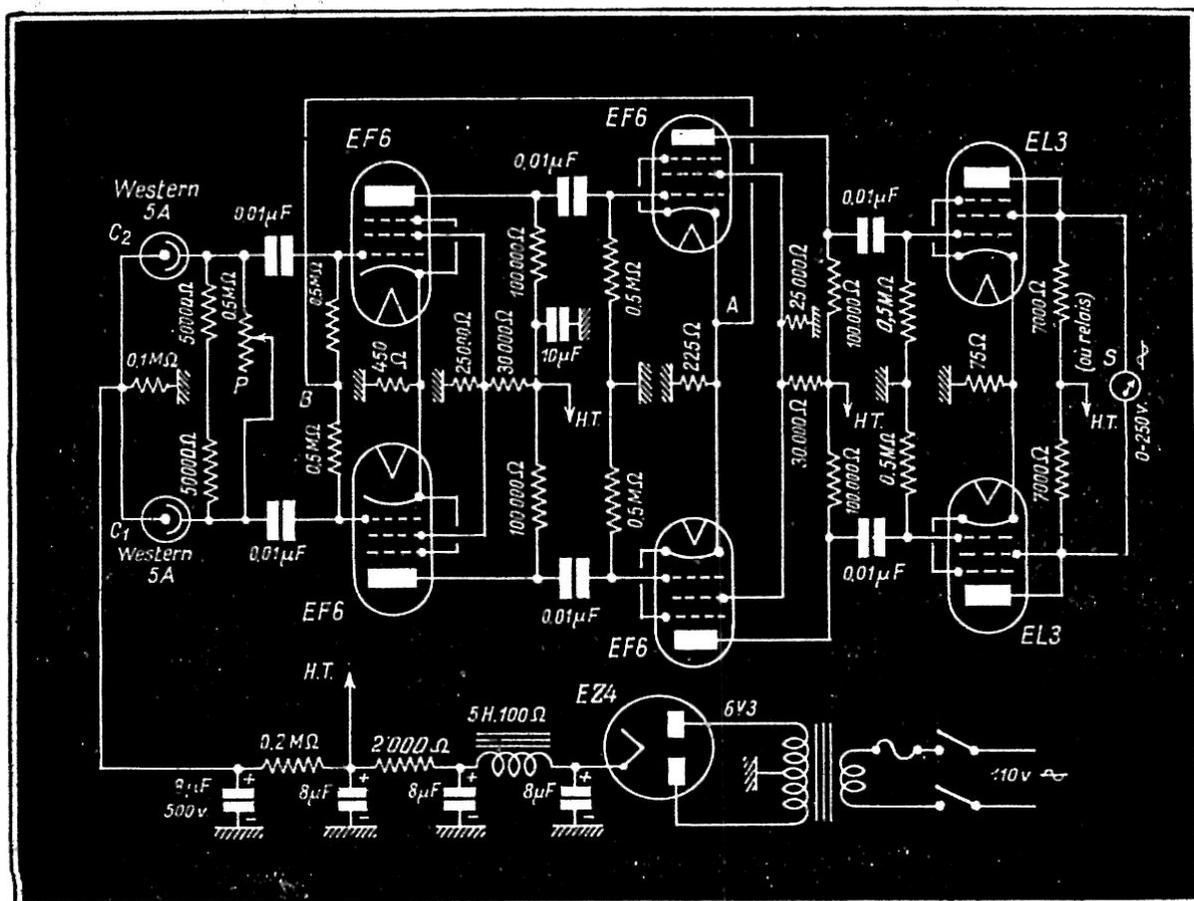


Fig. VI-12

La pièce à mesurer M est placée au voisinage de I, et intercepte une partie plus ou moins grande du faisceau lumineux qui tombe sur la cellule C<sub>1</sub>. Le système optique utilisé est analogue à un ensemble de lecteur de son pour le cinéma sonore. La cellule C<sub>2</sub> est éclairée directement par la lampe L. Un volet V permet de doser la quantité de lumière arrivant sur C<sub>2</sub>.

La lampe L est alimentée en courant alternatif ce qui permet d'utiliser un amplificateur A pour courant alternatif. Toute variation de l'intensité du courant dans L influe sur les deux cellules C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et n'influe pas sur la lecture de l'appareil de mesure S placé à la sortie de l'amplificateur.

Celui-ci a été réalisé pour qu'une variation de la tension d'alimentation ait peu d'influence sur le coefficient d'amplification. Pour cela, les résistances de polarisation de cathode n'ont pas de condensateurs en parallèle, et une contre-réaction est établie entre les cathodes des troisième et quatrième lampes (point A) et les grilles des deux premières lampes (point B).

La réalisation mécanique de l'appareil doit être faite avec une grande précision. En particulier, la position de la pièce à mesurer — fil fin M par exemple — doit être réglée exactement par rapport à l'axe du faisceau lumineux. Le blindage des fils, entre les cellules et l'amplificateur, doit être très soigné pour éviter les champs parasites extérieurs susceptibles de perturber considérablement les mesures.

Grâce à ces précautions, on peut mesurer des fils dont le diamètre n'est que de quelques dizaines de microns, et cela avec une précision de l'ordre du micron.

Le potentiomètre P permet de régler la sensibilité de l'appareil; on pourrait également régler la sensibilité en faisant varier la tension de chauffage de la lampe L.

Le dernier étage (lampes EL3) transmet la tension amplifiée à un voltmètre alternatif (0-250 volts) à cellule redresseuse. La résistance de l'appareil de mesure doit être d'au moins 1.000 ohms par volt. La puissance que les lampes EL3 sont susceptibles de fournir peut d'ailleurs être utilisée pour la commande de relais.

### **Contrôle de la dureté des pièces.**

La dureté d'une pièce s'apprécie habituellement en appuyant fortement sur elle une pièce de faibles dimensions, et en mesurant l'empreinte produite (méthode Brinell).

On peut encore laisser tomber sur la pièce un petit marteau métallique dont on mesure la hauteur de rebondissement. En

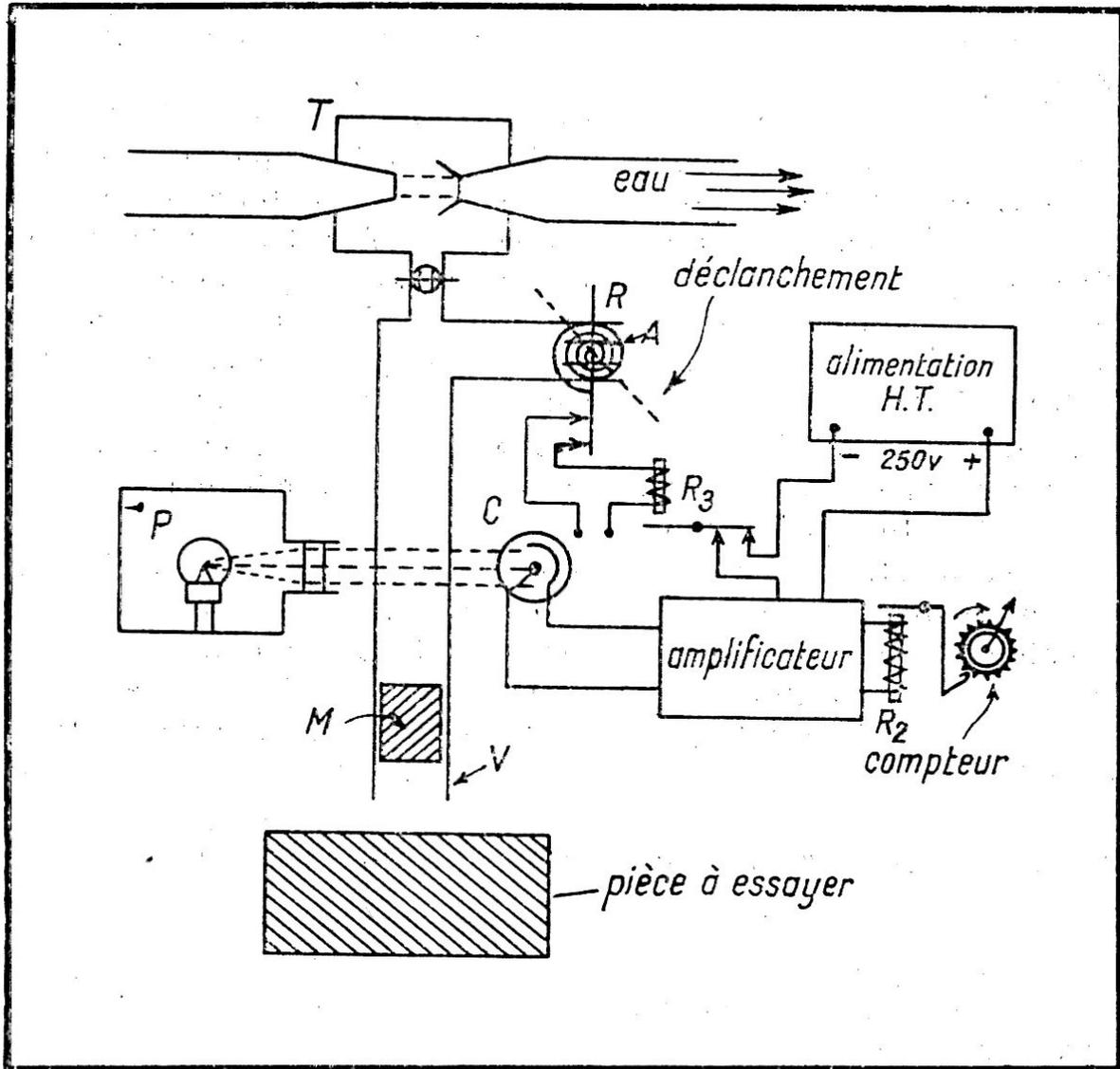


Fig. VI-13

dehors de ces appareils, il peut être intéressant de posséder un système comparatif permettant d'apprécier automatiquement si la pièce atteint un degré de dureté déterminé.

Le dispositif de la figure VI-13 permet ce contrôle. Un marteau métallique M glisse comme un piston dans un cylindre vertical en verre V. Ce marteau est soulevé à l'aide de la dépression créée par une trompe à eau T reliée à la partie supérieure du cylindre.

Si l'on ouvre un gros robinet R placé à la partie supérieure du cylindre, ce qui fait communiquer ce dernier avec l'extérieur, le marteau M va tomber sur la pièce. Il rebondira plus ou moins haut suivant la dureté de la pièce.

Si le rebond est suffisant, il coupera le faisceau lumineux provenant du projecteur et tombant sur la cellule C qui actionne,

par l'intermédiaire d'un amplificateur, un compteur ou un indicateur.

Plusieurs précautions doivent être prises. L'ouverture du robinet R doit être brusque, et peut être activée par la détente d'un ressort A. Le marteau ne doit pas faire fonctionner les relais R<sub>2</sub> de commande du compteur au moment de la descente. Cela peut être obtenu de la manière suivante: la commande du robinet R agit également sur un relais retardé R<sub>1</sub> qui ne connecte la haute tension de l'amplificateur qu'avec un retard suffisant pour que la tombée du marteau n'agisse pas sur le relais R<sub>2</sub>.

L'étalonnage de l'appareil pourra être fait par comparaison avec les appareils de mesure de dureté habituellement utilisés en construction mécanique.

La vérification de divers organes électriques ou mécaniques — interrupteurs, moteurs obturateurs, etc. — peut être faite à l'aide de l'oscillographe cathodique. Nous renvoyons nos lecteurs aux ouvrages spéciaux et en particulier à celui de R. Aschen et R. Gondry : *La pratique de l'oscillographe cathodique*.

### **La détection des très petits objets métalliques.**

La présence de particules métalliques dans certains produits industriels doit être soigneusement décelée. Nous citerons entre autres: le papier, les isolants de condensateurs, les cigares, etc. Il y a aussi des applications très spéciales telles que le contrôle douanier.

Inversement, il peut être intéressant de déceler la non-homogénéité de la fabrication de pièces métalliques, la présence de *pailles* ou de fêlures dans le métal. Les appareils destinés à ce contrôle utilisent souvent des radiations invisibles: ultraviolets, rayons X, etc.

Les contrôles industriels exigent un appareillage robuste, peu coûteux, facile à utiliser et non dangereux. C'est pourquoi l'on a construit des détecteurs d'objets métalliques basés sur le principe suivant :

La pièce à examiner est placée à l'intérieur d'enroulements électriques dont elle provoque la variation de self-induction ou de mutuelle-induction. Ces changements sont dus, soit aux pertes haute-fréquence provenant de la présence de l'objet, soit à la variation de perméabilité provoquée par l'objet, soit aux deux causes réunies.

Ces changements peuvent provoquer une variation de la fréquence d'un oscillateur et l'apparition d'une fréquence de batte-

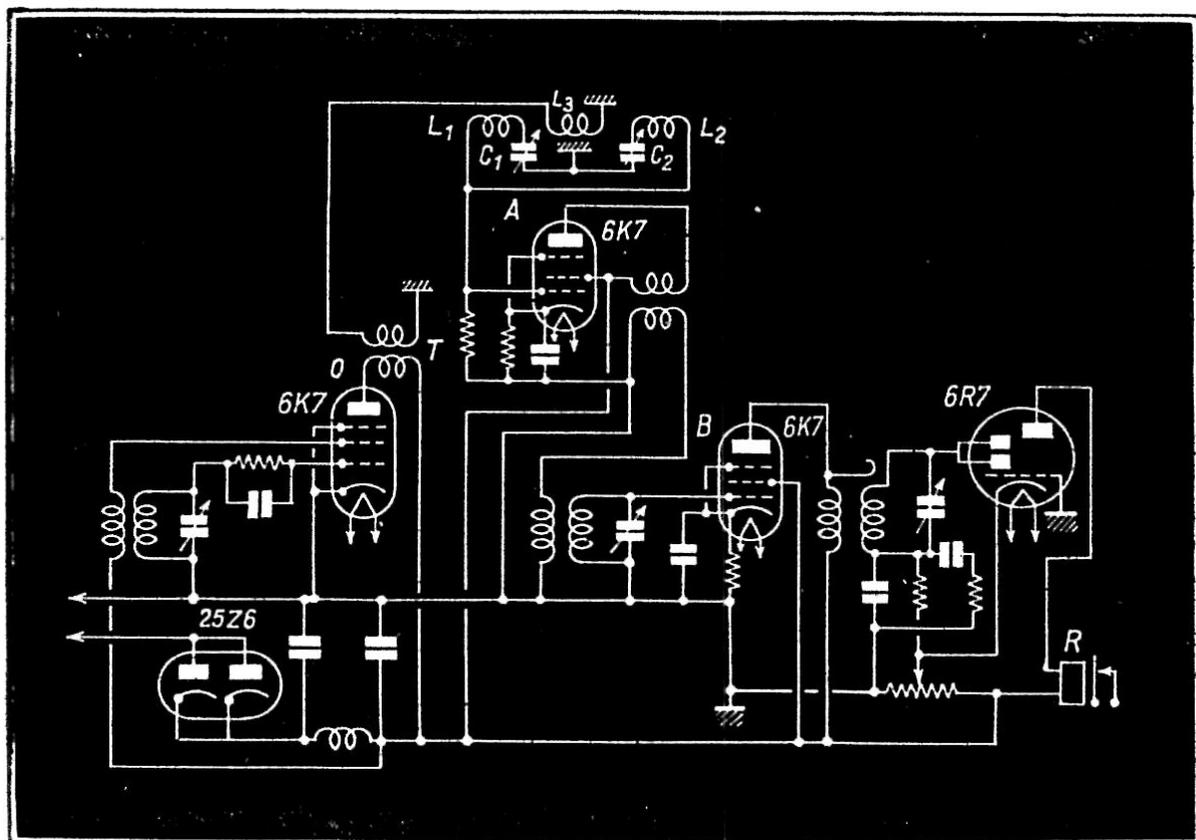


Fig. VI-14

ment avec un autre oscillateur. Cette méthode exige des oscillateurs très stables.

A titre d'exemple, nous décrirons un détecteur d'objets métalliques réalisé par Brockhuysen et basé sur un principe un peu différent (fig. VI-14). Ce détecteur utilise un pont d'inductances accordées constitué par deux inductances  $L_1$  et  $L_2$  et deux condensateurs  $C_1$  et  $C_2$ . L'extrémité  $P_1$  du pont est relié à la terre, l'autre extrémité  $P_2$  étant connectée à la grille du tube amplificateur A.

Les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont de valeurs égales, les inductances  $L_1$  et  $L_2$  également. L'oscillateur O agit sur l'inductance  $L_3$  par l'intermédiaire de T. Normalement, les inductances  $L_1$  et  $L_2$  fournissent des tensions égales et opposées qui s'annulent et ne produisent aucune action sur l'amplificateur.

Le passage d'un objet métallique à travers les trois inductances provoquera deux fois le déséquilibre du pont. Le signal ainsi créé est amplifié, détecté et amplifié encore une fois par le tube final 6R7 qui actionne le relais final. Ce dernier peut agir sur un appareil indicateur ou commander automatiquement le rejet de la pièce défectueuse.

Si les circuits  $L_1 C_1$  et  $L_2 C_2$  sont accordés sur la fréquence d'oscillation, la sensibilité de l'appareil sera maximum. Il est

possible de déceler facilement des objets métalliques d'un diamètre de 0,5 mm.

Les bobines  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  sont montées sur un même écran cylindrique en fil de cuivre de sorte que le réglage du pont n'est pas influencé par la position de la bobine  $L_2$ . Cet appareil qui est robuste est d'un emploi facile, toutefois il est sensible aux vibrations et il faut prendre quelques précautions pour les éviter.

### La soudure électrique.

La mise au point de tubes à gaz permettant de laisser passer de très grandes pointes de courant pour un courant moyen relativement faible a permis la commande électronique des soudeuses électriques.

Le courant de soudure peut traverser directement le tube à gaz, mais ce montage n'est possible que pour des installations de faible puissance. Il est le plus souvent modifié de la manière suivante: le tube à gaz commande le primaire d'un transformateur dans le secondaire duquel sont placées les électrodes et les pièces à souder.

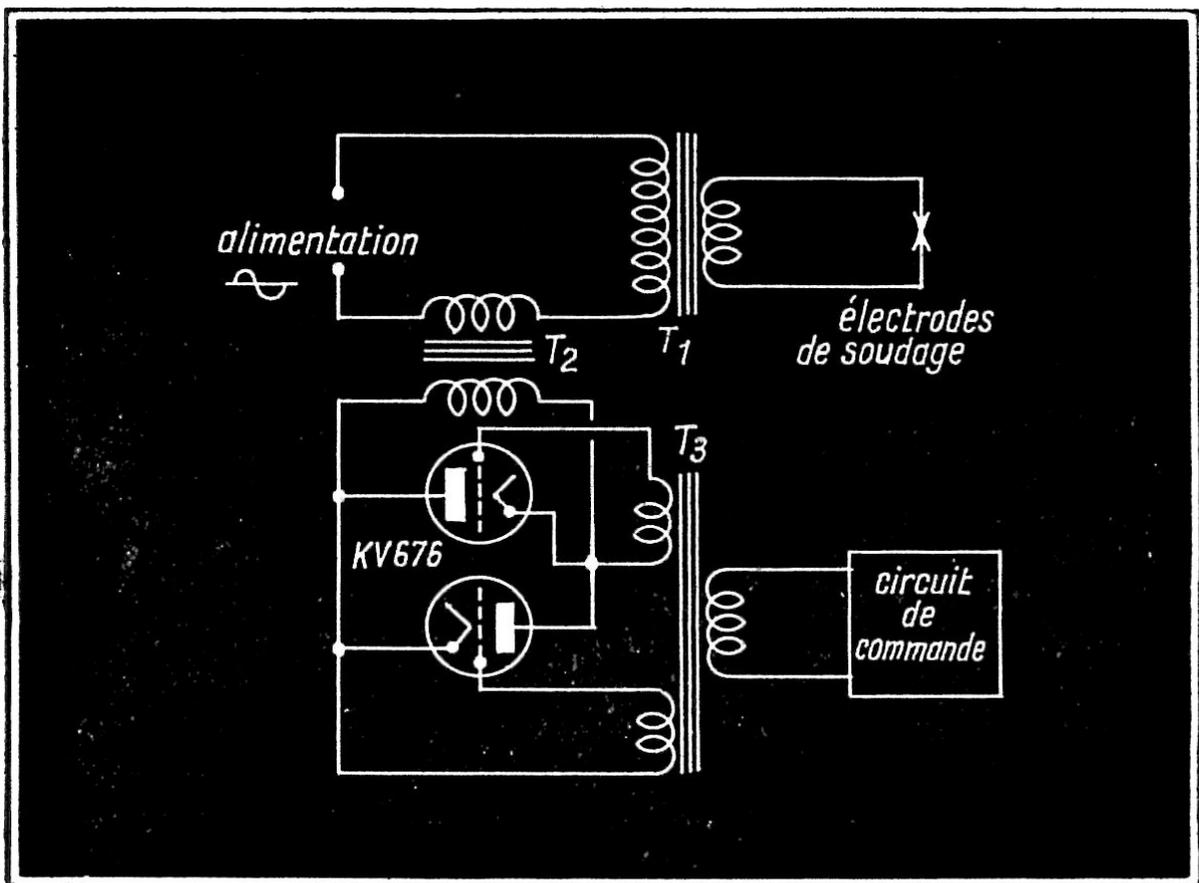


Fig. VI-15

Les installations de faible et moyenne puissance utilisent de préférence le montage dit *à impédance*. Les installations à grande puissance utilisent le montage à *commande d'ignitrons*.

Dans le montage à impédance (fig. VI-15), la source de tension, le primaire du transformateur de soudure  $T_1$  et le primaire du transformateur d'impédance  $T_2$  sont montés en série. Quand le circuit secondaire de  $T_2$  est ouvert, l'impédance primaire est grande et le courant faible dans  $T_1$ . Si le secondaire de  $T_2$  est court-circuité par les deux thyratrons, le courant dans  $T_1$  devient très important. Cela arrive lorsque ces tubes sont conducteurs, c'est-à-dire pendant un temps très court (1, 2 ou 3 périodes par exemple). Un circuit de commande applique à l'instant voulu la tension correspondant à l'amorçage sur les grilles des thyratrons.

Dans les installations à plus grande puissance (fig. V-16), on utilise des redresseurs à vapeur de mercure (ignitrons) pour varier l'impédance placée en série avec le primaire du transformateur. Les thyratrons commandent l'amorçage des ignitrons.

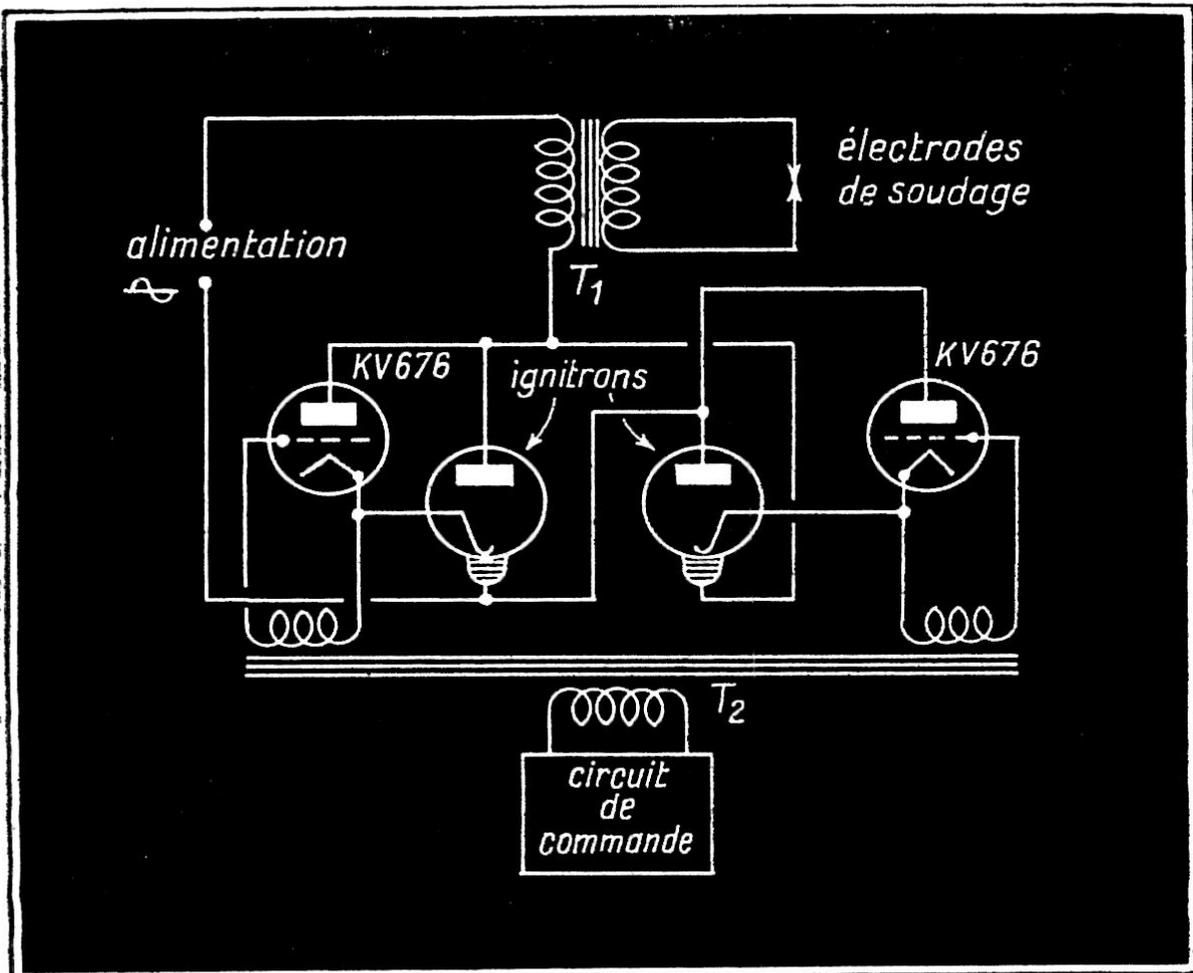


Fig. VI-16

Lorsque les ignitrons ne sont pas amorcés, tout se passe comme si une résistance très importante était placée en série avec le primaire du transformateur  $T_1$ . Une électrode auxiliaire placée en série avec les thyratrons permet d'amorcer les ignitrons. La résistance de ceux-ci est alors très faible car la chute la tension dans un arc à vapeur de mercure est de 6 volts seulement. Un courant important traverse le primaire de  $T_1$  et la soudure se produit. La polarisation des grilles de thyratrons, nécessaire pour leur amorçage, est produite pour un circuit de commande analogue à celui utilisé dans le cas précédent.

Les thyratrons destinés à la commande des machines à souder doivent pouvoir fournir des pointes de courant très fortes: 75 ampères, par exemple, pour un courant anodique moyen de 6 ampères. Il faut que la cathode soit prévue pour ne pas être détériorée par les ions gazeux pendant le passage des pointes de courant. Le tube KV676 de la *Western Electric* répond à ces besoins. A titre indicatif nous en donnons les caractéristiques principales.

Nombre d'électrodes .....	3
Tension de chauffage .....	5 volts
Intensité filament .....	11,5 ampères
Temps de chauffage de la cathode ..	5 minutes
Tension anodique maximum .....	1.000 volts
Pointe maxim. du courant anodique.	75 ampères
Courant grille maximum à l'amorçage	2,5 microampères
Temps de mise en charge .....	30 secondes
Capacité grille-cathode .....	12 micromicrofarads
Capacité grille-anode .....	12 micromicrofarads
Chute de tension dans le tube .....	15 volts

### Commande des moteurs électriques à l'aide de Thyratrons.

Les applications de l'électronique à l'utilisation et à la production de l'énergie électrique sont de plus en plus importantes. En matière de radioélectricité on utilise surtout la décharge électronique dans le vide, mais, en ce qui concerne l'énergie électrique à grande puissance, il semble que l'on doive s'orienter vers les tubes à décharge dans un gaz.

En effet, ce genre de décharge permet le passage d'un courant très intense (voir chapitre I). Depuis de nombreuses années, on utilise l'arc dans la vapeur de mercure, mais ses appli-

cations sont limitées à la transformation du courant alternatif en courant continu.

Le thyatron est employé soit pour la transformation de l'alternatif en continu (*redresseur*), soit pour la transformation du continu en alternatif (*inverter*). Il est encore utilisé pour changer la fréquence d'un courant ou pour élever une tension en réduisant l'intensité, ou inversement.

### Moteurs à courant continu commandés par thyatrons.

Les tubes à gaz permettent de réaliser des moteurs à vitesse variable fonctionnant sur alternatif dans de bonnes conditions.

La figure VI-17 représente un schéma de principe très simple pour la commande d'un moteur à courant continu. Le courant passe successivement dans chaque thyatron et l'amorçage de ceux-ci est réglé par le potentiel appliqué aux grilles.

La figure VI-18 donne le schéma d'un moteur à courant continu alimenté à partir du courant triphasé. On remarquera qu'aucun transformateur n'est utilisé. Ce principe a été appliqué pour des moteurs de plusieurs dizaines de chevaux.

### Moteurs réversibles.

Le schéma de principe d'un moteur réversible à courant continu, alimenté en alternatif par l'intermédiaire de thyatrons, est indiqué dans la figure VI-19. Le moteur peut fonctionner

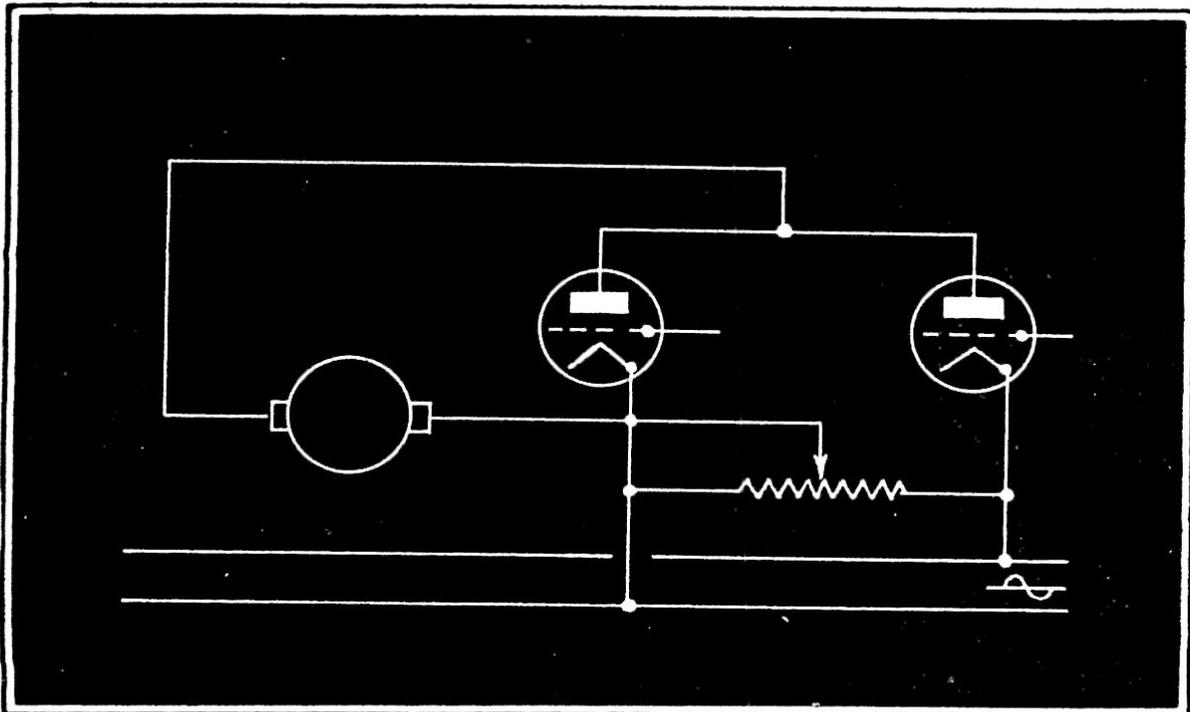


Fig. VI-17

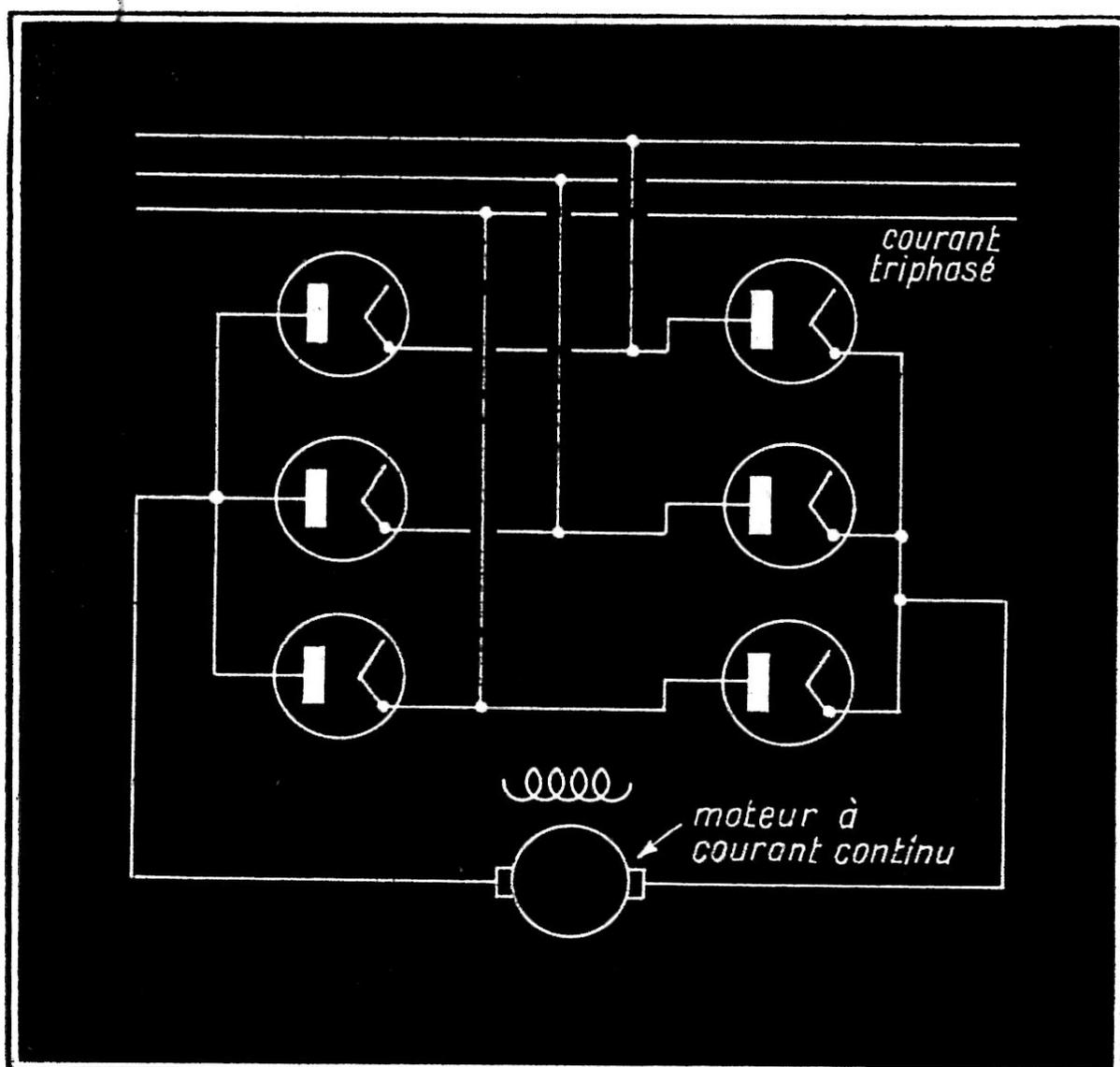


Fig. VI-18

dans les deux sens; il peut même devenir générateur si l'organe d'utilisation l'entraîne suffisamment vite.

### **Commande à distance de la vitesse et de la position de l'organe tournant du moteur.**

Le *Torque Amplifier*, spécialement utilisé aux Etats-Unis, est un montage permettant de contrôler à la fois la vitesse et la position de l'organe tournant du moteur. Il permet de reproduire n'importe quel mouvement, mais avec une puissance accrue.

La figure VI-20 montre le principe d'un tel montage. L'arbre de commande est relié à deux transformateurs de phase qui commandent les grilles des thyristors. L'arbre de la machine, qui est entraîné par le moteur, est relié à deux transformateurs

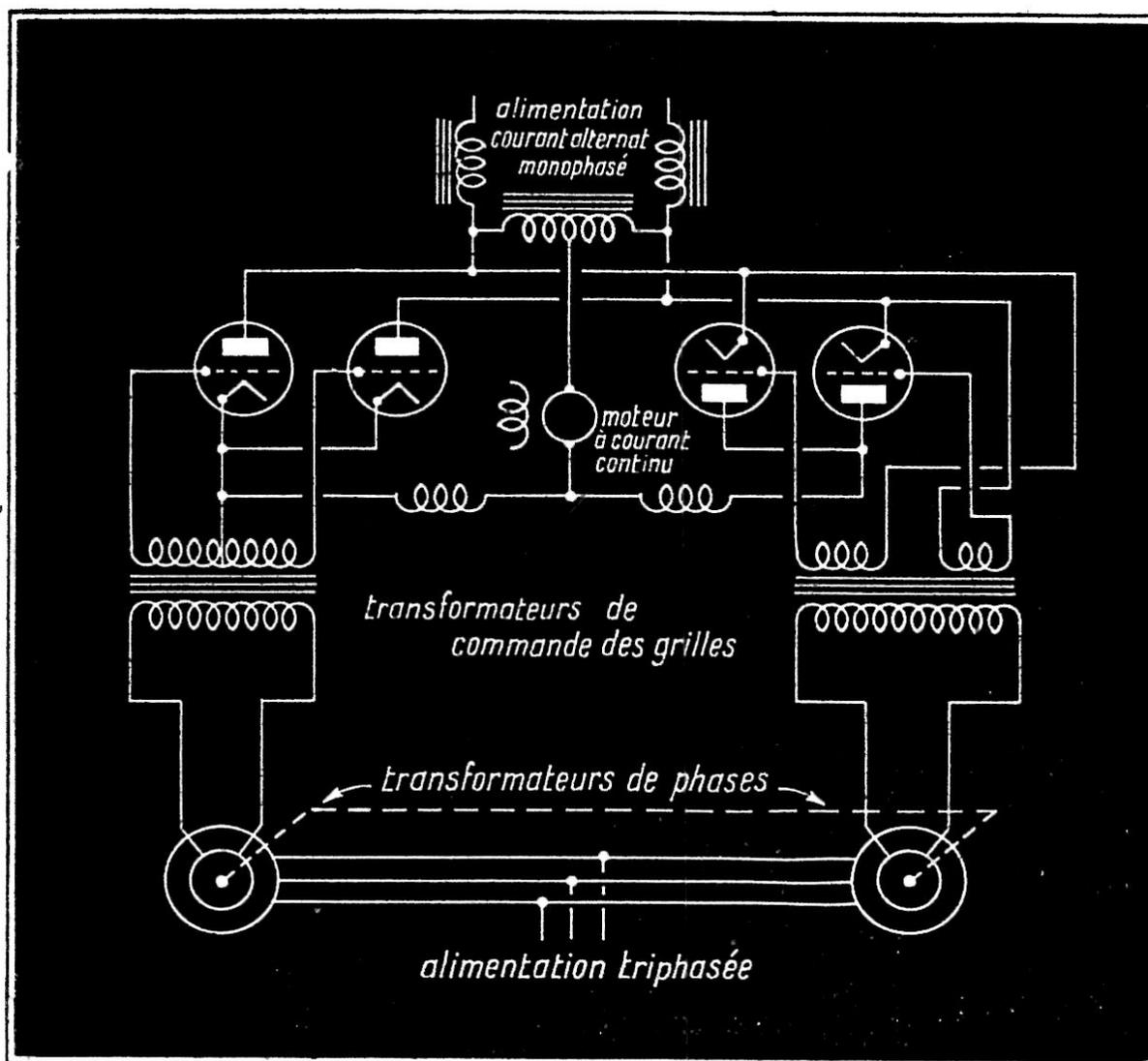


Fig. VI-19

de phase pour donner une action différentielle sur le moteur de contrôle.

Lorsque le premier arbre tourne, il fait changer le potentiel des grilles; le moteur se met en route et tourne jusqu'à ce que l'action différentielle ait neutralisé le potentiel de grille créé par le système de commande à distance.

Ainsi, le moteur tourne jusqu'à ce que la position angulaire de la machine commandée corresponde à la position déterminée par l'organe de commande. Ce principe peut être utilisé pour la commande d'organes de sondage, de canons, etc. La précision angulaire peut atteindre quelques minutes seulement.

### Moteur à induction à thyatron.

On voit dans le schéma de la figure VI-21 que l'ensemble des thyratrons est mis à la place d'un rhéostat dans le secondaire

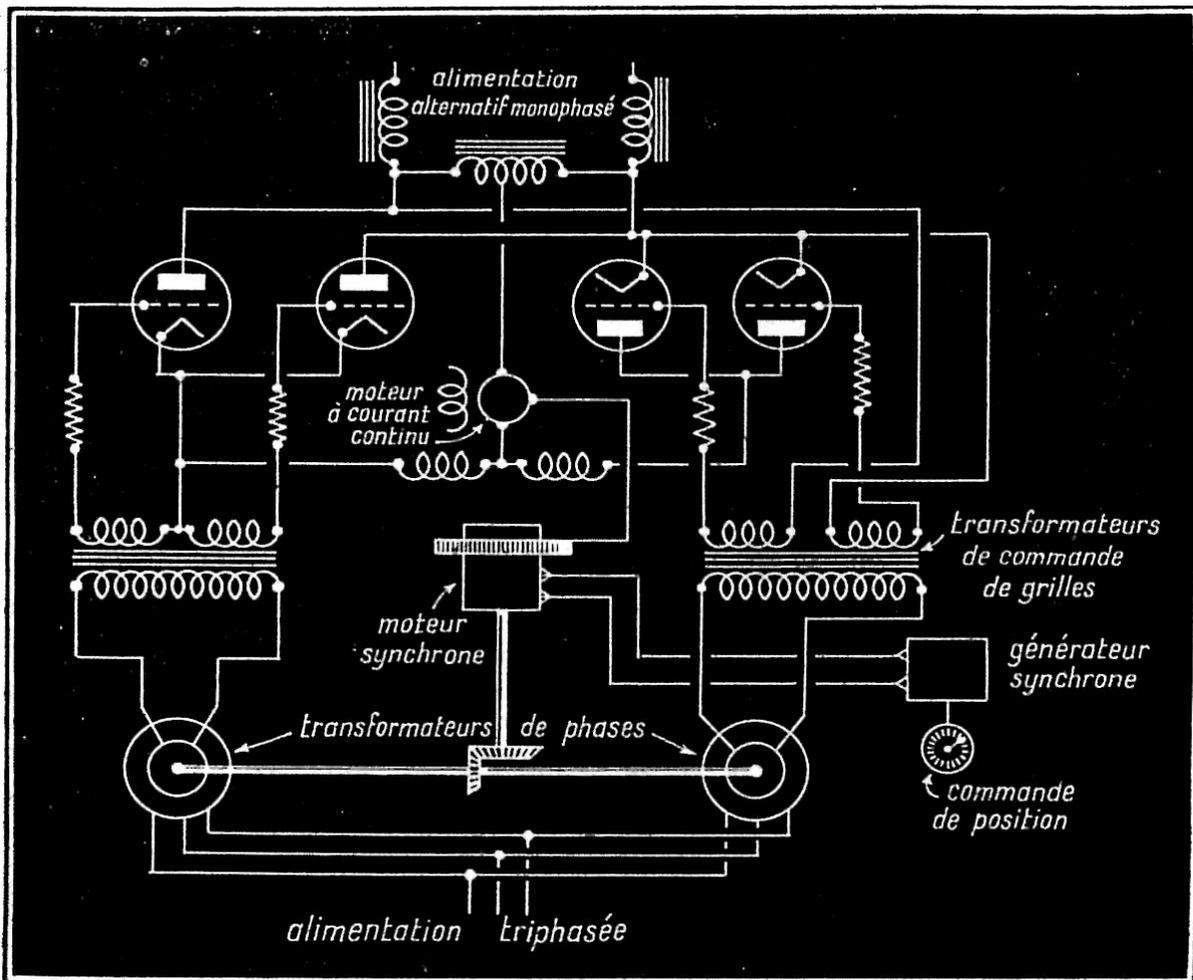


Fig. VI-20

du moteur à induction. La puissance est contrôlée à l'aide d'un transformateur à prise ou à l'aide de thyatron.

### Moteurs synchrones à thyatron.

Dans ce montage (fig. VI-22), l'ensemble des thyatron change la fréquence du courant envoyé au moteur synchrone. Les tensions appliquées sur les grilles des thyatron sont contrôlées par un distributeur placé sur l'axe du moteur.

Le moteur utilisé est du type synchrone dont le rendement est excellent. Grâce au montage, il a les caractéristiques d'un bon moteur à courant continu : fort couple de démarrage et vitesse réglable. Alexanderson, de la *General Electric Company*, a appliqué ce principe à des moteurs pouvant fournir une puissance de 400 CV.

### Commande électronique de petits moteurs à courant continu.

Les principes généraux de ce genre de commande ont été indiqués précédemment. La commande de petits moteurs (0,25

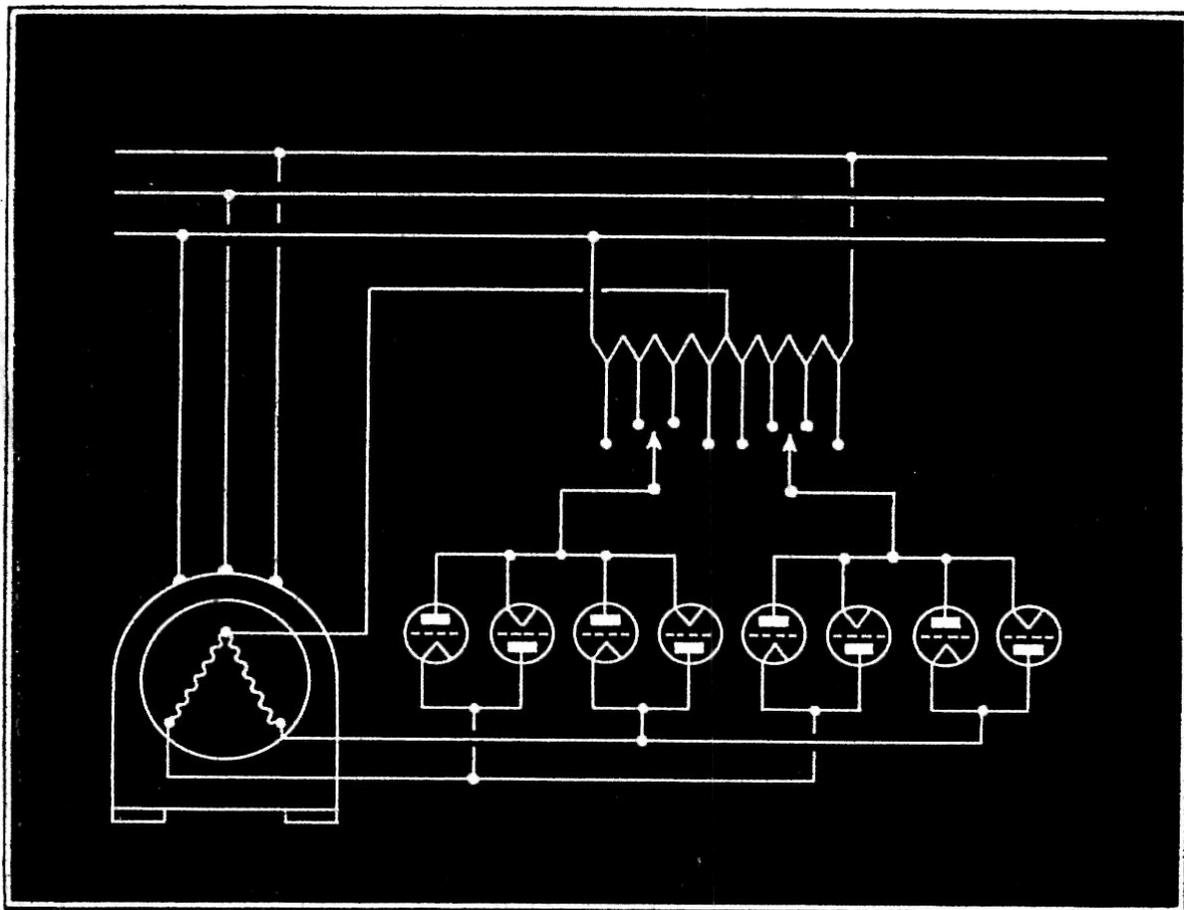


Fig. VI-21

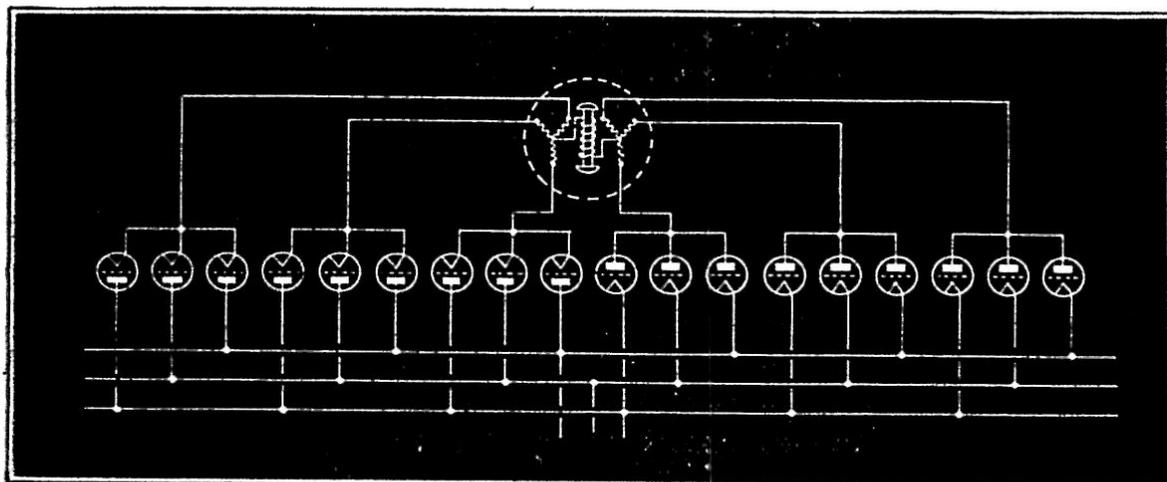


Fig. VI-22

ou 0,5 CV) est possible par l'utilisation directe de thyratrons, sans aucun relai.

Dans le montage de la figure VI-23, suivant la position du contact X, le courant peut passer soit à travers l'un, soit à travers l'autre thyatron suivant sa polarité. Par l'intermédiaire

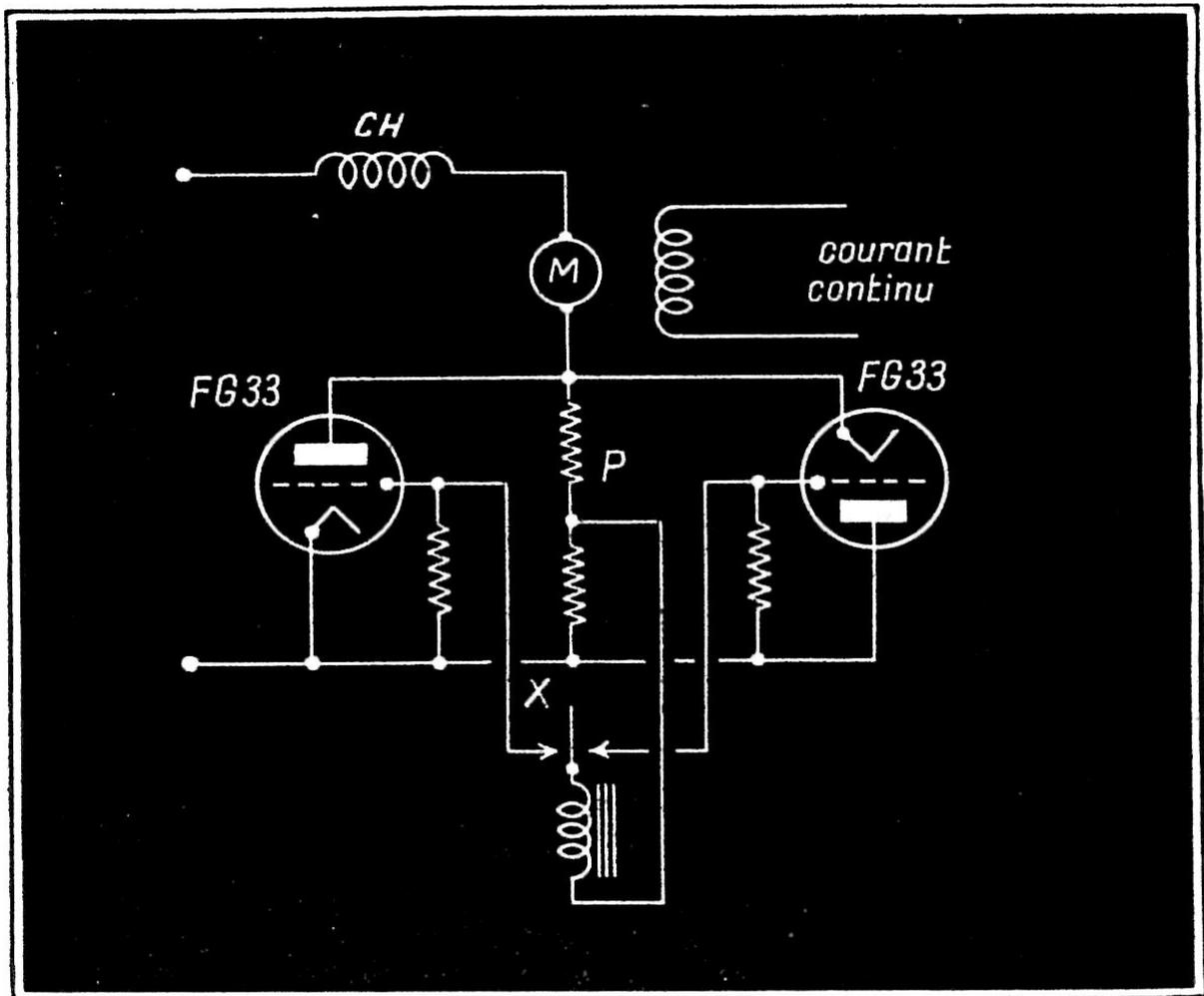


Fig. VI-23

de l'inverseur X, la grille de l'un quelconque des thyratrons peut être reliée à un point P dont la tension est positive par rapport à la cathode.

Les thyratrons doivent être du type à grille positive, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent s'amorcer que lorsque la grille est positive. Le désamorçage se produit lorsque la tension plaque est nulle ou négative par rapport à la cathode. Avec ce genre de thyatron, une rupture dans le circuit de grille ne provoque pas le démarrage du moteur.

L'excitation est produite par un enroulement parcouru par du courant continu fourni, par exemple, par un petit redresseur auxiliaire. Si les deux contacts de X sont fermés, le moteur soumis à un courant alternatif a trop d'inertie pour tourner. La self-inductance CH — un Henry par exemple — s'oppose au passage d'un courant alternatif exagéré.

## CHAPITRE VII

# APPLICATIONS DIVERSES

---

Il ne saurait être question d'étudier, même sommairement, dans cet ouvrage toutes les applications de l'*Electronique*. Nous nous contenterons d'en décrire quelques-unes parmi les plus intéressantes, choisies par la diversité des principes mis en jeu.

### **Le réglage automatique de l'éclairage par la lumière extérieure.**

L'éclairage d'une surface importante pose des problèmes relativement complexes. Dans la plupart des applications, la lumière extérieure fournit, pendant le jour, la plus grande partie de l'énergie nécessaire à l'éclairage. Une organisation rationnelle et économique exige que, lorsque la lumière solaire décroît, un certain nombre de lampes soit mis en service. Ce nombre sera d'autant plus important que la lumière solaire sera plus faible.

Dans d'autres applications, au contraire, il est nécessaire de mettre en service un nombre de lampes d'autant plus faible que la lumière extérieure est plus faible. Tel est le cas des passages souterrains pour automobiles. On évite ainsi l'éblouissement que causerait le passage brusque entre deux zones à éclairagements très différents. Lorsque le soleil brille à l'extérieur, le souterrain sera éclairé au maximum à proximité des orifices. Par contre, au cours de la nuit on ne conservera que le nombre minimum de lampes nécessaire pour un éclairage normal.

A titre d'exemple, nous décrirons un dispositif de ce genre utilisé pour l'éclairage du souterrain de l'Avenue Foch à Paris. Ce dispositif donne un éclairage d'autant plus important que la lumière extérieure est plus forte. Il est évident que l'on pourrait baser sur des principes analogues un dispositif permettant de diminuer un éclairage lorsque la lumière du jour augmente.

La figure VII-1 représente le schéma de l'installation. Une cellule photorésistante  $P_1$ , placée sur un lampadaire à l'extérieur du souterrain, reçoit la lumière du jour. Cette cellule commande un galvanomètre à contacts  $G$  et un étrier frappeur à bilame  $F$ . Trois contacts permettent la commande des relais interrupteurs  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  qui correspondent chacun à l'un des trois degrés d'éclairage prévus. Le premier jeu de 32 lampes correspond à l'éclairage permanent minimum de nuit. Les autres jeux sont respectivement de 62, 122 et 242 lampes. On obtient ainsi 4 degrés d'éclairage correspondant à 4 intensités différentes de la lumière extérieure.

Certaines grandes villes, Berlin par exemple, ont appliqué sur une grande échelle l'éclairage progressif des rues, en fonction de la lumière du jour.

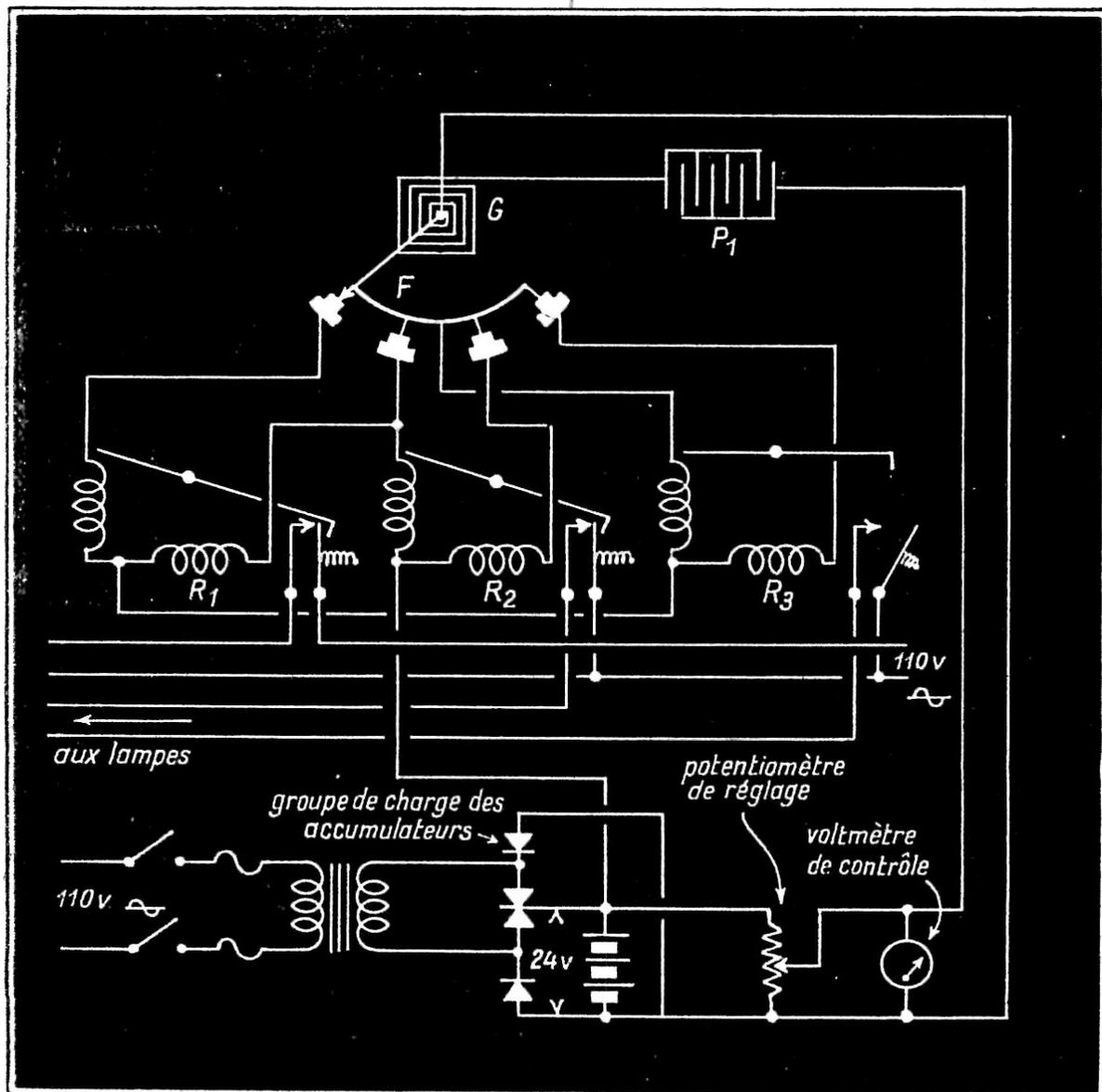


Fig. VII-1

### Lecture électromécanique.

La cellule photoélectrique a permis de réaliser des appareils de lecture remplaçant l'œil humain. L'*Octophone* de Fournier d'Albe permet à un aveugle de lire en remplaçant le sens visuel par le sens auditif.

Un élément photosensible reçoit la lumière dispersée par une page imprimée (fig. VII-2). Un disque rupteur comporte cinq cercles concentriques de trous, chaque cercle étant constitué par un nombre différent de trous et divisant la lumière en cinq faisceaux distincts. Ces faisceaux sont concentrés en cinq points lumineux disposés très près les uns des autres, suivant une ligne droite à hauteur des caractères d'imprimerie.

A mesure que l'on déplace la page latéralement, les points lumineux — chacun correspond à une fréquence différente — explorent la ligne imprimée (fig. VII-3). Le courant produit est un mélange de cinq courants à fréquences différentes, ce qui produit un son composé dans un téléphone ou un haut-parleur.

Lorsque les points lumineux sont partiellement absorbés par

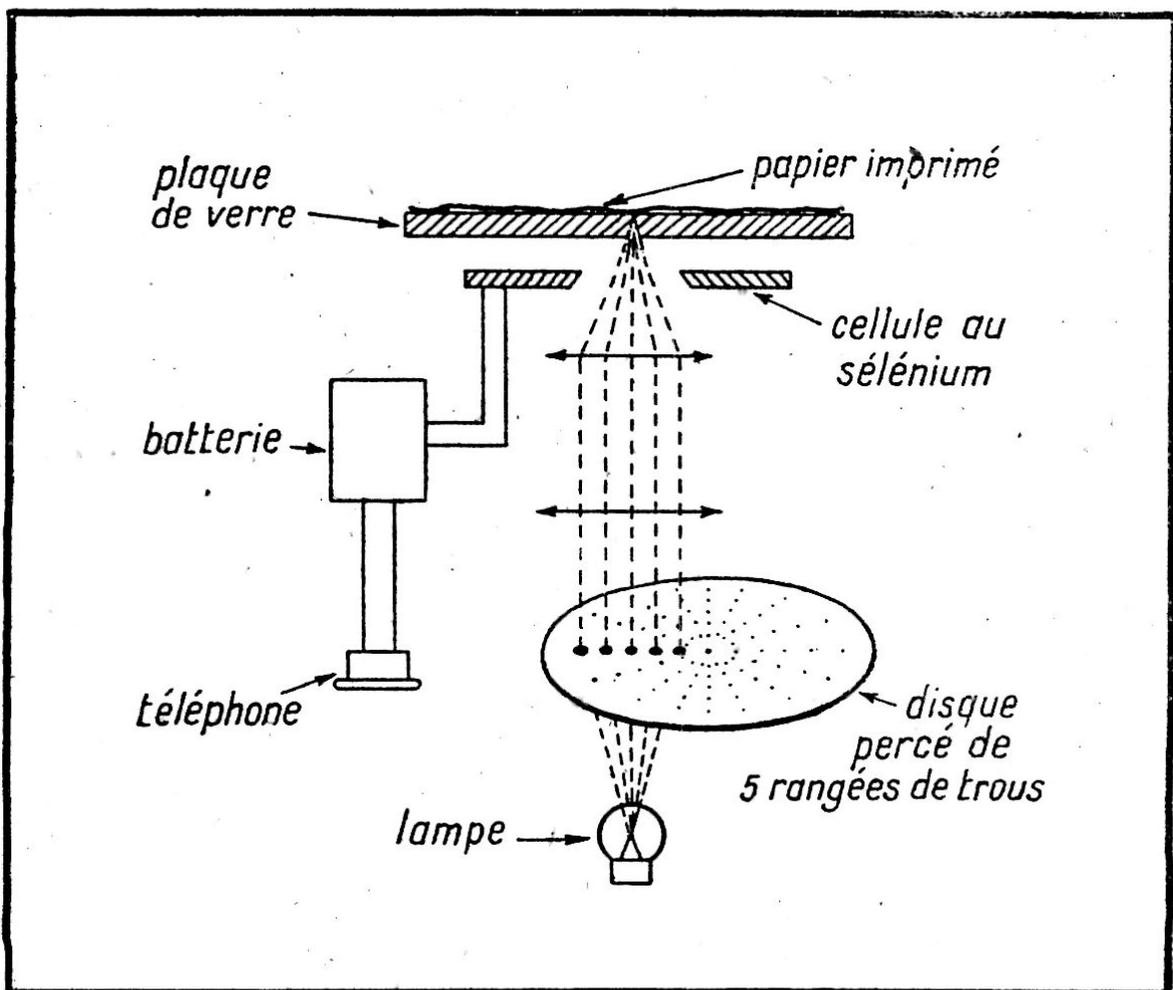


Fig. VII-2

les caractères noirs, le son produit varie d'une manière qui est particulière à la lettre balayée. Il faut, naturellement, éduquer les aveugles pour discerner les caractères d'imprimerie d'après le son. Ce résultat peut être atteint en quelques mois.

Par ailleurs, Rosnig a également inventé une machine dans laquelle une cellule photoélectrique transforme les caractères d'imprimerie en une série de lettres musicales.

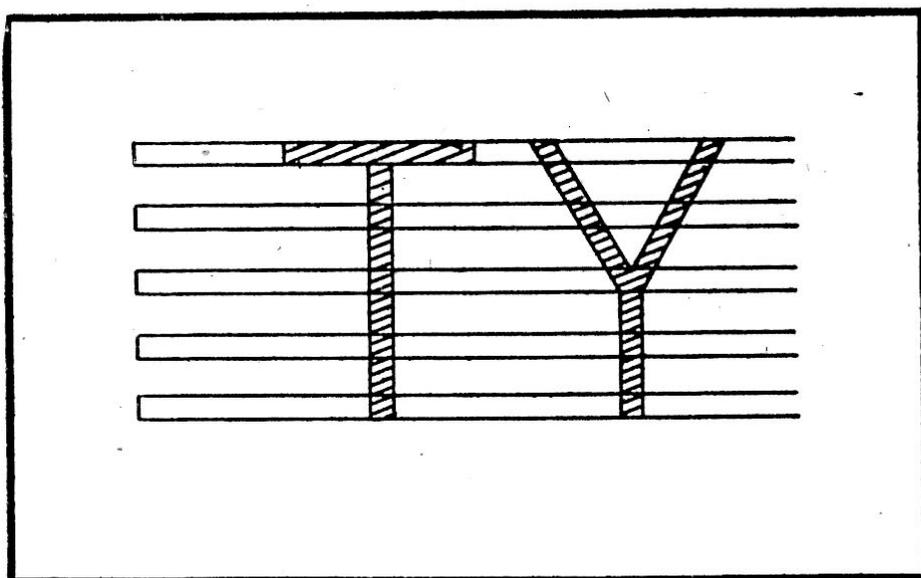


Fig. VII-3

### Transformation en relief des caractères imprimés.

Les appareils décrits précédemment ont l'inconvénient de nécessiter une éducation assez longue de l'aveugle.

L'appareil de M<sup>r</sup> et M<sup>me</sup> Thomas, le *photoélectrographe*, permet grâce à des cellules photoélectriques de transposer en relief les caractères imprimés. Le sens visuel est remplacé par le sens du toucher, ce qui permet la « lecture » facile et immédiate d'un schéma ou d'un texte imprimé.

Dans cet appareil (fig. VII-4), le texte est placé sur un chariot C qui se meut sur la table T de façon à examiner successivement toutes les lettres qui passent dans le champ d'un projecteur P. Un objectif O et des miroirs M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> forment une image de la lettre sur un ensemble E composé de plusieurs cellules juxtaposées P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, etc.

Les cellules éclairées laissent passer le courant et commandent chacune un relais : R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, etc. Les relais commandent à leur tour des électro-aimants A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, etc. qui déplacent des tiges verticales V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, etc. Ces tiges reproduisent sous le doigt, en relief, la « section » de lettre ou de schéma analysé. Pendant qu'une main est occupée à « lire le relief », l'autre tourne la manivelle M qui fait avancer le chariot pour l'exploration du texte imprimé.

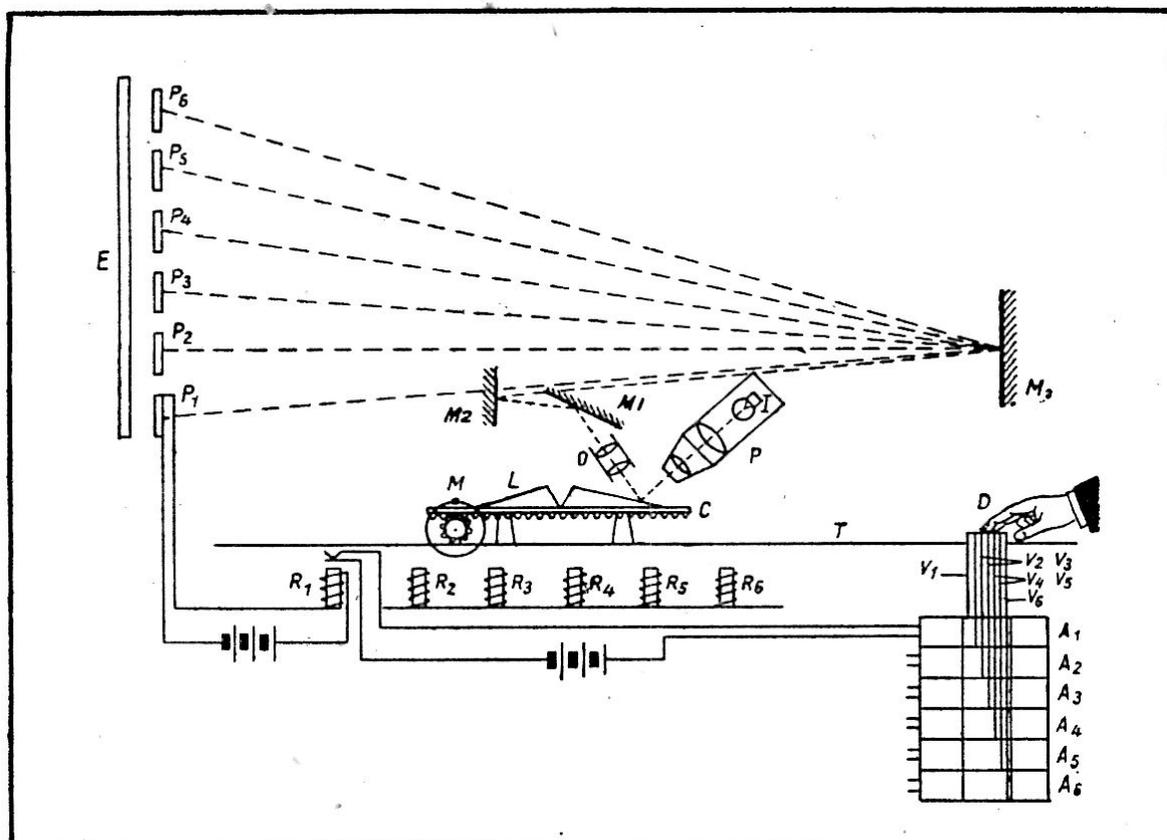


Fig. VII-4

Les inventeurs ont réalisé plusieurs modèles de cet appareil. Le modèle initial à cellules au potassium avait l'inconvénient d'être coûteux. Un modèle utilisant 42 cellules photorésistantes au sélénium permet la lecture des caractères courants d'imprimerie. Enfin, un modèle simplifié à six cellules au sélénium permet la lecture des *caractères Braille*.

Les cellules au sélénium, bien que présentant une certaine inertie, sont avantageuses car elles peuvent actionner les relais directement, sans l'intermédiaire d'amplificateurs à lampes. L'utilisation des caractères Braille a, en outre, l'avantage de donner des caractères en relief qui tiennent entièrement sous le doigt du lecteur. Le système optique O permet d'ailleurs d'amener les lettres à la grandeur désirée.

Pour cette application, les caractères Braille peuvent être imprimés à l'encre, sans relief et exactement comme des caractères ordinaires. L'épaisseur des livres s'en trouve très réduite, et leur prix de revient est considérablement diminué.

### Les recherches minières et géophysiques.

L'étude de la composition géologique du sol et la recherche des huiles, des minéraux et des métaux pose aux spécialistes des problèmes complexes.

Les méthodes classiques consistant à creuser des tranchées ou à forer des puits sont longues et coûteuses. Une méthode particulièrement avantageuse est la méthode *séismique* qui a pu être mise au point et utilisée grâce aux amplificateurs électroniques.

Cette méthode consiste à introduire, à une certaine profondeur, une charge de dynamite, et à la faire exploser électriquement. L'onde ainsi créée se propage jusqu'à ce qu'elle soit réfléchiée vers la surface du sol par une couche, crayeuse par exemple (fig. VII-5).

L'onde réfléchiée est reçue par six détecteurs de vibration constitués par des microphones spécialement étudiés. Ces microphones envoient des impulsions électriques à un amplificateur qui est suivi d'un oscillographe enregistreur électromécanique. Sur un ruban de papier on trouve successivement l'impulsion qui a déclenché l'explosion et les impulsions transmises par les microphones. Simultanément, on enregistre une série d'impulsions repères espacées de  $1/100^{\circ}$  de seconde.

Si l'on connaît la vitesse de propagation du son dans le sol, on calcule facilement la profondeur de la couche réfléchissante. L'utilisation des six microphones permet de séparer l'onde réfléchiée de l'onde arrivant directement de l'explosif. L'onde réfléchiée arrive très inclinée par rapport au sol et est reçue presque simultanément par les six microphones, tandis que l'onde directe n'arrive que successivement à chacun d'eux.

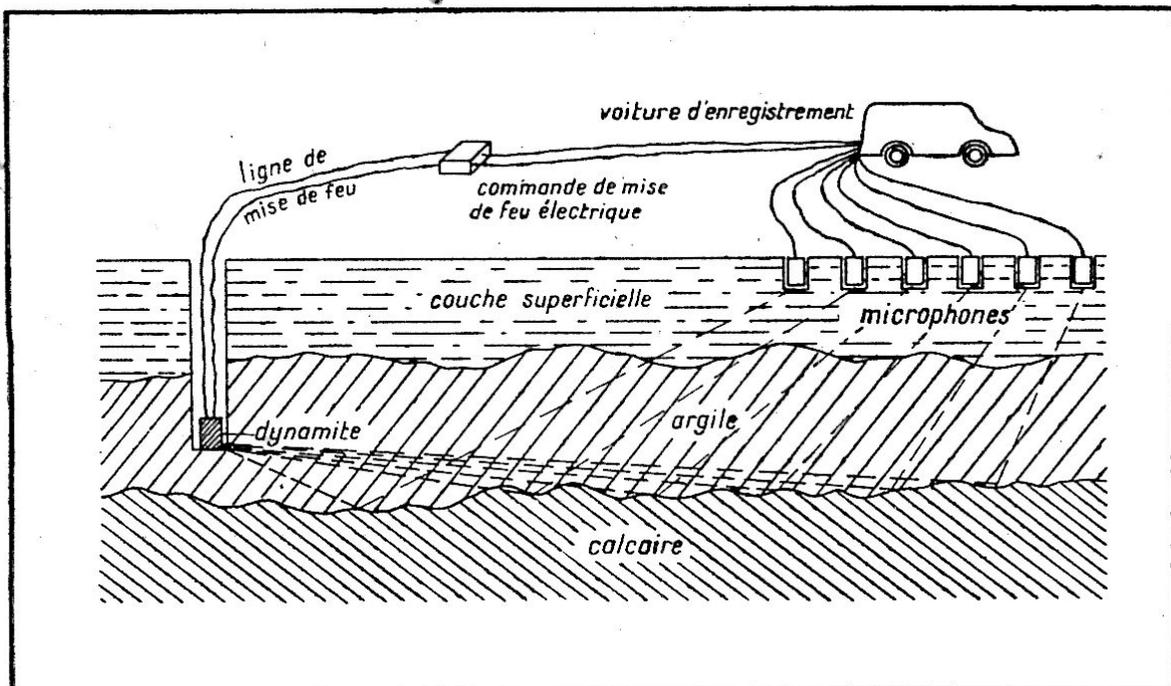


Fig. VII-5

Cette méthode n'indique pas obligatoirement la présence de minerais ou gisements, mais elle indique une discontinuité géologique du sol, ce qui est un élément d'étude très important.

D'autres systèmes utilisent des oscillateurs à haute fréquence et un récepteur qui détecte les ondes réfléchies par des objets métalliques, trésors, tuyaux métalliques, etc. Les résultats sont très variables selon les cas particuliers.

### Communications par voie lumineuse.

Le principe consiste à moduler un rayon lumineux par les signaux à transmettre (signaux *Morse*, voix humaine, etc.). Le rayon lumineux modulé est reçu sur une cellule photoélectrique et amplifié pour actionner un relais ou un organe électro-acoustique (casque ou haut-parleur).

La modulation peut se faire par action directe sur le courant d'alimentation de la source lumineuse (fig. VII-6) ou par action sur le faisceau lumineux lui-même.

Dans ce dernier cas, une méthode consiste à utiliser des galvanomètres à fils parallèles analogues à ceux utilisés dans la prise de son du cinéma parlant. La variation du courant microphonique provoque un rapprochement plus ou moins grand des deux fils fins qui interceptent plus ou moins le faisceau lumineux.

Un perfectionnement consiste à utiliser des radiations invisibles, ultra-violettes ou infra-rouges. Les cellules sont choisies suivant la nature des radiations. Le secret des communications est mieux assuré. De plus, les radiations infra-rouges traversant assez facilement les nuages et brouillards, on peut améliorer, grâce à leur utilisation, la qualité et la constance des communications.

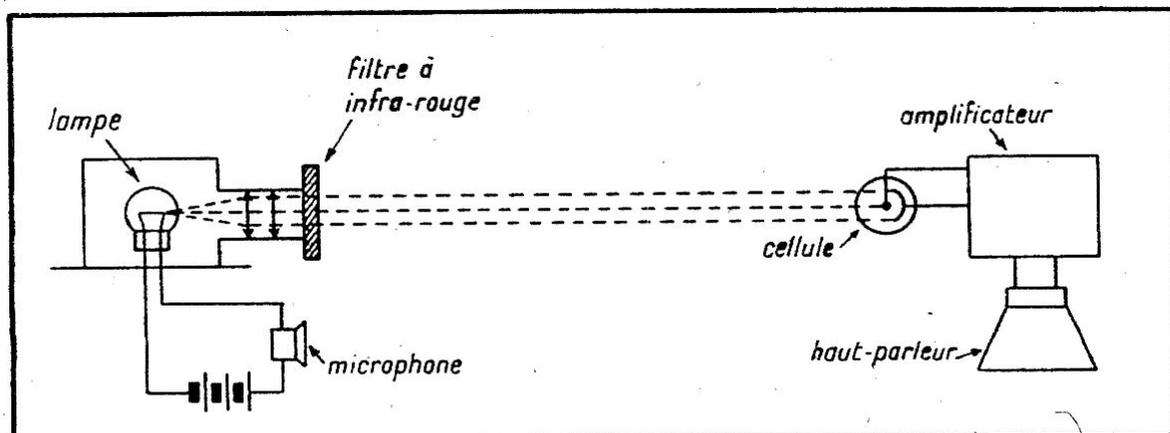


Fig. VII-6

## **Signalisation sous-marine par ultra-sons.**

Les dispositifs habituels de signalisation sous-marine utilisent le projecteur ultra-sonore à triplet piézo-électrique dont nous avons examiné le principe au chapitre I.

Le projecteur de signalisation doit pouvoir être sorti ou rentré dans le navire; il doit aussi être orientable aisément vers tous les points de l'horizon. Dans ce but, il est supporté par un « pèritère ».

Un « piètement », situé vers le milieu du navire, comporte une vanne et un sas en bronze. Un tube d'acier maintient le projecteur et peut se relever ou s'abaisser grâce à une commande électrique située au-dessus du sas. Un autre dispositif électrique permet l'orientation du projecteur.

L'appareil est muni d'un « transmetteur de gisement ». Une butée conique assure le guidage du tube et supporte la réaction horizontale due à l'avancement du navire.

L'électrode isolée du triplet transmet les impulsions électriques, par un contact tournant à frotteur et une canalisation appropriée, à la cabine de commande. Dans celle-ci se trouvent: l'émetteur à haute fréquence (quelques centaines de watts) et ses organes d'alimentation (génératrices, démarreurs, manipulateurs, etc.) ainsi que le récepteur, ses accessoires et les différents organes d'orientation et d'indication de gisement.

Le récepteur comporte une hétérodyne qui permet la réception des ultra-sons par « battements ». L'opérateur peut donc écouter les signaux, tout en orientant convenablement le projecteur. Il peut déceler les obstacles ou objets immergés, il peut échanger des communications avec un autre navire équipé d'une façon similaire.

La portée du dispositif est d'environ 15 kilomètres, la précision pour l'évaluation de la distance étant de 1 % (une centaine de mètres) et l'incertitude dans la direction ne dépassant pas un degré.

## **Nouvelles méthodes de transport d'énergie électrique.**

Les développements récents des tubes électroniques — en particulier les tubes à gaz munis d'une grille de commande — ont permis d'envisager des méthodes nouvelles pour le transport de l'énergie électrique.

On peut, grâce à ces tubes, transformer du courant continu en courant alternatif, changer la fréquence d'un courant alter-

natif (mutateur), ou élever la tension continue. Ces facultés permettent d'envisager de nombreuses applications.

En particulier, il est possible de transporter l'énergie électrique sous forme de haute tension continue, ce qui offre de nombreux avantages. C'est ainsi que l'on peut utiliser un câble souterrain avec une distribution à intensité constante dont le rendement est très élevé. En continu, on peut se contenter d'un isolement relativement faible, donc peu coûteux.

L'utilisation du courant continu est spécialement avantageuse pour les moteurs qui doivent fournir des couples importants à des vitesses très différentes.

Les « mutateurs » permettent l'accouplement de lignes à fréquences différentes (25 et 50 périodes par exemple). Il faut, cependant, que la condition de synchronisme soit réalisée.

L'ensemble *thyatron-moteur synchrone* peut constituer, soit un moteur, soit un générateur. Il peut fonctionner soit au-dessus, soit en-dessous du synchronisme. Un tel ensemble convient pour l'accouplement de deux lignes de fréquences différentes non synchronisées. Il peut également servir comme générateur synchrone pour une liaison à grande distance.

La figure VII-7 donne le principe d'un tel ensemble, et les essais ont montré qu'il peut alimenter une ligne de longueur quelconque, la synchronisation pouvant être rendue très stable. L'électronique fournit donc des solutions pour tous les problèmes posés par la transmission et la transformation de l'énergie électrique.

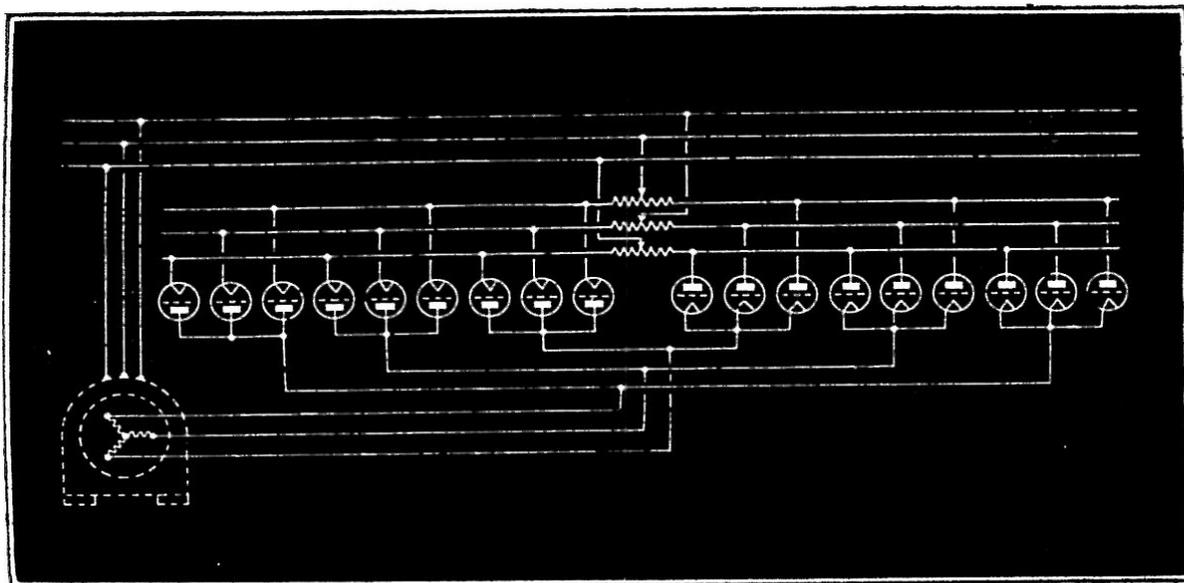


Fig. VII-7

## Propulsion économique d'un grand navire.

L'énergie nécessaire à la propulsion d'un grand navire est produite soit par des turbines à vapeur, soit, plus rarement, par des moteurs à combustion interne à huile lourde.

La transmission du mouvement entre les moteurs, qui tournent à grande vitesse, et les hélices, qui tournent beaucoup plus lentement, est généralement faite par des réducteurs à engrenages hélicoïdaux. Ceux-ci doivent être établis avec grande précision pour obtenir un rendement élevé; toutefois, l'usure les rend peu à peu bruyants et moins avantageux.

Diverses tentatives ont été faites pour transmettre électriquement l'énergie entre la turbine et les hélices. Les moteurs alternatifs à vitesse variable sont peu satisfaisants. Une transmission à courant continu a de nombreux inconvénients, surtout si la puissance à transmettre est importante.

De bons résultats ont été obtenus par des transmissions réalisées à l'aide de turbo-alternateurs commandant des moteurs synchrones. Le nombre de pôles de ces derniers peut être plusieurs fois plus grand que celui des alternateurs correspondants, ce qui permet d'obtenir la démultiplication de vitesse désirée entre les turbines et les hélices. Des artifices sont alors prévus pour démarrer les moteurs synchrones, et les « accrocher » sur la fréquence de l'alternateur. Une application remarquable de ce principe a été faite sur le paquebot *Normandie*.

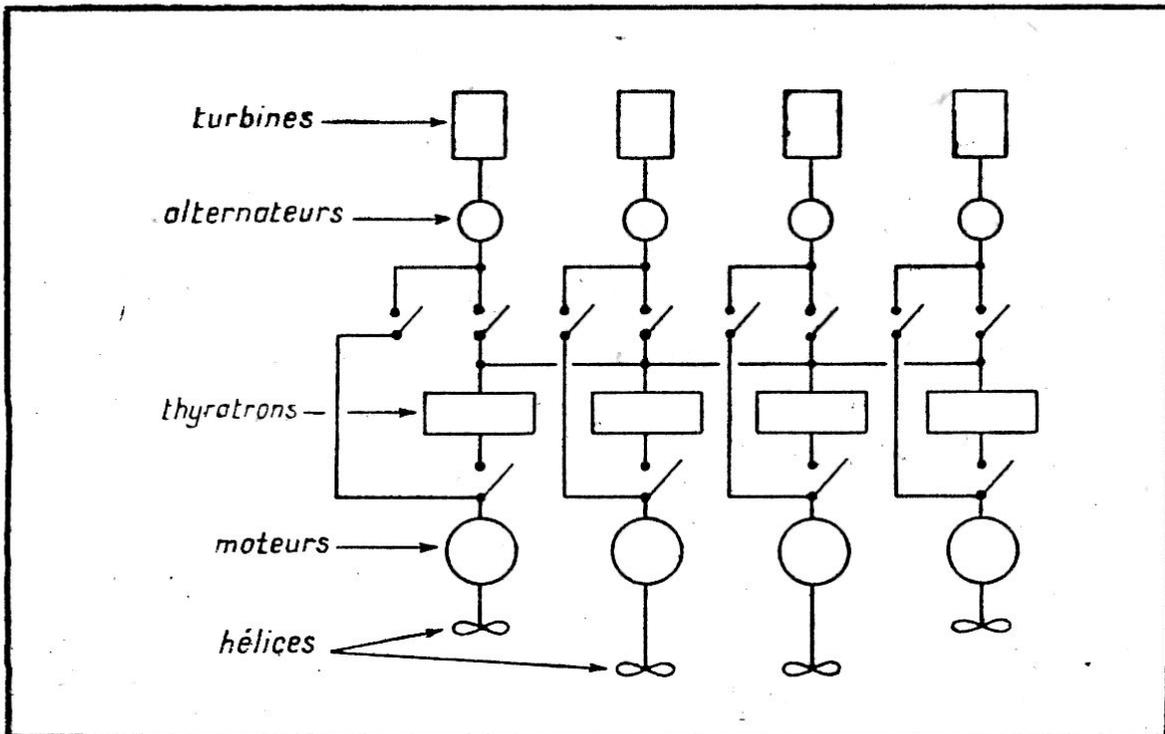


Fig. VII-8

Lorsque la puissance à transmettre n'est pas trop élevée, l'électronique fournit une solution intéressante qui consiste à utiliser un dispositif changeur de fréquence entre les générateurs et les moteurs (fig. VII-8). Lorsqu'un navire possède plusieurs turbogénérateurs et qu'il navigue à une vitesse inférieure à sa vitesse maximum, on arrête quelques-unes des turbines et l'on fait tourner les autres à une vitesse correspondant à un bon rendement (les hélices tournant à vitesse réduite).

### **La musique électronique.**

Le nombre d'appareils musicaux est très élevé. A travers les âges et les pays, des instruments aussi nombreux que variés ont été réalisés. Chacun possède ses qualités propres, et aucun ne s'est imposé comme appareil musical universel.

Dans ce domaine, l'électronique a permis de créer des instruments remarquables par la diversité de leurs tons, la puissance et la richesse de leurs harmoniques, leurs gammes complètes et étendues.

Un bon appareil électronique, en plus de ses qualités musicales proprement dites, doit être d'un maniement simple, d'un encombrement réduit et d'un prix accessible. Certains instruments, mis au point récemment, sont très complets du point de vue des gammes musicales, et des compositeurs ont écrit des œuvres spéciales pour eux, ayant trouvé des modes d'expression impossibles avec les instruments classiques. Les appareils électroniques musicaux peuvent être classés en trois catégories:

1° Les instruments dans lesquels l'électronique n'est utilisée que pour l'amplification et éventuellement la modification des sons émis par un instrument classique à corde ou à vent.

2° Les instruments dans lesquels les générateurs de sons sont des appareils électroniques oscillateurs et amplificateurs.

3° Les ensembles permettant la synthèse de la musique. Ils utilisent la fréquence fondamentale de la note à reproduire, ou le mélange du premier harmonique et de ses harmoniques normaux. L'expérience prouve, en effet, que l'oreille *reconstitue* la fondamentale accompagnée de ses harmoniques. Nous allons examiner sommairement le principe des appareils de chaque type.

#### ***Appareils dans lesquels les sons sont émis par des instruments classiques.***

Un très grand nombre d'appareils ont été construits sur ce principe. On recueille par un *pick-up* les vibrations émises par

un instrument à cordes, on les amplifie ensuite pour les transmettre à un haut-parleur (Boutinon).

M. Makhonine utilise un violon dans lequel un pick-up est solidaire du chevalet. Le dispositif de M. Bizos présente certaines analogies avec le précédent. La palette du pick-up capte également les oscillations sur le chevalet, mais un jeu de filtres électriques permet de remplacer les timbres du violon par des timbres d'alto, de violoncelle ou de contrebasse. Les notes graves peuvent ainsi être jouées avec rapidité et puissance.

### **Les orgues.**

L'orgue est un instrument présentant une richesse musicale très grande. La puissance et la majesté des sons émis l'ont fait apprécier depuis longtemps. Mais ces avantages ont leur contrepartie. L'orgue est encombrant et volumineux car il doit posséder un grand nombre de tuyaux; son prix de revient est élevé.

L'orgue photoélectrique de *Toulon* utilise des disques percés de rangées de trous concentriques, un faisceau lumineux traversant ces trous. Pour une certaine vitesse de rotation, la fréquence d'interruption du faisceau est égale au produit du nombre de trous du disque par la vitesse de rotation évaluée en tours par seconde. Chaque note est constituée par la superposition de la fondamentale et de ses harmoniques; ces dernières permettent d'assurer le *timbre* de la note. Les sons sont amplifiés et transmis par des haut-parleurs.

L'orgue radiosynthétique, mis au point par MM. l'abbé *Puget*, *Léonce de Saint-Martin*, et les maisons *Cavaillé-Coll* et *Thomson-Houston*, utilise un dispositif de commande électro-pneumatique. Rappelons qu'une note peut être créée en jouant le premier harmonique et sa quinte. L'orgue *Puget* utilise quatre tuyaux pour produire un son et évite les tuyaux de grandes dimensions. Il est divisé en trois parties situées chacune dans une pièce séparée et agissant sur un microphone, un amplificateur et un haut-parleur.

Cette méthode évite certains battements. Chaque amplificateur est muni d'un réglage de puissance. Les notes graves peuvent être jouées rapidement car elles sont obtenues par le mélange de sons plus aigus produits par des tuyaux de dimensions relativement faibles. Les amplificateurs permettent de compenser certains défauts du microphone et des hauts-parleurs qui reproduisent mal les fréquences extrêmes, en suramplifiant ces fréquences défavorisées. Des orgues basés sur ces principes ont été construits pour l'église de Notre-Dame du Liban, la salle des concerts de Villeurbanne, etc. Ces réalisations sont relativement peu encombrantes et sont d'un prix de revient acceptable.

Divers autres appareils ont été réalisés dans lesquels, par exemple, la commande des cordes sonores est électromécanique. Ces appareils paraissent d'un intérêt moindre.

### ***Appareils dans lesquels le son est produit électriquement.***

On peut les grouper en deux catégories :

1° On fait varier l'inductance d'une bobine en modifiant périodiquement le circuit magnétique à l'aide d'un disque tournant sur lequel sont disposés régulièrement des bosses et des creux.

2° On provoque des « battements » par l'accouplement de deux oscillateurs électriques.

Divers inventeurs se sont attaqués à la réalisation de ce genre d'appareil. Citons en particulier : De Forest, Givelet, Théremin, Billaudot, Bertrand et Martenot.

La figure VII-9 donne le principe de l'orgue Givelet-Coupleux. La bobine L du circuit oscillant entoure un circuit magnétique dont on peut faire varier les caractéristiques par la rotation du bouton moleté M; on règle ainsi la note fondamentale qui est très riche en harmoniques. Cette note est transmise aux hauts-parleurs par l'intermédiaire de filtres qui éliminent toute oscillation n'entrant pas dans la composition du timbre désiré

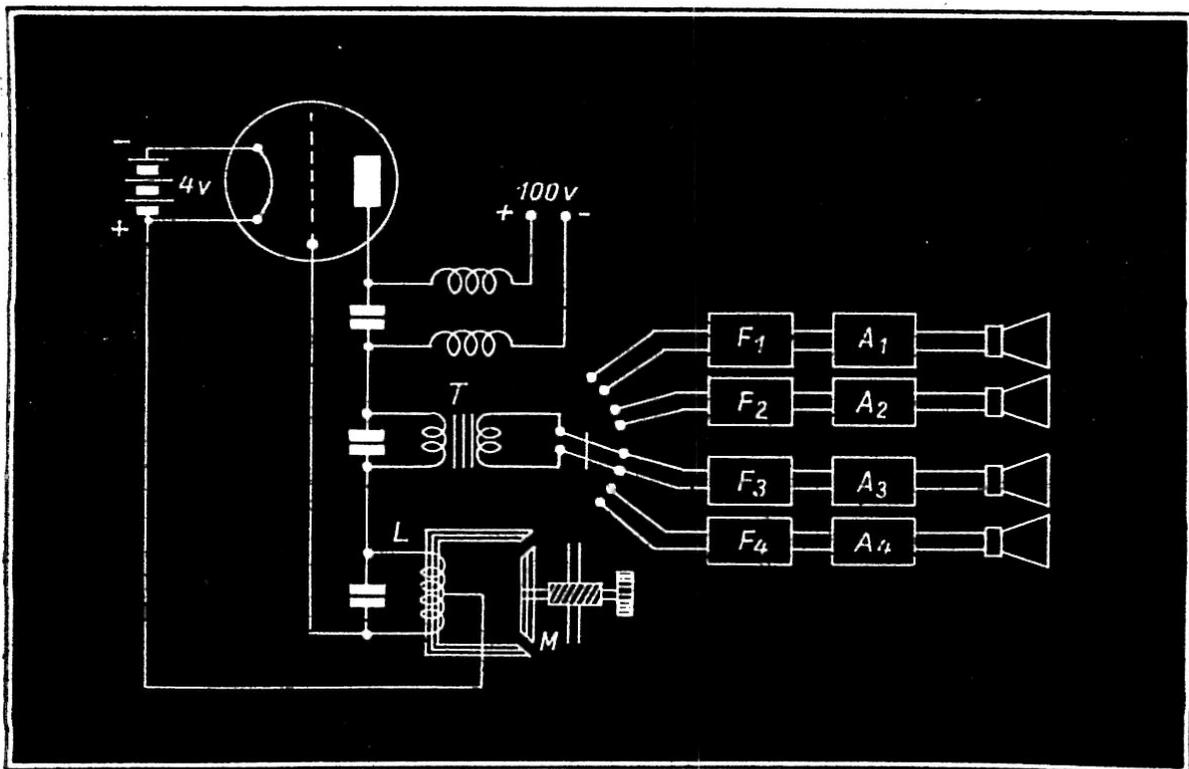


Fig. VII-9

par l'organiste. Des tirettes commandent les « chaînes » filtre-amplificateur-dynamique mises en service. Il existe, de plus, un dispositif permettant de faire varier la puissance sonore.

### **Les « ondes musicales Martenot ».**

M. Martenot a construit un appareil particulièrement perfectionné qui possède une échelle complète de sonorités partant de 16 périodes par seconde et allant jusqu'à 12.000. Le réglage de la fréquence peut se faire par les capacités ou bobines de self-induction des oscillateurs, les deux méthodes étant utilisables au choix, mais non simultanément.

Une armature d'un condensateur variable est constituée par un ruban placé sur des galets. Suivant la position d'un onglet commandé par le musicien, ce ruban se rapproche plus ou moins d'un ensemble de lames métalliques, en forme de peigne, qui forme la deuxième armature du condensateur. Les réglages sont tels que la fréquence des deux hétérodynes est de cent mille périodes par seconde lorsque le ruban est écarté. Le rapprochement du ruban, en variant la capacité, provoque des battements qui sont amplifiés et transmis au haut-parleur. Chaque nouvelle lamelle atteinte correspond au passage d'une note à la suivante.

Le musicien règle la fréquence à l'aide de l'onglet tenu par la main droite; un léger mouvement autour de la note permet d'obtenir le *vibrato*. Pendant ce temps, la main droite agit sur une sorte de pédale qui commande l'intensité sonore.

Au lieu de jouer à l'aide du ruban, le musicien peut utiliser la variation de la self-induction des bobinages, chaque touché d'un clavier correspondant à une prise intermédiaire des bobinages. Ce clavier qui est très léger est susceptible de petits déplacements latéraux agissant sur un condensateur variable et provoquant ainsi le *vibrato*. Ce dispositif présente l'avantage de donner sur un *clavier tempéré* — c'est-à-dire réduit aux demi-tons — les quarts de tons de la gamme chromatique.

Des clefs permettent le branchement de filtres pour la modification du timbre de l'instrument qui possède ainsi une gamme de sons très complète.

### **Le Novachord.**

La firme américaine *Hammond* a réalisé un appareil dans lequel les sons sont également produits par voie électronique. L'appareil est compliqué car il ne comporte pas moins de cent soixante-trois tubes à vide; il présente, cependant, des particularités intéressantes.

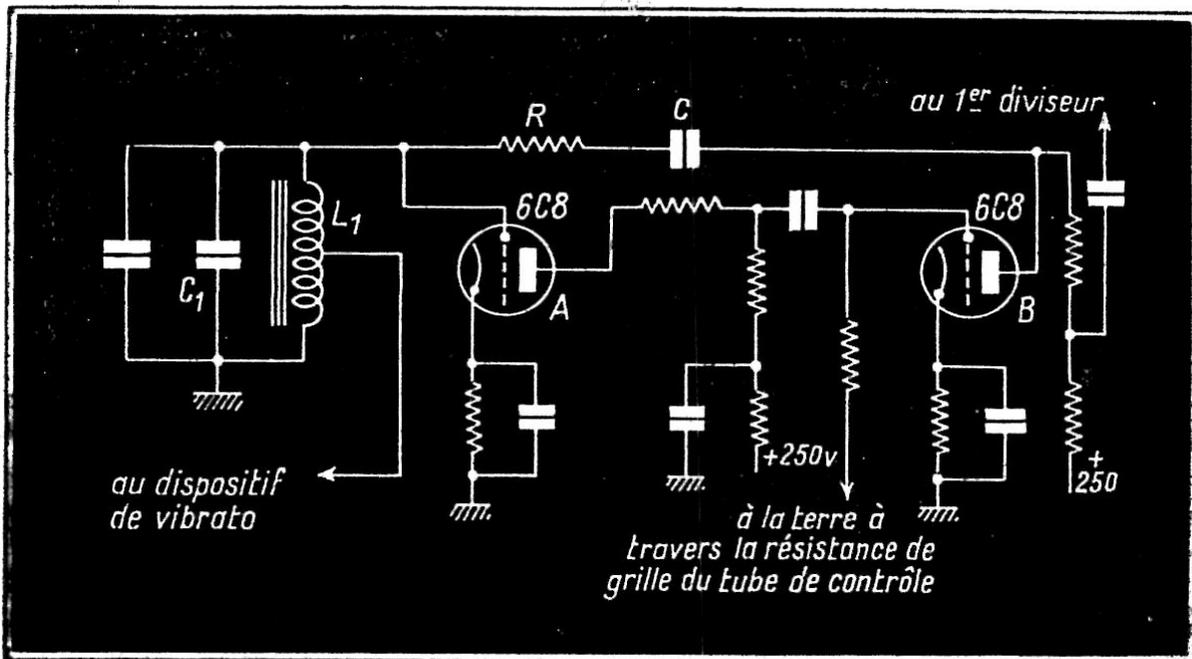


Fig. VII-10.

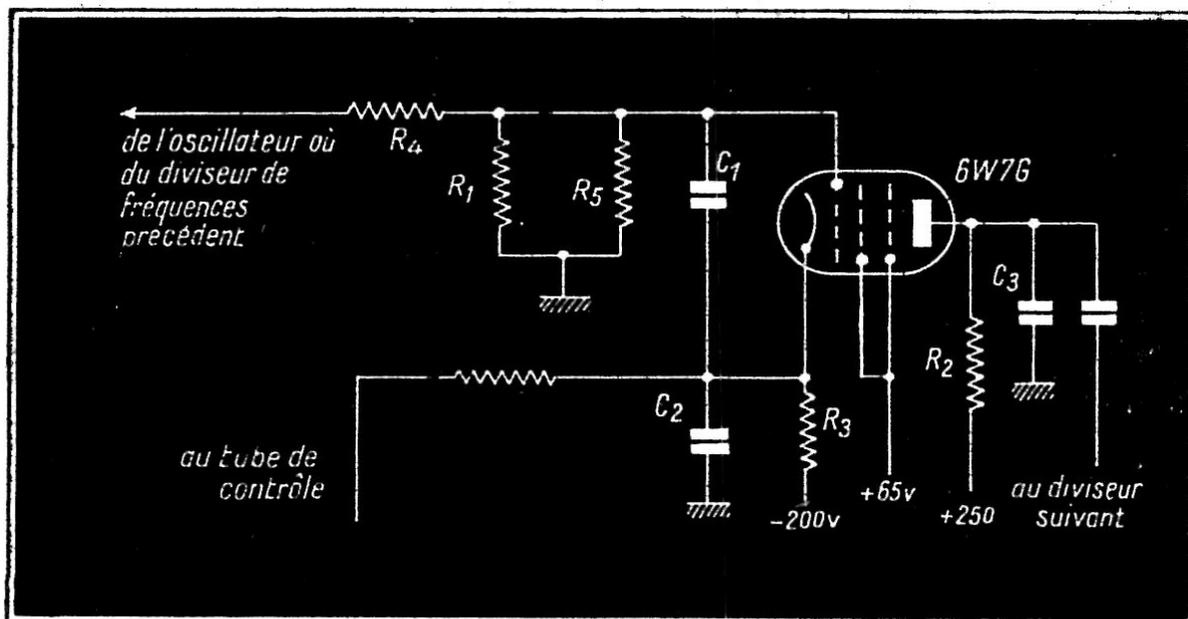


Fig. VII-11

Les fréquences les plus élevées de chacun des douze octaves sont produits par des oscillateurs à fréquence constante, tandis que les fréquences intermédiaires sont produits par des « diviseurs de fréquence ». Des circuits spéciaux permettent de régler le timbre de la note et sa vitesse d'établissement ou de disparition.

Le principe des oscillateurs est indiqué dans la figure VII-10. L'entretien des oscillations est assuré par le retour d'une

partie de l'énergie à la sortie de la deuxième lampe sur l'entrée de la première. Chaque lampe provoquant une inversion de phase, le couplage créé par le condensateur C tend à accroître l'amplification de l'ensemble, et c'est la condition d'accrochage et d'entretien des oscillations. De légères variations de la fréquence moyenne de la note (*vibrato*) sont possibles grâce à de petits éléments vibrants qui branchent périodiquement de petits condensateurs sur le circuit oscillant.

Il y a douze générateurs de fréquences intermédiaires par octave. Leur principe est donné dans la figure VII-11. Chacun des tubes est bloqué en l'absence de signal. Une impulsion positive de la grille donne une impulsion de courant plaque riche en harmoniques. Par suite de la présence de  $C_1$ , les tensions de grille et de cathodes sont solidaires, et seules les impulsions positives de la tension grille provoquent une impulsion du courant plaque.

La présence de  $C_2$  provoque une rapide cessation du courant plaque. Les différences de potentiel aux bornes de  $C_2$  et  $C_1$  ont, en fonction du temps, une forme en dent de scie. La fréquence de la tension de sortie dépend de l'ensemble  $R_1 R_2$ ; on peut obtenir la même fréquence qu'à l'entrée, ou une fréquence  $X$  fois plus faible. L'ensemble  $R_1 R_2$  a généralement une valeur comprise entre 1 et 3 mégohms.

Les vitesses d'établissement ou de cessation du son sont aussi importantes que la présence des harmoniques, car elles permettent d'imiter certains instruments: guitare, piano, violon, orgue, etc. Divers clefs du *Novachord* permettent le choix du timbre, des tubes de contrôle produisant des tensions riches en harmoniques et permettant de varier la brillance du ton.

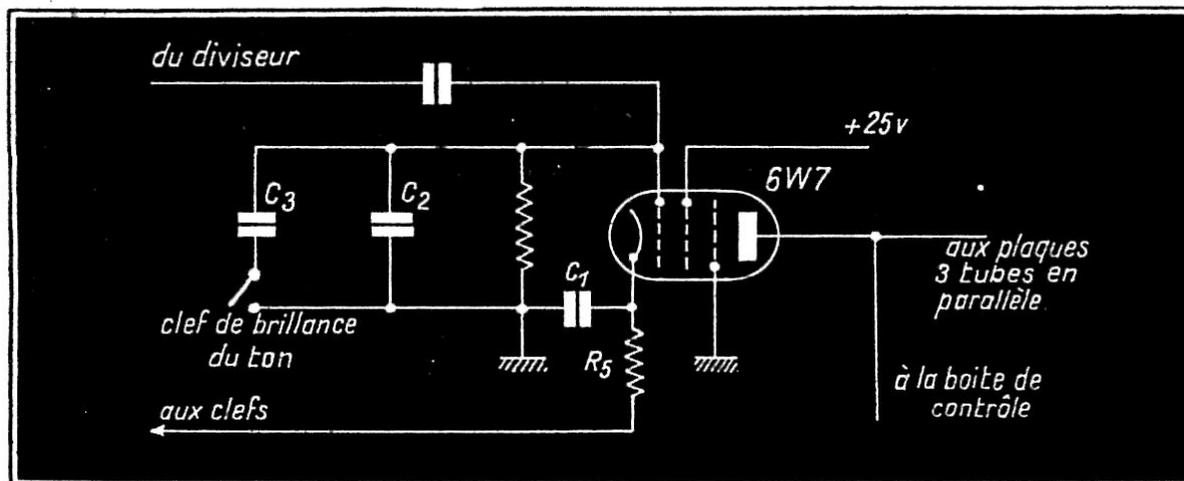


Fig. VII-12

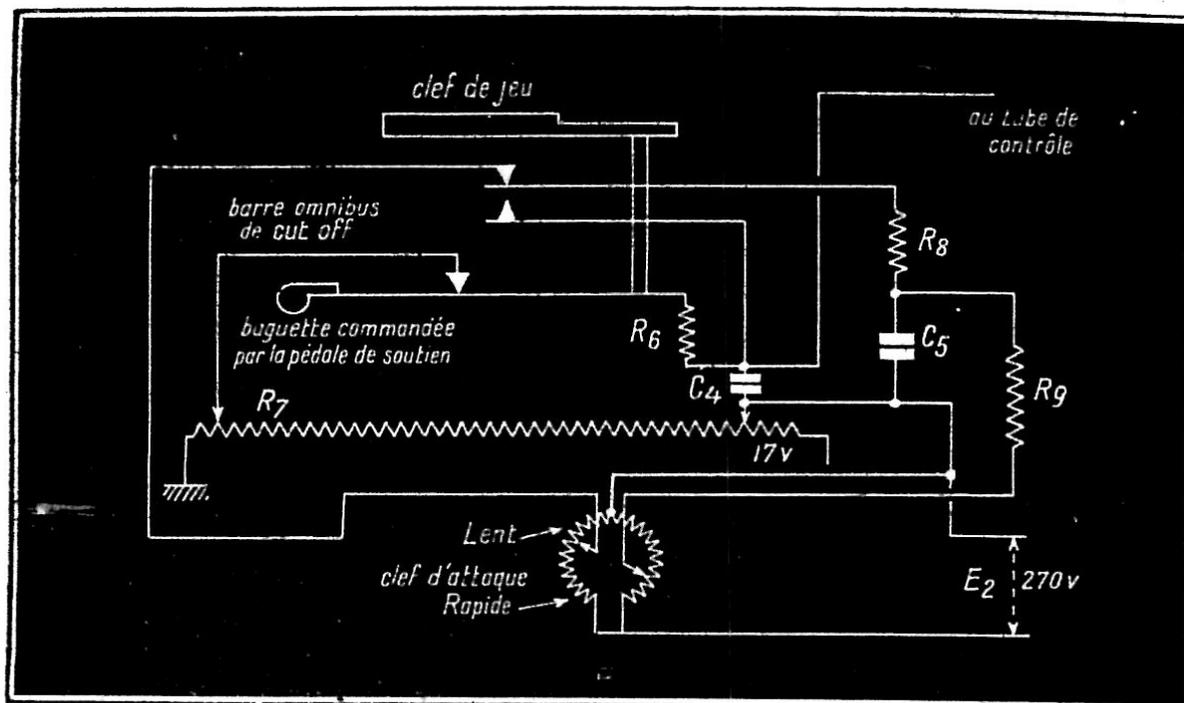


Fig. VII-13

Lorsque la clef est dans la position haute (fig. VII-12), la polarisation de la grille empêche tout courant plaque, même en la présence d'un signal. Dans les conditions normales, la tension appliquée à la grille a une forme en dent de scie, et le tube dont l'amplification n'est pas linéaire fournit une grande quantité d'harmoniques. La mise en parallèle de  $C_3$  et  $C_2$  donne un timbre plus doux.

Le système de clefs commandant le tube de contrôle est donné dans la figure VII-13. Il permet des attaques rapides, moyennes ou lentes, ainsi que la persistance des tons, à l'aide de pédales analogues à celles des pianos classiques. C'est ainsi que, pour imiter l'orgue, la clef d'attaque est sur la position « lent ». Lorsque la clef de jeu est dans sa position haute, le condensateur  $C_5$  est peu chargé car la résistance  $R_8$  est beaucoup plus faible que la résistance  $R_9$ .

Quand la clef est dans l'autre position, le condensateur  $C_5$  se charge lentement à travers  $R_9$  et le potentiel négatif croissant est transmis à  $C_4$  à travers  $R_8$ . La tension positive de la cathode diminue et les pointes positives des signaux produisent des impulsions du courant plaque d'amplitudes croissantes.

Ces impulsions continuent de se produire tant que la clef est abaissée,  $E_2$  fournissant une polarisation inférieure à la tension de blocage. Lorsqu'on n'appuie plus sur la clef, la tension

de polarisation n'est plus transmise et  $C_s$  se décharge à travers  $R_s$ , et la décroissance du son est analogue à celle de l'orgue. Si la pédale d'entretien est relevée avant la pédale de jeu,  $C_s$  ne se décharge pas à travers  $R_s$  mais à travers le tube de contrôle dont la résistance apparente est élevée (temps de décharge beaucoup plus long).

Lorsque la clef d'attaque est sur la position « rapide »,  $C_s$  se décharge dans  $R_s$  et  $R_o$ . Le blocage est plus ou moins complet

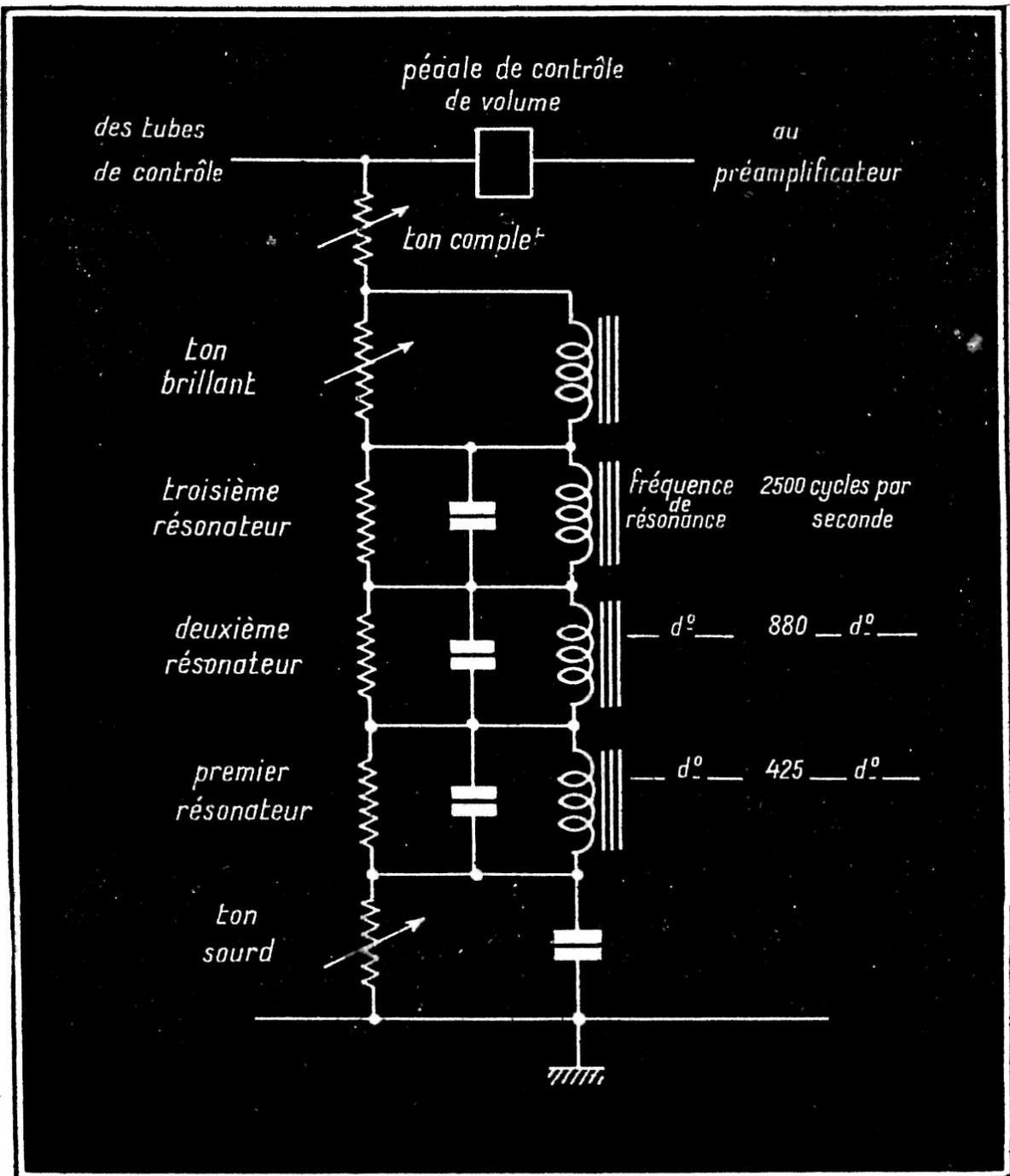


Fig. VII-14

suivant la position de la clef, et l'on obtient ainsi une grande gamme de vitesse de variation du son.

Pour imiter certains instruments dont quelques harmoniques sont particulièrement intenses, le *Novachord* utilise des circuits résonnants accordés sur les fréquences à favoriser (fig. VII-14). On peut, de cette manière, renforcer les aigus ou les graves et avoir le ton « brillant » ou le ton « sourd ». Des combinaisons de clefs permettent d'agir séparément sur diverses parties de la gamme.

Le gain du préamplificateur est réglé suivant une méthode originale. Une pédale agit sur un condensateur variable de 350 cm. servant en contre-réaction entre plaque et grille, ce qui évite l'usure des contacteurs ou potentiomètres habituels.

L'amplificateur de puissance utilise deux lampes 56 et quatre lampes 2A3 en push-pull. Le filtrage est assuré par un dispositif de tubes à vide (figure VII-15) au lieu et place des bobines de self-induction classiques. Si une variation de tension apparaît dans la haute tension, elle est transmise par l'ensemble  $R_1 C_1$  à la deuxième grille du premier tube 6J7. Il en résulte une variation de la tension aux bornes de  $R_2$  qui se transmet au tube 6J5 et, ensuite, au tube 6K6 avec la phase convenable. Ce dernier tube fait varier la charge du circuit d'alimentation haute-tension et, en conséquence, le stabilise. Un deuxième groupe de tubes (6J7, 6J5, 6K6) stabilise la tension de 65 volts d'une manière identique.

Un panneau de contrôle permet d'obtenir les différents effets désirés. La clef de vitesse d'attaque donne l'impression de piano, d'orgue, etc. Une pédale d'intensité fait varier le volume sonore. Cet aperçu montre les principes essentiels de l'instrument extrêmement intéressant que constitue le *Novachord*.

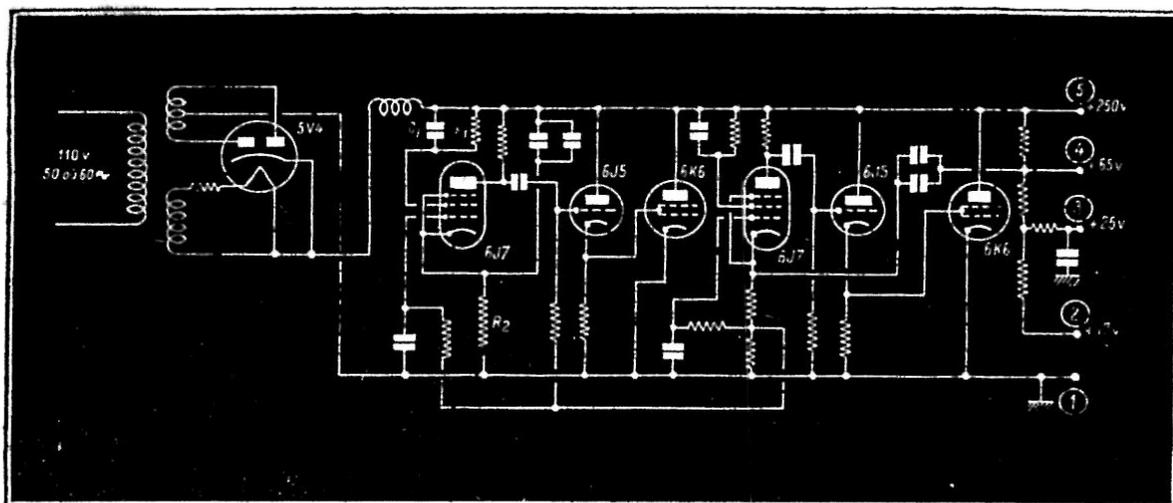


Fig. VII-15

### ***Instruments nouveaux.***

Dans cette catégorie, nous placerons les instruments utilisant des méthodes nouvelles pour la production des sons. Citons l'appareil de M. Sarnette et le *Voder*.

Conçu pour l'amélioration de l'enregistrement sonore des films, le premier appareil utilise la propriété de la reconstitution d'une note lorsqu'on reproduit avec puissance le premier harmonique et les suivants. Cette méthode permet de reproduire les notes graves avec une puissance suffisante pour être bien perçue par l'oreille, malgré la faible sensibilité de celle-ci pour ces notes.

Le *Voder* est un appareil permettant la reproduction synthétique de la parole à l'aide d'oscillateurs électriques commandant un instrument à air. La combinaison des sons élémentaires est contrôlée par un ensemble de pédales et un clavier approprié.

Un opérateur habile et bien entraîné peut ainsi composer des monosyllabes, des mots et même des phrases. Mais cet appareil, qui a été étudié dans les laboratoires américains de la *Bell Telephone*, n'est encore qu'une curiosité scientifique.

FIN.



# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE . . . . .	3

## CHAPITRE PREMIER

### Rappel de quelques notions particulières de physique. Les appareils employés en électronique.

Les ondes électromagnétiques . . . . .	5
Les rayons infra-rouges . . . . .	7
Les rayons ultra-violet . . . . .	9
Production des rayons ultra-violet . . . . .	10
Les ultra-sons . . . . .	13
Production des ultra-sons . . . . .	13
Les générateurs d'ultra-sons . . . . .	14
La propagation des ultra-sons . . . . .	17
Détection des ultra-sons . . . . .	20
Principales unités utilisées en photométrie . . . . .	20
Les cellules photoélectriques . . . . .	21
Les différentes cellules photoélectriques utilisées dans l'industrie . . . . .	23
Les cellules photoélectriques à vide et à gaz . . . . .	24
Rappel des propriétés générales des cellules photovoltaïques . . . . .	27
Les cellules photoconductrices . . . . .	28
Appareils spéciaux sensibles à la lumière . . . . .	30
Le choix des cellules photoélectriques . . . . .	32
Exemple d'une commande électromécanique commandée par relais photoélectrique . . . . .	33
L'amplification du courant photoélectrique . . . . .	35
Un amplificateur simple pour courant continu . . . . .	36
Un amplificateur à couplage direct . . . . .	36
Un amplificateur ultrasensible pour courant continu . . . . .	38
Amplificateur à courant alternatif pour cellules photoélectriques . . . . .	39
Amplificateurs à large bande passante . . . . .	39
Couplage par inductances . . . . .	43
Exemple de réalisation d'un amplificateur à large bande passante . . . . .	44
Adaptation des relais dans les circuits de sortie des amplificateurs . . . . .	44
Rappel des principes des tubes à gaz . . . . .	48
Les diodes à gaz . . . . .	50
Les triodes à gaz . . . . .	52
L'optique électronique . . . . .	54
Les multiplicateurs d'électrons . . . . .	56
Le télescope électronique . . . . .	59

## CHAPITRE II

### Applications de l'électronique au laboratoire.

Emploi des cellules photoélectriques en photométrie . . . . .	62
L'intégrateur de lumière . . . . .	64
Assortissement des couleurs . . . . .	65
Analyseur de couleur . . . . .	66

	Pages
Mesure du courant haute-fréquence .....	68
Mesure de l'intensité lumineuse et de la température des lampes à incandescence . . . . .	69
Les microscopes électroniques .....	70
Microscopes électroniques donnant une image visible d'une ca- thode . . . . .	71
Microscopes électroniques donnant une image agrandie de l'objet.	71
Examen des pièces métallurgiques à l'aide des ultra-sons ....	74
La séparation des microbes par les ultra-sons .....	75
Les méthodes modernes pour le tracé des diagrammes de moteurs	75
Utilisation du manomètre à quartz piézoélectrique pour le relevé des diagrammes moteurs .....	76
Delevé du diagramme moteur à l'aide du manographe photo- cathodique . . . . .	77
Contrôle d'une machine à souder .....	78
La mesure du PH .....	79
Recherches biologiques dans l'infra-rouge .....	82

### CHAPITRE III

#### Applications au problème de la protection.

Protection d'un local par rayons infra-rouges .....	83
Un dispositif simple de protection par cellule photoélectrique..	91
Sécurité du travail .....	91
La détection des incendies et des fumées .....	92
Ouverture des portes .....	94
Commande automatique des signaux lumineux pour la circu- lation routière . . . . .	96
Vérification de la hauteur des camions .....	98
Signalisation ferroviaire . . . . .	98

### CHAPITRE IV

#### La médecine et l'électronique.

Influence du courant électrique sur l'organisme .....	101
Applications médicales des courants à haute-fréquence .....	104
Les appareils de diathermie .....	105
Un appareil à ondes courtes pour la diathermie .....	109
Diathermo-coagulation . . . . .	110
Le bistouri électrique .....	111
Applications de tension .....	112
Utilisation des rayonnements électromagnétiques de très faibles longueurs d'onde . . . . .	114
Application médicale des ultra-violets .....	115
Applications médicales des infra-rouges .....	116
L'électricité dans le corps humain .....	116

### CHAPITRE V

#### La navigation maritime et aérienne.

L'électronique et l'aviation .....	120
Protection contre les parasites dus aux particules électrisées de l'atmosphère . . . . .	120
Les radio-compas . . . . .	121
Antenne Adcock . . . . .	124
Dispositifs goniométriques . . . . .	125
Le « homing » . . . . .	127
Le guidage radioélectrique .....	128
Le radio-compas automatique .....	130
Un radio-compas automatique à cadres tournants .....	130

	Pages
Un radio-compas à oscillographe cathodique .....	131
L'atterrissage sans visibilité .....	134
L'altimètre radioélectrique . . . . .	138
Le repérage radioélectrique des objets métalliques .....	140
Le sondage marin par ultra-sons .....	143
Applications des ultra-sons à la pêche et à la détection par échos . . . . .	145
Le pétroscope . . . . .	146
Repérage par ondes radioélectriques ultra-courtes .....	148
Les méthodes de vision à travers les brouillards .....	150

## CHAPITRE VI

### Les applications industrielles.

Commande automatique de tables transportées .....	151
Comptage . . . . .	152
Triage automatique . . . . .	153
Etalonnage des compteurs .....	153
Un pyromètre photoélectrique .....	155
Contrôle de chauffe .....	156
Le contrôle des fumées .....	156
La purification de l'air à l'aide de la haute tension .....	157
Fabrication des cartes pour le tissage automatique .....	158
Enregistrement du temps .....	159
Commande automatique des pistolets de peinture .....	160
Réglage des électrodes de bougies .....	160
Contrôle du moulage .....	161
Mesure des dimensions d'une pièce .....	161
Un comparateur photoélectrique pour la mesure de très faibles dimensions . . . . .	162
Contrôle de la dureté des pièces .....	164
La détection des très petits objets métalliques .....	166
La soudure électrique .....	168
Commande des moteurs électriques à l'aide de thyratrons ....	170
Moteurs à courant continu commandés par thyratrons .....	171
Moteurs réversibles .....	171
Commande à distance d'un moteur .....	172
Moteur à induction à thyatron .....	173
Moteurs synchrones à thyratrons .....	174
Commande électronique de petits moteurs continus .....	174

## CHAPITRE VII

### Applications diverses.

Réglage automatique de l'éclairage par la lumière extérieure ....	177
Lecture électromécanique . . . . .	179
Transformation en relief des caractères imprimés .....	180
Les recherches minières et géophysiques .....	181
Communications par voie lumineuse .....	183
Signalisation sous-marine par ultra-sons .....	184
Transport d'énergie électrique .....	184
Propulsion économique d'un grand navire .....	186
La musique électronique .....	187





**Prix: 120 fr.**

Imprimerie de Montrouge  
C. O. L. n° 31.3810