

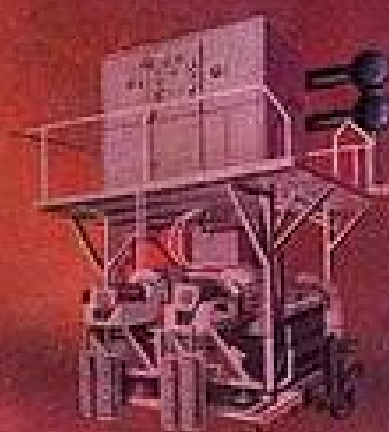
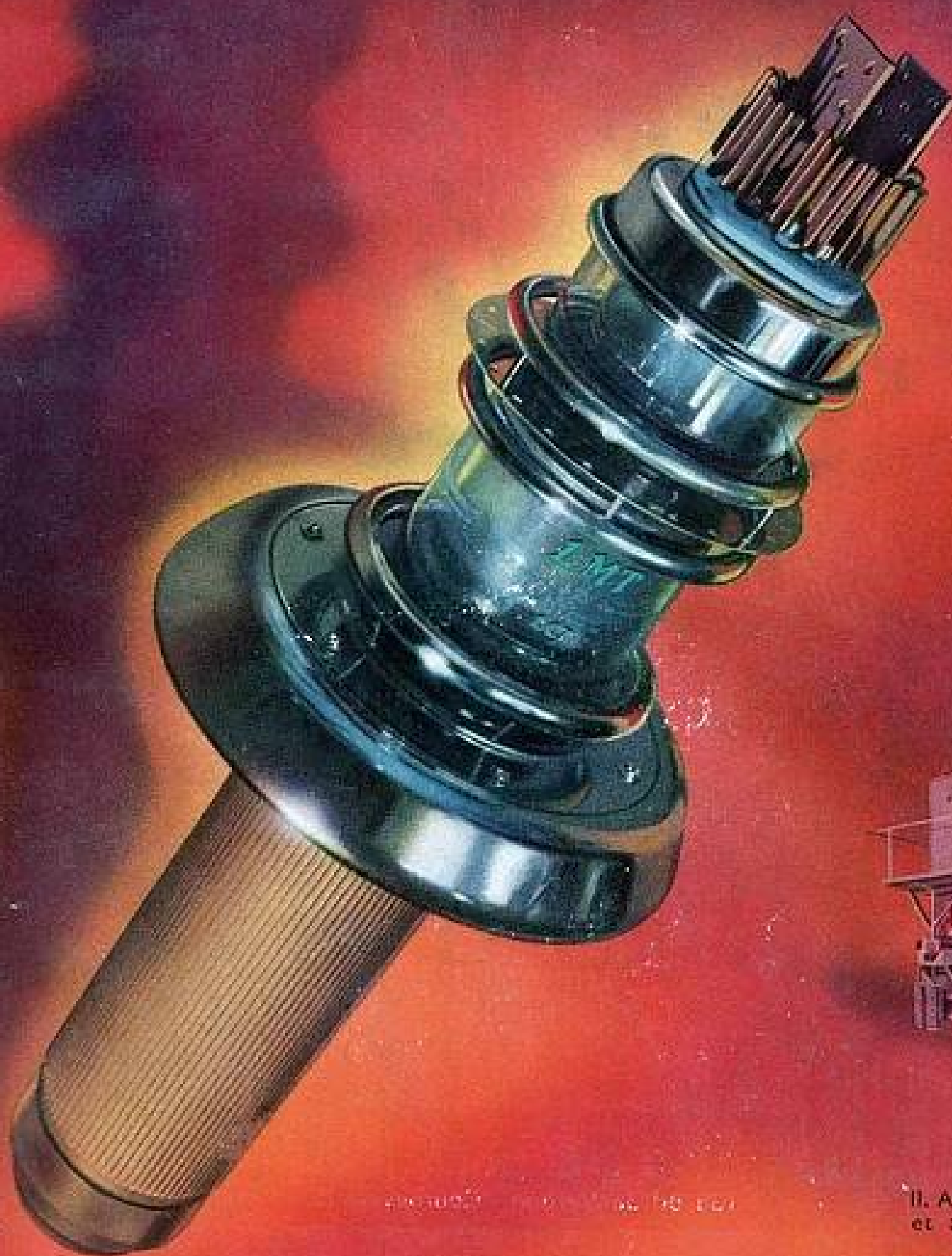
L'ONDE ÉLECTRIQUE

35^e ANNÉE - N° 344

NOVEMBRE 1955

PRIX : 600 FRANCS

REVUE MENSUELLE DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS - 6^e



NUMERO
CONSACRÉ
À
L'ÉNERGIE
NUCLÉAIRE

II. Accélérateurs de particules
et appareils de physique
nucléaire.

SUR NOUS COUVERTURE :
CYCLOTRON DE SACLAY :
TUBES LMT 30510
(LABORATOIRE CENTRAL
DE TÉLÉCOMMUNI-
CATIONS)

L'ONDE ÉLECTRIQUE

*Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique*

Vol. XXXV

NOVEMBRE 1955

N° 344

ÉDITIONS CHIRON, 40, rue de Seine, PARIS-6^e. — C.C.P. Paris 53-35

Abonnements : 1 an : France : 3.000 F ; Etranger : 3.300 F — Prix de ce N° : 600 F

Publicité : M. R. DOMENACH, Agent exclusif, 161, bd Saint-Germain, PARIS-6^e, Tél. LIT. 79-53

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET SES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

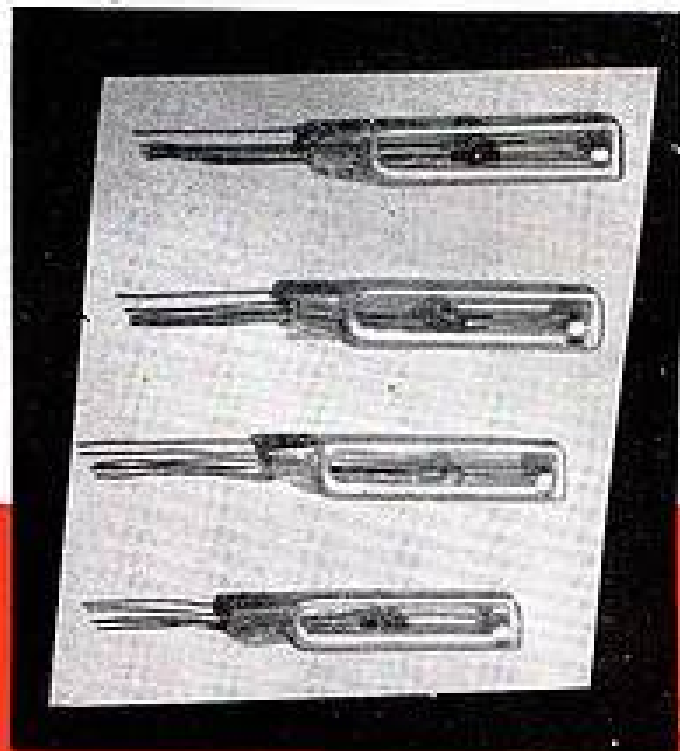
II. Les accélérateurs de particules
et les appareils de physique nucléaire

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

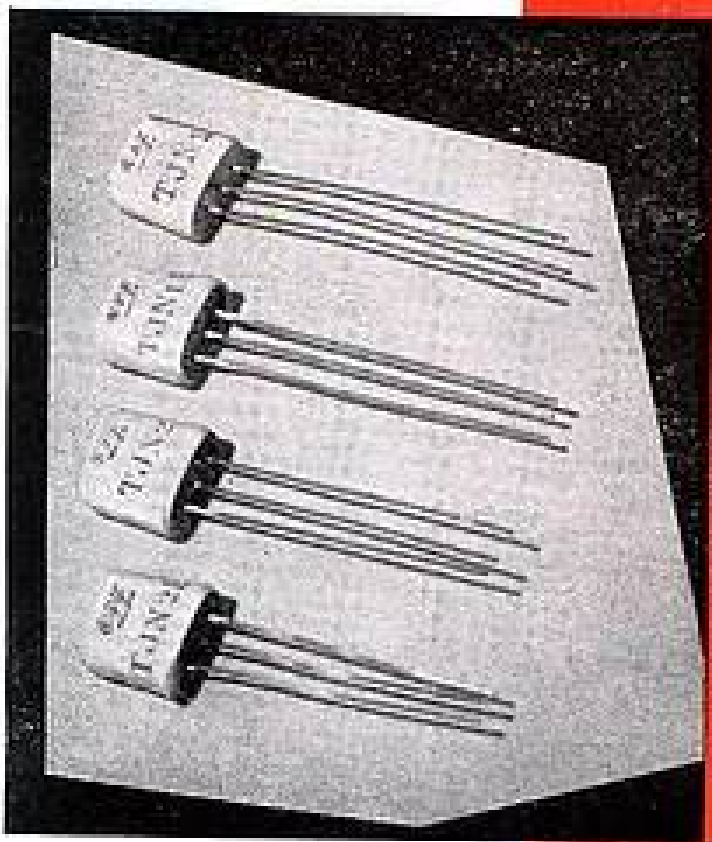
10, Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine). — Tél. ALÉSIA 04-16 — C.C.P. Paris 697-38

rendement

Cellules
PHOTO - ELECTRIQUES
de grande sensibilité, pour
detection d'éclairéments faibles
ou forts.



Cellules **PHOTO-ELECTRIQUES**



TRIODES à jonction P.N.P.
pour montages amplificateurs
ou oscillateurs fonctionnant
à des fréquences pouvant
atteindre quelques centaines
de kilocycles (kc/s).

miniaturisation

Triodes

GERMANIUM

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE T. S. F.
DÉPARTEMENT DE RECHERCHES PHYSICO-CHIMIQUES
PUTÉAUX (Seine) - 12, Rue de la République
LON 28-86

Demandez nos notices Nos 383 et 450



LA DÉTECTION DES PARTICULES NUCLÉAIRES

CHOIX DU DÉTECTEUR APPROPRIÉ

PAR

A. BENOIT ET Y. KOECHLIN

*Section d'Electronique-Physique
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

I. — Introduction

Depuis la découverte de la radioactivité jusqu'au développement de ce que l'on a coutume d'appeler maintenant l'Energie Atomique, le premier problème qui se pose est toujours de détecter les particules émises par les substances radio-actives.

Au stade actuel du développement de l'Energie Atomique on peut dans le cadre de la détection des particules considérer deux principaux domaines d'activité :

1° L'étude des propriétés des atomes radio-actifs ou des rayonnements qui en sont émis. Le détecteur ou le dispositif de détection est, dans ce cas, généralement utilisé par un physicien nucléaire. Dans ce premier domaine d'application le physicien utilise au maximum les caractéristiques des détecteurs et s'efforce constamment d'en réduire les limitations d'emploi.

2° Le second domaine comprend les grandes applications de la détection des particules, comme la prospection des minerais uranifères, l'exploitation de l'Energie Atomique ou les applications des radio-éléments. Dans ce cas la nature des renseignements à obtenir fait qu'il est généralement suffisant de dénombrer ces particules.

Ce deuxième domaine d'activité que nous venons de définir peut lui-même se subdiviser en deux :

Pour le laboratoire qui doit effectuer tous les étalonnages relatifs aux radioéléments (identification de radio-isotopes, mesure de période, définition de la pureté des échantillons, mesures absolues d'activité), l'appareillage de mesure et les méthodes de détection nécessaires imposent un ensemble de techniques délicates demandant la spécialisation d'ingénieurs et de techniciens. Un laboratoire de ce type a sa place au sein d'un organisme qui développe ou exploite l'Energie Atomique. Dans ce cadre M. GRINBERG

nous a exposé dans un précédent article les principes généraux de la détection, ainsi que les principes des mesures absolues d'activité des radioéléments.

Par contre si l'on considère les applications des radioéléments, la prospection radio-active, la protection du personnel contre les radiations, les problèmes posés peuvent être résolus dans la plupart des cas en effectuant des mesures relatives par rapport à des sources étalon fournies par le laboratoire ci-dessus.

Il est à remarquer que dans ce dernier domaine d'applications les techniques de détection sont utilisées le plus souvent par des non spécialistes. Le radio-élément utilisé comme traceur par exemple, n'est presque toujours qu'un outil entre les mains d'un spécialiste d'un autre domaine.

Le but de cet article, en décrivant les principales caractéristiques des différents détecteurs de particules, est de donner au non spécialiste de la détection, les éléments qui lui permettront de choisir la méthode de détection qui conviendra le mieux à son problème.

II. — Les détecteurs de particules.

Caractéristiques — Domaines d'utilisation [1]

1° Effets utilisés.

Dans la détection des rayonnements nucléaires ⁽¹⁾, on utilise d'une manière générale la propriété qu'ont ces rayonnements d'ioniser et d'exciter les atomes ou molécules, directement ou par l'intermédiaire

⁽¹⁾ Nous appellerons rayonnement nucléaire les rayonnements α , β , γ émis par les isotopes radioactifs naturels ou artificiels. Nous y ajouterons les rayons X, bien qu'ils ne soient pas à proprement parler nucléaires, parce qu'ils sont détectés par les mêmes instruments que les rayonnements α , β , et γ .

d'un rayonnement secondaire. Ainsi l'ionisation, produite dans un gaz par les rayons ⁽²⁾ α fait varier la conductibilité électrique de ce gaz, proportionnellement à l'ionisation spécifique de cette particule : c'est le phénomène utilisé dans les détecteurs à ionisation. Les mêmes rayons α , en ionisant et excitant des atomes de sulfure de zinc, produiront de la lumière transformée ensuite en variation de courant électrique par un photomultiplicateur : les détecteurs à scintillations utilisent cette dernière propriété.

Les photons X et γ , particules non chargées, ne peuvent ioniser directement un gaz. On ne peut les détecter que lorsqu'ils transfèrent une partie de leur énergie à un électron, le transformant ainsi en rayon β . Dans ces exemples, où la détection est rendue possible grâce aux propriétés d'un rayonnement secondaire, il est évident que le rendement de détection est largement influencé par le milieu où ce rayonnement est produit.

2° Rendement quantique des détecteurs.

Nous considérons le cas des détecteurs pour lesquels le passage d'une seule particule est susceptible de produire une impulsion électrique. On définit alors le rendement quantique de ces détecteurs, comme étant le rapport entre le nombre d'impulsions produites pendant un temps donné et le nombre de particules ayant pénétré dans le volume utile du compteur pendant le même temps.

3° Rendement global source-compteur.

Dans le rendement global de détection, il y a lieu de tenir compte de l'angle solide d'émission des particules, déterminé par la géométrie source-compteur, ainsi que de l'absorption des particules depuis leur émission (absorption dans la source, dans l'air, et dans les parois du détecteur).

Pour certaines particules, particulièrement les β et γ les facteurs définis ci-dessus sont modifiés par les phénomènes de diffusion et de rétrodiffusion.

4° Appareillages faisant suite au détecteur.

Le détecteur proprement dit est généralement suivi d'un certain nombre d'organes constituant un ensemble complet de détection. Ces organes sont :

a) Le générateur de tension continue stabilisée nécessaire pour polariser le détecteur.

b) L'appareillage électronique nécessaire pour mesurer le courant moyen débité par le détecteur ou pour compter les impulsions de tension qu'il délivre au passage des particules.

Lorsqu'il ne s'agit pas seulement de dénombrer les particules mais de connaître leur nature (rayons α , β ou γ), l'appareillage électronique comprend également des amplificateurs linéaires, des sélecteurs ou des discriminateurs pour analyser les impulsions.

(2) Un rayon est la trajectoire suivie par une particule. Les particules dont nous parlerons ici sont les particules α , les mésons, les électrons et les photons. On applique souvent le terme de rayon à la particule elle-même.

En outre, le détecteur est presque toujours entouré d'une protection en plomb ou en fer de quelques cm d'épaisseur, afin de le protéger des rayons γ parasites provenant de sources plus ou moins éloignées, et de la partie la moins pénétrante du rayonnement cosmique ⁽³⁾.

5° La chambre à ionisation ⁽⁴⁾ [2] [3] [4].

Nous ne décrirons ici que les chambres d'ionisation à courant (appelée ainsi parce que l'on mesure le courant moyen qui traverse la chambre lorsqu'elle est soumise à un flux de particules). Nous ne parlerons donc pas des chambres d'ionisation à impulsions dont l'emploi est plus particulièrement réservé aux physiciens nucléaires ou laboratoires spécialisés dans les mesures absolues de sources radio-actives.

a) Description.

Ce détecteur est généralement constitué par une cathode cylindrique et une tige axiale (anode) supportée aux deux extrémités par des pièces isolantes.

Les dimensions sont très variables, on utilise couramment une cathode de 10 à 15 cm, de diamètre, l'anode ayant un diamètre de l'ordre du cm. Les gaz de remplissage les plus fréquemment utilisés sont l'air, l'azote, l'argon, en général à la pression atmosphérique. Une tension continue stable, variant suivant les chambres de quelques dizaines de volts

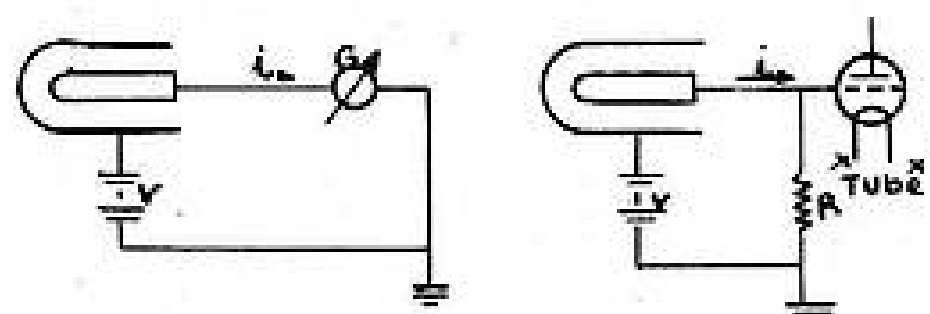


FIG. 1. — Les deux montages habituels d'une chambre d'ionisation.
 V : source de tension continue de polarisation de la chambre.
 i : courant d'ionisation
 G : galvanomètre
 R : résistance de charge.

à quelques centaines de volts, est appliquée entre les deux électrodes, ou plus généralement entre la cathode et la masse (fig. 1).

b) Fonctionnement et technologie.

La chambre à ionisation peut être considérée comme le plus simple des détecteurs. Par contre son utilisation présente des difficultés qui seront mieux comprises en examinant brièvement la technologie de ce détecteur.

(3) Une partie importante du rayonnement cosmique est constituée par les mésons. Ce sont des particules rapides tombant constamment sur la surface de la terre. Il en existe de divers types ; les plus fréquemment rencontrés (mésons μ) sont des particules ionisantes chargées $+$ ou $-$ ayant environ 200 fois la masse de l'électron. Leur fréquence de chute au niveau de la mer est d'environ 0,5 par seconde et par cm^2 . Les mésons sont extrêmement pénétrants, leurs énergies étalées sur tout un spectre vont de 0 à des valeurs non encore mesurées. L'énergie la plus fréquente est de l'ordre de 2.10^3 MeV. Les mésons sont les principaux responsables du comptage parasite (mouvement propre) des détecteurs de rayons β et γ .

(4) Le chapitre sur les chambres à ionisation a été rédigé d'après le cours de Génie Atomique professé par M. WELT au C.E.N. de Saclay.

LA GAMME COMPLÈTE DE

Photomultiplicateurs DU MONT

ALLEN B. DU MONT LABS - CLIFTON N.J. U.S.A.

de 19 mm
à 127 mm



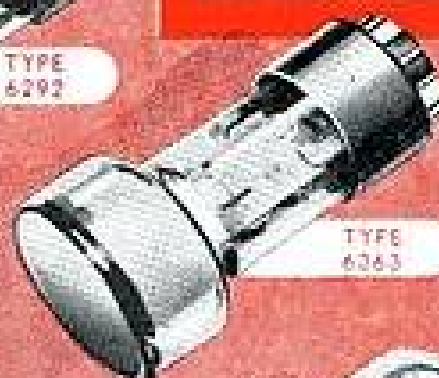
TYPE
6365



TYPE
6291



TYPE
6292



TYPE
6363



TYPE
6364

DU MONT présente actuellement une gamme complète de Photomultiplicateurs allant du type miniature 6362 de 19 mm seulement, jusqu'au diamètre de 127 mm, le plus gros modèle du type 6364 que l'on trouve dans le commerce. Tous ces tubes offrent de hautes performances et possèdent une grande sensibilité de la cathode, un bruit de fond faible, une uniformité de la cathode et une stabilité remarquable. Ces qualités ont acquis la faveur spontanée du public pour les types 6291 et 6292 de DU MONT. Tous ces tubes sont vendus avec la garantie reconnue à la firme DU MONT pour satisfaire et même surpasser toutes les conditions exigées par les spécifications publiées jusqu'ici. Vous pouvez être sûrs que chaque tube photomultiplicateur vous donnera entière satisfaction.

ALLEN B. DU MONT

AGENT EXCLUSIF FRANCE & U. F.

ETS RADIOPHON

50 FG POISSONNIÈRE - PARIS - PRO. 52-03



AUX U.S.A. RADIOPHON CORP. : 55 W, 42nd street, NEW-YORK, 36 N.Y. Tel. LONGacre 4.5659

AGENCE PUBLÉDITEC-DOMÉNACH

LES Nouveaux OSCILLOSCOPES

DU MONT

ALLEN B. DU MONT LABS - CLIFTON N.J. U.S.A.

Types 323, 329 et 336

RÉUNISSENT EN UN SEUL APPAREIL toutes les possibilités en sensibilité et en haute précision que peuvent souhaiter les laboratoires les plus exigeants.

Type 323 : 0 à 20 MC

Type 329 : 0 à 20 MC grande luminosité

Type 336 : 0 à 30 MC grande luminosité

★ OSCILLOGRAPHES CATHODIQUES pour tous usages scientifiques et industriels.

★ TUBES CATHODIQUES DE PRÉCISION



ALLEN B. DU MONT

AGENT EXCLUSIF FRANCE & U. F.

ETS RADIOPHON

50 FG POISSONNIÈRE - PARIS - PRO. 52-03



Loupe électronique
grossissant le balayage
10 fois

Commutateur électronique
type 330
couvert continu à 15 MC

AUX U.S.A. RADIOPHON CORP. : 55 W, 42nd street, NEW-YORK, 36 N.Y. Tel. LONGacre 4.5659

AGENCE PUBLÉDITEC-DOMÉNACH

Plaçons la chambre dans un flux de particules ionisantes. Si l'électrode collectrice, ou anode, est reliée à la masse par un galvanomètre (fig. 1), celui-ci indiquera le courant moyen d'ionisation. On peut également, et c'est le cas le plus courant, relier l'électrode collectrice à la masse par l'intermédiaire d'une forte résistance, placée dans le circuit grille d'une lampe électromètre. (fig. 1). La chute de tension dans cette résistance fait varier le courant dans la lampe électromètre, qui est elle-même suivie d'un amplificateur à courant continu. Les courants d'ionisation à mesurer varient couramment entre 10^{-14} et 10^{-13} A. En utilisant une résistance de $10^{12} \Omega$ il apparaîtra une chute de tension de l'ordre du volt sur la grille de la lampe électromètre. C'est la tension que l'on peut appliquer normalement sur la grille des lampes électromètres couramment disponibles. Dans ces conditions, la résistance d'isolement de l'anode collectrice devra être très élevée, au moins 100 fois supérieure à la résistance de grille si l'on se propose d'effectuer une mesure avec une précision de 1 %.

Le problème de l'isolement de l'électrode collectrice se complique par la présence de la haute tension. En effet, soit R_f la résistance de fuite constituée par le passage isolant et V la haute tension d'alimentation de la chambre, le courant de fuite résultant sera égal à : $I_f = \frac{V}{R_f}$. Si V est égal à 100 V et R_f égal à $10^{14} \Omega$ (ordre de grandeur qu'il est difficile de dépasser dans la pratique) le courant de fuite sera de 10^{-12} A, c'est-à-dire égal au courant à mesurer dans l'exemple ci-dessus. On peut remédier à cet inconvénient en disposant un anneau de garde autour de l'isolant supportant l'électrode collectrice. Cet anneau, porté à un potentiel voisin de celui de l'électrode collectrice, évite que l'isolant ne soit soumis à une différence de potentiel élevé qui produirait alors un courant de fuite prohibitif (fig. 2). Dans ces conditions un isolement de $10^{14} \Omega$ est suffisant.

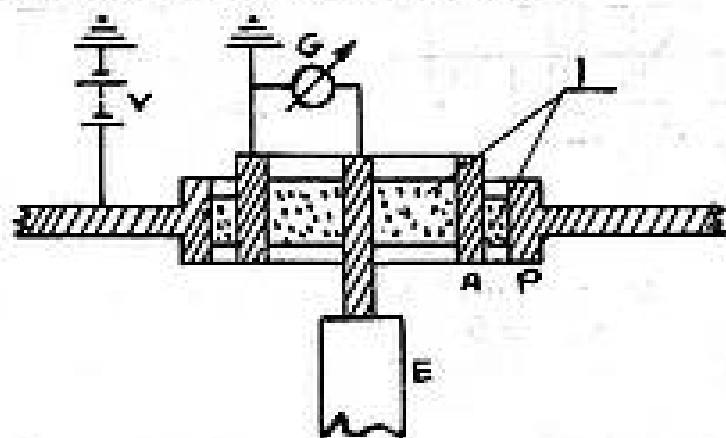


FIG. 2. — Schéma de montage de l'électrode collectrice d'une chambre d'ionisation.

- A : anneau de garde
- E : électrode collectrice
- I : isolant
- G : galvanomètre
- V : tension continue de polarisation
- P : paroi de la chambre

Un autre inconvénient du système décrit ci-dessus vient du fait que la paroi de la chambre se trouve portée à la tension de polarisation. La manipulation de l'ensemble n'est pas aisée et dans la pratique on entoure la chambre d'une autre enceinte mise au

potentiel de la masse (fig. 3). Ce montage complique les réalisations, devient pratiquement inapplicable lorsque la source à détecter est à l'extérieur de la chambre et qu'elle émet un rayonnement qui s'absorbe rapidement (rayons α et β).

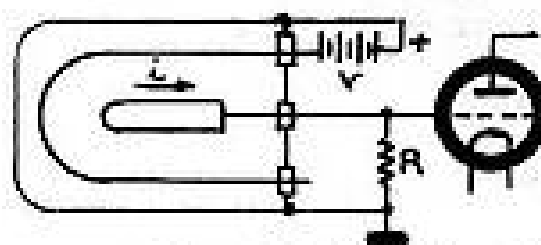


FIG. 3. — Blindage de la chambre d'ionisation.

Une amélioration importante consiste à utiliser un montage particulier dit à « Pile-électrode ». La chambre d'ionisation n'est plus constituée que par une seule paroi. Le passage isolant ne comporte pas d'anneau de garde et l'électrode centrale porte une pile (fig. 4). Dans ces conditions, l'électrode centrale

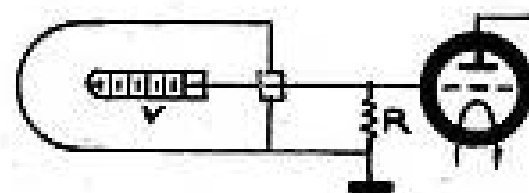


FIG. 4. — Montage dit à « Pile-électrode ».

étant portée à la haute tension par la pile, il y a bien entre les deux électrodes le champ électrique nécessaire au fonctionnement de la chambre, et ceci sans que l'électrode collectrice soit soumise à des tensions élevées.

Le courant d'ionisation est fonction de la tension de polarisation de la chambre. Si l'on place une chambre d'ionisation dans un flux de rayonnement constant et que l'on mesure le courant d'ionisation en fonction de la tension de polarisation, on trouve que pour des tensions variant entre quelques volts et quelques dizaines de volts le courant d'ionisation reste pratiquement constant. La courbe représentant le courant d'ionisation en fonction de la tension de polarisation présente donc un palier de saturation (fig. 5). Dans cette région de la courbe tous les ions ont été collectés. En dessous du coude de saturation le champ électrique est faible et les ions se recombinaient entre eux. Suivant le gaz de remplissage le phéno-

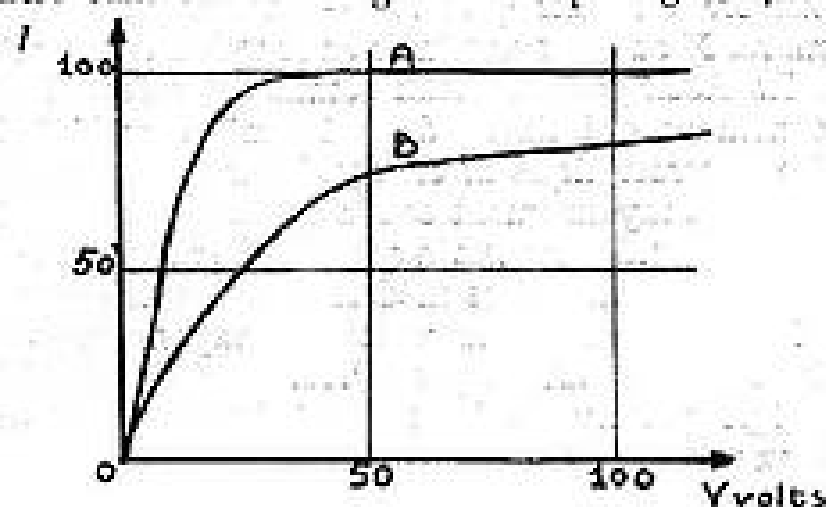


FIG. 5. — Relation courant-tension (courbe de saturation d'une chambre d'ionisation).

- A : remplissage d'Argon
- B : remplissage d'air
- I : courant d'ionisation (unités arbitraires)

mène de recombinaison est plus ou moins important (très faible dans l'argon, notable dans l'air, figure 5). En pratique, dans presque tous les cas la collection sera complète avec des champs de l'ordre de 10 V/cm ; on en déduit que dans la construction d'une chambre d'ionisation il faut éviter les zones où le champ n'atteindrait pas cette valeur.

c) *Différents types de chambre à ionisation et valeur du courant d'ionisation en fonction de la nature et de l'énergie des rayonnements.*

Chambre à rayons α et β . — Une chambre d'ionisation pour rayons α et β devra, soit présenter une paroi mince pour que les particules perdent le moins d'énergie possible en traversant cette paroi, soit encore être constituée de telle sorte qu'on puisse placer la source à l'intérieur même de la chambre. C'est évidemment cette dernière solution qui permettra d'obtenir le meilleur angle solide. La formation d'une paire d'ions dans le gaz de la chambre nécessite l'abandon par la particule ionisante d'une énergie moyenne m qui varie suivant la nature et la pression du gaz, entre 20 et 40 eV. Pour l'air T.P.N. (*), cette valeur est égale à 33 eV environ. Une particule α ou β pourra donc créer dans l'air T.P.N. environ 30 000 paires d'ions par MeV. Si les trajectoires des particules sont entièrement comprises dans celle-ci, le nombre de paires d'ions créées participant au courant d'ionisation est égal à NE/m , où E représente l'énergie moyenne que perd chaque particule sur son trajet dans le gaz, et N le nombre de particules entrant dans la chambre par seconde. Chaque ion formé transportant $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb, la relation donnant le courant d'ionisation I est :

$$I = (N.E/m) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (I en Ampère)}$$

La sensibilité d'une chambre à ionisation à rayons α et β est exprimée comme étant le rapport entre le courant I d'ionisation et le nombre de particules N qui frappent la chambre.

Le calcul du courant d'ionisation se complique car dans la pratique les trajectoires ne sont pas toujours entièrement comprises dans le volume de la chambre, et les particules ne sont pas toujours monocinétiques (cas des rayons β) (fig. 6 et 7).

Chambre à rayons γ et X. — La sensibilité des chambres X ou γ est exprimée en fonction du Roentgen. Le Roentgen est défini comme la quantité de rayonnement qui libère dans 1 cm³ d'air T.P.N. l'unité électrostatique de charge. Pour exprimer une intensité de rayonnement ce n'est plus la quantité R qu'il faut considérer, mais la quantité de rayonnement par unité de temps. Les médecins et physiciens ont choisi deux unités d'intensité de rayonnement : l'unité $R/8h$ (Roentgen par 8 heures) et l'unité R/h (Roentgen par heure). Le courant d'ionisation aura pour expression :

$$I = A.V. \times 1,15 \cdot 10^{-14} \text{ (I en Ampère)}$$

A est exprimé en $R/8h$ et V en cm³.

Pour des rayons γ et X dont la trajectoire n'est pas entièrement comprise dans l'atmosphère de la chambre, le courant d'ionisation est approximativement

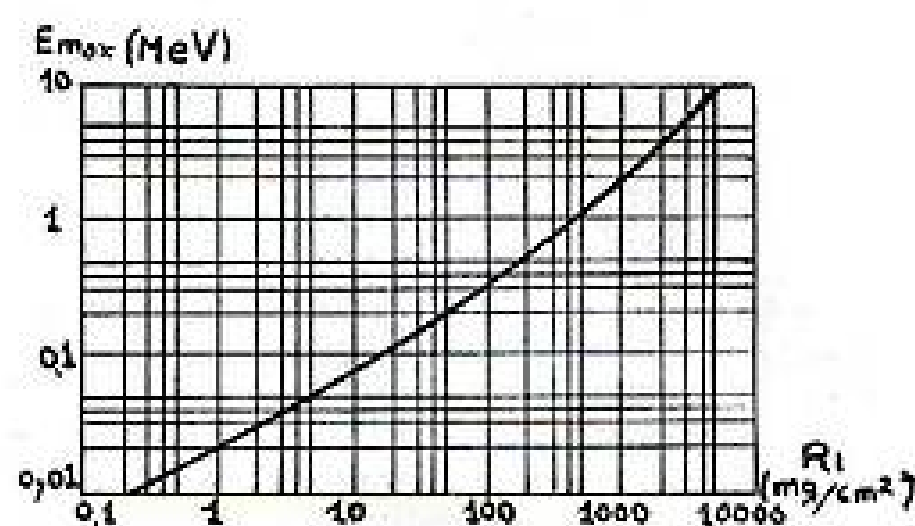


FIG. 6. — Relation énergie-parcours pour les rayons β .

R_1 : parcours dans l'aluminium

E_{max} : énergie maximum des rayons β .

proportionnel à la pression du gaz dans la chambre. Dans le cas où le gaz de remplissage n'est pas de l'air, on multipliera le second terme par d (densité du gaz considéré par rapport à l'air).

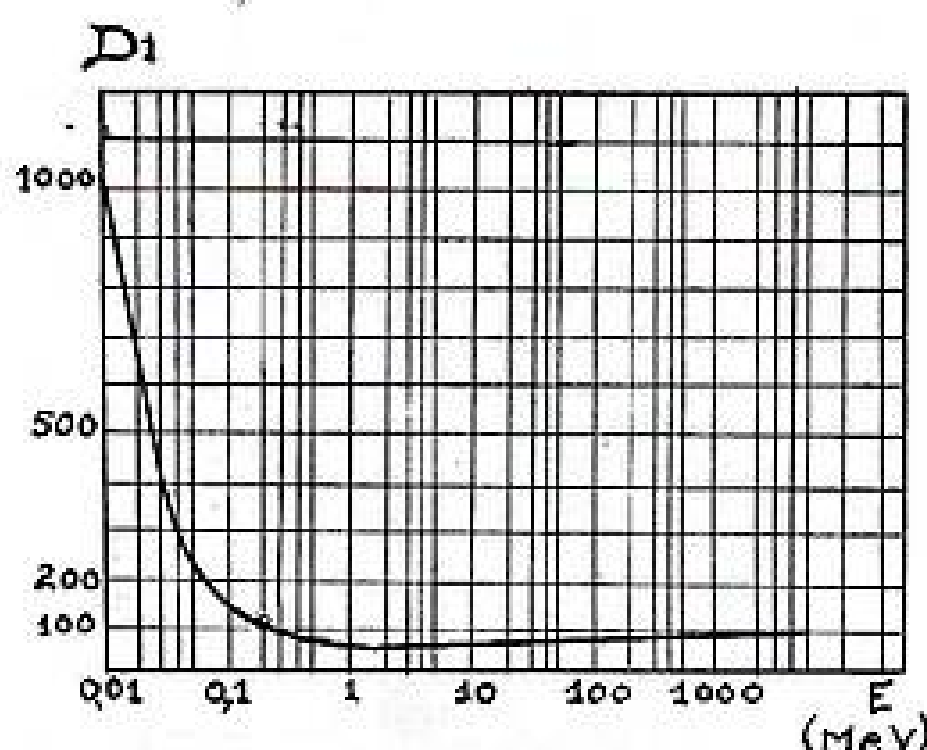


FIG. 7. — Relation énergie-densité d'ionisation pour les rayons β .

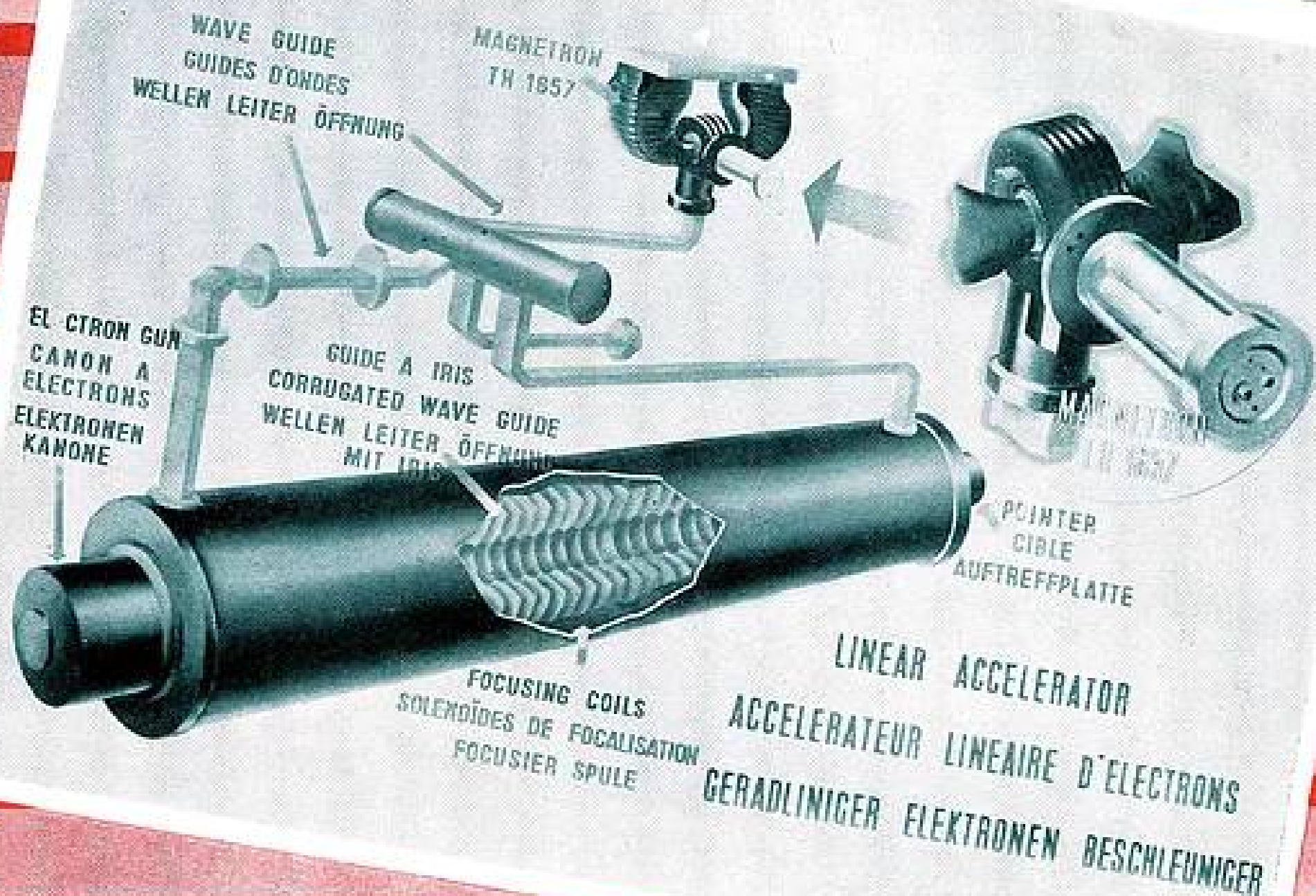
E : énergie des rayons β

D_1 : densité d'ionisation par cm de parcours dans l'air TPN.

Le calcul théorique du courant d'ionisation ne se trouve pas toujours vérifié expérimentalement. On constate qu'il est souvent plus important que le courant calculé ; cette différence est en partie expliquée par l'effet de ces rayonnements sur les parois de la chambre. Les rayonnements γ et X ont la propriété d'expulser des parois de la chambre d'ionisation des électrons qui contribuent également à l'ionisation. Cette contribution ne se retrouve pas dans le calcul du courant d'ionisation défini ci-dessus, elle est d'ailleurs extrêmement difficile à chiffrer. Cet effet de paroi peut être rendu très faible devant l'effet dans le gaz en utilisant une paroi constituée par un grillage, ou encore en augmentant la pression

(*) T.P.N. abréviation signifiant : à température et pression normale (0° et 76 cm de Mercure).

CFTH



TUBES D'ÉMISSION A GRANDE PUISSANCE
en hyperfréquences pour accélérateurs linéaires d'électrons.

Les tubes générateurs d'hyperfréquences, de très grandes puissances instantanées, tels que les magnétrons, qui sont couramment employés dans les appareillages de détection électro-magnétique sont particulièrement adaptés à la génération de l'énergie hyperfréquence nécessaire au fonctionnement des accélérateurs d'électrons.

LA COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON
construit de tels magnétrons pour l'alimentation en énergie hyperfréquence de l'accélérateur linéaire d'électrons du **COLLÈGE DE FRANCE**

C O M P A G N I E F R A N Ç A I S E

THOMSON-HOUSTON

G R O U P E É L E C T R O N I Q U E

173, BD HAUSSMANN, PARIS-8^e - ÉLY. 83-70 - ADR. TÉL. ÉLIHU 42, PARIS

à l'intérieur de la chambre de telle façon que la contribution de la surface soit faible, comparé à celle du gaz.

6° Compteurs proportionnels.

a) Descriptions et propriétés générales.

Les compteurs proportionnels sont presque toujours constitués par une anode filiforme (diamètre de l'ordre de 0,1 mm) et une cathode cylindrique, coaxiale au fil, ayant quelques cm de diamètre. L'atmosphère de remplissage de ces compteurs comporte généralement un gaz rare (Hélium ou Argon) et une vapeur organique, ou encore une addition de quelques pour cent de CO_2 . Les pressions de gaz rare sont dans la pratique comprises entre 10 cm de Hg et la pression atmosphérique. La proportion de vapeur organique peut varier dans de larges limites elle est généralement de 10 %. La vapeur organique et le CO_2 sont introduits dans le but de rendre stable le coefficient de multiplication (*) (surtout pour les valeurs élevées). Certains compteurs proportionnels sont remplis uniquement de vapeur organique (méthane, méthylal). Dans la pratique la valeur des coefficients de multiplication utilisés varie de quelques

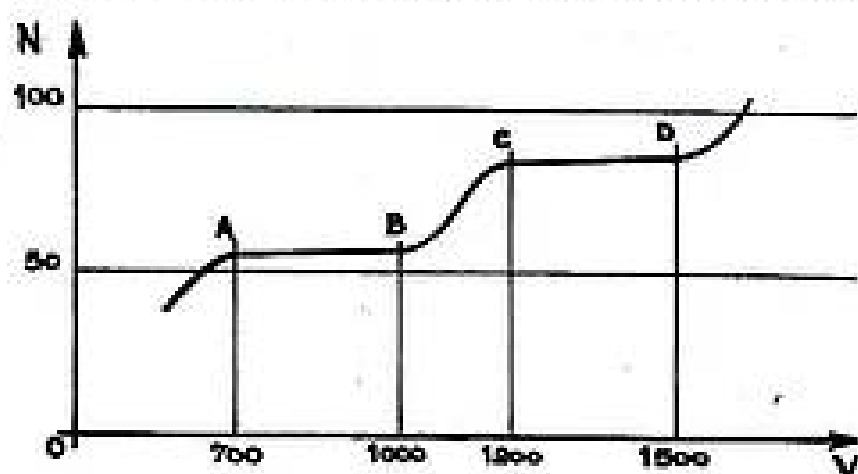


FIG. 8. — Courbe du comptage des rayons α , β et γ obtenue avec un compteur proportionnel, pour différentes valeurs de la tension de polarisation de l'anode.

Région AB : le compteur fonctionne en régime proportionnel et ne compte que les rayons α .

Région BC : le compteur fonctionne encore en régime proportionnel mais commence à compter des rayons β .

Région CD : le compteur fonctionne en régime de Geiger-Müller, il compte à la fois les rayons α , β et γ .

N : taux de comptage (unités arbitraires)

V : valeur de la tension de polarisation de l'anode, en volts.

centaines à 10⁴ environ. Nous avons tracé pour exemple la courbe de comptage (fig. 8) obtenue avec ce détecteur : la source émet des α des β et des γ (fig. 8). Entre A et B nous sommes en région proportionnelle, le compteur détecte seulement les α . Entre B et C nous sommes toujours en région proportionnelle mais le coefficient de multiplication devient assez important pour que l'on commence à compter les β . Nous constatons d'ailleurs qu'en régime proportionnel il n'y a pas de palier avec les rayons β ; ceci est dû en particulier à la répartition d'énergie de ces

rayons et explique que ce détecteur ne soit pas employé de manière courante pour la détection de ces particules. Entre C et D nous sommes en région Geiger-Müller et nous comptons les α les β et les γ (voir alinéa suivant).

b) Caractéristiques des impulsions (*).

Les impulsions données par les compteurs proportionnels ont une amplitude qui varie entre 10⁻³ V et 5.10⁻³ volts (pour les rayons α , les impulsions au milieu du palier de comptage sont de l'ordre de quelques 1/100 de volt). Le temps de montée de l'impulsion est court quelques 10⁻⁷ s. environ. Le temps mort est très faible (de l'ordre de 10 μ s) et permet donc, si le système électronique s'y prête, d'enregistrer des taux de comptage très élevés, de l'ordre de 10⁵ coups par minute avec des pertes statistiques inférieures à quelques pour cent.

c) Types de compteur utilisé.

Comme nous l'avons expliqué le compteur proportionnel n'est couramment utilisé que pour la détection des rayons α . Dans ce cas les compteurs présentent la géométrie définie ci-dessus mais l'une des extrémité est fermée par une fenêtre en mica mince (épaisseur 2 mg/cm²), les rayons α étant rapidement absorbés par la matière (fig. 9). Ce type de compteur (compteur à fenêtre en bout) est développé industriellement.

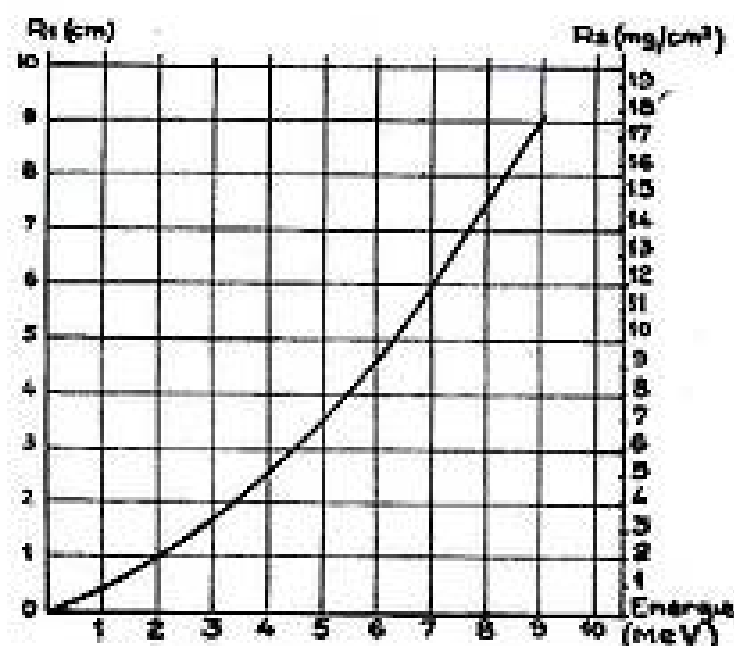


FIG. 9. — Relation énergie-parcours pour les rayons α .

R₁ : parcours dans l'air T.P.N.

R₂ : parcours dans l'argon.

avec des surfaces de comptage qui sont dans la pratique de l'ordre de 10 cm². Lorsque, par construction le volume de comptage est bien défini en fonction de la tension d'alimentation du compteur, on peut, même en source diffuse, disposer d'un palier de comptage α de 250 V à 300 V. Le seuil de comptage en régime proportionnel α pour un compteur de 40 mm de diamètre est de l'ordre de 800 V. Le mouvement propre du compteur dans ces conditions est de l'ordre de 1 coup toutes les 10 à 15 minutes.

(*) Le coefficient de multiplication est défini comme étant le rapport entre le nombre de charges collectées sur l'anode et le nombre de charges créées initialement par l'ionisation du gaz sur le trajet de la particule. Il est fonction de la tension entre anode et cathode.

(*) En ce qui concerne la définition des termes utilisés voir l'alinéa suivant : Les compteurs de Geiger-Müller.

d) *Rendement quantique.*

Le rendement de ce détecteur est de 100 % pour les rayons α et β .

7° Les compteurs Geiger-Muller [5]

a) *Descriptions et propriétés générales.*

La géométrie de ce détecteur est analogue en tout point à celle d'un compteur proportionnel (fig. 10). Cependant, dans le cas du compteur de Geiger-Muller, le champ électrique au voisinage du fil est assez élevé pour que la décharge couronne s'étende tout au long de celui-ci chaque fois qu'une particule ionisante passe dans le compteur.

Ce détecteur possède trois propriétés importantes :

— l'impulsion électrique qu'il délivre est en première approximation d'amplitude constante, quel que soit le nombre d'ions créés initialement par la particule qui a traversé le compteur ;

— l'amplitude de l'impulsion électrique donnée par le compteur de Geiger-Muller (entre quelques volts

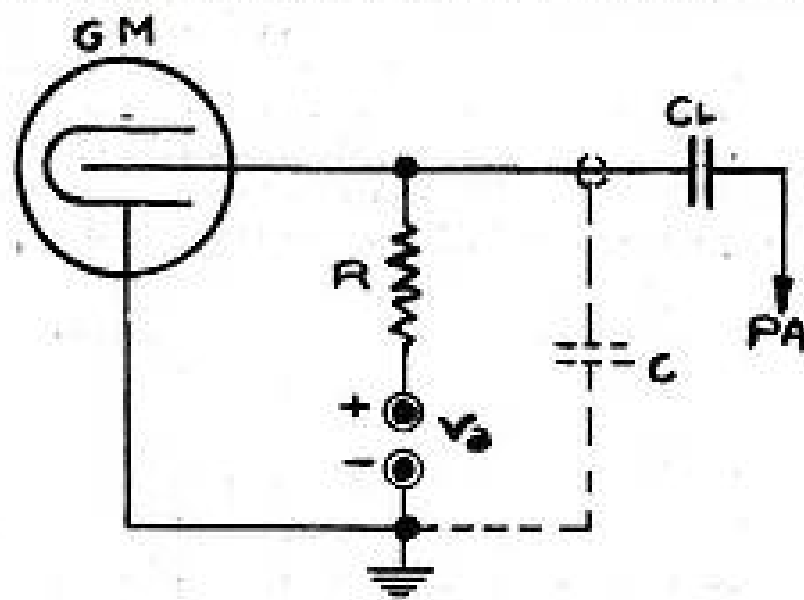


FIG. 10. — Montage électrique d'un compteur.

GM : Compteur Geiger-Müller
R : Résistance de charge
 V_0 : Haute tension d'alimentation
C : Capacité parasite
 C_L : Capacité de liaison
PA : Préamplificateur.

et 100 V) est telle qu'elle permet au système électronique qui l'enregistre d'être relativement simple ;

— la sensibilité de ce détecteur est très grande : Un seul ion négatif produit dans l'atmosphère du compteur, peut donner lieu à l'impulsion électrique définie ci-dessus.

On considère d'habitude deux catégories de compteurs de Geiger-Muller :

— les compteurs qui nécessitent un système auxiliaire pour interrompre la décharge ; depuis quelques années, on ne les utilise pratiquement plus ;

— les compteurs qui arrêtent spontanément leur décharge ; ces derniers sont appelés auto-coupeurs. La propriété d'auto-coupeure est obtenue en ajoutant au gaz principal, qui est en général un gaz rare (argon, hélium) une proportion faible, de l'ordre du 1/10 en pression, d'une vapeur organique (alcool, éther,

méthylal, formiate d'éthyle) ou une proportion plus faible encore (de l'ordre de 1/1000 à 1/100) d'un halogène.

b) *Terminologie et caractéristiques des compteurs de Geiger-Muller.*

Coup : nom habituellement donné à l'impulsion produite par le passage d'une particule dans le compteur.

Taux de comptage : nombre moyen de coups par unité de temps.

Courbe de comptage : on appelle généralement ainsi la courbe représentant les variations du taux de comptage en fonction de la tension continue de polarisation appliquée entre les deux électrodes du compteur.

Palier (L) : c'est, mesurée en volts, la longueur de la région de la courbe de comptage où le taux de comptage est pratiquement indépendant de la tension appliquée sur le compteur (fig. 11). Dans un bon compteur, le palier est de l'ordre de 300 V.

Pente (S) : c'est, en pour cent, l'augmentation du taux de comptage pour une augmentation de 100 V de la tension appliquée. Cette caractéristique est généralement déterminée au milieu du palier ; $S = \Delta N / N$ exprimée en pour cent par 100 V (fig. 11). Dans un bon compteur la pente est en général inférieure à 5 % par 100 V.

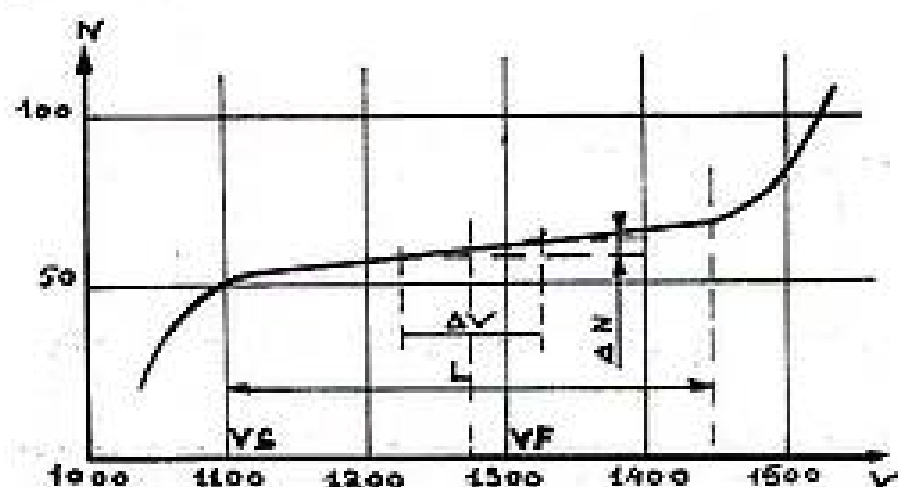


FIG. 11. — Caractéristiques d'un compteur GM.

N : taux de comptage (coup par seconde)
V : haute-tension de polarisation du compteur
 V_s : tension seuil
 V_f : tension de fonctionnement
 $\Delta N / N$: pente pour un ΔV de 100 volts.
L : Longueur du palier.

Seuil (V_s) : c'est la tension la plus basse pour laquelle le taux de comptage reste indépendant de la tension appliquée (fig. 11). La tension seuil est de l'ordre de 1 000 à 1 200 V pour les compteurs à vapeur organique, et de 350 à 700 V pour les compteurs à halogène.

Point de fonctionnement : dans la pratique, le point de fonctionnement est souvent choisi au milieu du palier : $V_s + (L/2)$. Il est utile de noter que la stabilité la meilleure sera obtenue assez près du seuil, car les effets parasites (coups multiples suivant le passage d'une seule particule) et l'usure de l'atmosphère du compteur sont d'autant plus importants que le point de fonctionnement se trouve plus éloigné du seuil. Cependant, il ne faut pas choisir le point

LE
PLUS HAUT

Standard de qualité
EN
CONDENSATEURS..

CONDENSATEURS
POUR TÉLÉVISION

CONDENSATEURS
ELECTROLYTIQUES AU
PAPIER - TUBULAIRES
ANTIPARASITES
TÉLÉPHONIQUES - BLINDÉS

CONDENSATEURS
POUR FLUORESCENCE
A DÉCHARGE - FILTRES
- DE DÉMARRAGE -
POUR L'AMÉLIORATION DU
FACTEUR DE PUISSANCE

CONDENSATEURS
ÉMISSION - RÉCEPTION
MICA - CÉRAMIQUE
TÉLÉPHONIE POUR H.T.
A GAZ - AVIATION - ETC...

CONDENSATEURS - RHÉOSTATS - RÉISTANCES

SAFCO

TRÉVOUX

40 RUE DE LA JUSTICE PARIS-20^e
TÉLÉPHONE : MEN. 96-20

USINES A PARIS - SAINT-OUEN - TRÉVOUX

de fonctionnement trop près du seuil (à moins de 50 V habituellement), car la tension seuil peut varier notablement avec la température. En outre, il faudra tenir compte de l'instabilité possible de la haute tension de polarisation ainsi que de celle du seuil d'amplitude de l'appareillage électronique chargé de compter les impulsions.

Coefficient de température : c'est la variation, en volts, du seuil de comptage par °C, mesuré dans la gamme de température où le compteur présente un fonctionnement correct (il est de l'ordre de 0,1 V à 0,5 V par °C).

Mouvement propre : c'est le taux moyen de comptage par minute mesuré au point de fonctionnement choisi, en l'absence de source radioactive. Le mouvement propre des compteurs a pour causes principales : les rayons cosmiques, la radioactivité locale, la radioactivité des matériaux avec lesquels sont construits les compteurs et, quelquefois, l'émission spontanée par ceux-ci de charges électriques.

Taux de comptage :

— aux faibles taux de comptage et pour un point de fonctionnement donné, on constate qu'il y a proportionnalité entre le flux de particules incidentes et le taux de comptage. Si l'on augmente le flux de particules, on constate qu'au delà d'une certaine valeur (variant de 150 à 500 coups par seconde suivant les types de compteur et le point de fonctionnement choisi), il n'y a plus de proportionnalité (*) (fig. 12);

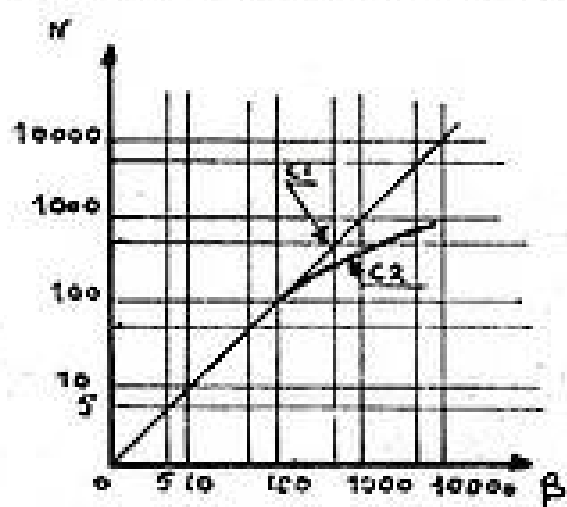


FIG. 12. — Relation entre le taux de comptage d'un compteur et l'intensité du rayonnement β qui le traverse.

N : taux de comptage (coup par seconde)

β : nombre de rayons β traversant le compteur (par seconde)

C_1 : courbe idéale

C_2 : allure de la courbe réelle.

— pour les taux de comptage dépassant quelques centaines d'impulsions par seconde, des effets parasites (instabilité du rendement, en particulier) commencent à apparaître.

Vie utile : au fur et à mesure que l'on utilise un compteur, on constate en général un raccourcissement du palier et une augmentation de la pente et du seuil de comptage; certains compteurs

deviennent photo-sensibles. On définit la vie utile d'un compteur comme étant le nombre de coups qu'il peut compter jusqu'à ce que le palier diminue de moitié, ou jusqu'à ce que sa pente dépasse la pente maximum admise dans le type de compteur considéré.

Cette vie utile, pour les compteurs remplis d'un mélange de gaz rare-vapeur organique, est de l'ordre de 10^8 coups. La limitation de la vie utile est due à la disparition des molécules de vapeur organique. Dans le cas des compteurs à halogène, les vies utiles sont nettement plus longues (de l'ordre de 10^{10} coups).

c) Caractéristiques de l'impulsion produite par les compteurs de Geiger [6].

Le compteur est généralement couplé à un système amplificateur qui possède une capacité d'entrée non négligeable, venant s'ajouter à la capacité propre du compteur (fig. 10). Soit C cette capacité.

Amplitude : soit L la longueur du fil Q_0 la charge délivrée par unité de longueur à chaque impulsion. L'amplitude est :

$$V = L \cdot Q_0 / C$$

Cette amplitude sera d'autant plus faible que la capacité parasite du système enregistreur sera plus élevée. Ce calcul n'est pas rigoureux puisqu'il ne tient pas compte du temps de montée de l'impulsion par rapport à la constante de temps RC .

En général, la valeur de Q_0 dans le compteur croît à peu près linéairement avec la tension au-dessus du seuil.

Temps de montée : c'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre les instants où l'amplitude de l'impulsion a respectivement pour valeur 10 % et 90 % de l'amplitude maximum (fig. 13). Le temps de montée varie entre 1 et quelques microsecondes.

Temps de restitution : si l'on observe, sur un oscillographe à balayage déclenché, l'aspect des impulsions, on constate qu'après chacune d'elles, il y a un intervalle de temps pendant lequel les impulsions suivantes n'atteignent pas l'amplitude maximum : c'est le temps de restitution (fig. 13). Il est de l'ordre de 2 à $3 \cdot 10^{-4}$ s.

Temps mort : le temps mort est la durée minimum, qui doit s'écouler après le début d'une première impulsion, pour qu'une deuxième commence à devenir visible (fig. 13). Il est de l'ordre de 0,5 à $1,5 \cdot 10^{-4}$ s. [7].

Temps de résolution : le temps de résolution est la durée minimum qui doit séparer le passage de deux particules pour que le système électronique, ayant déjà compté la première, puisse compter la deuxième (fig. 13).

Temps de latence : c'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du passage de la particule et l'instant où l'impulsion produite à une amplitude suffisante pour qu'elle soit comptée. Il est compris, pour un compteur de 20 mm de diamètre entre envi-

(*) On constate sur la figure 12 qu'il y a des pertes de comptage. Ces pertes sont dues en première approximation au temps mort du compteur et plus précisément au temps de résolution de l'ensemble de comptage.

ron 1/10 de microseconde pour une particule longeant le fil, et quelques 1/10 de microseconde pour une particule longeant la cathode.

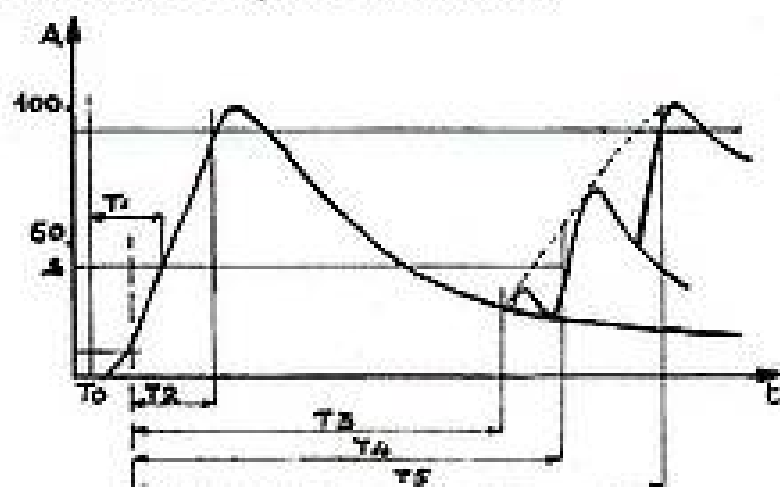


FIG. 13. — Les « temps » de l'impulsion d'un compteur de Geiger-Müller : échelle de temps (unités arbitraires)
 A : amplitude
 T_0 : instant du passage de la particule ionisante
 T_1 : temps de latence
 T_2 : temps de montée
 T_3 : temps mort
 T_4 : temps de résolution
 T_5 : temps de restitution
 S : seuil de comptage de l'appareillage électrique.

d) Rendement quantique des compteurs de Geiger-Müller.

— Rayons α , β et mésons : le rendement des compteurs pour les particules α , β et les mésons est de 100 %.

Radiations électromagnétiques (rayons γ et X) pour que les rayons γ soient comptés, il faut qu'ils provoquent l'émission d'un rayon β à partir de la paroi ou du gaz de remplissage du compteur. Il en résulte que le rendement des compteurs dépend beaucoup de ces substances. D'autre part pour un type de compteur déterminé, le rendement dépend de l'énergie du rayonnement γ . Pour les énergies comprises entre 0,1 et 10 MeV, le rendement des compteurs courants est très faible et varie entre 0,1 et 2 %. On parvient à le doubler ou le tripler en

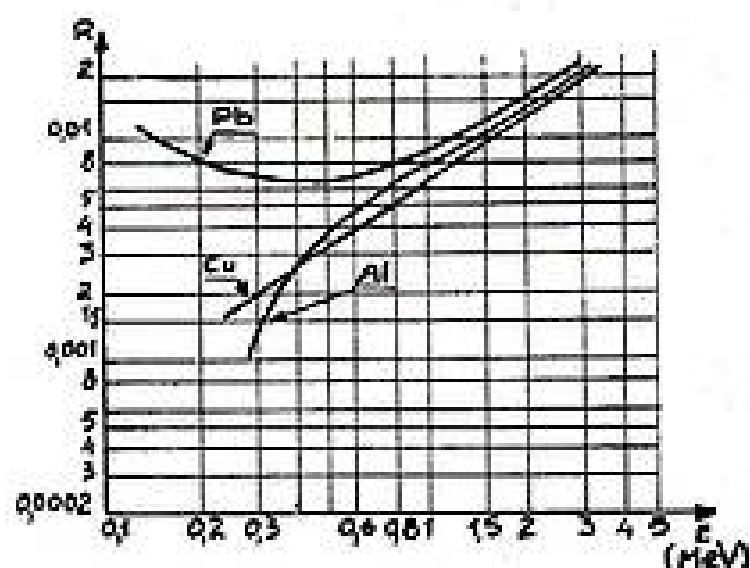


FIG. 14. — Relations rendement-énergie des rayons γ pour des compteurs à cathode en aluminium (Al), cuivre (Cu), plomb (Pb).

Compteurs : longueur utile 40 mm, diamètre 20 mm, épaisseur de la paroi 2 mm (Cu et Al), et 0,1 mm (Pb). Le remplissage de ces compteurs est : argon 9 cm alcool 1 cm (Hg).

R : rendement en pour cent.

augmentant le rapport surface/volume du compteur, l'effet de paroi étant beaucoup plus important

que l'effet de gaz pour les pressions faibles auxquelles sont remplis les compteurs. Sur la figure 14 est indiqué le rendement des compteurs courants avec cathode d'aluminium, de cuivre et de plomb, pour des énergies de rayons γ variant entre 0,2 et 5 MeV. Les rayonnements X étant constitués de photons de faible énergie, s'absorbent très facilement dans la paroi du compteur. Les électrons qu'ils produisent dans cette dernière ne possèdent généralement pas une énergie suffisante pour sortir de la paroi et ioniser le gaz de remplissage. Il faut donc absorber les rayonnements X uniquement dans le gaz du compteur. Il conviendra donc, pour le comptage des rayons X d'utiliser des gaz lourds (krypton) sous pression aussi élevée que possible ; l'entrée des photons dans le compteur se faisant à travers des parois très minces en aluminium ou en mica, ou à travers des parois en matériaux de faible poids atomique (Be). La figure 15 représente la courbe de rende-

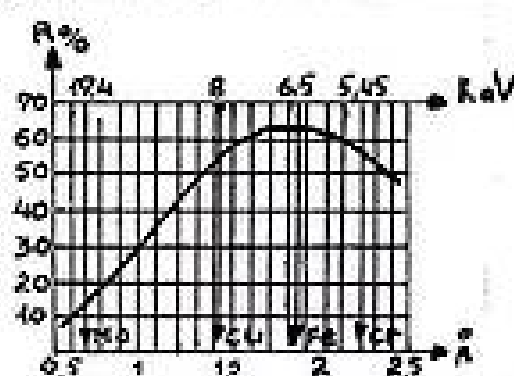


FIG. 15. — Rendement d'un compteur à rayons X. Longueur utile 100 mm, diamètre 21 mm
 R : rendement en pour cent.
 Les flèches indiquent les énergies des principales sources de rayons X.

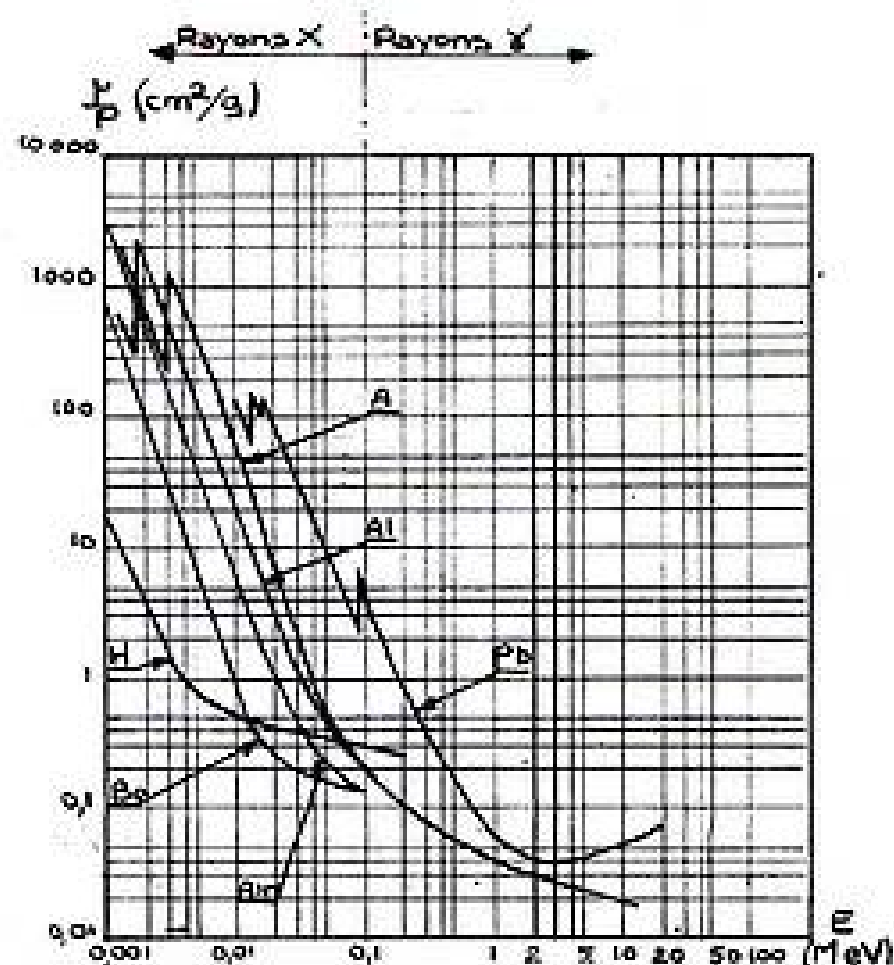


FIG. 16. — Relation énergie-absorption pour les rayons X et γ . Hydrogène (H) — Beryllium (B), air, Aluminium (Al), Argon (A) Plomb (Pb).

E : énergie des photons.

μ/ρ : coefficient d'absorption massique (en cm^2 par g), tel qu'il est défini dans l'équation : $I_x = I_0 e^{-(\mu/\rho)x}$

I_x : intensité transmise ; I_0 : intensité incidente ; x : épaisseur traversée (en g par cm^2)



IMPÉDANCE MÈTRE A LECTURE DIRECTE

Type ZDU-BN 3561

Gamme de fréquence 30 ... 300 MHz
 Impédance caractéristique $Z_0 = 50 \Omega$
 Tension de mesure 1 ... 3V sur 30Ω
 Tension de l'objet à mesurer $< 80 \text{ mV}$
 Pour déterminer les caractéristiques de transmission de réseaux électriques à 4 pôles ou plus; l'angle de phase entre 2 tensions de même fréquence etc., etc...

DERNIÈRE NOUVEAUTÉ :

Type ZDD-BN 3562

Gamme de fréquence 300 ... 2400 MHz

ROHDE & SCHWARZ



MESUREUR DE CHAMP

(pour les mesures à courtes distances)

Type HHN

BN 1540

Gamme de fréquence 0,1 ... 3 Mc/s
 Étendue des mesures de l'intensité de champ 0,03 ... 0,3/0,5/2/5/20V/m.
 Précision des fréquences $\pm 1 \%$
 Précision de mesure de l'intensité de champ $\pm 10 \%$

BN 1541

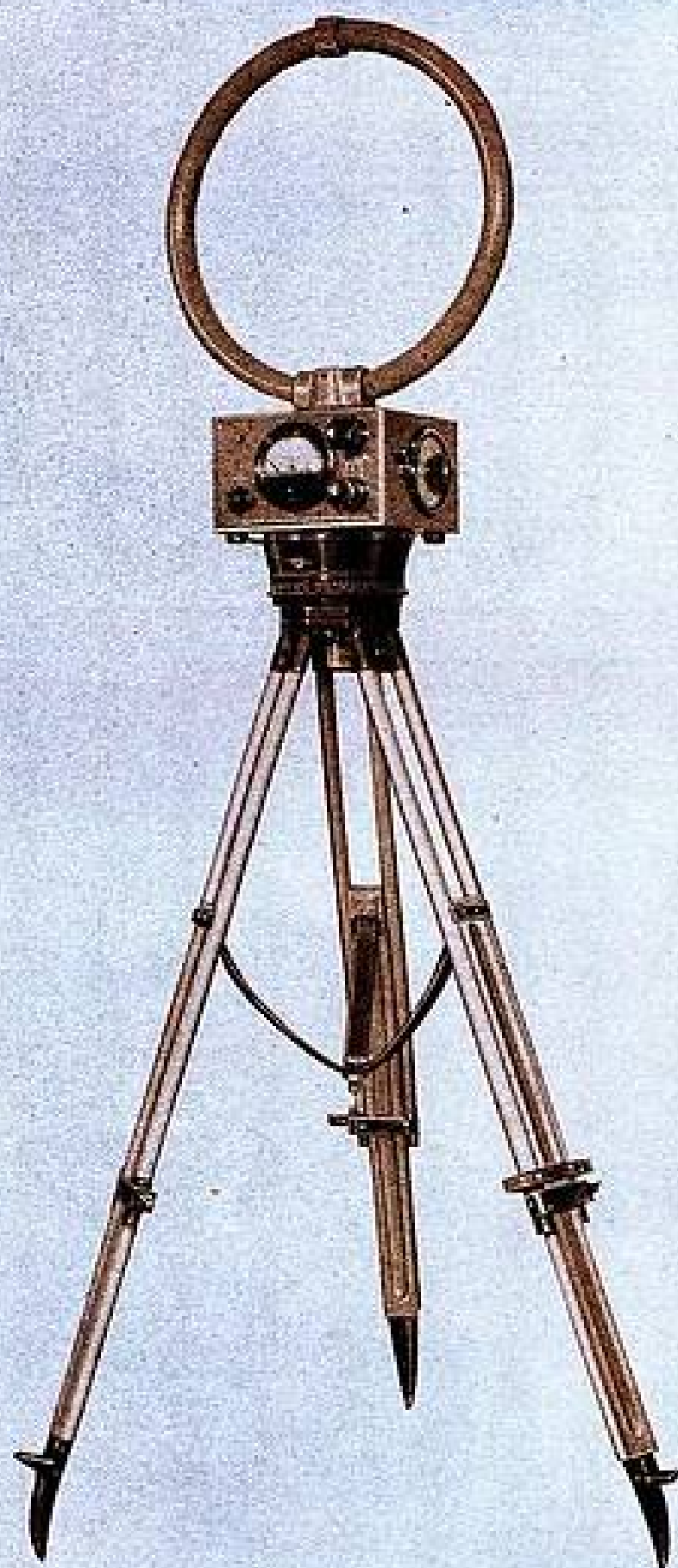
Gamme de fréquence 2,5 ... 25 Mc/s
 Mêmes autres caractéristiques que le BN 1540

BN 1542

Gamme de fréquence 20 ... 10 Mc/s
 Mêmes autres caractéristiques que les précédents.

AUTRES FABRICATIONS

VOLTMÈTRES — WATTMÈTRES — GÉNÉRATEURS HF, VHF, ET BF — FRÉQUEN-
 CEMÈTRES — IMPÉDANCEMÈTRES — OSCIL-
 LOGRAPHES — Q-MÈTRES — MESUREURS
 DE BRUIT — MESUREURS DE NIVEAU DE
 SON — IMPÉDANCE MÈTRE A LECTURE
 DIRECTE — ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS —
 ANTENNES FICTIVES ET ANTENNES FIXES
 ET MOBILES, ETC...



MEGEX

SEUL REPRÉSENTANT ET DISTRIBUTEUR POUR LA FRANCE

105, QUAI BRANLY — PARIS-XV — Tél. : SEGuR 36-93

ment (*) pour les rayons X de 5 à 25 keV et relative à un type de compteur habituellement utilisé pour ces rayons. Sur la figure 16 est indiquée l'absorption des rayons X et des rayons γ pour différents matériaux.

e) *Description des principaux types de compteurs actuellement construits.*

— *Compteurs cylindriques pour rayons β et γ et cosmiques (fig. 17a, b, c, d).*

Pour détecter ces rayonnements, on utilise d'ordinaire des compteurs de forme cylindrique en verre ou en métal. Pour les rayons cosmiques, la nature et l'épaisseur de la paroi importent peu en général. Pour les rayons β et γ , ces deux paramètres ont, au contraire, une grande importance (fig. 14 et 18). Les dimensions varient entre 1 et 5 cm pour les diamètres et entre 3 et 100 cm pour les longueurs. Les compteurs β sont en général de dimensions modestes étant donné la difficulté d'obtenir des parois à la fois minces et de grandes surfaces. Dans les compteurs à enveloppe de verre, on ne peut obtenir des

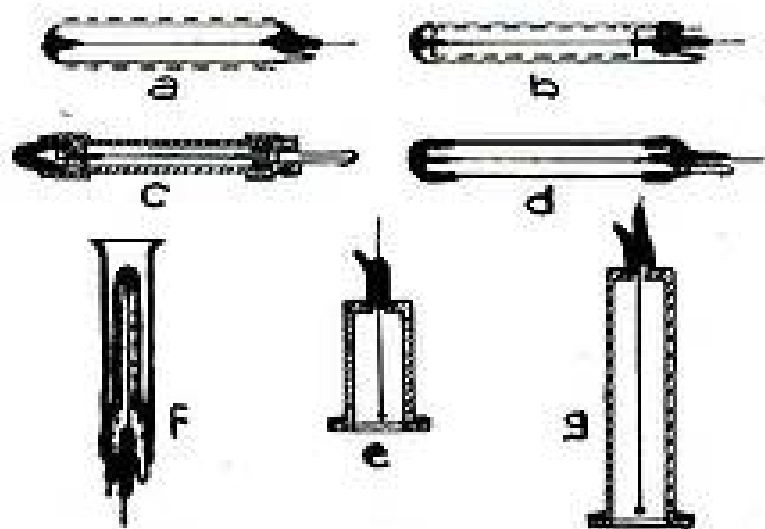


FIG. 17. — Différents types de compteurs de Giger-Müller.

- a) compteur type Maze
- b) compteur en verre à cathode interne métallique
- c) compteur à paroi métallique mince
- d) compteur dont la paroi métallique se soude directement au verre
- e) compteur à fenêtre en bout « type cloche »
- f) compteur à liquide
- g) compteur à fenêtre en bout pour rayons X.

Tous ces types peuvent également fonctionner en compteurs proportionnels.

Le « volume de comptage » est compris entre les deux plans perpendiculaires au fil, situés aux extrémités de celui-ci et la paroi interne de la cathode.

parois d'épaisseur inférieure à 40 mg/cm². Dans les compteurs à enveloppe métallique on peut, avec des alliages légers tels que le duralumin, obtenir des parois allant jusqu'à des épaisseurs de l'ordre de 20 mg/cm².

— *Compteurs pour l'examen des liquides.*

Un tube soudé à la base d'un compteur cylindrique définit un volume annulaire dans lequel sera contenu le liquide actif à examiner (fig. 17f). Ces compteurs sont toujours à enveloppe de verre afin de faciliter leur nettoyage après examen d'un échan-

tillon, et parce qu'ils doivent résister à l'action des liquides corrosifs. Ces détecteurs sont le plus souvent réalisés pour l'examen de substances émettant des particules β ; l'enveloppe de verre est donc amincie par soufflage.

— *Compteurs à fenêtre en bout (compteur cloche pour rayons β mous et rayons α) (fig. 17e).*

Ce compteur a également une forme cylindrique, mais l'une de ses extrémités est fermée par une fenêtre mince en aluminium ou en mica; le fil est en porte à faux, terminé par une boule en verre. Pour les rayons β relativement énergiques ($E_{\max} > 0,5$

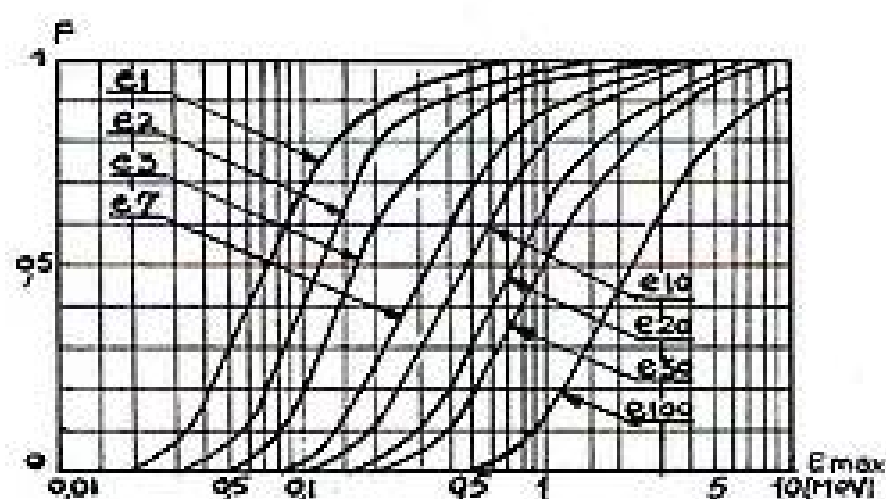


FIG. 18. — Absorption du rayonnement β par des parois minces d'aluminium ou de mica.

$E_{\max}$: énergie maximum du spectre β

F : fraction du rayonnement transmis à travers la paroi

x : épaisseur des parois en mg/cm².

MeV), on utilise des fenêtres en aluminium battu de 10 mg/cm²; pour les rayons β mous et les rayons α , on emploie des feuilles de mica dont le poids est compris entre 1,5 et 3 mg/cm². Ces fenêtres, dont la surface est de l'ordre de 10 cm², sont scellées au corps du compteur. Avec les compteurs à paroi de mica on observe généralement une instabilité du rendement due aux charges électriques se déposant sur le mica. Cet inconvénient est éliminé en rendant conductrice la surface interne du mica par un dépôt métallique mince, ce dépôt étant porté au potentiel de la cathode. Pour le comptage des rayons X (fig. 17g) on utilise presque exclusivement des compteurs cloche avec fenêtre en mica mince ou en beryllium (0,25 mm d'épaisseur environ), et remplis d'argon à forte pression, la vapeur de coupure étant du bromure de méthyle, ou mieux, du brome.

8° Les détecteurs à scintillations.

a) Descriptions.

Les compteurs à scintillations sont constitués essentiellement par un photomultiplicateur (P.M.), cellule photoélectrique spéciale, dont la face sensible est mise en regard d'un bloc de substance fluorescente : le scintillateur. Le P.M. voit les scintillations et les transforme en impulsions électriques que l'on peut enregistrer à l'aide d'un appareillage électronique approprié. L'ensemble est monté dans une enceinte étanche à la lumière (fig. 19).

(*) Cette courbe de rendement tient compte de l'absorption des rayons X dans la fenêtre du compteur.

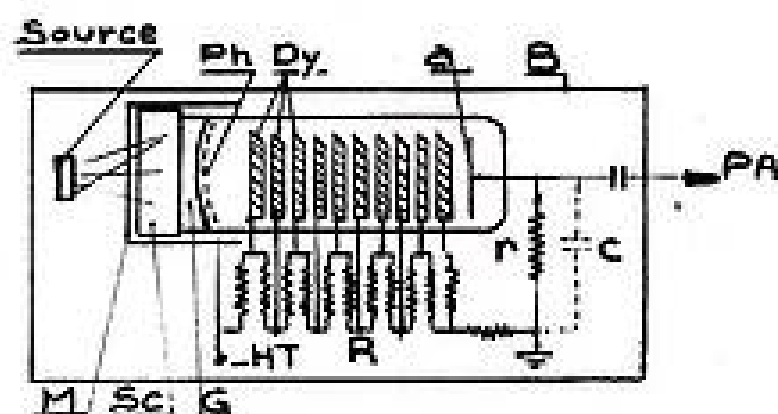


Fig. 19. — Schéma d'un dispositif à scintillation et de son montage électronique.

M : réflecteur de lumière
Sc : Scintillateur
G : guide de lumière
Ph : photocathode
Dy : dynodes
a : anode
R : diviseur de tension alimentant les électrodes du photomultiplicateur
C : capacité parasite
B : blindage mettant l'ensemble à l'abri de la lumière.

b) Caractéristiques principales du scintillateur et du photomultiplicateur.

— Scintillateur.

Considérons une particule nucléaire qui pénètre dans le scintillateur.

Si c'est une *particule chargée*, elle provoquera, le long de son parcours, une excitation des molécules avoisinantes. Les molécules se désexciteront alors en émettant un certain nombre de photons lumineux qui constituent la scintillation.

Si la particule nucléaire est *neutre*, elle ne pourra provoquer une scintillation que par l'intermédiaire de particules chargées, projetées par elle dans le scintillateur. Par exemple, un photon γ peut transférer son énergie à un électron qui produira des photons lumineux tout au long de son parcours dans le scintillateur. Mais les photons γ , pénétrant dans le scintillateur ne pourront projeter des électrons que si ce dernier contient une substance possédant un pouvoir absorbant non négligeable vis-à-vis de ces photons.

Trois grandeurs importantes sont à retenir dans le fonctionnement du scintillateur :

— Le nombre N de photons émis après le passage de la particule : proportionnel, dans un certain domaine, à l'énergie que perd cette particule dans le scintillateur ; ce nombre est compris, dans les cas usuels, entre quelques centaines et quelques milliers.

— La longueur d'onde de ces photons. Dans les scintillateurs usuels, l'émission des photons se fait par bande, et l'on a l'habitude de considérer seulement la bande la plus intense. Cette bande se trouve en général située entre 4 000 et 5 000 Å.

— Le temps moyen θ pendant lequel les molécules restent excitées après le passage de la particule. Les molécules se désexcitant pratiquement au hasard, on peut déterminer la courbe d'émission des photons dans le temps à partir du moment où la particule est passée.

Le temps du passage de la particule dans un scintillateur est généralement très court : de l'ordre de

10^{-10} s. Si nous portons en ordonnée le nombre de photons émis par unité de temps, $\frac{dn}{dt}$, et en abscisse

le temps, nous obtenons la courbe de la figure 20 dont la partie décroissante est une exponentielle en première approximation. Le temps θ est alors la constante de temps de cette exponentielle.

θ dépend de la nature du scintillateur, il est généralement compris entre quelques millimicrosecondes et quelques microsecondes.

Parmi les scintillateurs couramment employés nous n'en citerons que trois, qui sont particulièrement importants.

Tout d'abord, le sulfure de zinc activé à l'argent utilisé pour la détection des particules α , sous forme de poudre immobilisée par un liant transparent.

Deuxièmement, le tétraphényl butadiène (T.P.B.),

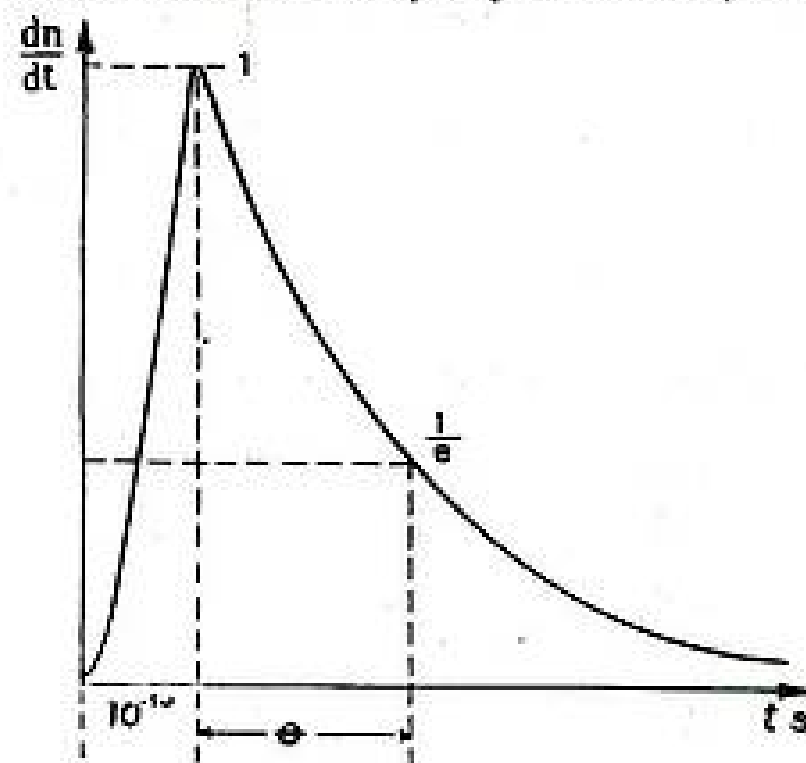


Fig. 20. — Émission des photons dans le temps.

mis en solution dans une matière plastique, polystyrène par exemple [8]. Il permet de détecter toutes les particules (α , β , γ). Ce scintillateur est utilisé sous forme de feuilles minces.

Troisièmement, l'iodure de sodium activé au thallium $NaI(Tl)$ utilisé surtout pour la détection des rayons γ et X. Ce scintillateur est monté dans une boîte scellée par suite de sa nature très hygroscopique.

Les principales caractéristiques de ces scintillateurs sont groupées dans le tableau n° 1.

TABEAU 1

Scintillateurs	particules	N^{10}	λ	θ	utilisations
$ZnS(Ag)$ dans polystyrène.	α	2 400	4 500 Å	5 μs	en poudre
T.P.B.	α, β, γ	600	4 600 Å	10 μs	en bloc ou feuilles
$NaI(Tl)$	γ	2 400	4 100 Å	0,25 μs	en blocs scellés dans Al

(10) NOTA. — Il faut noter que le photomultiplicateur ne verra pas les N photons, mais seulement un tiers de ceux-ci environ par suite des conditions optiques de collection de la lumière.

ATOMIC

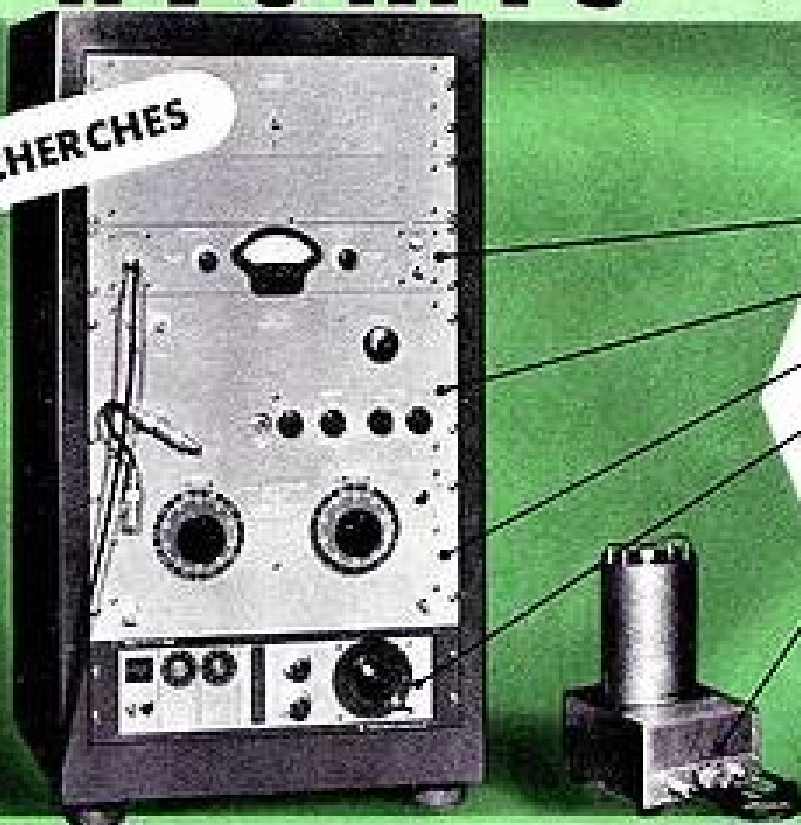


INSTRUMENT COMPANY

CAMBRIDGE • MASSACHUSETTS

RECHERCHES

MOD.
513



ANALYSE DES RAYONS GAMMA

Spectromètre à scintillation à 1 seul canal Modèle 513 :

Le Spectromètre à scintillation modèle 513 a été réalisé pour l'analyse de précision des isotopes radioactifs isolés ou dans des mélanges. L'ensemble du spectromètre, réuni en un seul coffret, comprend tous les appareils utilisés en laboratoire :

- **Modèle 312 : Alimentation H.T. stable :** dérive inférieure à 0,02 % par jour. Stabilité 0,01 % pour 100 à 130 volts d'alimentation.
- **Modèle 218 : Amplificateur linéaire :** grande stabilité et linéarité.
- **Modèle 510 : Analyseur d'amplitude pour impulsion :** réglage indépendant de la largeur de bande et du niveau.
- **Modèle 131 : Échelle de précomptage :** Murie de tubes à cathode froide, temps de résolution inférieur à 5 μ sec., réalisable jusqu'à 1 μ sec. Présélection de comptage ou présélection temps.
- **Modèle 810 : Détecteur :** comprenant un cristal iodure de sodium thallium activé, photomultiplicateurs d'électrons, préamplificateur et écran de plomb. Ce détecteur assure un pouvoir de comptage élevé comparativement au rayonnement Gamma de faible intensité tel que l'iode 131. Des cristaux solides sont également prévus pour la spectrométrie de précision à haut niveau.

Spectromètre à scintillation à 20 canaux :

Particulièrement destiné à réduire le temps d'analyse, ce spectromètre permet de nombreux travaux d'analyse dans le cas des isotopes ayant un rayonnement de courte durée qui exigent ordinairement des corrections d'amortissement.

Compteur à scintillation Modèle 5.010 :

Permet de réaliser une gamme complète d'applications concernant la détection des rayons Gamma émis par les échantillons de matériaux. Utilisation typique pour l'identification des traceurs en chimie et biologie, examen chimique du sang, urine, tissus, etc... L'utilisation peut être étendue en utilisant une sonde à scintillation à la place du détecteur. Le modèle 5.010 comprend normalement les modèles 312 - 218 - 131 et 810.

Instruments de comptage et de contrôle :

Les compteurs ont été étudiés pour séparer les "tops" issus de phénomènes périodiques, continus ou discontinus. Ces appareils sont capables d'assurer un comptage jusqu'à 100 millions et plus, à des vitesses de 20.000 coups par seconde. On peut les utiliser pour les problèmes de mesure, le contrôle de fabrication, la totalisation de quantités décimales ou duodécimales, etc...

"CE QUE L'ON PEUT COMPTER PEUT ÊTRE CONTRÔLÉ !"

Les appareils présentés par "ATOMIC" trouvent leur utilisation dans de nombreuses applications :

Comptage d'articles divers : bouteilles, cigarettes, résistances, pilules...

Comptage de mouvements fugitifs : coups de piston, relais, densité de trafic...

Comptage d'écoulement continu : huile, lait, produits chimiques, lixiv, papier, etc...

Les appareils de contrôle ont été étudiés pour fermer un circuit électrique quand un nombre quelconque prédéterminé d'opérations a été atteint, puis revenir aux conditions initiales et répéter l'opération.

Ces appareils fonctionnent suivant une variété de signaux d'entrée, ils requièrent des impulsions positives ou négatives qui peuvent provenir d'un effet magnétique, d'une variation de résistance, de capacité, d'un microphone, d'une cellule photoélectrique, de jauges de contraintes, de pick-up de radiation ou d'un commutateur, etc...

Compteur de présélection Modèle 164 : muni de tubes delectrons, ce compteur a une capacité d'enregistrement de 1 million à des vitesses allant jusqu'à 5.000 unités par seconde. Remise en position automatique ou par commande à distance.

Compteur totalisateur à 6 chiffres modèle 8.006.

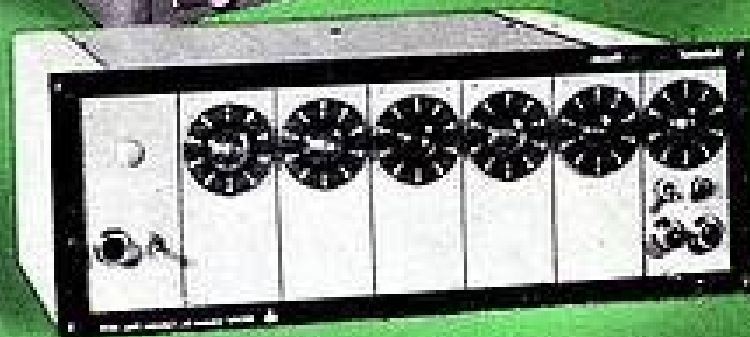
Contrôle par comptage avec présélection à 4 chiffres modèle 8.035.

MOD. 164

INDUSTRIE



MOD. 8006



LABORATOIRES

MOD. 410

MOD. 409



Contrôle de la Radioactivité :

Compteur Modèle 410 :

Appareil pour la mesure de radioactivité en laboratoire couvrant les gammes de 200, 2.000, 20.000 et 200.000 CPM avec une précision de 2 %. Le signal d'entrée peut être fourni par les sondes à scintillation ou les tubes G.M. Ce compteur comporte une alimentation incorporée de 400 à 2.000 volts pour un débit de 1 mA. avec une régulation de 0,05 %. Contrôle acoustique avec gain réglable. Courant de sortie pour un enregistreur à plume standard 1 mA.

Moniteur de laboratoire Modèle 409 :

Le Moniteur modèle 409 permet le choix de 3 gammes de comptage 200, 2.000 et 20.000 CPM. Sa petite dimension est très utile pour surveiller l'effet de contamination. Cet appareil est muni d'un dispositif de réglage de la valeur de haute tension appliquée au tube G.M. utilisé, d'un jack pour casque et il est équipé d'un tube G.M. 1 B 85.

Contrôleur de rayonnement portatif Modèle 404 A :

Une échelle logarithmique unique couvre la totalité de la gamme de 3 à 3.000 milliroentgen/heure. La constante de temps de l'appareil est inversement proportionnelle à l'intensité de rayonnement reçue. Le temps de lecture se trouve réduit au minimum permettant de réduire le temps d'exposition du personnel. Le modèle 404 A est utilisable pour la détection en γ et β avec une précision de $\pm 10\%$. Sa légèreté et ses commandes simplifiées en font un contrôleur idéal pour toutes les applications nucléaires, médicales et industrielles.



AGENT EXCLUSIF FRANCE & C. A.

ETS RADIOPHON

58, FAUBOURG POISSONNIERE - PARIS (10^e) - PRO. 52.03. 04



Autres fabrications :

Analyses de coïncidence et d'anti-coïncidence - cristaux - détecteurs - enregistreurs-imprimeurs rapides - sources calibrées - échelles diverses - appareil médical pour la localisation des tumeurs - électrophorèse, etc...

AUX U.S.A. RADIOPHON CORP. : 55 W, 42nd street, NEW-YORK, 36 N.Y. Tel. LONGacre 4.5659

N est le nombre de photons émis par le scintillateur lorsqu'une particule chargée y perd une énergie de 100 keV ; λ est la longueur d'onde d'émission des photons en angström et θ est le temps défini plus haut.

— Photomultiplicateur.

Le P.M. que l'on place à la suite du scintillateur, est un tube à vide contenant trois parties essentielles : la photocathode, le multiplicateur et l'anode (fig. 19).

La photocathode forme une couche sensible à la lumière, constituée généralement par du césium-antimoine.

Le multiplicateur est constitué par un certain nombre de *dynodes*, plaques formées d'alliage à émission secondaire, se succédant les unes derrière les autres. La nature de l'alliage diffère suivant les types et peut être soit du césium-antimoine comme la photocathode, soit du magnésium-argent, ou encore du cuivre-béryllium. Le nombre de dynodes est de l'ordre d'une dizaine, afin d'obtenir une multiplication suffisante.

Le P.M. est mis en ordre de marche en établissant entre chaque électrode une différence de potentiel de l'ordre d'une centaine de volts.

Précisons là encore deux grandeurs :

— la sensibilité spectrale de la photocathode. Pour les P.M. employés dans les compteurs à scintillations, elle s'étend de 3 000 Å à 6 000 Å en passant par un maximum vers 4 500 Å. La mesure se fait globalement en $\mu\text{A/L}$ lorsque la photocathode est éclairée par une source blanche ($T_e = 2\,800^\circ\text{K}$). Les valeurs courantes de la sensibilité sont de l'ordre de 30 $\mu\text{A/L}$, valeur pour laquelle un photon de 4 500 Å a une chance sur dix environ de provoquer l'éjection d'un électron de la photocathode.

— Le gain G du multiplicateur qui dépend de la nature des dynodes, de leur nombre et de la tension d'accélération entre chacune d'entre elles. Ce gain varie très vite avec la haute tension totale appliquée entre la cathode et l'anode, puisque l'émission des électrons se fait suivant une progression géométrique en fonction du nombre m des dynodes. Les variations relatives de gain sont égales à m fois les variations relatives de tension entre dynodes. Ce gain se situe entre 10^4 et 10^6 suivant les types de P.M.

e) Caractéristiques de l'impulsion produite par le compteur à scintillations.

Si un des photons émis dans la scintillation parvient à la photocathode du P.M., il a une chance sur dix, environ, de provoquer l'émission d'un électron par effet photoélectrique et de le projeter à l'intérieur du tube. Si cette éventualité a eu lieu l'électron va être alors accéléré sur la première électrode, et du fait de l'alliage à émission secondaire, donner lieu à une émission de plusieurs électrons (généralement trois ou quatre). Ces électrons accélérés à leur tour par la seconde électrode, vont y être multipliés. Il y a multiplications à chaque dynode, et l'anode va collecter un nombre de charge eG , correspondant à

l'émission d'un seul électron quittant la photocathode. (G étant le gain du P.M.).

Nous avons vu que l'intensité lumineuse d'une scintillation décroît exponentiellement en fonction du temps. Le courant électronique collecté par l'anode du P.M. suit la même loi. Cependant, du fait de l'impédance de l'anode (fig. 21) le courant débité dans la résistance de charge R est donné par l'expression

$$I = \frac{q_0}{\theta - RC} \left(e^{-\frac{t}{\theta}} - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

où q_0 est la charge totale collectée durant une scintillation et C la capacité de l'anode.

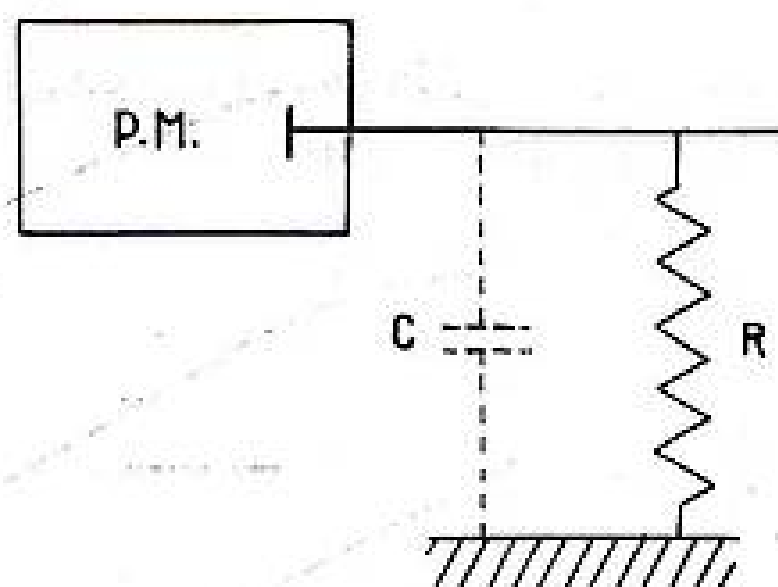


FIG. 21. — Circuit d'anode du P.M.

C : capacité parasite de l'anode

R : résistance de charge de l'anode.

Il apparaît une impulsion de tension d'amplitude A aux bornes de R (fig. 22) dont la valeur crête V , pour une valeur de C déterminée, dépend du rapport RC/θ . Dans le cas où RC est infini devant θ , V est maximum et égal à $A_0 = q_0/C$.

Dans la pratique courante on choisit $RC = 10\theta$. La valeur de V est alors les 80 % de A_0 (fig. 22). Le temps de montée (temps qui s'écoule entre les instants où l'amplitude de l'impulsion a respectivement pour valeur 10 % et 90 % de V) est 2,5 θ environ. Le temps de descente (temps qui s'écoule entre les instants où l'amplitude de l'impulsion a respectivement pour valeur V et V/e) est de 10 θ environ⁽¹⁾.

d) Appareillage.

L'ensemble généralement employé est composé du compteur à scintillations (C.S.), suivi d'un préamplificateur (P.A.) ; d'un discriminateur (D), et d'une échelle de comptage (E) ; une haute tension (H.T.) alimente le P.M. (fig. 23).

Le préamplificateur doit présenter à l'anode du P.M. une faible capacité d'entrée. En effet nous avons vu que si RC est très grand devant θ , V est égal à q_0/C , donc inversement proportionnel à C . L'utilisation d'un compteur à scintillation comporte donc généralement un préamplificateur, dont l'entrée est couplée à l'anode du P.M. par une connexion aussi courte que possible.

⁽¹⁾ e dans le terme V/e est la base des logarithmes népériens.

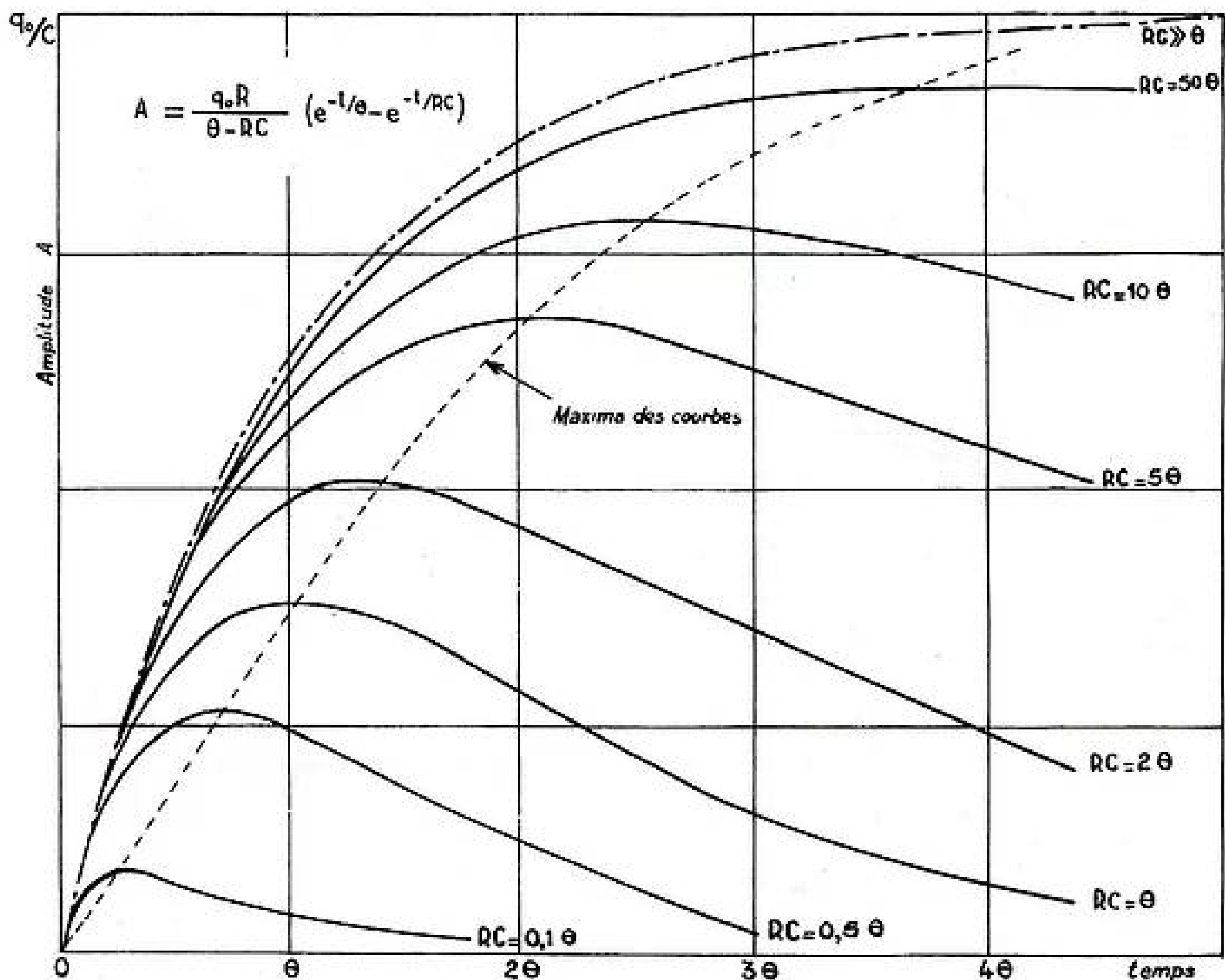


FIG. 22. — Amplitude de l'impulsion de tension à l'anode en fonction du temps.

Le *discriminateur* est un système qui ne laisse passer que les impulsions dont l'amplitude V est supérieure à une valeur D donnée, variable à volonté. Cette valeur s'appelle le seuil du discriminateur.

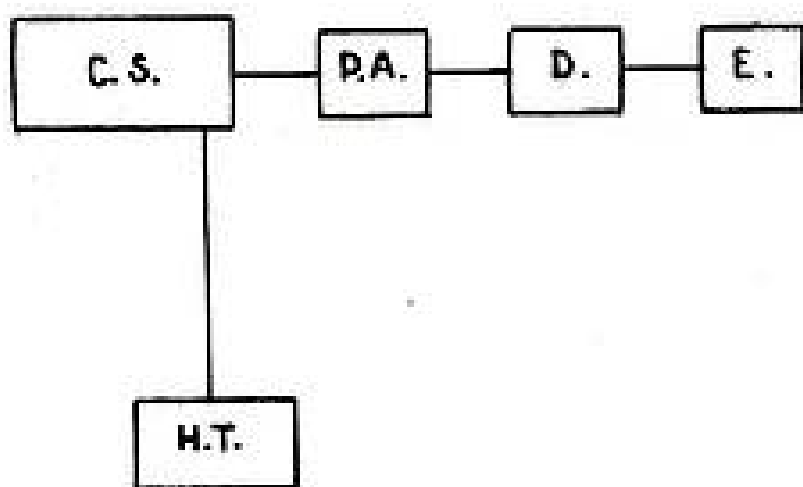


FIG. 23. — Ensemble de comptage à scintillation.

Cs : compteur à scintillation

HT : haute tension alimentant le photomultiplicateur

PA : préamplificateur

D : discriminateur

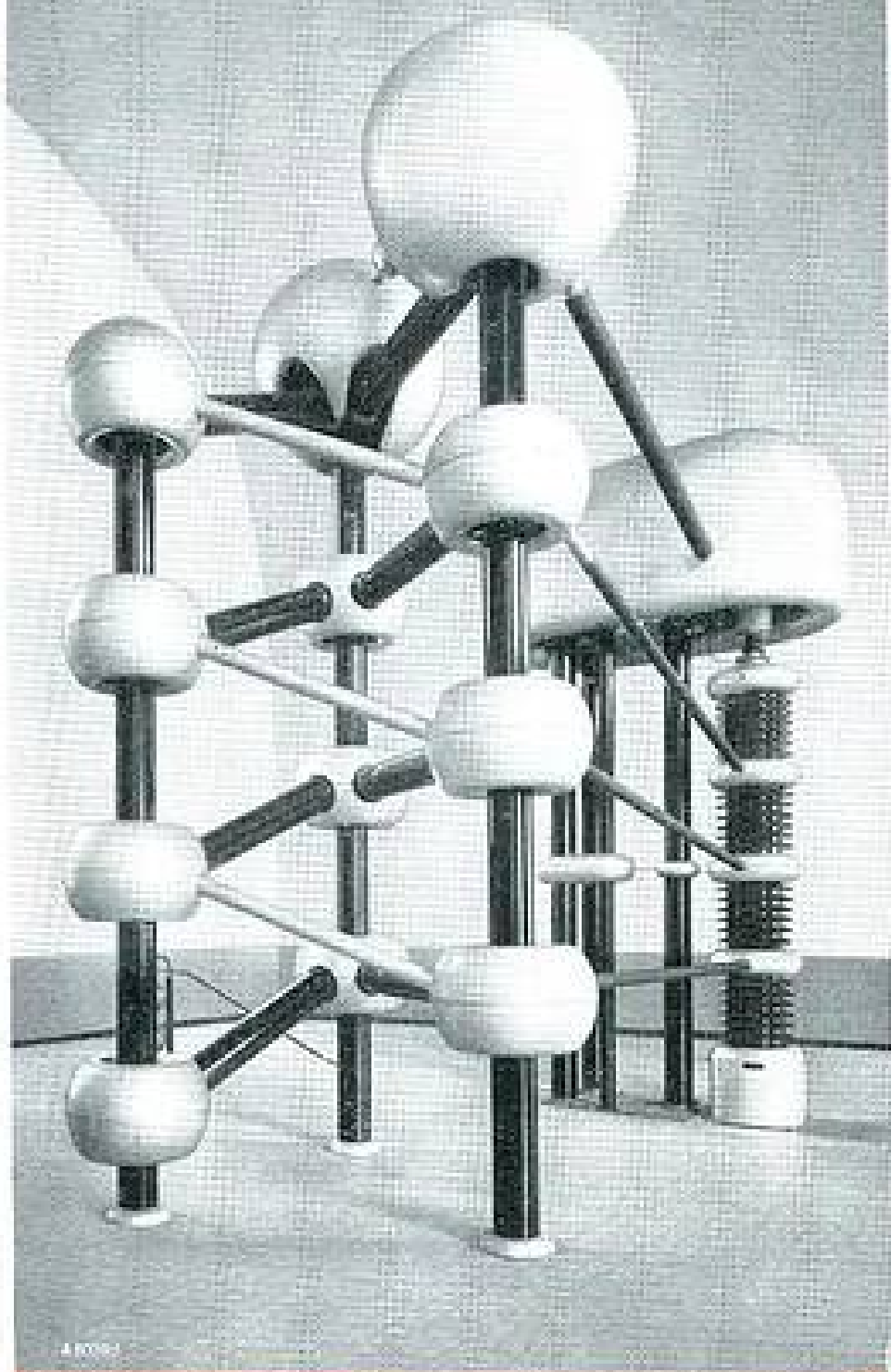
E : échelle de comptage.

e) Utilisations et rendement.

Avec cet ensemble on peut, comme avec le compteur Geiger-Muller, dénombrer les particules qui frappent le scintillateur, mais à la différence de ce dernier les impulsions qu'il délivre ne sont pas toutes de même amplitude, car cette amplitude est proportionnelle dans un certain domaine à l'énergie perdue par la particule dans le scintillateur ; c'est pourquoi il est nécessaire de tracer une « courbe de discrimination », courbe qui représente le taux de comptage des impulsions en fonction du seuil D du discriminateur (fig. 24).

Bien entendu, le rendement du compteur à scintillations dépend de la position du seuil D , étant donné que pour une même source, suivant la position de ce seuil, le nombre compté varie considérablement. Le rendement est d'autant plus élevé que D est petit. Mais il n'est pas possible de diminuer D au-delà d'une certaine valeur car, comme dans le compteur Geiger-Muller, le compteur à scintillations émet ce qu'on appelle un mouvement propre qu'il faut éviter de compter.

HAEFELY



55 A

Générateur en cascade 1/200 kV

Générateurs en cascade jusqu'à 4 MV

pour accélération d'électrons et d'ions
dans l'air jusqu'à 1 MV, sous pression jusqu'à 4 MV
destinés aux:

Laboratoires de recherches nucléaires

pour l'étude des réactions nucléaires

Laboratoires à rayons X

pour les études de
structure des matériaux
stérilisation de denrées alimentaires
recherches biologiques

Nous fournissons des installations complètes ainsi que l'appareillage individuel.

EMILE HAEFELY & CIE SA BALE-SUISSE

TOUS MATÉRIELS Spéciaux

sur COMMANDE...

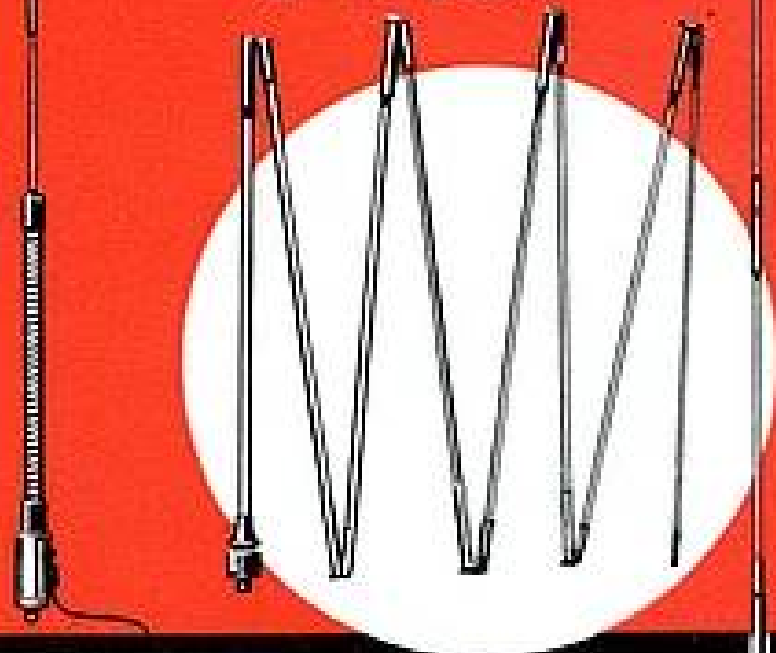
CONCERNANT :

- ★ LA RADIOÉLECTRICITÉ
DU FUSIBLE
à SIGNALISATION
à l'émetteur H.F.
ondes multiples.
- ★ L'AVIATION MILITAIRE
ET CIVILE
- ★ LA MARINE
- ★ LES GRANDES ADMINIS-
TRATIONS

Pièces détachées spéciales pour la
Radio.

Sorties d'antennes d'avions-boîtes
de relais - pupitres de commande.
Antennes spéciales.

- ★ Matériels étanches pour les
mines - Usines métallurgi-
ques et tous locaux humides.
- ★ Hublots en plexiglass, etc.
- ★ Matériels spéciaux pour
l'Énergie atomique, etc.



A. CUSQUEL

INGÉNIEUR I. C. F.

Maison fondée en 1920

20, RUE POLIVEAU - PARIS (5^e)
TÉLÉPHONE: Gobelins 27-37

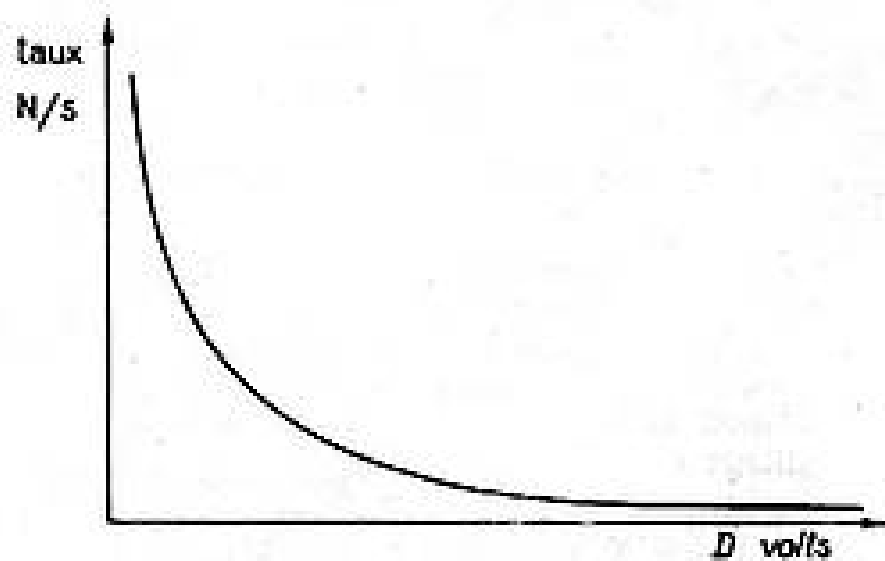


FIG. 24. — Courbe de discrimination.

Ce mouvement propre est non seulement dû à la détection des rayonnements nucléaires ambiants par le compteur, mais provient aussi du « bruit de fond » du P.M. Le responsable de ce bruit de fond étant pour une grande part la photocathode : la couche au césium-antimoine, sous l'action de la température, émet des électrons et provoque ainsi à l'anode des impulsions de charges, qui sont comptées si le seuil D est suffisamment faible.

D'autres causes peuvent intervenir : le vide n'est pas parfait, bien que très poussé dans le photomultiplicateur et certains ions peuvent remonter vers la photocathode et projeter à leur tour des électrons. Enfin, l'émission β et γ du potassium-40 contenu dans le verre de certains photomultiplicateurs arrache directement des électrons de la couche de césium-antimoine.

La figure 25 représente la courbe de discrimination obtenue, en dehors de toute source et sans scintillateur, d'un P.M. EMI-6260 à la température ambiante et dont le gain est de 10^6 [9]. C'est la courbe du bruit de fond du P.M. On voit sur cette courbe, que la valeur du seuil D , pour laquelle le

P.M. EMI délivre un coup par seconde, correspond à 60 mV environ ⁽¹²⁾.

Le bruit de fond du P.M. limite la précision du comptage de particules de faible énergie (donc donnant lieu à des impulsions de faible amplitude) et ceci d'autant plus que leur nombre est faible.

Le tableau 2 fournit les différents rendements et le mode d'utilisation du compteur à scintillations.

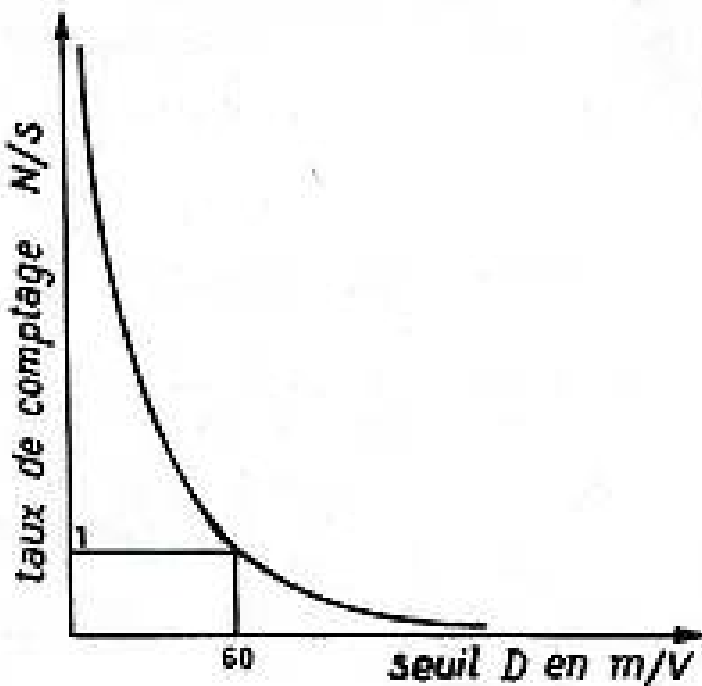


FIG. 25. — Courbe de discrimination du bruit de fond d'un photomultiplicateur EMI 6260.

Le gain du P.M. est de 10^6 .
La résistance d'anode est telle que $I' = q_0/G$.

La première colonne groupe les particules que l'on peut détecter. Les scintillateurs appropriés sont groupés dans la seconde colonne, tandis que dans la troisième sont indiqués les rendements quantiques du compteur, c'est-à-dire le nombre d'impulsions comptées par rapport au nombre de particules venant frapper le scintillateur. La quatrième colonne montre l'énergie minimum des particules que l'on

⁽¹²⁾ La résistance d'anode est telle que l'on a $I' = \frac{q_0}{G}$ ($G = 20$ pF environ).

TABEAU 2

Particules	Scintillateurs	Rendement en pour cent	Energies en MeV	Amplitude en volts $c = 20\text{pF}$ $G = 10$	Largeur impulsion $= 10$ θ	Formes et dimensions des scintillateurs
α	ZnS — Ag	100	1	5	50 μs	Plaques minces 200 cm^2
	T.P.B.	100	1	0,2	0,1 μs	"
β	T.P.B.	80	quelques 10 keV	0,02	0,1 μs	disques minces 200 cm^2
γ	T.P.B.	30	"	0,02	0,1 μs	Blocs allant jus- qu'à 1 000 cm^2
	NaI (Tl)	60	"	0,1	2,5 μs	Blocs de quelques 100 cm^2

peut détecter. Dans la cinquième, on a donné l'ordre de grandeur des amplitudes des impulsions correspondantes, lorsque le gain du P.M. est de 10^4 , la capacité d'anode de 20 pF et la résistance de charge

telle que $V = \frac{q_0}{C}$. Dans la sixième, la largeur de l'impulsion correspond à 10 0, temps nécessaire pour obtenir une tension crête égale à 80 pour cent environ de $\frac{q_0}{C}$. Enfin, dans la septième colonne sont résumés les modes d'emplois des scintillateurs correspondants.

III. — Choix du détecteur

1) Principaux facteurs à considérer dans la détection des particules nucléaires.

Les techniques de détection de particules nucléaires doivent envisager une variété de problèmes à résoudre de jours en jours plus nombreux. Que ce soit dans l'exploitation de l'énergie atomique, dans les applications industrielles, médicales ou biologiques des radioéléments, dans la prospection radioactive des minerais uranifères, ou dans l'utilisation des radio-isotopes comme moyens de recherches scientifiques, on est toujours amené à détecter les particules émises par des sources radio-actives. Il n'est évidemment pas question d'envisager ici tous les problèmes posés par ce vaste domaine d'application mais de montrer, en se référant à quelques applications types, les raisons qui nous amèneront d'une part à choisir un des types de détecteurs dont nous avons examiné ci-dessus les caractéristiques, et d'autre part, la méthode de détection qui convient le mieux pour résoudre le problème posé. Ceci nous conduit à énumérer les différents facteurs qu'il faut considérer à chaque fois que nous voulons détecter des particules nucléaires. Ce sont :

a) la nature des particules à détecter : dans la plupart des applications que nous avons considérées on connaît généralement la nature des particules que l'on veut compter ; On peut par conséquent envisager les détecteurs appropriés.

b) L'intensité du flux de ces particules.

En particulier la précision des mesures dépend du nombre de particules enregistrées, de plus l'activité à mesurer peut être répartie sur une surface faible (cas de sources ponctuelles) ou sur une surface étendue.

c) La source émettant les particules à détecter émet en même temps des particules d'autre nature. Le détecteur doit alors être choisi en fonction de son insensibilité à ces rayonnements que l'on peut appeler parasites.

d) L'énergie des particules à détecter : lorsque l'énergie des particules est très faible on emploie des méthodes de détections particulières et des détecteurs non classiques.

e) La source peut se présenter sous des états solides liquides ou encore gazeux.

f) Les conditions dans lesquelles s'effectuent les mesures : L'examen de ce facteur revêt une grande importance ; on peut d'une manière générale considérer trois cas :

1° Les mesures effectuées en laboratoire de recherches

Dans ce domaine on effectue généralement des mesures précises qui nécessitent, de ce fait, un appareillage assez important, suivi d'un ensemble électronique qui, devant être précis, est souvent complexe. Par contre on dispose toujours d'un secteur d'alimentation abondant, l'appareillage peut donc sans inconvénient être lourd, volumineux, et compliqué. Il est de plus utilisé par un personnel connaissant bien ces différentes techniques.

2° Les problèmes de détection posés par les contrôles industriels, la protection du personnel travaillant à l'exploitation de l'énergie atomique, ainsi qu'à l'utilisation des radio-éléments.

Dans ces domaines on a souvent à réaliser des ensembles portatifs ou des ensembles fixes soumis à des conditions spéciales, (température basse ou élevée, atmosphère humide ou corrosive, chocs et vibrations). L'appareillage doit donc être robuste, simple et malgré tout permettre des précisions dans les mesures, de l'ordre de 10 %. Ces ensembles, utilisés dans la plupart des cas par des non spécialistes, doivent être conçus pour éviter toutes fausses manœuvres possibles. Enfin, c'est dans ce domaine qu'on a le plus souvent à considérer un développement en série des appareils de détection, le prix de revient est donc un élément important. Toutefois, là encore on dispose généralement d'un secteur d'alimentation.

3° Les problèmes de détection répondant aux critères définis ci-dessus, mais conduisant à la construction d'appareils devant posséder une alimentation autonome donc de puissance aussi faible que possible (prospection des minerais uranifères).

On peut dire qu'en ce moment ce problème n'est pas encore résolu d'une façon satisfaisante, et l'on peut considérer que les problèmes répondant aux exigences des alinéas 2 et 3, qui ne nécessitent que peu de précisions et qui sont d'apparence simple, impliquent en fait des difficultés bien plus importantes que les ensembles de laboratoires de grandes précisions.

Examinons maintenant un peu plus en détails ces divers éléments.

II) Choix des détecteurs en fonction de ces différents facteurs.

a) Dans le paragraphe II nous avons décrit les différents types de détecteurs : chambre à ionisation, compteurs proportionnels, compteur Geiger-Muller, compteurs à scintillations. Dans chacun de ces types nous avons également étudié ceux qui étaient plus spécialement construits pour détecter des rayons α , β , γ ou X. En fonction de la particule que nous avons à détecter nous pouvons dans ces conditions effectuer un premier choix parmi les détecteurs.



Nouveaux montages apériodiques à large bande de thermistors et bolomètres



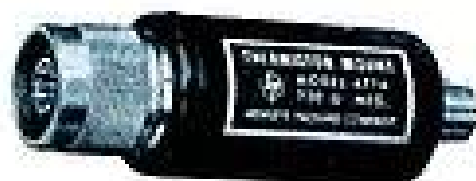
H.P. 420A Détecteur par cristal

Utilise un crystal de de^2 silicium 1 N 21 sélectionné, pour détection des signaux UHF sur ligne coaxiale avec sortie Fiche « N ». ● Fréquence couverte de 10 Mc à 12.500 Mc ● Courbe de réponse comprise entre ± 3 dB pour toute la gamme couverte ● excellent facteur de conversion ● Apériodique.



H.P. X421A Détecteur par cristal

Adapté pour la bande X de 8.200 Mc à 12.400 Mc ● Courbe de réponse en fréquences comprise entre ± 2 dB ● Détecteur à réponse quadratique comprise entre ± 1 dB sur 40 dB de variation dynamique ● Apériodique.



H.P. 477A — Montage thermistor

Pour mesures sur lignes coaxiales ● Couvre la gamme de 10 Mc à 10.000 Mc ● Taux d'ondes stationnaires inférieur à 1,5 ● Conjoint au H.P. 430C permet la lecture directe des mesures de puissance ● Thermistor protégé ● Connexion entrée type N ● Sortie type B.N.C. ● Apériodique.



H.P. 487 N — Montage thermistor

Pour mesures rapides et précises sur guides chaque montage couvre la gamme correspondant au guide accouplé ● Utilisable sur toutes les fréquences comprises entre 1,95 à 12.400 Mc ● Taux d'ondes stationnaires inférieur à 1,5 ● Thermistor protégé-accouplé au H.P. 430B permet les lectures directes de puissance ● Apériodique.

HEWLETT-PACKARD, présente quatre nouveaux montages pour thermistors et bolomètres, utilisables sur lignes coaxiales ou guides entre 10 Mc et 12.500 Mc.

Ces nouveaux accessoires, d'emploi facile, ne demandent aucun accord, ont un taux d'ondes stationnaires faible, peuvent être conjugués à tout instrument de mesure de puissance tel que le H.P. 430 B pour lecture directe des puissances.

Les montages détecteurs H.P. 420 A et X 421 A, ainsi que les montages de thermistors apériodiques H.P. 477 A et 487 A, sont succinctement décrits au tableau ci-dessous, donnant la gamme complète de ces accessoires. Les caractéristiques particulières de chaque appareil seront adressées sur demande.

Modèle	Utilisation	Fréquence	Détecteur
420A	Montage détecteur	10 mc à 12.5 kmc	1N21 Cristal
X421A	Montage détecteur	8.2 kmc à 12.4 kmc	1N26 Cristal
440A	Montage détecteur	2.4 kmc à 12.4 kmc	Cristal ou bolomètre
442B	Probe large bande	2.4 kmc à 18.0 kmc	—
444A	Probe large bande	2.6 kmc à 4.0 kmc	—
475B	Montage bolométrique accordable	1.0 kmc à 4.0 kmc	Barettor thermistor ou fusible
476A	Montage bolométrique universel	10 mc à 1.0 kmc	Fusible 1/100 amp.
477A	Montage thermistor	10 mc à 1.0 kmc	Thermistor
S485A	Montage détecteur	2.6 kmc à 3.95 kmc	Bolomètre
G485B	Montage détecteur	3.95 kmc à 5.85 kmc	Bolomètre, Cristal
J485B	Montage détecteur	5.85 kmc à 8.2 kmc	Bolomètre, Cristal
H485B	Montage détecteur	7.05 kmc à 9.2 kmc	Bolomètre, Cristal
X485B	Montage détecteur	8.2 kmc à 12.4 kmc	Bolomètre, Cristal
P485C	Montage détecteur	12.4 kmc à 18.0 kmc	Thermistor
G487A	Montage thermistor	3.95 kmc à 5.85 kmc	Thermistor
J487A	Montage thermistor	5.85 kmc à 8.2 kmc	Thermistor
H487A	Montage thermistor	7.05 kmc à 10.0 kmc	Thermistor
X487A	Montage thermistor	8.2 kmc à 12.4 kmc	Thermistor

LES APPAREILS DE MESURES
**HEWLETT
PACKARD**

assurent

RAPIDITÉ et PRÉCISION

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF FRANCE ET U.F.

RADIO-ÉQUIPEMENTS

65, r. de Richelieu
PARIS-2^e
Tél. : RIC. 49-88

b) L'intensité du flux des particules.

Mis à part des conditions expérimentales (angle solide source compteur, diffusion des particules, stabilité de l'appareillage électronique) la précision des mesures de flux de particules est affecté du fait que l'émission de ces particules présente une répartition statistique dans le temps. Si le taux de comptage moyen, enregistré avec une source d'intensité constante est r coups par unité de temps, le nombre n de coups comptés dans un intervalle de temps t ne sera pas exactement $n = rt$, mais sera sujet à des fluctuations régies par les lois de la probabilité.

La loi de probabilité intervenant dans la plupart des cas peut être exprimée par la distribution dite de Poisson ou, si le nombre moyen de coups comptés est très grand, par la distribution gaussienne.

On définit dans ces deux distributions l'écart standard

$$\sigma = \sqrt{(n - \bar{n})^2} = \sqrt{rt}$$

et l'erreur probable $\Delta = 0,6745 \sigma$.

Il y a alors 68 % de chance pour que n soit compris entre $\bar{n} + \sigma$ et $\bar{n} - \sigma$ et 50 % de chance pour que n soit compris entre $\bar{n} + \Delta$ et $\bar{n} - \Delta$.

Il n'est pas possible de définir une erreur limite.

Très généralement, si une mesure de comptage est effectuée à l'aide d'un détecteur de particules, le résultat de la mesure est exprimé par le nombre n compté, plus ou moins l'écart standard $\sqrt{n}$. Si $n = 1\,000$ on aura 68 % de chance pour qu'il soit égal au nombre moyen $\bar{n}$ à 3 % près.

En général le détecteur émet spontanément des impulsions en dehors de toutes sources actives et ce mouvement propre doit être déduit de la mesure de comptage. Par là même il apporte au résultat une contribution supplémentaire d'erreurs statistiques.

Si le mouvement propre a été mesuré et trouvé égal à n_b coups pendant un temps t_b , et qu'en présence de la source à mesurer, le compteur ait délivré n_c coups pendant un temps t_c , le nombre de coups dus à la source pendant un temps t_a sera :

$$n_a = n_c \frac{t_a}{t_c} - n_b \frac{t_a}{t_b}$$

On démontre que l'écart standard sur ce nombre n_a est

$$\sigma_a = \sqrt{\left(\frac{t_a}{t_c}\right)^2 + n_b \left(\frac{t_a}{t_c}\right)^2}$$

si $t_a = t_b = t_c$ on trouve :

$$n_a = n_c - n_b ; \quad \sigma_a = \sqrt{n_c + n_b}$$

dans ce cas l'écart standard relatif sera :

$$\sigma_a / n_a = \sqrt{n_c + n_b} / (n_c - n_b)$$

On voit que l'écart standard relatif sera d'autant plus faible que n_c sera grand devant n_b et pour un rapport n_c/n_b donné, d'autant plus faible que n_c sera grand.

Pour un détecteur donné, le nombre n_a de coups comptés, lorsqu'il est placé devant une source déterminée, dépend de sa sensibilité. Or la précision de la mesure dépend, comme nous venons de le voir, du rapport du nombre compté n_c au mouvement propre n_b . Examinons, par un exemple pratique, la précision que permet différents types de détecteurs.

Nous envisagerons le cas d'une source de Ra ponctuelle de 125 μC placée à 1 mètre de 3 détecteurs de rayons γ de types différents : une chambre d'ionisation de 2,5 l de volume, un groupe de 9 compteurs G.M. constituant l'appareil A.V.P. du C.E.A., et un compteur à scintillation, équipé d'un scintillateur au $NaI(Tl)$ formant un cylindre de 5 cm de diamètre et 5 cm de haut.

L'intensité de 125 μC de la source a été choisie de telle façon qu'il y ait un centième de la dose de tolérance à l'endroit où sont placés les détecteurs, soit 1 mR/8 h.

Le groupe des 9 compteurs G.M. de l'A.V.P. fera dévier l'aiguille de l'appareil jusqu'au repère 42 coups/s. Mais en dehors de la source, le mouvement propre des compteurs amène l'aiguille entre 10 et 20 coups/s.

L'A.V.P. permet d'apprécier le centième de dose à 8 % près. En effet, par suite du système intégrateur existant sur cet appareil, tout se passe comme si la mesure avait duré 5 s, c'est-à-dire que $n_b = 5 \times 20$ coups et $n_c = 42 \times 5 = 210$ coups. L'écart relatif sur la mesure de $n_a = 210 - 100 = 110$ coups est $\sqrt{310}/210 = 8 \%$.

Le compteur à scintillation fournira ici environ 375 coups/s mais en dehors de toute source il donnera encore 100 coups/s.

Si comme pour l'A.V.P. le système intégrateur présente une constante de temps de 5 s, un calcul analogue montre que ce compteur à scintillation permet d'apprécier le centième de dose à 3,5 % près.

La chambre va nous fournir un courant donné par la formule :

$$i_{amp} = A_{F,sh} \times U_{cm^2} \times 1,15 \cdot 10^{-14}$$

Nous avons ici $A = 10^{-4}$ et $U = 2\,500$ d'où

$$i = 3 \cdot 10^{-14} \text{ Ampère.}$$

Si cette chambre est reliée à un amplificateur à courant continu du C.E.A., dont la résistance d'entrée est au maximum de $10^{12} \Omega$, le voltmètre de cet appareil indiquera 30 mV.

En dehors des sources le mouvement propre de la

chambre fera dévier l'aiguille du voltmètre à 3 mV environ. Si la constante de temps de l'appareil est de 5 s, le calcul montre que l'on peut apprécier le centième de dose à 15,5 % près.

Dans les exemples ci-dessus nous avons considéré que la source de rayons γ à détecter était ponctuelle. En fait dans la pratique on a également à détecter des sources étendues (sources dont l'activité est répartie sur une grande surface). De plus dans chacun de ces deux cas l'activité peut être plus ou moins importante. Examinons l'influence de ces facteurs dans le choix du détecteur.

1° Si la source présente une forte activité, qu'elle soit étendue ou ponctuelle, tout détecteur conviendra pourvu que son temps mort soit faible devant l'intervalle moyen entre deux impulsions consécutives, le compteur à scintillation qui présente le temps mort le plus faible sera choisi de préférence.

Lorsque l'intensité d'une source est très élevée on peut la mesurer à l'aide du courant moyen débité par l'anode d'une chambre d'ionisation, d'un compteur Geiger-Muller halogène, ou d'un compteur à scintillation. Cette mesure, pour être précise, nécessite une haute tension de polarisation très stabilisée dans le cas des deux derniers compteurs cités pour lesquels il n'existe pas de palier de courant. Les compteurs G.M. à halogène destinés à ces mesures peuvent débiter un courant de 50 μ A au maximum, les compteurs à scintillation facilement 500 μ A, et les chambres d'ionisation 100 μ A max.

2° Si une source présente une activité très faible, le choix du détecteur est guidé par des considérations d'angle solide, de rendement quantique et de mouvement propre. Considérons ces facteurs en fonction de la nature de la particule à détecter.

S'il s'agit de particules α , de P_0 par exemple, émises par une source ponctuelle, le rendement global maximum d'un Geiger-Muller cloche est de l'ordre de 10 % et celui d'un compteur à scintillation de 20 % (10 % si le scintillateur est recouvert d'une pellicule d'aluminium étanche à la lumière). Les mouvements propres du compteur Geiger-Muller cloche, du compteur proportionnel cloche, et du compteur à scintillation sont respectivement de l'ordre de 20 C/mn, 1 C/10 mn et 1 C/mn. Le calcul montre qu'à précision égale le compteur proportionnel est celui qui permettra le comptage de sources les plus faibles.

Pour une source étendue de particules, les rendements respectifs restent à peu près les mêmes si la surface de la source est du même ordre que celle du détecteur. Cependant les surfaces des compteurs G.M. et proportionnels ne peuvent dépasser 10 cm² pour des raisons technologiques, alors que la surface du scintillateur au ZnS peut atteindre 500 cm². Il est donc tout indiqué d'utiliser un compteur à scintillation si la surface de la source est étendue et de faible activité (Cas des pollutions α des paillasses des laboratoires de traitement du Plutonium). En ce qui concerne les particules β le problème se pose d'une manière semblable au cas des particules α sauf en ce qui concerne les compteurs proportionnels dont l'emploi pour la détection de rayons β est ren-

due délicat (II-6-a). Le rendement global pour une source ponctuelle β du compteur G.M. et du compteur à scintillation est respectivement de l'ordre de 10 % et de 30 %, le mouvement du compteur G.M. est de 10 à 30 C/mn et celui d'un compteur à scintillation, de 20 cm² de surface de l'ordre de 10 à 20 C/mn. Les scintillateurs β peuvent comme les scintillateurs α présenter des surfaces de quelques 100 cm².

Les rayonnements γ à la différence des particules α et β , ne sont généralement pas absorbés complètement dans les détecteurs.

Le choix du détecteur de rayonnement γ de faible intensité fait intervenir le nombre de compteurs G.M. mis en batterie d'une part, le volume du scintillateur ou de la chambre d'ionisation d'une part, et finalement les mouvements propres respectifs de ces trois ensembles de détection.

Une source ponctuelle γ peut être insérée à l'intérieur d'une couronne de compteur G.M. ou dans le puits d'un scintillateur NaI (Tl) dit « à puits ». Si la source ponctuelle est éloignée ou si l'on considère une source étendue, l'exemple pratique considéré plus haut entre une chambre d'ionisation, un A.V.P. et un DCS-1⁽¹²⁾ montre les possibilités de chacun de ces appareils.

En fait, le choix se fera en fonction du volume de la chambre ou du scintillateur dont on dispose, ainsi que du nombre de compteurs que l'on peut mettre en parallèle. Il faut se souvenir que le volume d'une chambre d'ionisation à air (t.p.n.) peut atteindre le mètre cube mais que la sensibilité est de l'ordre de $1,15 \cdot 10^{-14}$ A par cm³ et par R/8 h. (énergie de 1 MeV), que le plus gros scintillateur au NaI (Tl) obtenu commercialement est un cylindre de 5 cm de diamètre sur 5 cm d'épaisseur, mais que le rendement quantique d'un compteur à scintillation équipé d'un tel scintillateur est de l'ordre de 25 % pour un rayonnement γ d'énergie de 1 MeV et enfin que le rendement du compteur G.M. est de l'ordre de quelques pour 1 000 à quelques pour 100, la surface de comptage pouvant atteindre quelques mètres carrés au maximum.

c) mise en évidence de particules de même nature en présence d'autres rayonnements.

Lorsque pour un problème donné nous voulons compter les particules émises par une source radio-active trois cas peuvent se présenter :

— La source émet un seul rayonnement : le détecteur est alors choisi en fonction de la nature de la particule émise et de l'importance du flux.

— La source émet plusieurs rayonnements de nature différente mais il nous suffit par exemple d'effectuer des mesures relatives d'activité globale pour plusieurs échantillons. Dans ce cas il peut être intéressant de choisir un détecteur sensible pour tous les rayonnements émis (pour des raisons de sensibilité ou de commodité d'emploi d'un détecteur particulier), même si son rendement n'est pas constant pour ces différents rayonnements.

— La source émet plusieurs rayonnements de nature différente mais nous ne voulons détecter qu'un rayonnement particulier.

⁽¹²⁾ Détecteur par comptage à scintillation.

"255"

Nouvel OSCILLOSCOPE

Portatif

à performances élevées



- Ampli vertical 0 - 4 MHz
Sensibilité : 0,15 V. p. à p/cm.
Temps de montée : 0,1 μ s
- Ligne de retard incorporée.
- Balayage - Relaxé de 10 Hz à 200 kHz
Déclenché de 0,04 s/cm. à 0,3 μ s/cm.
- Marqueur sinusoïdal par substitution 0,4 μ s à 4 ms
- Étalonnage en tension - lecture directe.
- Tube cathodique $\varnothing$: 70 mm. - tubes normalisés.
- Alimentation 115 à 240 V par redresseurs secs.
- Prof. : 400 - Haut. : 230 - Larg. : 160
Poids : 14 kg

résout
le problème des
mesures et contrôles
à l'EXTÉRIEUR

Ribet Desjardins



13, RUE PÉRIER MONTROUGE-SEINE • ALÉ. + 24-40

Ce problème se rencontre notamment dans l'exploitation de l'énergie atomique, dans la prospection des minerais uranifères, dans la protection contre le rayonnement (personnel travaillant au traitement des matériaux actifs), etc.

1° Comptage de rayons α en présence de β et γ .

La détection des particules α en présence de rayonnements β et γ est très générale. En effet la détection des sources très faibles émettant un rayonnement γ est toujours perturbée par le mouvement propre du détecteur. Ce mouvement propre est dû en partie à des rayonnements β et γ .

Nous avons défini ce qu'était un détecteur proportionnel (compteur proportionnel, détecteur à scintillations). Un détecteur possédant cette caractéristique peut souvent résoudre le problème ci-dessus. Néanmoins nous verrons que lorsque l'activité à détecter est extrêmement faible on est conduit à utiliser d'autres méthodes assurant une plus grande sensibilité vis-à-vis de la particule à détecter (cas du carbone 14 par exemple).

Reprenons l'exemple de la détection des rayons α en présence du rayonnement β et γ . Nous supposons que la source α se présente sur une faible surface et que son activité est notable. Nous pourrions dans ce cas faire appel à un compteur proportionnel à fenêtre en bout (II-6). La limitation d'emploi la plus importante pour ce détecteur est d'une part sa faible surface de comptage (10 cm² environ) et, d'autre part le fait que le rendement global de détecter reste faible (10 % environ).

Nous pourrions reprendre l'exemple ci-dessus en utilisant le compteur à scintillations. Nous avons vu précédemment comment l'on détectait les particules α à l'aide d'un compteur à scintillations. Le dépôt de sulfure de zinc utilisé comme scintillateur α étant de l'ordre de 0 à 15 mg/cm², les particules β n'y abandonnent qu'une faible partie de leur énergie. Par voie de conséquence les impulsions électriques qu'elles produisent à l'anode du P.M. présenteront des amplitudes faibles comparées à l'amplitude de l'impulsion produite par une particule α . Si l'on place le seuil de discrimination de l'appareillage électronique enregistreur à une valeur telle que les impulsions produites par les rayons β ne soient pas enregistrées, on aura opéré une sélection entre les particules α et β . Les rayons γ n'auront pratiquement aucune influence, leur absorption dans l'écran de sulfure de zinc étant négligeable.

2° β en présence de γ .

Si l'on veut détecter des particules β provenant d'une source émettant à la fois des β et des γ , on choisira un scintillateur plastique dont l'épaisseur sera déterminée de façon à absorber presque totalement l'énergie du rayon β (de l'ordre de 3 à 4 m/m pour des β de 1 MeV) tout en présentant une faible absorption au rayonnement γ . Le rendement quantique de ce détecteur est alors de 80% environ pour les β alors qu'il n'est que de 3 % pour des γ de même énergie.

Dans certaines applications où l'on dispose de sources d'activité notable et, où la précision deman-

dée n'est pas trop grande, on peut utiliser le compteur Geiger-Muller quoique ce détecteur ne soit pas proportionnel. Supposons que l'on veuille détecter des rayons β émis par une source $\beta + \gamma$: on utilisera un compteur cloche en régime Geiger-Muller et on effectuera la mesure du taux de comptage $\beta + \gamma$. En plaçant entre la source et le compteur un écran d'épaisseur convenable on filtrera les rayons β ; le taux de comptage mesuré sera dû uniquement à la contribution des γ et la mesure du rayonnement β sera déduite par différence. Une telle mesure est délicate à effectuer avec précision en particulier l'adjonction d'un écran impose la détermination des corrections dues aux diffusions des particules [10]

Il est évident qu'à chaque fois que l'on veut supprimer le rayonnement α , il est facile, étant donné leur grande absorption de placer sur leur trajet un écran de quelques mg/cm² d'épaisseur.

d) L'énergie de la particule.

Dans certains cas la particule présente une énergie trop faible pour pouvoir être détectée par les moyens classiques. C'est le cas des particules β du carbone 14 et du tritium. Ces deux radioéléments sont maintenant très employés comme traceurs par les biologistes (le carbone et l'hydrogène sont les principaux constituants des tissus).

Si nous voulons utiliser les détecteurs à ionisation (compteurs G.M. ou proportionnels) nous constatons que même une paroi de 1,5 mg/cm² est encore trop épaisse pour laisser passer les β de l'eau tritiée et qu'elle ne laisse passer que 50 % des β émis par le carbone 14. Avec le compteur à scintillations on est proche du bruit de fond thermionique des P.M.. On est donc conduit, suivant la sensibilité demandée, à modifier l'utilisation conventionnelle des détecteurs classiques. Lorsqu'on utilise les détecteurs à ionisation on dispose à l'intérieur du compteur l'échantillon à mesurer, mis préalablement sous la forme appropriée (gazeuse ou solide). Un certain nombre de firmes ont développé ce que l'on appelle le détecteur à circulation ; ce détecteur a la forme d'un compteur à fenêtre en bout, mais cette fenêtre est facilement démontable ce qui permet de placer l'échantillon à l'intérieur du compteur. Un système de canalisation permet d'effectuer une circulation de gaz (gaz rare + vapeur organique) dans le compteur, en légère surpression par rapport à la pression atmosphérique. En faisant fonctionner ce compteur en régime Geiger-Muller, on mesure avec un rendement appréciable des échantillons de carbone 14. Néanmoins l'angle solide source-compteur est encore inférieur à 2π .

Lorsqu'on veut détecter des activités très faibles de C¹⁴ la méthode du compteur à circulation n'est plus assez sensible et l'on procède alors en remplissant un compteur Geiger-Muller ou une chambre à ionisation avec du CO² marquée au C¹⁴.

Dans le cas du tritium on ne procède que par cette dernière méthode. Dans la plupart des cas l'échantillon à mesurer est sous forme d'eau tritiée. On fait réagir cette eau par exemple sur du calcium pour obtenir la formation d'hydrogène tritié. Dans le cas de la chambre à ionisation cet hydrogène constitue

en totalité l'atmosphère de la chambre. Lorsqu'on utilise un compteur Geiger-Muller l'échantillon actif d'hydrogène à examiner est additionné au gaz de remplissage du compteur, cette dernière méthode est plus délicate car l'hydrogène ainsi préparé contient souvent des impuretés qui viennent perturber le fonctionnement du compteur ; elle est par contre plus sensible. Dans les cas deux il est nécessaire de disposer en permanence d'un banc de pompage. L'avantage de la méthode par remplissage réside dans la grande sensibilité du dispositif ; en effet le comptage est à quelques pour cent près un comptage 4π ce qui facilite l'étalonnage du détecteur, permettant ainsi d'effectuer des mesures absolues. Ces mesures ne sont évidemment valables que si la réaction chimique, que l'on effectue pour mettre l'échantillon sous forme gazeuse, est quantitative.

Le comptage des β émis par le C^{14} est également effectué depuis peu de temps à l'aide des compteurs à scintillation. Un procédé récemment mis au point [11] consiste à inclure du toluène marqué au C^{14} dans un scintillateur liquide, dont le solvant est du toluène non marqué. Les impulsions fournies par le P.M. associé à un tel scintillateur sont enregistrées après leur passage dans un sélecteur d'amplitude à bande, afin d'éliminer les impulsions parasites. Le compteur à scintillation est protégé des rayonnements γ et cosmiques par un blindage en plomb d'une tonne environ, il n'est pas nécessaire de refroidir le P.M. Cette méthode permet un rendement de 50 % le mouvement propre de l'appareillage étant alors de 3 C/mm. Quant à la détection du tritium, la même méthode peut être employée mais il est nécessaire de refroidir le P.M. pour réduire son bruit de fond thermionique. Le rendement de comptage du tritium peut alors atteindre 25 % environ.

e) Etat solide, liquide ou gazeux de l'échantillon à examiner.

Lorsqu'on dispose de sources solides, la mesure s'effectue simplement comme nous l'avons déjà décrit. Le problème de la préparation de la source est une technique délicate. Il y a lieu de tenir compte de l'absorption du rayonnement dans la source. Dans le cas des rayons β les phénomènes de diffusion et de rétrodiffusion se produisant dans la source viennent s'ajouter à l'absorption. Pour effectuer des mesures relatives il est donc indispensable de conserver toujours une préparation des sources identiques.

Dans le cas où l'échantillon actif à mesurer est gazeux, on procédera de la même manière qu'avec le tritium. C'est le cas par exemple lorsqu'on veut détecter du xénon actif. On utilise souvent comme compteur à remplissage des compteurs Geiger-Muller type Maze. Ces compteurs sont moins sensibles aux impuretés qui peuvent être introduites dans le gaz de remplissage. Lorsque les activités mesurées sont importantes, il y a quelquefois pollution du détecteur et on est alors conduit à effectuer un dégazage sous vide, ou à utiliser des compteurs dont les électrodes ont été traitées vis-à-vis de l'absorption ou de la chemisorption.

Dans certaines applications (en particulier médi-

cales et biologiques) la source est liquide ; c'est le cas de l'iode 131 on utilisera alors les compteurs Geiger-Muller à liquide que nous avons décrits. Il ne semble pas cependant que le problème de la détection des liquides soit encore bien résolu, car les Geiger-Muller à liquide présentent des parois de 30 mg/cm², épaisseur non négligeable vis à vis de l'absorption des particules β que l'on veut détecter. De plus, la jupe du compteur se pollue au bout d'un certain temps, et il est parfois difficile de décontaminer la paroi du compteur.

f) Conditions dans lesquelles s'effectuent les mesures.

A partir du moment où les mesures ne se pratiquent plus dans les laboratoires installés spécialement à cet effet, les conditions dans lesquelles ont été amenés à manipuler jouent un rôle très important. Il existe de nombreux problèmes où le détecteur est choisi, non pas en fonction de son meilleur rendement pour la particule à détecter, mais parce qu'il est plus simple d'emploi, ou plus robuste, ou moins coûteux. Nous allons définir ci-dessous les avantages pratiques d'utilisation des différents détecteurs.

1° les compteurs G.M.

Ce type de détecteur est certainement celui qui a subi le développement le plus important. Il offre en effet le très grand avantage de la simplicité et de la stabilité sur les autres types de détecteurs connus. Depuis l'apparition des compteurs à halogène, aux avantages déjà cités viennent s'ajouter la robustesse électrique et une vie utile du détecteur très grande.

Lorsqu'on veut simplement effectuer des mesures relatives d'échantillon à échantillon ou pour un même échantillon mesurer son activité en fonction du temps (ce qui dans l'application des radioéléments est souvent le cas) le compteur G.M., n'étant pas proportionnel, présente l'avantage d'avoir un palier de comptage. Ainsi pour des mesures n'excédant pas une précision de 10 % la haute tension d'alimentation peut également fluctuer de $\pm 10\%$. Pour les G.M. à halogène cette haute tension est faible (400 à 500 V). D'autre part les compteurs G.M. délivrent une impulsion électrique présentant presque toujours plusieurs dizaines de volts d'amplitude, ce qui permet d'attaquer directement un circuit de numération électronique. Nous avons signalé ci-dessus leur utilisation en courant pour mesurer les activités importantes. Ce montage permet de constituer un appareil simple, très utilisé dans les contrôles industriels où une mesure du type « tout ou rien » est souvent suffisante.

Les compteurs à halogène peuvent fonctionner dans une gamme de température très large de -60°C à $+60^\circ\text{C}$, et jusqu'à 100°C avec quelques précautions. Les compteurs G.M. étant d'encombrement assez réduit et de construction simple, peuvent être facilement protégés contre les chocs mécaniques et vis-à-vis des milieux humides ou corrosifs, exception faite des G.M. cloches où la paroi de mica de quelques mg/cm² les rend particulièrement fragiles.

2° Compteur proportionnel α .

Il présente à peu près les mêmes avantages que les compteurs G.M. En effet ce détecteur, quoique

proportionnel, présente lorsqu'il est déclenché par les particules α , un palier de comptage. Néanmoins l'impulsion électrique délivrée est beaucoup plus faible (comprise entre 10^{-2} et quelques 10^{-1} volt), et nécessite un amplificateur, dont le gain est d'environ 50, pour attaquer un circuit de numération classique (sensibilité : 1/10 à 1 volt).

3° Chambre à ionisation.

Si l'on considère le détecteur lui-même, la chambre à courant est certainement le détecteur le plus simple. Les difficultés d'utilisation viennent de la mesure d'un courant faible, c'est-à-dire de l'utilisation d'une résistance de très haute valeur et d'une lampe électromètre.

En laboratoire, ces problèmes sont maintenant résolus. Pour des appareils portatifs quelques précautions sur le traitement des isolants sont à prendre, particulièrement si l'on doit manipuler en atmosphère humide. Ce détecteur incorporé dans un appareil d'alimentation autonome présente un très grand avantage. Nous avons vu en effet que la chambre présentait un palier en courant il n'est donc pas nécessaire d'utiliser une tension continue très stable, ni très élevée (100 à 200 V). Comme les courants débités par la chambre sont très faibles, on peut utiliser une pile du type Zamboni, qui fournit une tension de l'ordre de 100 à 200 V sous un volume très faible (à peu près identique à un stylo).

La limitation d'emploi la plus importante pour ce détecteur est évidemment la sensibilité, l'augmentation de volume de la chambre n'étant pas toujours compatible avec l'utilisation.

4° Compteur à scintillation.

Ce détecteur est de beaucoup le plus délicat à manipuler et son emploi demande d'assez grandes précautions.

Le compteur à scintillation est proportionnel et de ce fait ne présente pas de palier de comptage. Les amplitudes des impulsions sont en général extrêmement variées, et le niveau moyen de ces amplitudes varie avec le gain de P.M. c'est-à-dire exponentiellement avec la haute tension alimentant le P.M. Ce niveau moyen dépend en outre du scintillateur et de la nature des particules détectées. Il va de 1/10^e de volt à quelques dizaines de volts.

Le compteur à scintillation nécessite donc un appareillage annexe souvent important et toujours de très bonne qualité. La haute tension alimentant le P.M. doit pouvoir fournir 1 500 à 2 000 volts sous un débit de l'ordre du mA, sa stabilisation devant pouvoir atteindre le dix millième dans certains cas et le millième en général.

Le domaine de température de fonctionnement du compteur à scintillation va de -150°C à $+50^{\circ}\text{C}$.

Un grand soin doit être apporté à l'étanchéité à la

lumière ambiante de l'ensemble scintillateur-P.M. On doit en outre éviter les chocs mécaniques et thermiques, le scintillateur au NaI (Tl) y étant particulièrement sensible.

Il ne reste pas moins que ce détecteur tend à être de plus en plus employé, même en dehors du laboratoire, pour sa souplesse d'utilisation et pour ses caractéristiques physiques : haut rendement pour la détection des γ , grande surface pour la détection des particules α et β , impulsions pouvant être de très courte durée et permettant ainsi des taux de comptage élevés.

Dans l'exploitation de l'énergie atomique, ainsi que dans les applications industrielles et scientifiques des radioéléments, les problèmes de détection des particules nucléaires se présentent de jour en jour plus variés et plus nombreux. Pour faire face, d'une part aux besoins actuels, et d'autre part aux développements futurs, il devient nécessaire, en particulier pour les détecteurs, d'envisager un développement sur le plan industriel. C'est ainsi que sous l'impulsion du C.E.A. un certain nombre de constructeurs français ont entrepris la fabrication des détecteurs ou ensembles de détection les plus courants, tels que : compteurs G.M., Photomultiplicateurs, Scintillateurs, etc...

BIBLIOGRAPHIE

1° Ouvrages généraux

- KORFF S.A. — *Electron and nuclear counters*. New York, 1946.
- CURRAN S.C. and CRAGGS S.D. — *Counting tubes*. London 1949.
- ROSSI B.B. and STAUB H.H. — *Ionization chambers and counters*. New York, 1949.
- WILKINSON D.H. — *Ion chambers and Counters*. London 1949.
- FUNKER E. & NEUBERT H. — *Zählrohre und scintillationszähler*. Karlsruhe, 1954.
- BLEULER E. and GOLDSCHMIDT G.L. — *Experimental Nuclearics*. New York, 1952.
- BIRKS B.A. — *Scintillation counters*. London, 1953.
- CURRAN S.C. — *Luminescence and the scintillation counter*. London, 1953.

2° Articles dans les revues spécialisées

- [1] J. LARVIER, J. WEILL, A. BENOIT. — Détecteurs électroniques de rayonnements nucléaires. *Techniques de l'Ingénieur*, Paris, 1953.
- [2] J. WEILL. — *Cours de génie atomique*. C.E.N. Saclay, 1955.
- [3] J. WEILL. — *Onde Electrique*, juillet 1950, 280, page 328-334.
- [4] J.A. VICTOREEN. — *Proc. I.R.E.*, 1949, p. 189-199.
- [5] A. BENOIT. — *Le Vide*, n° 50, mars 1954.
- [6] E. PICARD. — *Thèse*. Faculté des Sciences de Paris, 1954.
- [7] E. PICARD, A. ROGOWSKI. — *J. Phys. & Rad.*, 1953, 14, p. 445.
- [8] L. PICHAT, Y. KOECHLIN. — *Journal de Chimie Physique*, tome 48 (1951), n° 5-6, p. 223-228.
- [9] Y. KOECHLIN, I. PELCHOWITCH, A. ROGOWSKI. — *Comptes-Rendus à l'Académie des Sciences*, t. 338, p. 660-662.
- [10] A. BENOIT et E. PICARD. — *Onde Electrique*, août-septembre, 1954.
- [11] B.L. FUNT. — *Nature*, 4467, Vol. 175, p. 1042.

La Technique la plus moderne

MFJEM

La plus ancienne expérience.

En
Pièces diverses
pour
RADIO & TÉLÉVISION
Supports et tubes
Œillets - Cosses
Rivets creux
QUALITÉ INÉGALÉE

**MANUFACTURE FRANÇAISE
D'ŒILLETS MÉTALLIQUES**

64, Bd DE STRASBOURG - PARIS - X - TEL. BOT. 72-76

Le
UGON 2
BREVETÉ S.G.D.G.

**RELAIS
SUBMINIATURE**

LAIS UE
PROTECTOR
PARIS

GRANDIN
RELLÉ

- SENSIBILITÉ 2 milliwatts
- POUVOIR DE COUPURE 24 V. - 0,5 A
- TROPICALISÉ (soudures métal-verre)
- MONTAGE A VOLONTÉ sur support subminiature rond normal ou fils à souder
- H.F. 0,7 PF1

LE PROTOTYPE MÉCANIQUE
16 Bis RUE GEORGES PITARD - PARIS (15^e) - VAL. 38-03

OFFRE AUX FABRICANTS FRANÇAIS EXPORTATEURS
Nous sommes importateurs réputés

d'APPAREILS radio tropicalisés - Postes auto-radio - Postes à piles - Amplificateurs - Pick-up - Tourne-disques - Phonographes - Disques - Aiguilles, etc...

d'INSTRUMENTS DE MUSIQUE : Trompettes - Flûtes - Bugles - Pianos - Accordéons - Harmonicas, etc...

d'APPAREILS ÉLECTRO-MÉNAGERS : Réfrigérateurs - Ventilateurs, etc...

Nous pouvons représenter des fabricants comme sole distributeurs dans cette région et dans ses environs. Correspondance soit en français soit en anglais

AJEDUNNI TRADING Co

GENERAL MERCHANTS P. O. BOX 207

8, Ademuyiwa Road Ebute - Metta

NIGERIA B. W. A.

POTENTIOMÈTRES

- GRAPHITES OU BOBINÉS
- ÉTANCHES OU STANDARDS
- A PISTE MOULÉE

Variohm

Rue Charles-Vapereau, RUEIL-MALMAISON (S.-&-O.) - Tél. MAL. 24-54
Publ. RAPT

Tous les fils

Pour :
ÉLECTRONIQUE
TÉLÉCOMMANDE
RADIO - AVIATION - H.T.
CABLES COAXIAUX

**TOUS FILS SPÉCIAUX
SUR DEVIS**

PERENA

48, Bd. VOLTAIRE - PARIS XI
TEL. VOL 48-90 +

FICHES COAXIALES H.F.
à l'usage d'ingénieurs et techniciens

Le numéro de Mars-Avril de
L'ONDE ÉLECTRIQUE sur la
Pièce détachée Professionnelle
est un outil pour vos techniciens
— 462 pages dont 272 de texte —
Prix : 600 F. — 40, rue de Seine, Paris-6^e

Fiche Standard Télévision R2 — Gamme Complète

GÉNÉRATEUR ÉLECTROSTATIQUE

PAR

S. D. WINTER

*Service des Accélérateurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

Les particules de grande énergie constituent un des plus puissants moyens d'investigation dont dispose la physique nucléaire. La demande de machines qui produisent de telles particules — les accélérateurs — s'accroît rapidement et leur étude et construction prennent une place prépondérante dans l'effort scientifique moderne.

Le développement des accélérateurs présente son aspect le plus spectaculaire et le plus important dans l'augmentation de l'énergie maximum que l'on peut produire au laboratoire ⁽¹⁾. Mais, en même temps, un effort considérable a été porté sur la production de faisceaux de particules dont l'énergie serait très homogène et très exactement connue.

Dans ce domaine de précision, des résultats satisfaisants n'ont été obtenus, jusqu'à présent, que par une seule méthode d'accélération : celle qui consiste à produire effectivement la tension continue correspondant à l'énergie totale que l'on veut communiquer aux particules.

Parmi les nombreux types de machines fournissant des hautes tensions continues, les résultats de loin les plus favorables ont été obtenus avec les générateurs électrostatiques (dits « Générateurs Van de Graaff ») aussi bien en ce qui concerne les énergies atteintes ⁽²⁾ qu'en ce qui concerne l'intensité du faisceau dont l'énergie est stabilisée avec grande précision ⁽³⁾.

⁽¹⁾ L'énergie de 5 GeV a été déjà dépassée [Synchrotron de Berkeley - (Californie)] - et deux machines en construction - à Genève et à Brookhaven (U.S.A.) - sont prévues pour atteindre environ 25 GeV.

⁽²⁾ Plusieurs machines travaillent couramment à des tensions de 5 à 6 MeV. Il existe deux générateurs atteignant 8 MeV.

⁽³⁾ De l'ordre de 10^{-4} .

Principes de fonctionnement.

Dans le générateur Van de Graaff, la tension élevée est obtenue en apportant des charges électriques à une électrode soigneusement isolée.

Le générateur se compose donc essentiellement d'une électrode métallique supportée par une colonne isolante et d'un système transporteur de charges, formé d'une ou plusieurs courroies isolantes qui, entraînées par un moteur, se déplacent entre l'embase de la machine et l'électrode.

L'on produit les charges qui doivent être déposées sur la courroie en appliquant une tension de quelques dizaines de kV entre la poulie inférieure et un « peigne de charge », constitué par un support métallique portant une série de pointes (par exemple des aiguilles de phonographe) dirigées vers la poulie. Les ions formés dans le gaz sont interceptés par la surface de la courroie et, entraînés avec elle, arrivent à l'intérieur de l'électrode haute tension. Là, ils passent devant une rangée de pointes reliées à l'électrode (« peigne de décharge » analogue au « peigne de charge ») et le champ créé par la nappe d'ions suffit à provoquer une décharge corona partant des aiguilles du peigne (fig. 1). Si la courroie transporte des ions positifs, la charge sera annulée par les particules négatives qui s'échappent des pointes et ce processus équivaut au transfert d'ions positifs du brin montant à l'électrode.

Les particules à accélérer sont produites dans une source d'ions placée dans l'électrode. A la sortie de cette source, elles sont dirigées dans un tube vidé, disposé entre l'électrode haute tension et l'embase du générateur (fig. 1), et contenant la cible

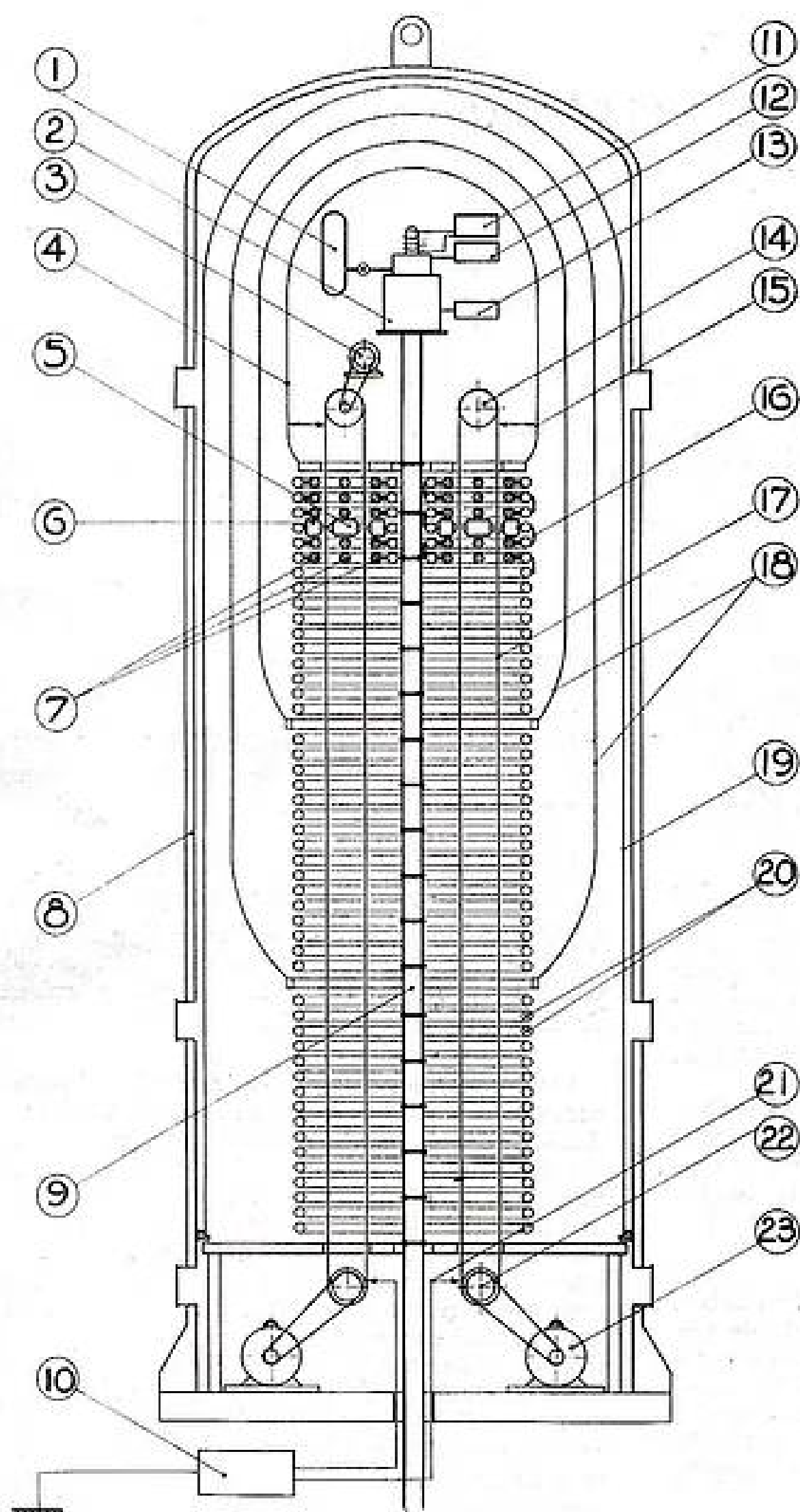
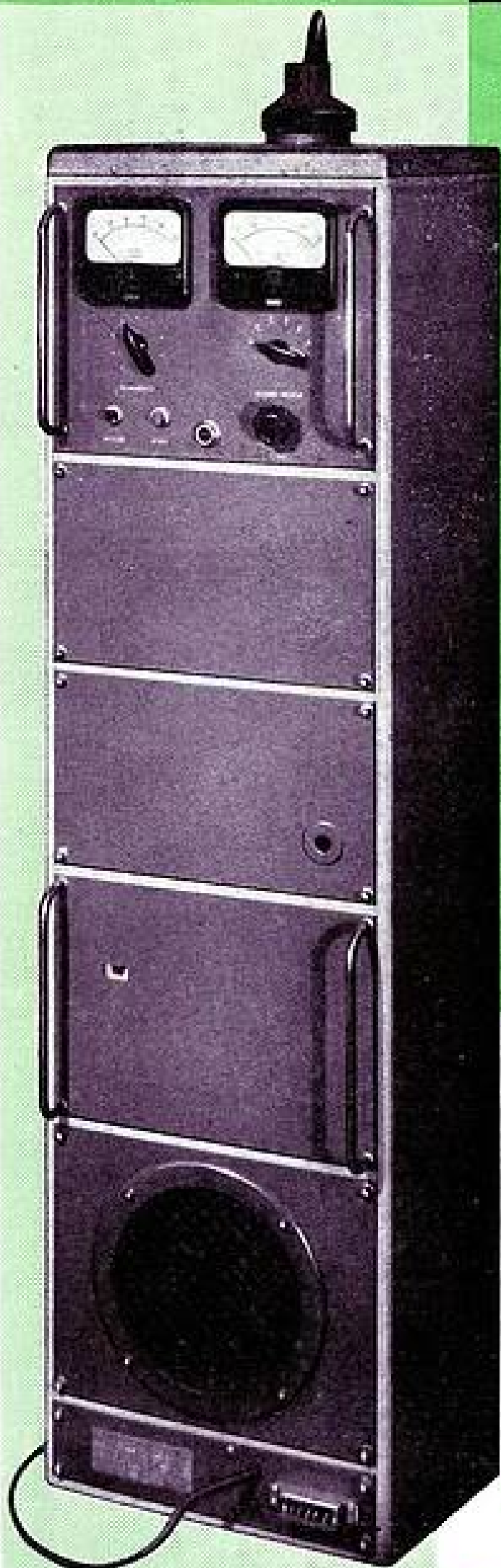


FIG. 1. — Schéma de principe d'un générateur électrostatique sous pression.

1. Réservoir à gaz. — 2. Source d'ions. — 3. Génératrice électrique. — 4. Electrode haute tension. — 5. Barres de guidage intérieures. — 6. Barres de guidage extérieures. — 7. Barres de gradient. — 8. Enceinte à pression. — 9. Tube accélérateur. — 10. Alimentation haute tension du peigne de charge. — 11. Alimentation de la source d'ions. — 12. Alimentation de l'électrode d'extraction d'ions. — 13. Alimentation de l'électrode de focalisation du faisceau. — 14. Poulie supérieure d'entraînement de la courroie. — 15. Peigne de décharge. — 16. Résistances de répartition. — 17. Courroie. — 18. Ecrans intermédiaires. — 19. Ecran capacitif. — 20. Plateaux équipotentiels. — 21. Peigne de charge. — 22. Poulie inférieure d'entraînement de la courroie. — 23. Moteur d'entraînement de la courroie. — 24. Hublots destinés à l'observation visuelle, aux passages d'appareils de mesure, etc.

GÉNÉRATEURS ÉLECTROSTATIQUES

Industriels



★ Générateur Industriel, type B 150-2 (150 kV - 2 mA)

- ★ **APPLICATIONS NUCLÉAIRES**
Accélérateurs de particules et tubes à ions — Générateurs de neutrons...
- ★ **ÉLECTRONIQUE** : Télévision — Radar — Convertisseurs d'images — Tubes à électrons — Stérilisation...
- ★ **RADIOLOGIE** : Radiothérapie — Radio-métallographie — Radio-cristallographie...
- ★ **ESSAIS ÉLECTRIQUES EN LABORATOIRES ET SUR CHANTIERS**
Essais de câbles — Mesures des rigidités diélectriques et des isolements — Essais non destructifs de maintenance — Essais de chocs...
- ★ **PRÉCIPITATIONS ÉLECTROSTATIQUES** : Peinture — Egouttage — Poudrage — Fabrication de papiers abrasifs — "Flocage" des tissus — Séparation des minerais — Triage de matériaux...
- ★ **DIVERS** : Allumage capacitif des moteurs à explosions — Applications médicales par effets physiologiques directs — Enseignements...

Courant Max. mA	45	70	100	150	200	300	600	2.000	Tension Max de service kV
1	livrable					livrable			
2				livrable					
3			livrable						
4		livrable							
5							en préparation	en projet	
10					livrable				
15				livrable					

Autres modèles sur demande

Stabilisation possible de la haute tension supérieure en millième

SOCIÉTÉ ANONYME DE MACHINES ÉLECTROSTATIQUES
29, Av. Félix Viallet, GRENOBLE - Tél. : 44.77.64



BUREAUX A PARIS
63 Av. Champs-Élysées
Tél. : ELYsées 42-25
Bureaux à New-York

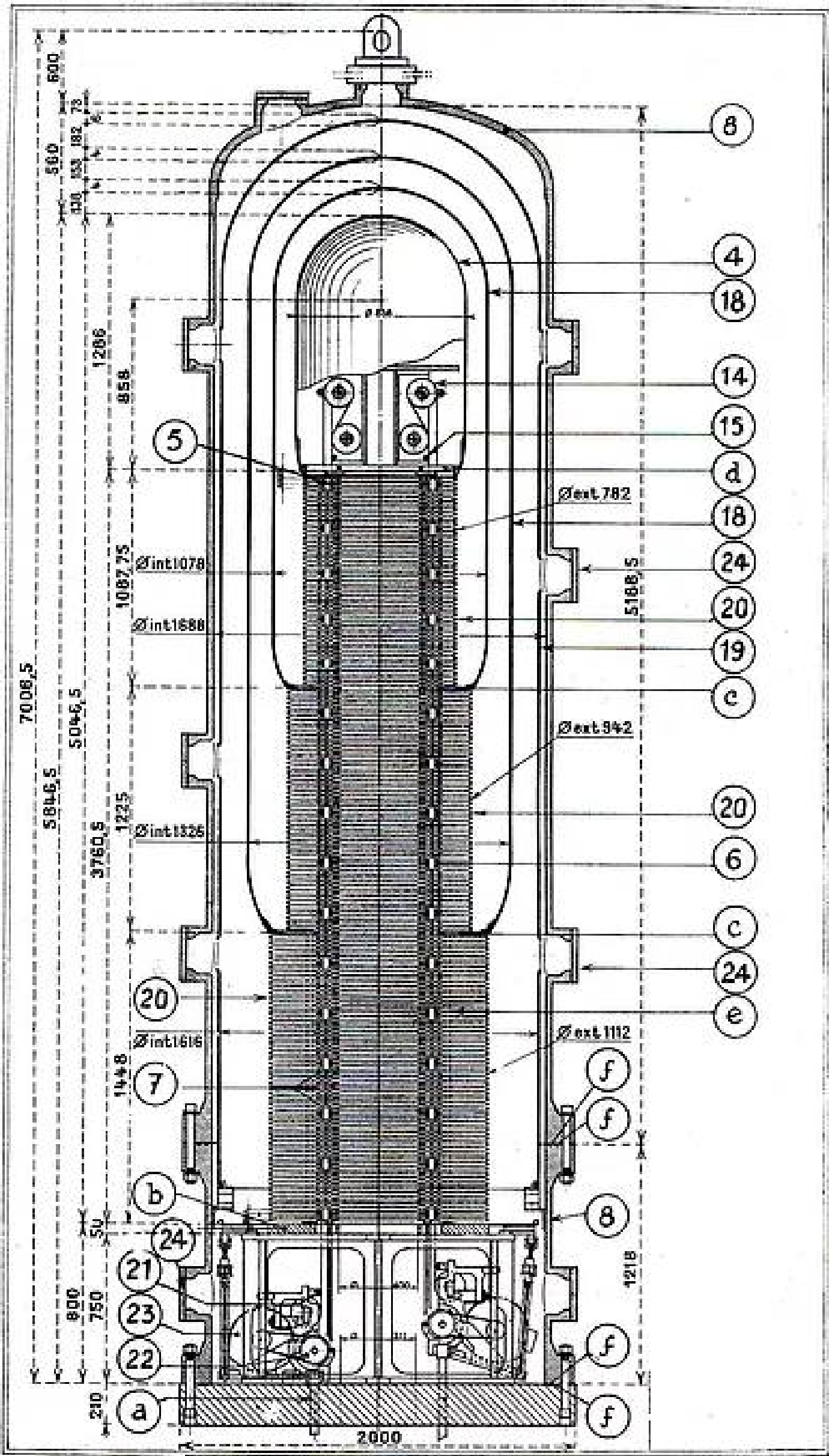


FIG. 1 bis. — Coupe du générateur électrostatique 5 MeV du C.E.N. de Saclay (tube d'accélération enlevé). Les génératrices de l'électrode (réf. n° 3) forment en même temps les contre-poulies du système d'entraînement des courroies.

- a - Plaque de base,
- b - Plateau de base de la colonne,
- c - Plateaux intermédiaires,
- d - Plateau supérieur,
- e - Isolateurs,
- f - Joints étanches de l'enceinte à pression.

(d'après un document extrait de l'ouvrage : « Les accélérateurs de particules », Editions de la Revue d'Optique, Paris.)

dans laquelle les effets nucléaires désirés sont provoqués par l'impact des ions rapides.

Dans leur parcours entre la source et la cible, toutes les particules acquièrent la même énergie déterminée par la différence de potentiel appliquée au tube d'accélération. La dispersion en énergie est introduite uniquement par la source d'ions et peut être limitée à quelques dizaines ou quelques centaines de volts, dans de bonnes sources modernes.

Limitation des performances.

Le potentiel (par rapport à la terre) $V = \frac{Q}{C}$ d'une électrode de capacité C portant une charge Q et recevant un courant total i , varie avec la vitesse

$$\frac{dV}{dt} = \frac{i}{C} \quad (1)$$

Dans ce courant total i , le gain de charges est représenté par la composante i_c transportée par la courroie et déterminée par la charge déposée près de l'embase. La perte de charges est représentée d'une part par le courant i_t qui s'écoule à travers le tube accélérateur et qui est déterminé par le débit de la source d'ions ; d'autre part, par les effluves et fuites le long des isolateurs. Cette dernière composante $i_p = f(V)$ est la seule qui change avec la tension. Le potentiel de l'électrode se stabilisera à une valeur pour laquelle :

$$\frac{dV}{dt} = 0, \text{ c'est-à-dire } i = 0$$

$$\text{ou} \quad f(V_{\max}) = i_c - i_t$$

Ainsi, en agissant sur i_c , peut-on régler la valeur $V_{\max}$, du moins dans les limites imposées par le champ disruptif E_d du milieu dans lequel le générateur est plongé.

Ce champ E_d détermine la valeur maximum de charge superficielle :

$$\sigma_{\max} = \frac{E_d}{4\pi}$$

qui ne doit être dépassée en aucun point du générateur sous peine de décharges à travers le diélectrique entourant la machine.

La valeur $\sigma_{\max}$ intervient de deux manières

(1) Dans les machines courantes, en période de démarrage (c'est-à-dire travaillant à vide et sans pertes corona) i est de l'ordre de quelques centaines de μA et C de l'ordre de quelques centaines de μF :

$\frac{dV}{dt}$ est donc de l'ordre du million de volts par seconde.

différentes dans la limitation de tension que peut fournir un générateur électrostatique :

— D'une part en fixant le champ maximum en chaque point du générateur, en particulier le potentiel maximum par rapport à la terre que peut atteindre l'électrode chargée ; en effet :

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int \sigma \cdot ds \quad (s = \text{surface de l'électrode})$$

sera limité par la condition qu'en tout point σ reste inférieur à $\sigma_{\max}$:

$$\sigma \leq \frac{E_d}{4\pi} \quad (2)$$

— D'autre part, en fixant la valeur maximum du courant que peut transporter la courroie, c'est-à-dire le maximum admissible de pertes par courant de fuites et par corona (pertes qui augmentent avec la tension) :

$$i_{c\max} = \sigma_{\max} \cdot b \cdot v \quad \left\{ \begin{array}{l} b = \text{largeur de la courroie} \\ v = \text{vitesse linéaire de la courroie} \end{array} \right.$$

$$i_{c\max} = \frac{1}{4\pi} E_d \cdot b \cdot v \quad (2)$$

Isolément et répartition des champs.

La réalisation d'un générateur électrostatique pose donc deux problèmes fondamentaux :

1° Trouver un milieu diélectrique qui présente une valeur élevée de E_d et dans lequel l'ensemble de la machine puisse être plongé, sans conduire à des difficultés techniques prohibitives.

Dans la pratique, le milieu isolant est constitué par un mélange d'azote et de fréon 12 (2) (dans la proportion de 10 %), ou d'azote et de CO_2 (dans la

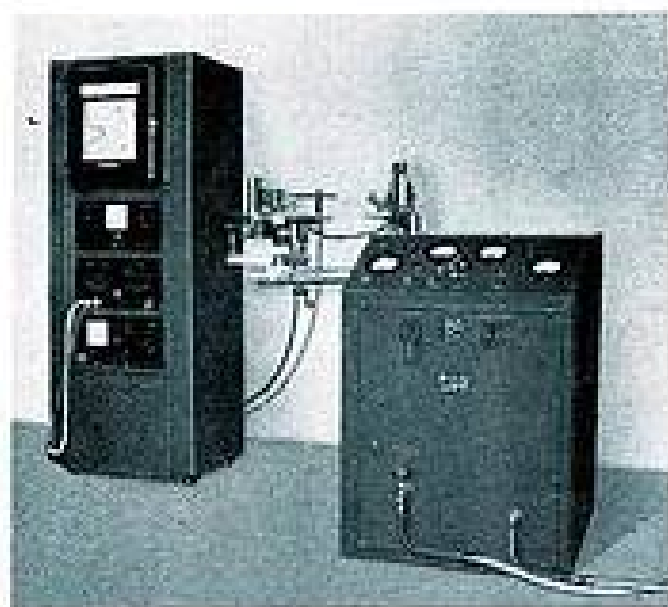
(1) Si l'électrode isolée dans l'espace a la forme d'une sphère de rayon R :

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{CV}{4\pi R^2} = \frac{RV}{4\pi R^3} = \frac{V}{4\pi R} \leq \frac{E_d}{4\pi}$$

et $V_{\max} = E_d R$. Dans l'air sec, à la pression atmosphérique, E_d peut atteindre, dans les conditions les plus favorables, environ 30 kV/cm (100 ues/cm). Pour cette valeur de E_d — qui ne peut être réalisée, en pratique, que tout à fait exceptionnellement — la décharge disruptive à la surface d'une électrode de rayon $R = 100$ cm se produirait à la tension de 3 MV.

(2) Dans l'air $E_d = 30$ kV/cm, v est généralement de l'ordre de 2 000 cm/s et $i_{c\max}$ est égal à 5,3 μA par centimètre de largeur de courroie.

(3) Fréon 12 : $F_{12} = C F_2 Cl_2$



DIFFRACTOMÈTRE
à compteur de Geiger
avec goniomètre
grands angles $\pm 86^\circ \theta$
et monochromateur

APPAREILS
DE MESURE
ET DE
RÉGULATION
DU VIDE

POMPE A DIFFUSION
A VAPEUR D'HUILE CH 67-10
5.000 l/s

POMPES A
PALETTE
A INJECTION
D'AIR
de 2 à 200 m³/h

CGR



COMPAGNIE GÉNÉRALE DE RADIOLOGIE
DÉPARTEMENT INDUSTRIEL
48-50 Bd Galliéni - ISSY-LES-MOULINEAUX (Seine) MIC. 34-60

PUB
111

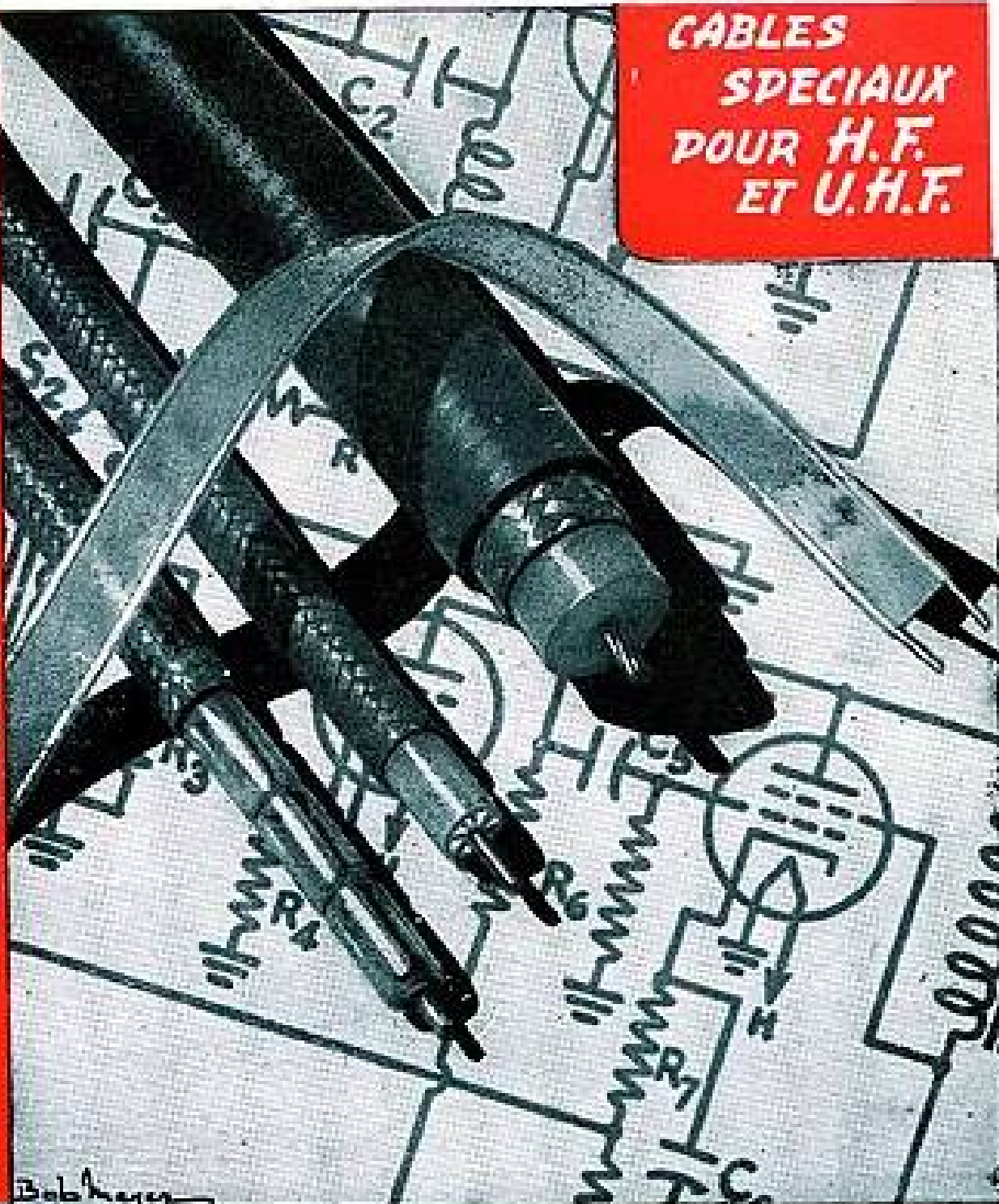


**LES CABLES
DE LYON**

MANUFACTURE
DE FILS ET CABLES
ÉLECTRIQUES
DE LA C^{IE} GÉNÉRALE
D'ÉLECTRICITÉ

170 Av. JEAN JAURÈS
LYON

USINES A
LYON-BEZONS-CALAIS



**CABLES
SPECIAUX
POUR H.F.
ET U.H.F.**

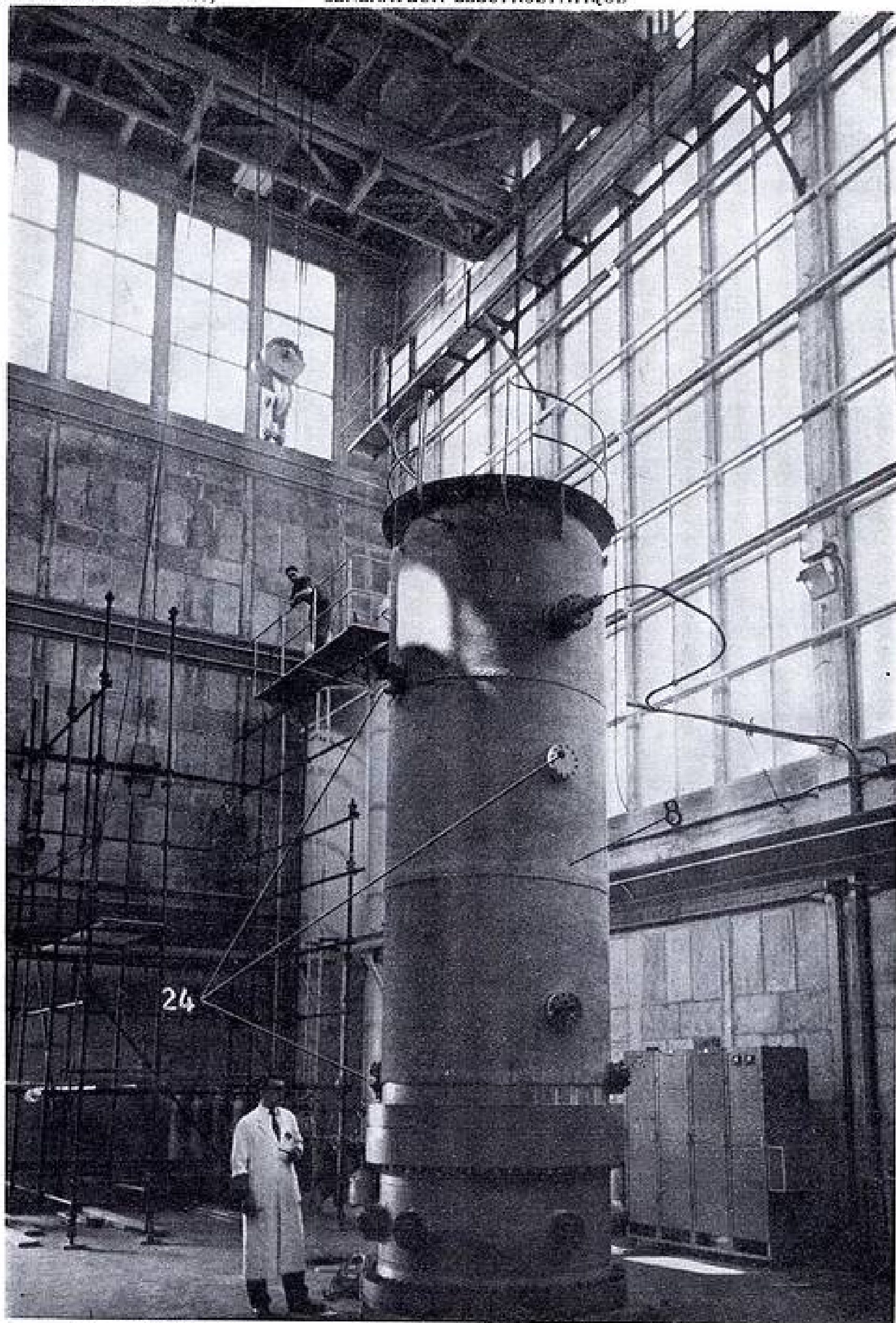


FIG. 1. — Vue du générateur électrostatique entièrement monté, réservoir à pression mis en place.

Au sommet du réservoir, on distingue une passerelle destinée à faciliter la manœuvre d'accrochage du réservoir au pont. A travers le hublot supérieur passe la connexion à l'écran capacitif.

Au fond de la salle, on distingue les deux réservoirs de stockage qui servent à emmagasiner le gaz d'isolement pendant les démontages du générateur électrostatique. On aperçoit également, l'échafaudage mobile qui, approché du générateur, permet d'accéder aux diverses parties de la colonne isolante.

proportion de 30 à 50 %), comprimé à une pression de 10 à 30 Atm. On est donc obligé d'enfermer le générateur dans un réservoir étanche et d'en accepter les inconvénients : un prix plus élevé de la machine, une difficulté plus grande de construction venant de la nécessité de limiter l'encombrement et une accessibilité moindre des différents organes.

2° Les dimensions de l'ensemble étant fixées, déterminer la disposition, les dimensions et les formes des différents organes du générateur conduisant à la distribution de champs la plus favorable et qui est, dans la grande majorité des cas et dans la mesure des possibilités pratiques, la distribution uniforme ⁽¹⁾.

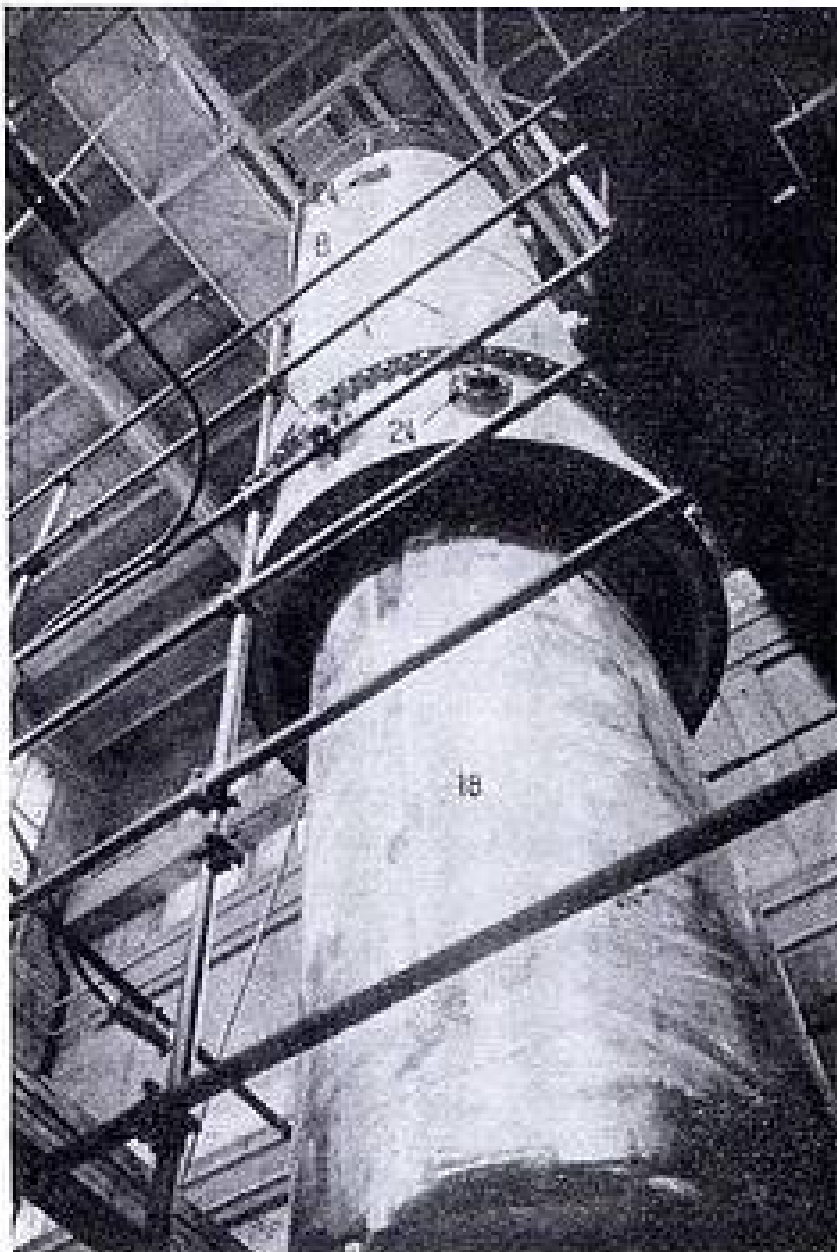


FIG. 2. — Générateur en cours de démontage.

Le réservoir à pression est soulevé par un pont roulant, rendant visible l'écran intermédiaire extérieur. Au premier plan, l'échafaudage.

Le long de la colonne et du tube, on obtient un champ uniforme en subdivisant la matière isolante en tranches de faible épaisseur, séparées par des plateaux métalliques entre lesquels la tension est

⁽¹⁾ Si le potentiel disruptif ne dépendait que du champ électrique, la meilleure distribution serait évidemment la distribution uniforme sur toutes les parties de la machine. En fait, le problème est plus complexe, le potentiel disruptif étant — pour un champ donné — fonction de la tension totale et de la distance entre électrodes.

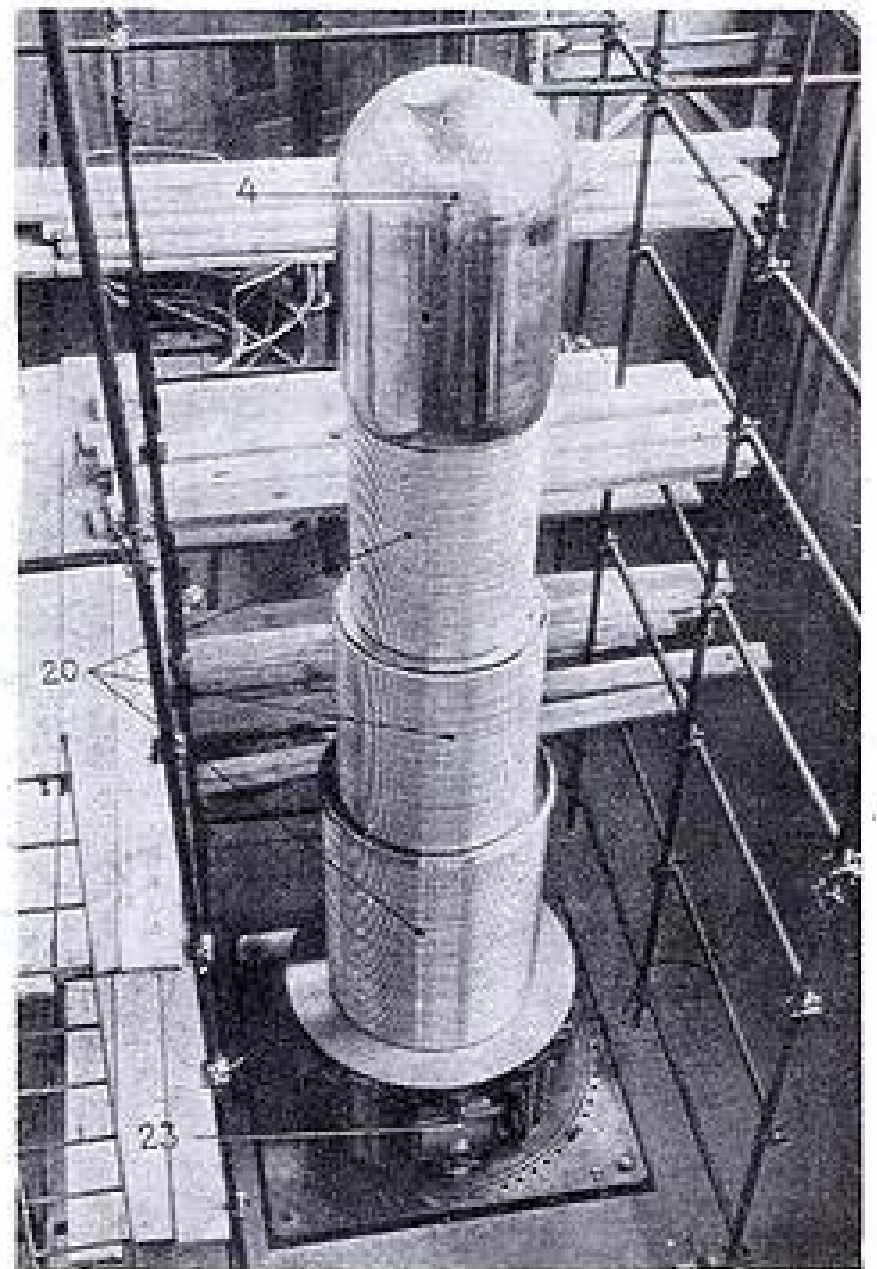


FIG. 3. — Colonne isolante et électrode haute tension. Réservoir à pression et écrans intermédiaires enlevés.

répartie par une chaîne de résistances (ou par des pointes à effluves convenablement réglées) (fig. 1) ⁽²⁾.

Le long de la courroie, on dispose, parallèlement à chacune de ses faces et en leur voisinage immédiat, des barres métalliques (dites « barres de gradient ») connectées aux plateaux équipotentiels (fig. 1). La courroie se trouve ainsi subdivisée électriquement en une série de courtes sections dont les extrémités sont maintenues aux potentiels déterminés par les plateaux équipotentiels correspondants ⁽³⁾.

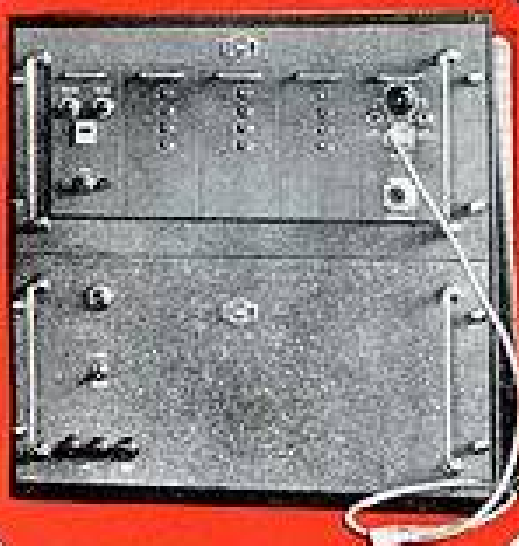
Enfin, dans l'espace compris entre l'électrode haute tension et le réservoir à pression, on uniformise le champ par l'interposition d'écrans métalliques dont on fixe le potentiel en les reliant aux plateaux appropriés de la colonne qui supporte l'électrode (fig. 1) ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ L'on se contente souvent de remplacer les plateaux métalliques par des anneaux entourant les isolants à des intervalles réguliers.

⁽²⁾ Dans la réalisation pratique, il faut éviter que la courroie ne frotte sur les barres de gradient vers lesquelles elle est attirée par des forces électriques qui peuvent être considérables. A cet effet, on remplace, à des intervalles périodiques, les barres de gradient par des « barres de guidage » portant sur la face tournée vers la courroie des pièces isolantes destinées à maintenir chaque brin dans le plan médian entre deux rangées de barres de gradient (figure 1).

⁽³⁾ L'écran le plus proche du réservoir à pression — dit « écran capacitif » — n'est pas destiné à une uniformisation du champ : il sert à la régulation de la tension (voir article de M. Taieb dans le présent numéro).

Au Service de l'Atome



↑ **ÉCHELLE DE MILLE CI 149** (licence C.E.A.) :
Appareil de numération électronique et électromécanique.
Facteur de division électronique : 1.000.
Temps de résolution : 5 ps.



ALIMENTATION STABILISÉE TRÈS HAUTE TENSION ALS 349 : ↑
Tension réglable en 300 et 3.000 V.
Débit : 3 mA.
Stabilité : 0,1 %.
Bruit de fond inférieur à 30 mV crête à crête.

AMPLIFICATEURS D'IMPULSIONS AMP 95 et AMP 96 : ↓
Gain : 20 db.
Bande passante $\geq$ 200 MHz.
Niveau de sortie de l'amplificateur de puissance AMP 96 :
50 V négatifs de crête.



NOTICE TECHNIQUE
SUR DEMANDE



AMPLIFICATEUR PROPORTIONNEL AMP 249 (licence C.E.A.) : ↑
Gain : 250.000.
Bande passante : 2 MHz.
Mise en forme des impulsions par circuit intégrateur
ou différentiateur.



AJAX 117

BUREAUX A PARIS : 36, RUE DE LABORDE VIII^e - TÉLÉPHONE : LABorde 26-98

CONSTRUCTIONS

RADIOÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES DU CENTRE

19, RUE DAGUERRE, SAINT-ÉTIENNE (LOIRE)
TÉLÉPHONE : E 2 39-77 (3 lignes groupées)

Ainsi obtient-on l'uniformisation du champ dans les gaz, comme dans les solides, en subdivisant le diélectrique en courtes sections dont chacune n'est soumise qu'à une fraction de la tension totale à isoler. La différence de potentiel entre deux surfaces voisines reste donc relativement faible. Cette conséquence de la subdivision du diélectrique peut être, dans certains cas, aussi importante que l'uniformité du champ.

**

Les figures numérotées de 1 bis à 10 représentent les détails du générateur électrostatique 5 MeV proprement dit (fig. 1 bis à 3) et de son installation (fig. 4 à 10).

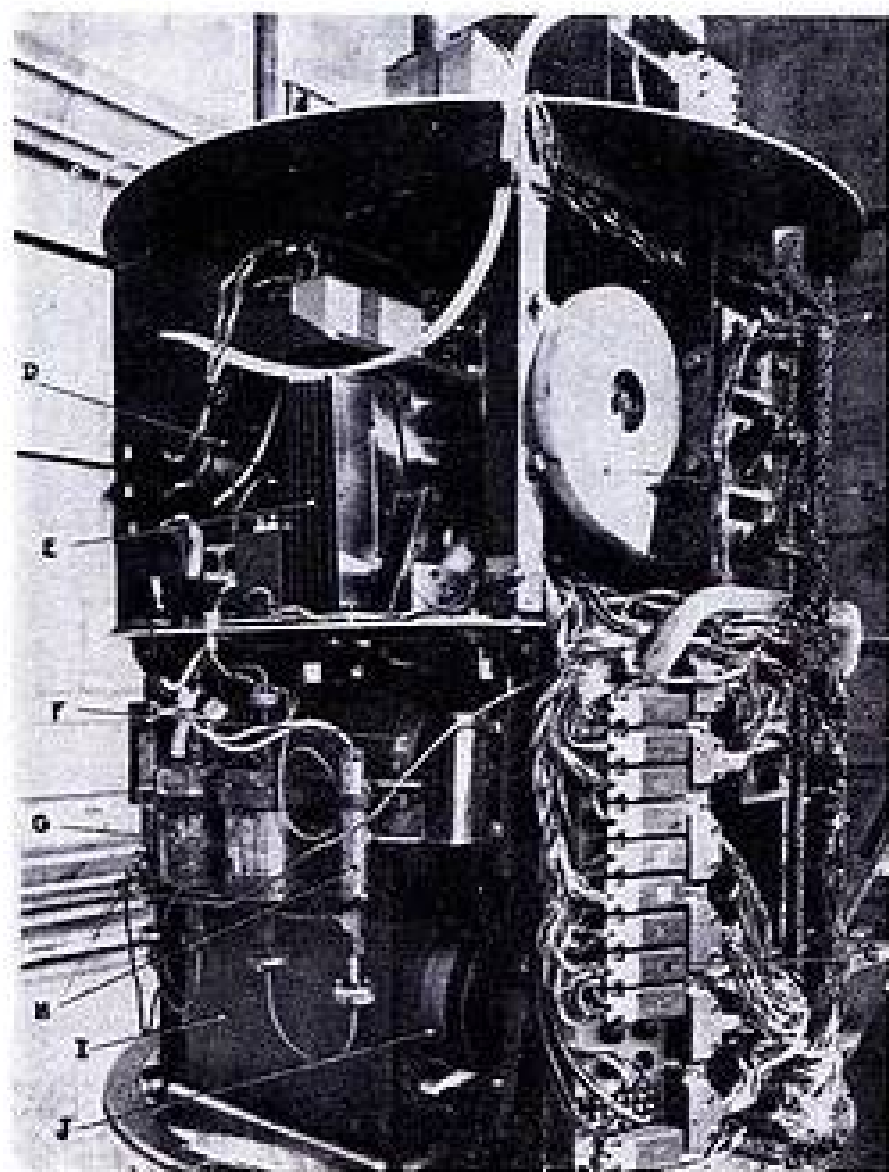


FIG. 4. — Vue intérieure de l'électrode haute tension.

A - Groupes moteur-réducteur de télécommande.

B - Ventilateur (refroidissement de l'ampoule).

C - Tableau de répartition à prises multibroches.

D - Alimentation de l'oscillateur HF de la source d'ions.

E - Alimentation 24 V des auxiliaires et télécommandes.

F - Poulie supérieure (cf. Fig. 1 - référence 14)

G } Réglage du débit de gaz alimentant la source d'ions

H } Vanne électromagnétique

H : Vanne à palladium.

I - Courroie (cf. Fig. 1 - référence 17).

J - Contre-poulie dans laquelle se trouve la génératrice électrique (cf. Fig. 1 - référence 3).

Pour les figures 1 bis à 3 inclus, les numéros de références désignent les mêmes parties de la machine que dans le schéma de principe présenté figure 1.

Source d'ions.

Les ions sont produits par une décharge électrique dans un gaz approprié.

La source d'ions est placée dans l'électrode haute tension qui contient, en outre, tous les organes nécessaires au fonctionnement de la source et à la focalisation du faisceau d'ions.

L'ensemble constitue un véritable petit laboratoire contenant une série d'alimentations haute tension (auxquelles l'énergie électrique est fournie par une génératrice également placée dans l'électrode et actionnée par la courroie transportant les charges) (voir fig. 1 et 4), le réservoir du gaz qui passe dans la source et une série d'appareils de mesure et de contrôle à distance car tout cet ensemble porté à la tension de plusieurs millions de volts doit être commandé à partir du pupitre central.

La source d'ions employée dans un générateur électrostatique doit répondre aux conditions suivantes :

Les ions extraits de la source doivent être approximativement monocinétiques (car leur dispersion en énergie impose une limite à l'homogénéité du faisceau fourni par le générateur) et leurs trajectoires à l'orifice de sortie doivent se prêter à la focalisation ultérieure. Il est souhaitable, pour faciliter le pompage, qu'un courant ionique déterminé puisse être obtenu avec un débit minimum du gaz à ioniser.

La consommation d'énergie électrique ne doit pas être prohibitive, puisque cette énergie doit être produite dans l'espace restreint disponible dans l'électrode haute tension. (génératrice : réf. 3 fig. 1 et 1 bis, ref. J fig. 4).

Enfin, dans le cas de production de protons ou de deutérons (les plus fréquents dans l'utilisation du générateur électrostatique pour les recherches nucléaires), la structure de la source et le régime de la décharge doivent favoriser la formation d'ions atomiques plutôt que moléculaires. L'on diminue ainsi le courant total à fournir par le générateur pour un débit donné de particules utiles et l'on fait travailler le tube dans des conditions plus favorables.

Les deux types de sources les plus fréquemment utilisés sont :

1° Sources à décharge froide dans un champ magnétique, dites « Sources Philips » :

2° Sources à décharge en haute fréquence qui sont parmi les plus récentes.

Tube.

Le tube accélérateur pose des problèmes, tant physiques que technologiques, plus complexes qu'au-

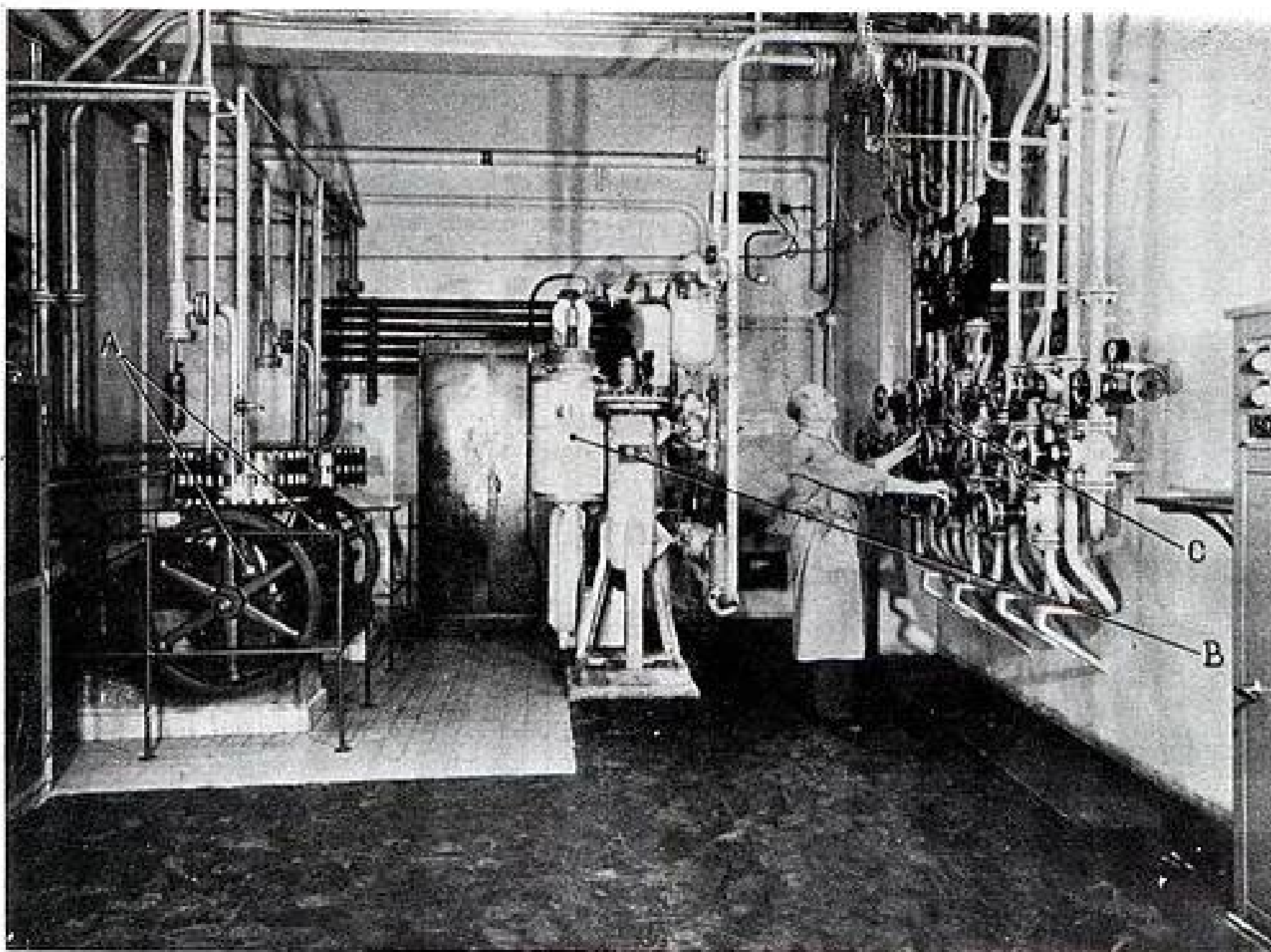


FIG. 5. — Installation de circulation du gaz d'isolement

A : compresseurs — B : Appareil de dessiccation — C : Tableau de vannage permettant la commande des opérations de remplissage et de vidange du réservoir à pression du générateur et la circulation du gaz d'isolement dans l'ensemble de l'installation.

cun autre organe du générateur électrostatique (1).

Il suffit de rappeler que le tube est réalisé sous forme d'un empilement alterné de plateaux métalliques équipotentiels séparés par des tronçons isolants relativement minces (fig. 1 et 6) : l'on appréciera la difficulté d'exécution d'une structure étanche qui peut comprendre plusieurs centaines de jonctions diélectrique-métal.

En outre, les phénomènes qui interviennent dans les gaz à basse pression soumis à des tensions de plusieurs millions de volts sont extrêmement complexes et relativement peu connus : la tenue sous tension du tube d'accélération représente le problème le plus difficile que pose la construction d'un accélérateur électrostatique de plusieurs millions de volts.

Enfin, le système de pompage qui assure le vide dans le tube doit être constitué de manière à éviter toute pollution des surfaces internes du tube par l'huile dont la présence favorise l'émission secondaire et compromet la tenue sous tension. L'on emploie des pompes à mercure et l'on élimine les vapeurs condensables par des pièges à air liquide ou à neige carbonique (voir fig. 8 a et 8 b).

(1) Voir article H. BRUCK - F. PRÉVOT - Note C.E.A. n° 189 - « Le tube accélérateur d'ions du générateur Van de Graaff du C.E.A. ».

L'ingéniosité et le soin apportés à l'exécution du tube d'accélération et de ses circuits de pompage déterminent les performances en tension de l'accélérateur électrostatique. Grâce à une technique particulièrement étudiée, il a été possible d'obtenir à Saclay une énergie allant jusqu'à 5,5 MeV.

Mais à côté de cette performance, il en est une autre non moins importante pour les expériences de physique nucléaire : la stabilité de l'énergie des particules pour une intensité donnée du faisceau. Cette stabilisation de la machine demande un appareillage complexe qui peut, grosso modo, être décomposé en deux parties essentielles :

a) sélecteur d'énergie, ou monochromateur, qui élimine du faisceau incident toutes les particules n'ayant pas une énergie comprise dans une bande étroite déterminée.

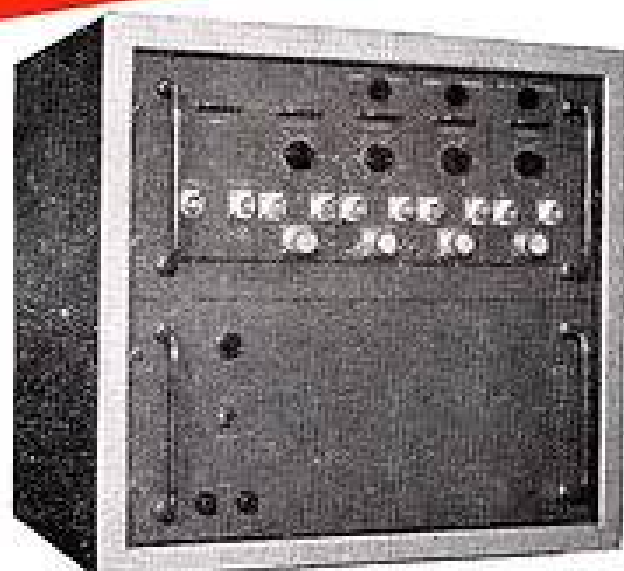
Il est évident que si l'énergie du faisceau incident est variable ou peu homogène, l'intensité sortant du monochromateur sera extrêmement faible. Pour l'augmenter, on adjoint au monochromateur :

b) l'ensemble de stabilisation de la tension qui maintient l'énergie du faisceau incident sur le sélecteur dans un domaine relativement restreint mais qu'il est malheureusement impossible de rendre

SÉLECTEUR DE COINCIDENCES ET ANTICOINCIDENCES

ANALYSE SÉLECTIVE :

- * ÉLIMINATION DU BRUIT DE FOND ET DES RAYONNEMENTS PARASITES.
- * GONIOMÈTRE NUCLÉAIRE.
- * APPAREIL DE LABORATOIRE.



Licence du Commissariat à l'Energie Atomique

A 491



A 484

COINCIDENCES AND ANTICOINCIDENCES SELECTOR

SELECTIVE ANALYSIS :

- * BACKGROUND NOISE AND OTHER UNWANTED RADIATIONS.
- * DIRECTIVE LOCALIZER OF NUCLEONIC RADIATIONS.
- * LABORATORY SET.

APPAREIL PORTABLE DE PROSPECTION, TYPE G.B.M.

RECHERCHE ET PROSPECTION

DES
MINÉRAIS
ÉLÉMENTS
ET PRODUITS
RADIO-ACTIFS

TROPICALISATION ET
ÉTANCHÉITÉ INTÉGRALES

*

FREQUENCYMETERS — TACHYMETERS
CHRONOMETERS — PERIODMETERS A
COMPTERS D'IMPULSIONS

de 10^{-6} Hz à 25 Mhz !

F T C P

Modèle 100 KHz

F T G

1 Mhz

F T C P

1 Mhz

F

25 Mhz

Modèles
Models

A 477

A 478

A 479

A 561

Tous équipements de bancs
d'essais et de Laboratoires

- * AERONAUTIQUE
- * AUTOMOBILE
- * ELECTRONIQUE

S.E.T.P.

51, Rue Racine — **MONTRouGE** (Seine)

ALE. 00-07
00-03

LIGHT PORTABLE PROSPECTIONAL UNIT G.B.M.

MINERALS SEARCH AND

PROSPECTION RADIOACTIVE
PRODUCTS AND ELEMENTS

ENTIRELY TROPICAL
AND RELIABLE SEALING
(WATERPROOF)

*

FREQUENCYMETERS — TACHOMETERS
CHRONOMETERS — PERIODMETERS BY
PULSE COUNTING

10^{-6} Hz up to 25 Mhz !

F T C P

100 KHz Model

F T G

1 Mhz

F T C P

1 Mhz

F

25 Mhz

The hole range of laboratories
and testing boards equipments

- * AERONAUTICS
- * CAR INDUSTRIE
- * ELECTRONICS



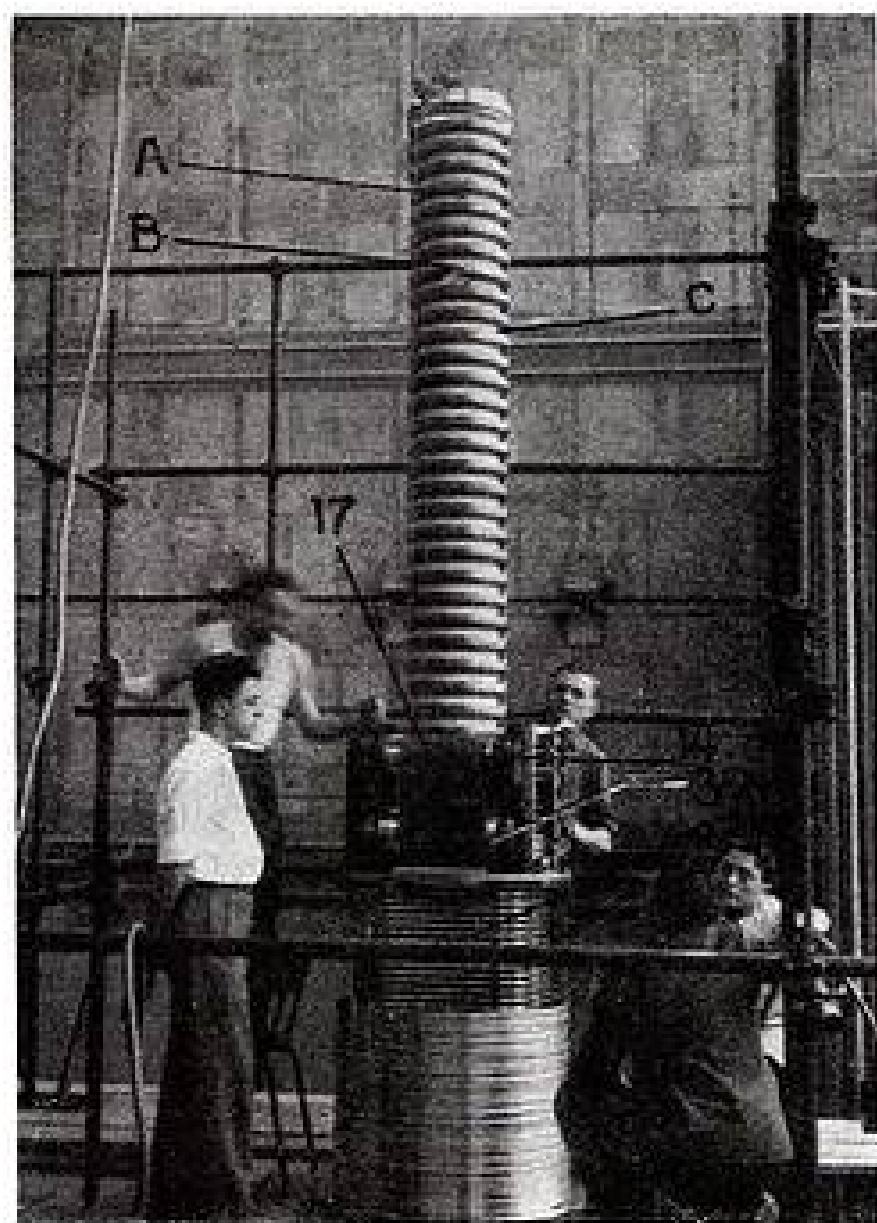


FIG. 6. — Tube d'accélération au cours du montage dans la colonne isolante.

Environ la moitié du tube reste visible.

A : Anneaux de porcelaine.

B : Coquilles d'assemblage : ces coquilles métalliques maintiennent les porcelaines entre elles et servent de support aux électrodes métalliques intérieures du tube.

C : Eclateur de protection

17 — Courroie

14 — Poulie supérieure

3 — Génératrice électrique formant contre poulie

20 — Plateaux équipotentiels

aussi étroit que la bande passante minimum du sélecteur.

Dans l'installation de Saclay, le monochromateur se compose essentiellement (voir fig. 7) :

— de lentilles de focalisation et d'un jeu de fentes qui définissent la direction du faisceau incident,

— d'un aimant défecteur (prisme magnétique) qui sépare les trajectoires des particules suivant leur énergie,

— d'un second jeu de fentes qui définit la direction du faisceau sortant de l'aimant, donc l'énergie

sélectionnée pour un champ défecteur déterminé ⁽¹⁾.

Sur le trajet du faisceau sortant, sont disposées deux lèvres entre lesquelles le courant se distribue dans la proportion déterminée par la position du faisceau, donc par son énergie. Sur ces lèvres, est pris le signal d'erreur injecté dans les chaînes de régulation qui maintiennent constante la tension du générateur.

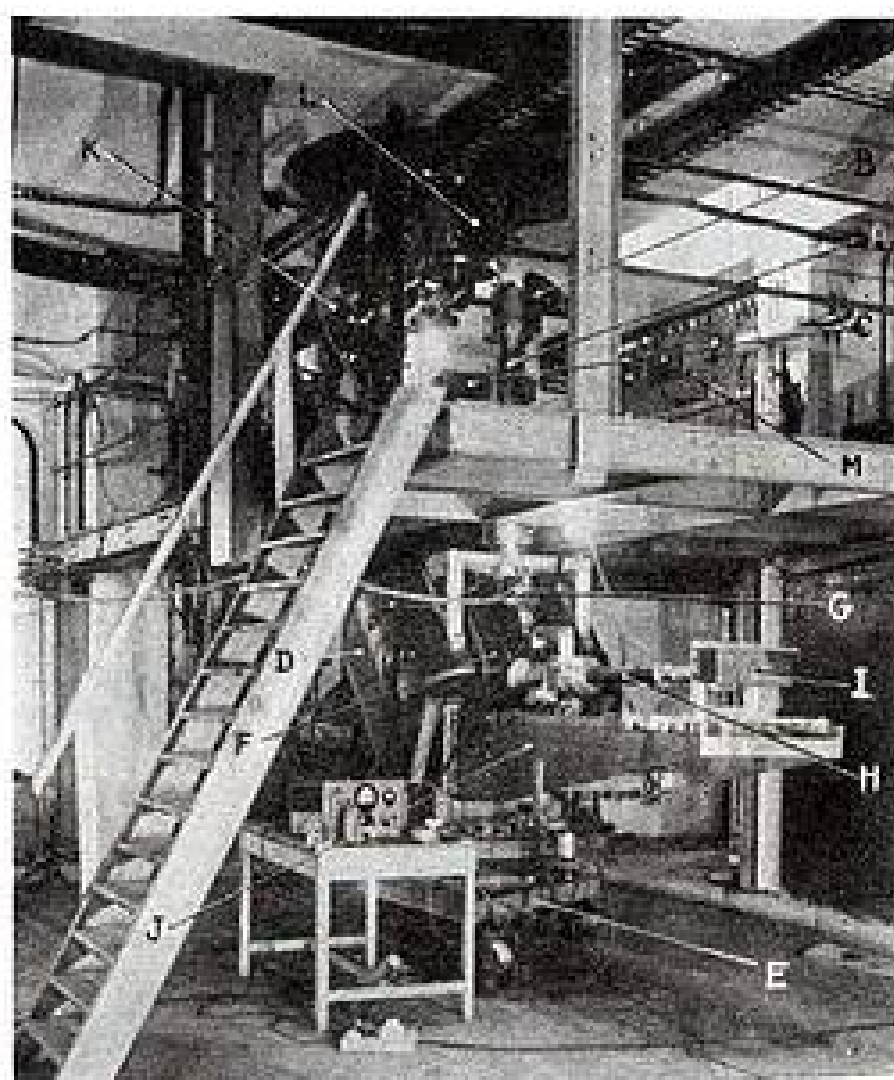


FIG. 7. — Dispositif de régulation d'énergie en cours de montage.

A — Colonne surmontant les diaphragmes de définition et les lentilles de focalisation du faisceau incident.

B — Boîte contenant le premier diaphragme (tournée à 90° de sa position normale).

C — Première lentille de focalisation.

D — Aimant défecteur (prisme magnétique).

E — Chariot de positionnement de l'aimant.

F — Bobines d'excitation de l'aimant.

G — Oscillateur de la sonde servant à la mesure exacte du champ magnétique par la méthode de résonance nucléaire.

H — Ligne à vide horizontale dans laquelle passent les particules à énergie sélectionnée et stable.

I — Boîte contenant le diaphragme de sortie.

J — Bras supportant la ligne verticale.

K — Ligne de pompage principale.

L — Hublot d'observation du faisceau.

M — Pupitre de commande de l'installation du vide.

(1) On peut donc varier l'énergie que laisse passer le monochromateur en faisant varier le champ magnétique défecteur, c'est-à-dire le courant dans l'électro-aimant.

D'autre part, pour maintenir constante l'énergie qui a été choisie, le courant de l'électro-aimant, une fois sélectionné, est maintenu constant à quelques cent-millièmes.

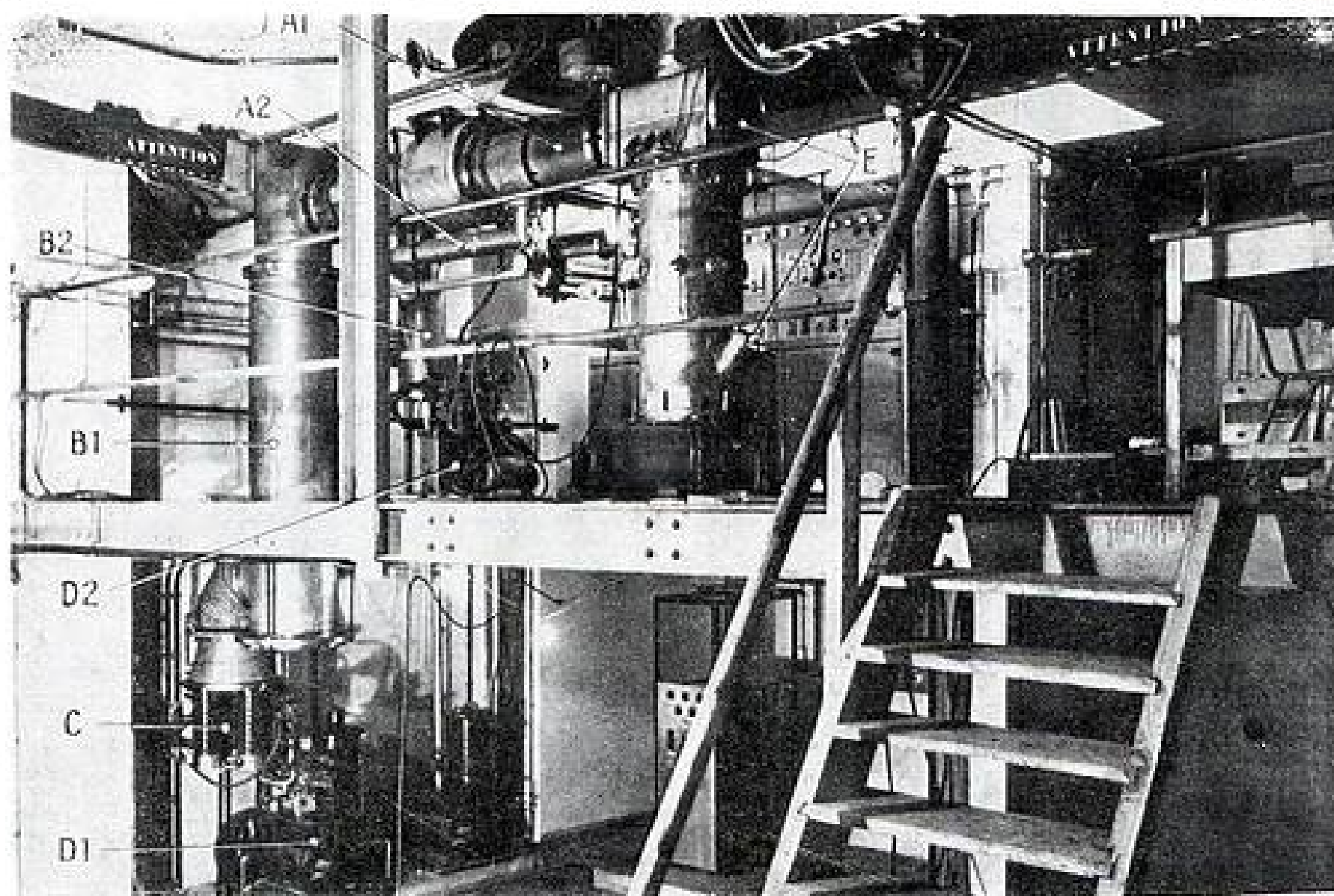
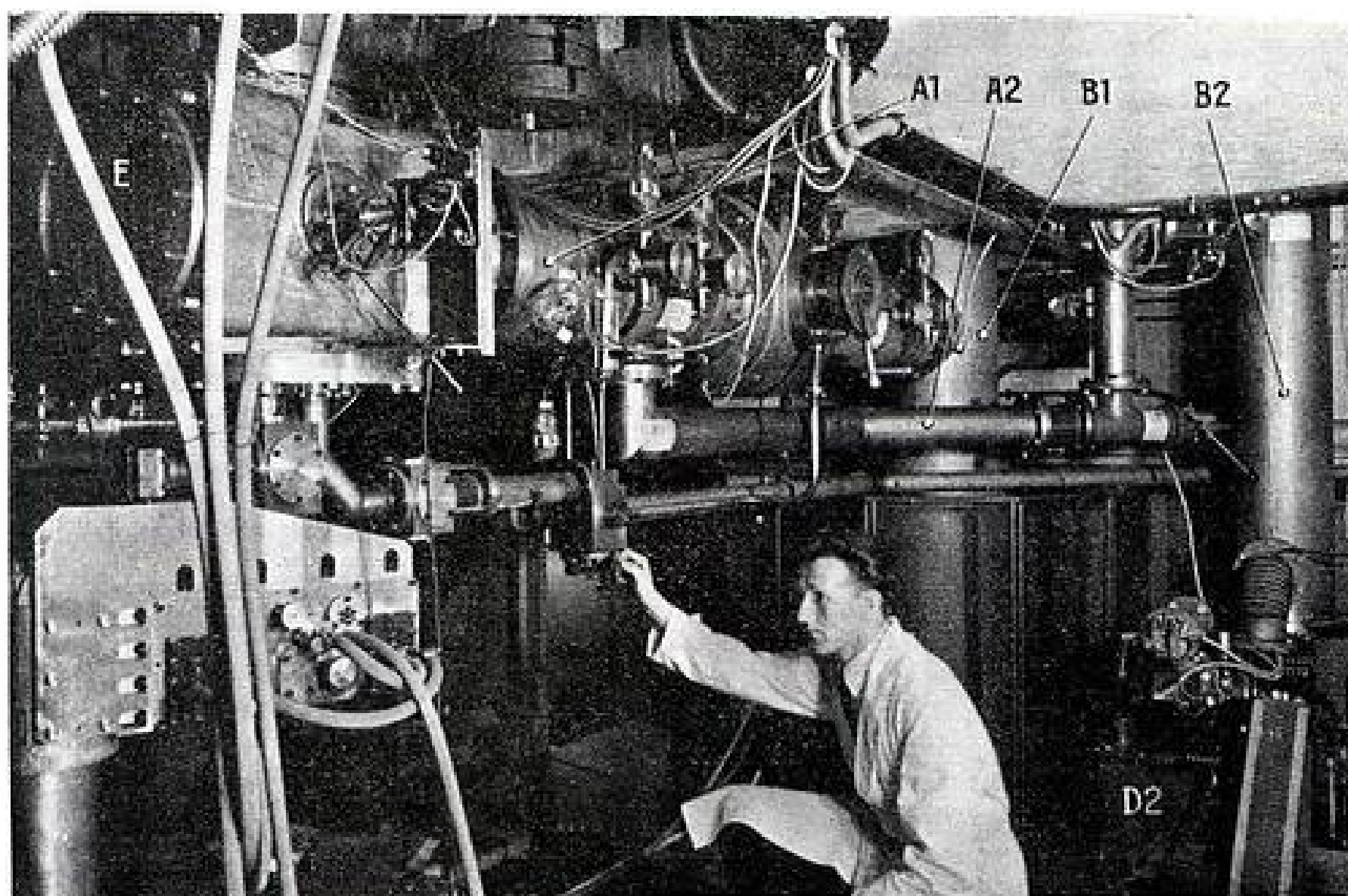


FIG. 7 a et b. — Système de pompage du tube d'accélération.

A₁ — Ligne de pompage principale
 A₂ — Ligne de pompage auxiliaire
 B₁ — Piège à air liquide principal
 B₂ — Piège à air liquide auxiliaire

C — Groupe de pompage du circuit principal (4 pompes à diffusion à mercure).

D₁ — Pompe préliminaire du circuit principal.
 D₂ — Pompe préliminaire du circuit auxiliaire
 E — Hublot d'observation du faisceau de particules.



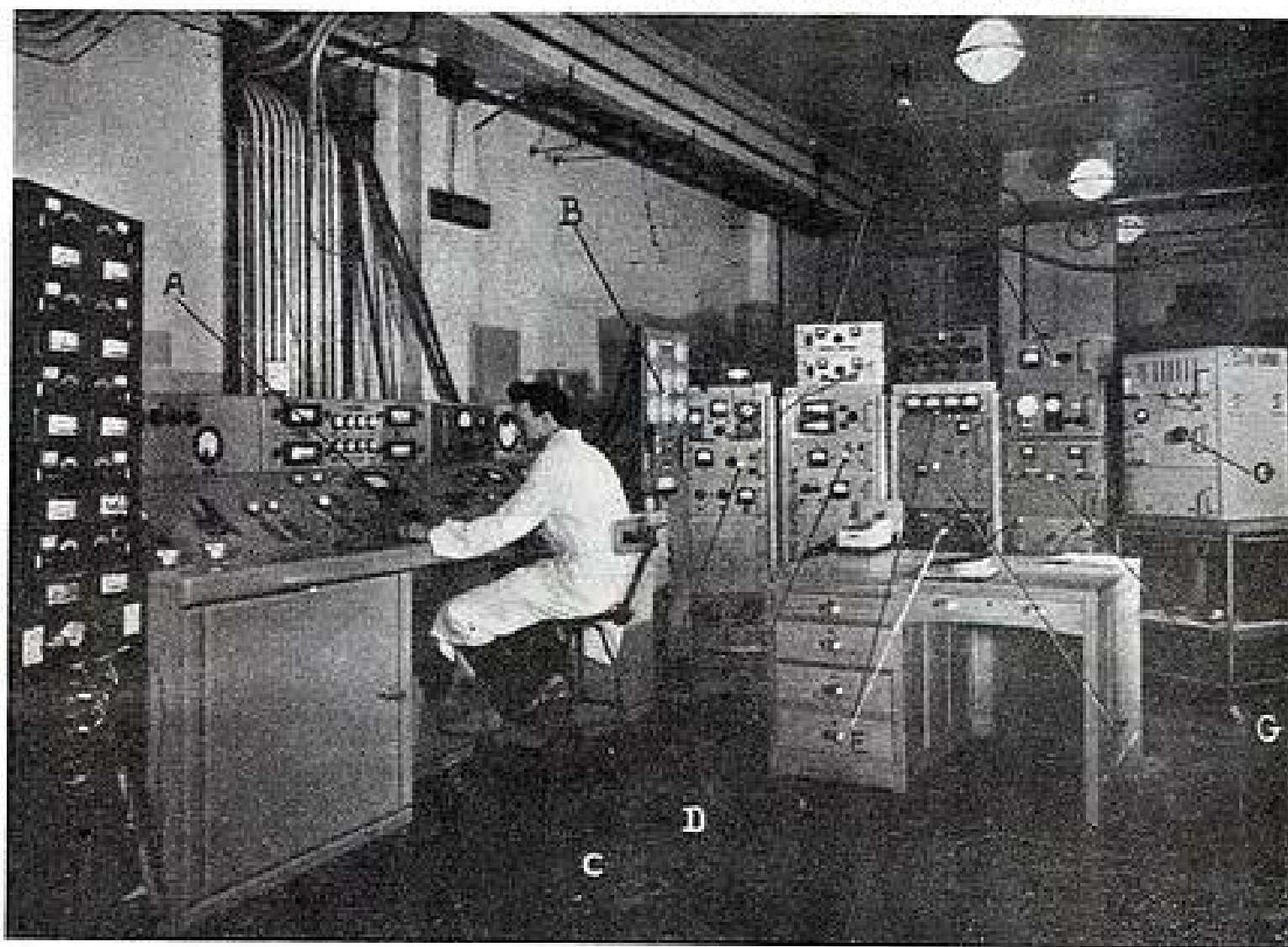


FIG. 9. — Salle de commande de l'accélérateur électrostatique.

A - Pupitre de commande du générateur proprement dit.

B - Télécommande de l'électrode haute tension.

C - Régulation rapide.

D - Régulation lente.

E - Focalisation du faisceau.

F - Positionnement du faisceau.

G - Mesure du champ magnétique de déflexion du faisceau.

H - Commande du champ magnétique de déflexion du faisceau.

Dans l'installation de Saclay, l'ensemble des monochromateurs et des régulateurs permet d'obtenir une stabilité de l'ordre de quelques $1/10\ 000$, pour des faisceaux relativement intenses.

Les détails sur le sélecteur d'énergie et les chaînes de régulation sont décrits dans les articles qui suivent, par MM. LEHMANN, BRUCK et GENDREAU, FAHER, GABET et PINET.

La fig. 9 représente la salle de commande qui permet l'observation, la mesure et le contrôle de l'accélérateur électrostatique et de toutes ses installations annexes.

Le bâtiment qui abrite l'accélérateur est électrostatique présenté fig. 10.

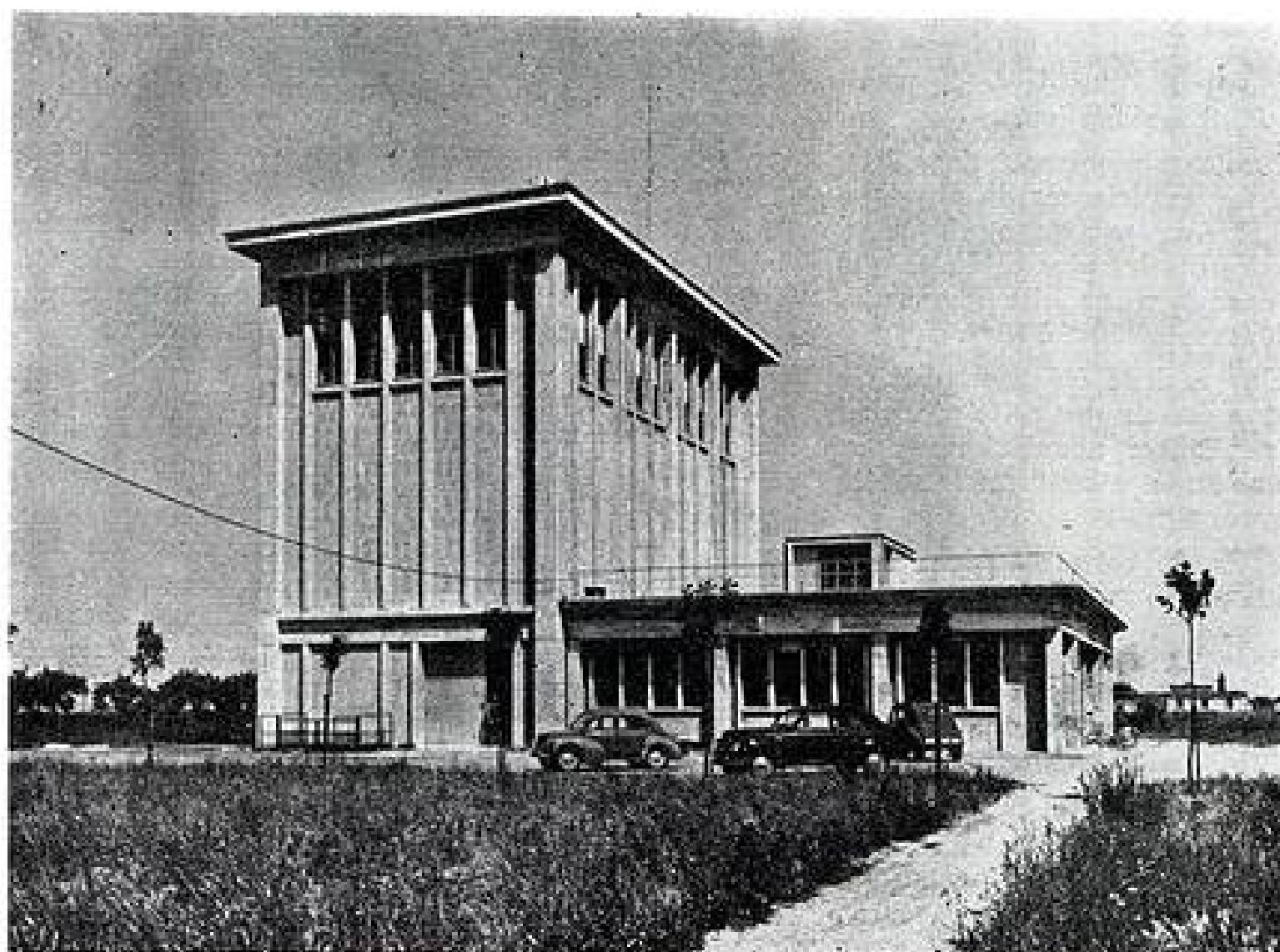


FIG. 10. — Bâtiment de l'accélérateur électrostatique.

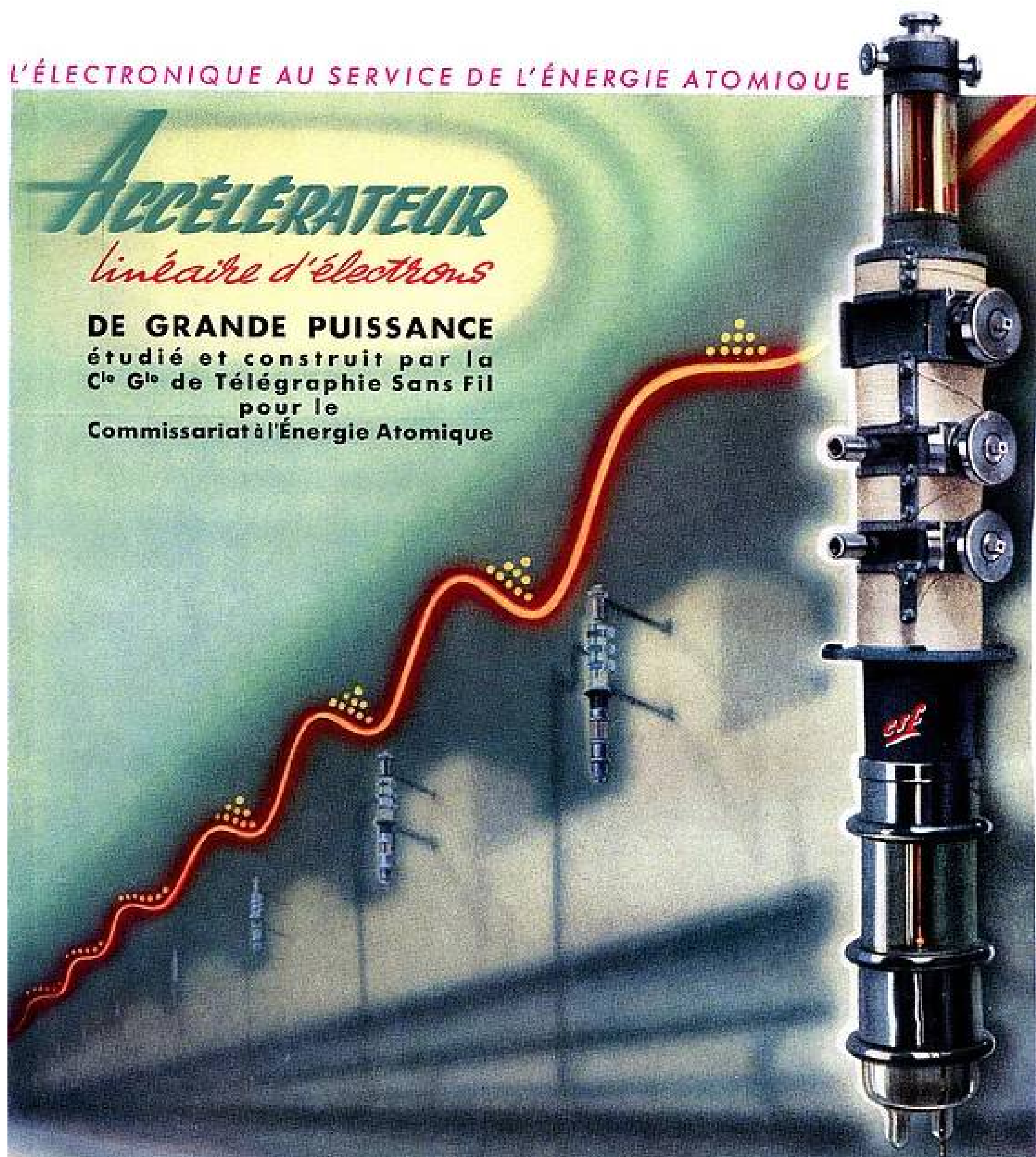
L'ÉLECTRONIQUE AU SERVICE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

ACCELERATEUR

linéaire d'électrons

DE GRANDE PUISSANCE

étudié et construit par la
C^{ie} G^{ie} de Télégraphie Sans Fil
pour le
Commissariat à l'Énergie Atomique



CSF

les KLYSTRONS

équipant cet appareil
sont également étudiés
et construits par la C.S.F.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL
79, BOULEVARD HAUSSMANN — PARIS (8^e) — ANJOU 84-60

LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DU RÉGLAGE AUTOMATIQUE DE TENSION DE L'ACCÉLÉRATEUR VAN DE GRAAFF DE SACLAY

PAR

Gérard LEHMANN

Ingénieur Conseil au Commissariat à l'Énergie Atomique

La raison essentielle de la construction des générateurs électrostatiques Van de Graaff est que ces machines sont celles qui permettent le mieux, aujourd'hui de produire des faisceaux de particules possédant toutes des énergies pratiquement identiques à une énergie type désirée par les expérimentateurs.

Ces particules, de charge électrique e sont accélérées par une différence de potentiel V existant entre le sol est une électrode à haute tension, et acquièrent une énergie cinétique T , exprimée par la relation

$$T = e V$$

On parle indifféremment de l'énergie de la particule, ou de son potentiel d'accélération.

MM. BRUCK et GENDREAU montrent, dans leur article, que la nature des expériences de physique nucléaire exécutées à l'aide des particules accélérées, rend souhaitable dans les cas les plus difficiles que l'écart relatif entre l'énergie réelle des particules et l'énergie désirée ne dépasse par 10^{-4} à 10^{-5} .

La machine de Saclay a donc été construite de manière à ce que l'on soit certain que cette précision serait atteinte, et l'expérience acquise dans son emploi depuis près d'une année a confirmé le succès des dispositifs réalisés.

Dans l'emploi quotidien de cette machine, trois conditions d'exploitation pratique ont été satisfaites :

1° Il est possible de régler d'une façon continue et rapide l'énergie du faisceau à toute valeur comprise entre quelques centaines de kilovolts et 5 500 000 volts.

2° L'énergie reste ensuite constante à mieux que 10^{-4} près.

3° Il est possible de déterminer avec cette précision la valeur absolue de l'énergie ainsi stabilisée du faisceau.

Deux techniques ont été étroitement associées pour obtenir ce résultat :

D'une part un « filtre » ou monochromateur élimine toutes les particules dont l'énergie diffère de l'énergie désirée d'une quantité supérieure à la tolérance.

D'autre part un régulateur de tension perfectionné oblige le potentiel de l'électrode à rester égal au potentiel désiré avec une précision supérieure à 10^{-4} .

En d'autres termes, à *aucun moment* le potentiel d'électrode ne s'écarte du potentiel désiré de plus de 10^{-4} en valeur relative.

De la sorte, évidemment, toutes les particules accélérées, possédant la valeur désirée de leur rapport $\frac{m}{e}$, passent à travers le monochromateur ou filtre d'énergie, et un faisceau très intense peut être utilisé pour les expériences.

En fait, l'association entre le régulateur de tension et le monochromateur est extrêmement étroite ; en effet, le monochromateur lui-même est utilisé comme organe de mesure du potentiel d'accélération V , et, comme on le verra plus loin, c'est précisément la chute des particules trop lentes ou rapides sur les lèvres de la fente du monochromateur qui engendre le signal d'erreur « Tension trop basse ou trop haute » agissant sur le réglage automatique de tension.

L'ensemble des dispositifs nécessaires est très complexe : il comporte au total 271 tubes électroniques, nombre relativement faible d'ailleurs, comparé à celui des équipements associés aux expériences nucléaires proprement dits, exécutés à l'aide de la machine.

Nous avons pensé utile, dans la présente série d'articles, de décrire avec quelques détails cet ensemble exceptionnel de réglage automatique, tant pour l'intérêt propre qu'il présente, que pour les idées qu'il peut suggérer à propos d'autres problèmes.

Avant de céder la place aux physiciens qui ont avec

succès conçu, construit et réglé ces délicats instruments nous voudrions ici dégager les principes de base qui ont été utilisés.

Le problème fondamental est le suivant : stabiliser, avec une précision comprise entre 10^{-4} et 10^{-5} , le potentiel d'une électrode pouvant atteindre 5,5 millions de volts.

Seul, le principe connu sous les trois noms de

Régulation automatique ;

Réaction négative ;

Asservissement ou Servomécanisme.

pouvait permettre d'atteindre un tel objectif. Ce principe consiste à mesurer l'erreur entre la tension réelle et la tension de consigne, et à la corriger automatiquement.

La tension de consigne doit être définie et stable à 10^{-5} près : elle ne peut être obtenue qu'à partir d'une Pile étalon.

Le problème posé est ainsi ramené au suivant :

Asservir une tension de quelques millions de volts à celle d'une pile étalon de 1 volt environ.

En fait, comme on le verra dans l'article de M. GABET, la tension de référence utilisée varie de 50 millivolts à 1 volt. Cette tension est obtenue à partir d'une source stable (comparée périodiquement à une pile étalon) à l'aide d'un potentiomètre à décade qui est l'organe à l'aide duquel l'exploitant choisit l'énergie désirée.

L'énergie ainsi choisie est stable, mais le régulateur ne permet pas de connaître sa valeur absolue.

La mesure de l'énergie du faisceau est faite, indépendamment de la régulation, en déterminant, par la méthode de la résonance nucléaire, le champ magnétique du monochromateur. Réglage automatique et mesure absolue sont ainsi séparés dans l'appareil de Saclay.

Le principe élémentaire des appareils est alors le suivant, fig. 1.

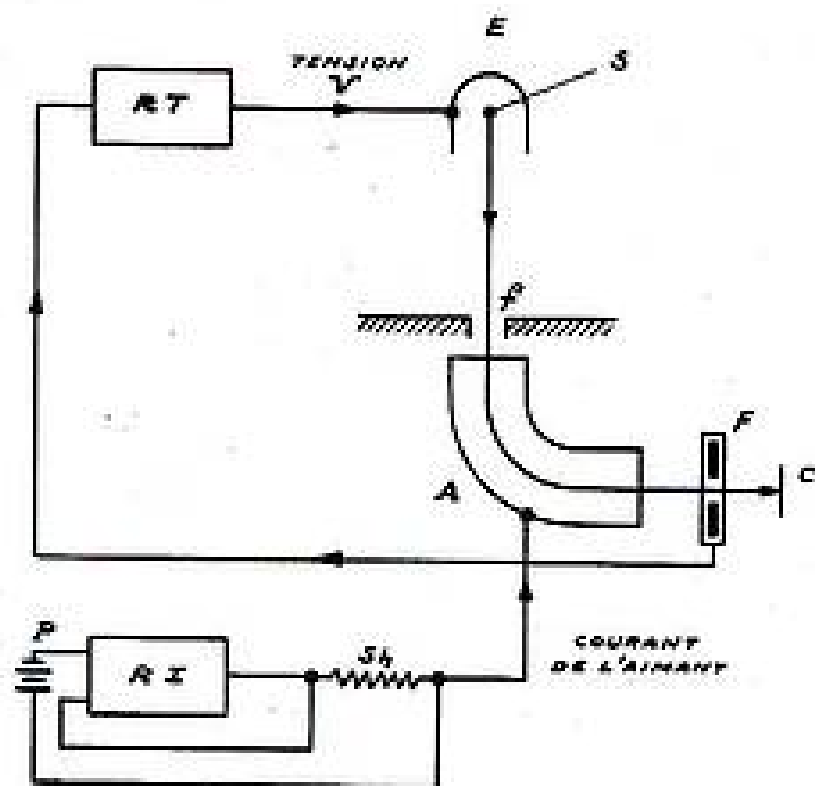


FIG. 1. — Schéma élémentaire du régulateur automatique.

Le faisceau est engendré par la source d'ions S placée dans l'électrode E à haute tension. Ce faisceau descend de l'électrode jusqu'à la base de la machine, au potentiel du sol. Il est accéléré au potentiel V de l'électrode.

Il pénètre ensuite dans le monochromateur (article de MM. BRUCK et GENDREAU) composé d'un électro-aimant A et d'une fente de sortie F, à travers laquelle passe le faisceau dévié de 90° par le champ de l'aimant A. Le faisceau va ensuite irradier la cible C.

La fente F du monochromateur joue un double rôle :

1° elle arrête les particules n'ayant pas l'énergie désirée (s'il y en a).

2° elle permet de mesurer le déséquilibre entre les faibles fractions des projectiles qui tombent sur les lèvres inférieures et supérieures. La différence entre les courants ioniques recueillis par les deux lèvres est une mesure de l'erreur de potentiel existant sur V.

La fente F joue donc le rôle de voltmètre différentiel.

Deux régulateurs principaux existent en cascade entre la pile P et la tension d'électrode V.

Le régulateur d'intensité de l'aimant RI (article de M. GABET) asservit le courant dans l'électro-aimant A, mesuré par le shunt précis Sh, à la tension de la pile étalon P.

Le régulateur de tension RT (article de MM. TAHER et GABET) asservit le potentiel V de l'électrode E au courant différentiel d'erreur mesuré par les lèvres de la fente F.

Telle est l'organisation générale, relativement simple.

Pour changer d'énergie, on change la tension de référence P fournie par la pile étalon à l'aide du potentiomètre à décade.

Tous les autres phénomènes s'ajustent automatiquement, et en quelques secondes la machine fonctionne en fournissant un faisceau pur de particules animées de la nouvelle énergie désirée.

Celle-ci peut être déterminée en valeur absolue par mesure exacte du champ de l'aimant, par la méthode de la résonance nucléaire.

Bien entendu, les appareils réels sont plus compliqués.

Avant d'attirer l'attention sur certains aspects intéressants des régulateurs, soulignons ici l'une des principales difficultés rencontrées : à l'origine de l'étude, l'on ignorait totalement la nature et la valeur des irrégularités à corriger, données évidemment essentielles dans toute étude de régulateur.

La valeur maximum des fluctuations de potentiel d'une telle machine, ainsi que leur répartition spectrale, étaient inconnues.

Des mesures sur modèles réduits, quelques hypothèses, des marges de sécurité raisonnables, ont permis néanmoins d'atteindre sans accident les résultats escomptés.

Entre les appareils réels, décrits dans les articles suivants (avec leurs 271 lampes) et le schéma simplifié de la figure 1, les différences essentielles sont les suivantes :

Un certain nombre de régulateurs auxiliaires fonctionnent, soit à côté, soit à l'intérieur des boucles principales de réglage. A savoir :

a) Le stabilisateur en position du faisceau (article de M. PIRER). En effet, le monochromateur comporte naturellement, non seulement une fente de sortie F mais aussi une fente d'entrée f.

Après sa chute verticale de 5 mètres de long, le faisceau doit traverser cette fente d'entrée f. Or, il est sujet à des déplacements latéraux exagérés qui sont supprimés par un premier déflecteur à électro-aimant obligeant le faisceau à rester centré sur la fenêtre précédant l'aimant principal A.

b) Le monochromateur comporte un collimateur à lentilles magnétiques. Le courant des bobines de ces lentilles est stabilisé par des régulateurs de courant classiques non décrits.

c) L'appareil de mesure du champ magnétique principal par résonance nucléaire (120 lampes, sur le total de 271), ne sera pas décrit ici.

d) A l'intérieur du régulateur de courant R I, une boucle auxiliaire assure la stabilité de la tension aux bornes de l'aimant (voir article de M. GABET). Ceci est rendu nécessaire à cause des ondulations de la tension engendrée par la dynamo alimentant l'aimant.

e) A l'intérieur du régulateur de tension R T une boucle auxiliaire stabilise le courant d'effluve assurant la charge des courroies. (voir article de MM. TAIEB et GABET). Ceci est rendu nécessaire par l'instabilité naturelle d'un courant d'effluve alimenté par un redresseur.

On voit donc ainsi se développer dans sa complexité l'ensemble des appareils réels.

En outre nous voudrions souligner une disposition essentielle originale de la machine de Saclay, qui se trouve dans le régulateur de tension principal.

La bande de fréquence utile de ce régulateur doit s'étendre depuis zéro (dérives lentes) jusqu'à quelques dizaines de cycles par seconde (fluctuations rapides, en particulier dues au manque d'homogénéité des courroies).

Le mode d'action naturel sur la tension d'un générateur à courroie consiste à régler le courant de l'effluve chargeant la courroie en bas de la machine (par action sur le niveau du stabilisateur de courant d'effluve).

Or, le temps de transport des charges de bas en haut de la machine est de 0,3 seconde.

Ce temps de transmission donne à la chaîne de réglage ainsi constituée un caractère « à déphasage non minimum » qui limite sévèrement la précision

maximum réalisable, comme nous l'avons montré il y a quelques années (1).

La solution adoptée pour éliminer cette difficulté majeure consiste à faire agir en parallèle deux voies de réglage :

une voie lente, à déphasage non minimum, transmettant la fréquence zéro avec un gain infini ;

une voie rapide, à déphasage minimum, ne transmettant pas du tout la fréquence zéro.

Nous voudrions ici attirer l'attention sur l'intérêt technologique de la solution adoptée, appliquée pour la première fois à une machine de cette importance ; elle consiste à placer à l'intérieur de la cloche à haute pression une chemise isolée, reliée à l'étage de puissance d'un amplificateur à courant alternatif.

Dans le domaine des fréquences élevées (pour cette machine), toute variation de potentiel de cette chemise est intégralement et instantanément transmise par capacité à l'électrode principale, et ceci à travers les deux écrans répartiteurs de potentiel qui séparent la chemise de l'électrode.

On dispose ainsi d'un moyen élégant et efficace d'agir sans délai sur le potentiel V, dans le domaine des fréquences pas trop basses.

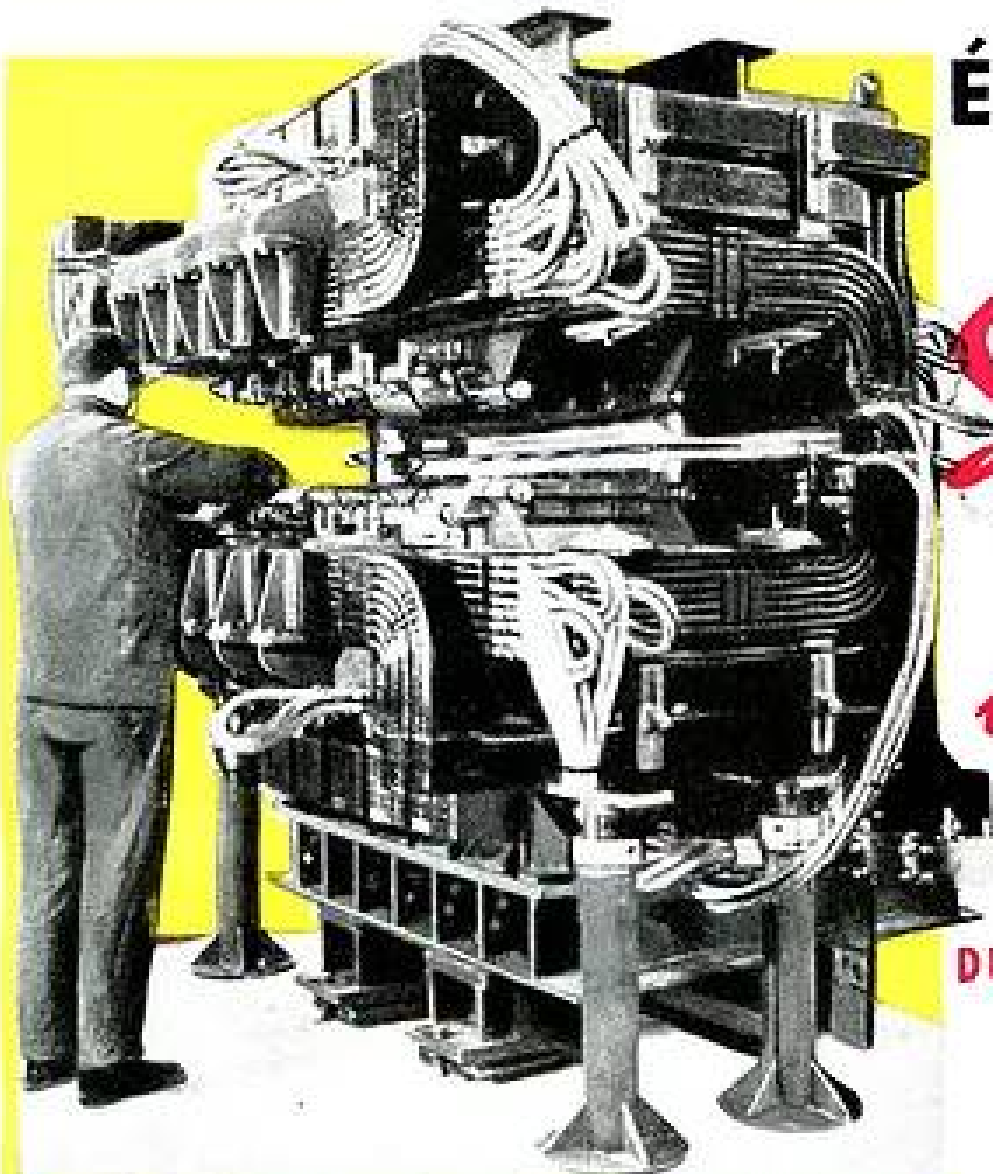
M. TAIEB a établi la théorie de la stabilité d'un tel servomécanisme comportant deux voies en parallèle ; M. GABET a réalisé les circuits. L'efficacité des méthodes de calcul ainsi développées, la qualité des circuits qui en furent déduits, semblent mises en évidence par le fait que ce régulateur, l'un des plus complexes que nous connaissions, après une assez longue étude du générateur Van de Graaff fonctionnant avec une chaîne de régulation lente provisoire, fut réglé et mis en route avec ses deux chaînes en une seule demi journée de travail, et fonctionne depuis près d'un an.

Une technique analogue de deux voies de réglage en parallèle, l'une lente, l'autre rapide, a aussi été employée avec succès dans le régulateur du courant de l'aimant.

En conclusion, nous voudrions dire qu'un générateur Van de Graaff est construit parce que l'on sait lui appliquer une régulation automatique de tension. Ceci ne signifie pas « une régulation simple ». L'étude de cet ensemble compliqué est très fructueuse. Elle montre la puissance d'action des régulateurs modernes, la sûreté de leurs méthodes de calcul, la sécurité de leur fonctionnement.

C'est en espérant que leur description intéressera non seulement les spécialistes de la physique nucléaire mais aussi les ingénieurs dont les problèmes de réglage automatique sont plus simples, que nous avons préparé la présente série d'exposés sur cette machine électrostatique et ses auxiliaires électroniques.

(1) « Note sur la précision maximum des servomécanismes parfaitement stables » par G. LEHMANN, *L'Onde Électrique*, n° 279, juin 1950.



Élément expérimental de 5 blocs
actuellement en service à SACLAY

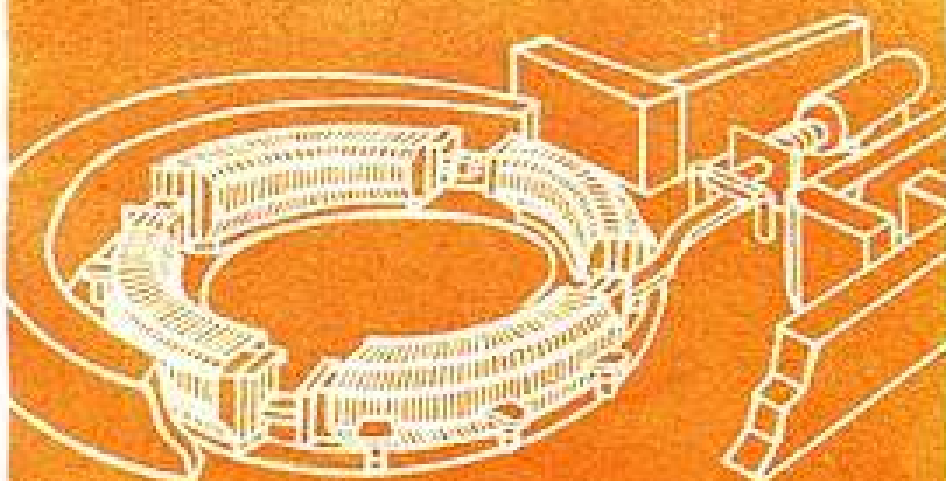
ÉLECTRO-AIMANT DU *Synchrotron à Protons*

de 1,75 GeV

DU CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES DE SACLAY



Bloc exposé à GENÈVE, l'électro-
aimant en comporte 288 identiques



ALSTHOM

OPTIQUE IONIQUE DU FAISCEAU DU VAN DE GRAEFF

PAR

H. BRUCK et G. GENDREAU

*Service des Accélérateurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

I. Schéma général.

Les particules à accélérer (protons) sont émises par une source HF (type THONEMANN) dont le débit maximum est de $300 \mu A$; elles sortent avec une énergie de 4 keV et sont ensuite focalisées par une lentille, puis entrent dans un tube accélérateur à champ constant où elles acquièrent une énergie égale au maximum à 5 MeV. En réalité, les particules circulant dans le tube ne sont pas uniquement constituées de protons ; il y a aussi des particules neutres (dues à l'échange de charge ions-atomes du gaz résiduel) et des ions H_2^+ et H_3^+ . Les ions sont filtrés par un secteur magnétique qui laisse passer H_1^+ ou H_2^+ ou H_3^+ ; de plus, il sépare les énergies. Cette propriété est doublement intéressante car elle permet de stabiliser la tension du Van de Graeff et d'obtenir un faisceau hautement résolu. Nous allons étudier en détail le comportement du faisceau à l'intérieur du Van de Graeff, puis choisir le monochromateur le mieux adapté à nos besoins, indiquer la technique de son utilisation et enfin le décrire.

II. Optique du faisceau dans le Van de Graeff.

Cette optique a été simplifiée au maximum puisqu'on sait agir à volonté sur la géométrie d'un faisceau de haute énergie à l'aide de lentilles à focalisation intense.

1. SOURCE.

La source primitivement utilisée fut une source Philips dont le rendement en protons était de l'ordre de 10 %, la majeure partie des particules émises étant des ions moléculaires H_2^+ ; aussi a-t-elle été remplacée avantageusement par une source HF de rendement 90 % en H_1^+ . Les ions émis sortent par un canal fin (diamètre 2 mm, longueur 21 mm) avec la tension d'extraction 4 kV (figure II-1).

On peut considérer que tout se passe comme si le trou de la source était un objet pour le système optique situé au-dessous, objet dont « l'étendue » (ou « admittance »), c'est-à-dire le produit de l'ouverture angulaire $2\alpha_0$ (figure II-2) par le diamètre d_0 est

$$\mathcal{G} = 2\alpha_0 \cdot d_0 = \frac{2}{21} \cdot 0,2 = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ rad} \cdot \text{cm}$$

(le système étant de révolution, on peut ne considérer que ce qui se passe dans un plan diamétral).

2. LENTILLE FOCALISATRICE.

Comme on le voit, l'ouverture angulaire de la source est très grande ($2\alpha_0 \sim \frac{1}{10}$ rad), aussi faut-il focaliser le faisceau si l'on ne veut pas que les ions frappent les parois du tube. La lentille est constituée, d'une part par la plaque de base de la source (au potentiel 0), d'autre part par une électrode identique à celles du tube (figure II-1), portée à un potentiel variable de 0 à -50 kV.

Cette lentille diminue fortement l'ouverture angulaire $2\alpha_0$ et le diamètre du faisceau est ≤ 6 mm après sa traversée (dans le plan du diaphragme visible sur la figure II-1). On peut calculer son étendue dans ce plan (figure II-3).

Le théorème de LIOUVILLE permet d'écrire, dans les coordonnées $\left(x, x' = \frac{dx}{dz}\right)$:

$$dx_1 dx'_1 = \frac{\sqrt{V_0}}{\sqrt{V_1}} dx_0 dx'_0$$

$$\iint_{x_1} dx_1 dx'_1 = \iint_{x_0} \sqrt{\frac{V_0}{V_1}} dx_0 dx'_0 = \sqrt{\frac{V_0}{V_1}} \iint_{x_0} dx_0 dx'_0$$

Dans un espace sans champ, il exprime que l'aire du diagramme de phase $\iint_s dx dx'$ se conserve.

Si l'on suppose que la surface de phase de la source est un rectangle de côtés parallèles aux axes et dont la valeur est d_0 et $2 \alpha_0$, on a alors

$$\iint_{s_0} dx_0 dx'_0 = 2 \alpha_0 d_0$$

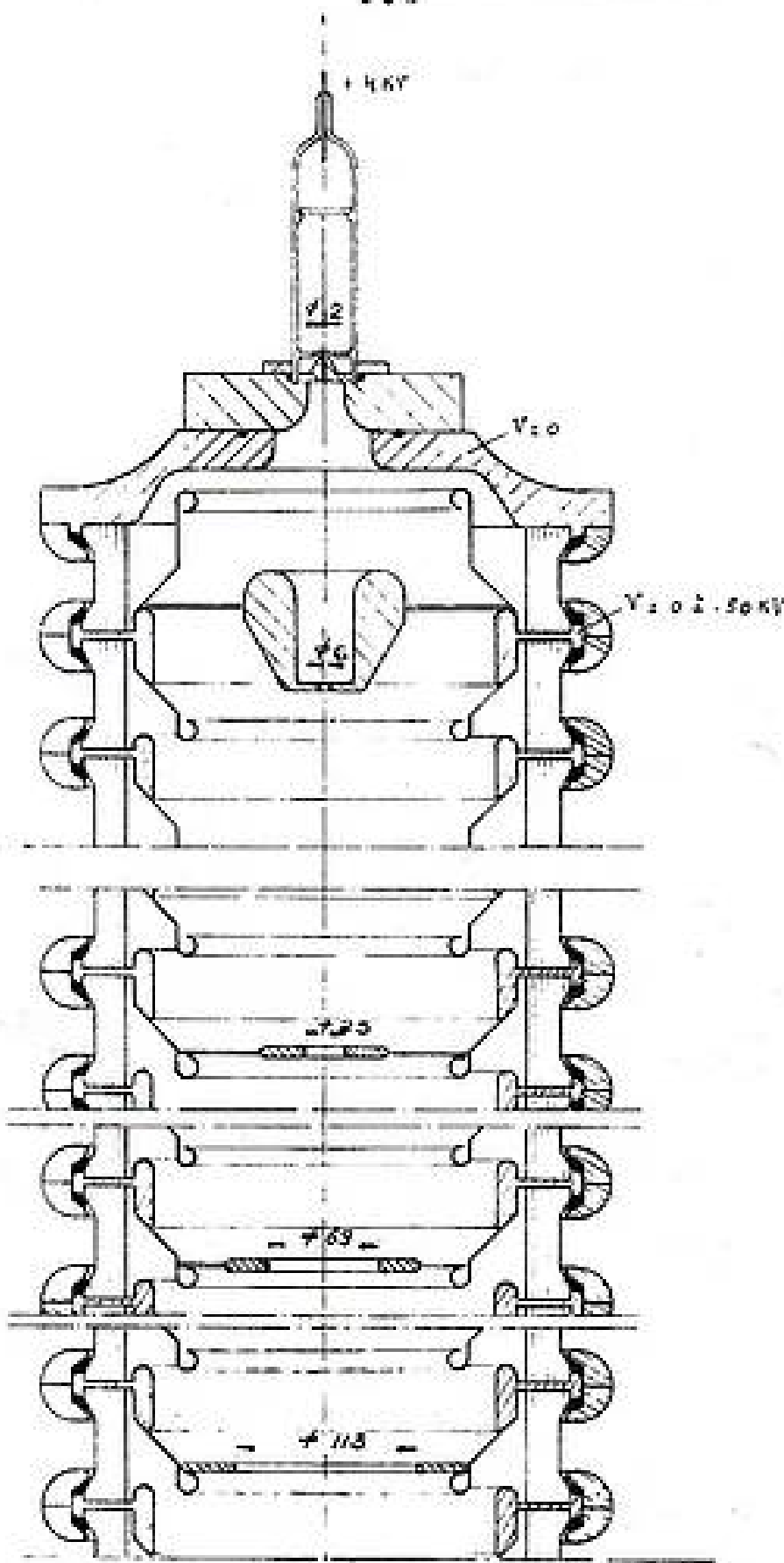


FIG. II-1

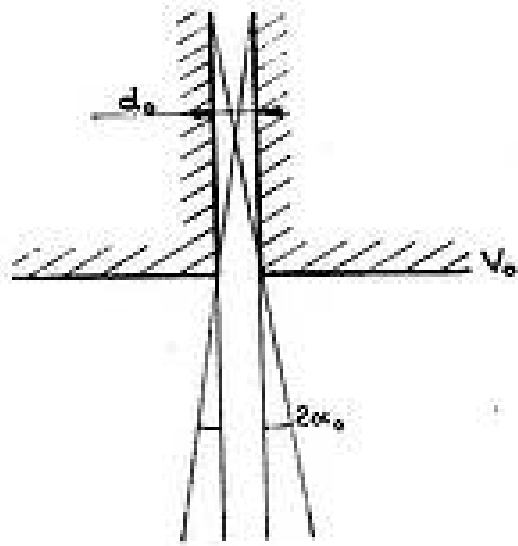


FIG. II-2

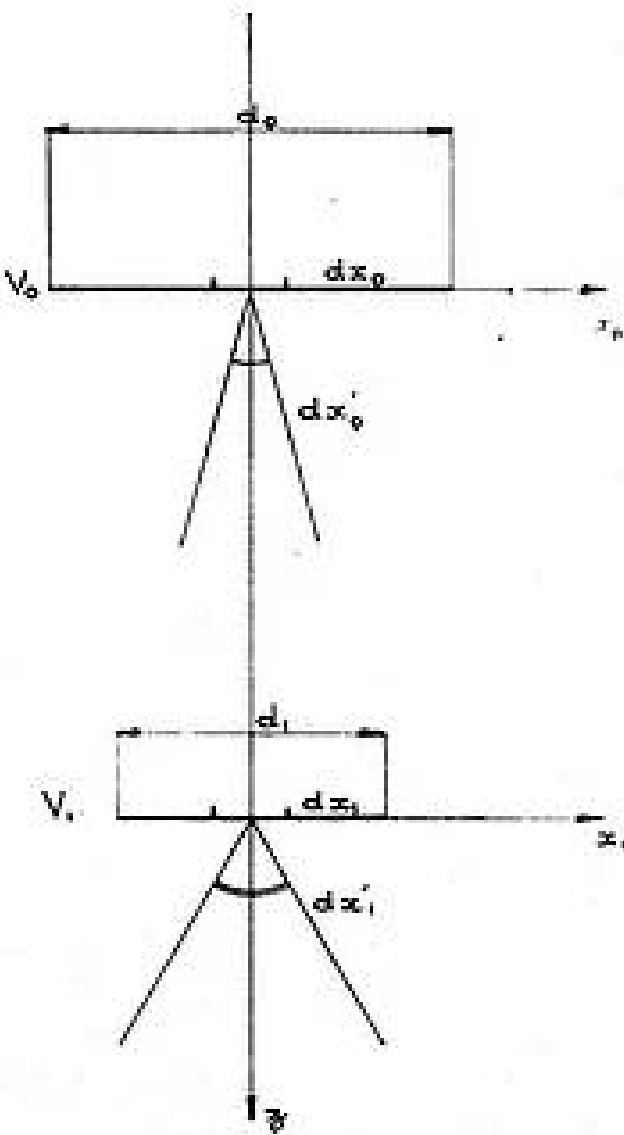


FIG. II-3

Supposons, de plus, que la surface de phase reste un rectangle dans la transformation imposée par la lentille, on a :

$$2 \alpha_0 d_0 \sqrt{V_0} = 2 \alpha_1 d_1 \sqrt{V_1}$$

ce qui est la relation de LAGRANGE-HELMOLTZ applicable à un objet et son image. On tire :

$$\begin{aligned} 2 \alpha_1 d_1 &= 2 \alpha_0 d_0 \sqrt{\frac{V_0}{V_1}} \\ &= 1,9 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{4}{54}} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \times \text{rad.} \end{aligned}$$

Avec $d_1 \sim 0,6 \text{ cm}$ on voit que l'ouverture s'est réduite d'un facteur 11, soit

$$2 \alpha_1 = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

3. TUBE ACCÉLÉRATEUR*.

Le faisceau pénètre ensuite dans un long tube de 4 m où règne un champ électrique constant qui

* Pour plus de détails sur le tube, voir : H. BRUCK et F. PAIVIER, rapport C. E. A , n° 189 (1953)

l'électronique

est au Service de
**L'ÉNERGIE
NUCLÉAIRE**



**TUBES
PHOTO-MULTIPLICATEURS**
pour comptage par
scintillations.



**UNITES DE
COMPTAGE**
avec tube EIT
- 30 KHz -
- 100 KHz -

TUBES A HAUTE SÉCURITÉ - PENTODES A GRANDE PENTE
COMPTEURS GEIGER-MULLER - ELECTROMETRES SUBMINIATURES
TRANSISTIONS A JONCTION - PHOTODIODES - DIODES AU GERMANIUM
TUBES A RAYONS CATHODIQUES POUR MESURES (SPOT FIN)

FERRITES MAGNETIQUES

FERROXCUBE

Circuits magnétiques pour chambre
d'accélération des particules. (cons-
tructions, caractéristiques s. demande)
Noyaux pour bobinages haute-fré-
quence de qualité (modèles standard)

FERROXDURE

Aimants de focalisation pour tubes à
onde progressive, tubes de mesure.
Aimants de polarisation (transforma-
teurs d'impulsions, relais).

LA RADIOTECHNIQUE

DIVISION TUBES ÉLECTRONIQUES

130, AVENUE LEDRU-ROLLIN - PARIS XI^e - TÉLÉPHONE : VOLtaire 23-09

accélère les particules. Ce champ est créé par des électrodes (figure II-1) régulièrement espacées, insérées entre des porcelaines.

Entre 2 électrodes consécutives existe une différence de potentiel variable de 0 à 100 kV ; il y a 50 électrodes, les particules acquièrent donc au maximum une énergie de $50 \times 100 \text{ keV} = 5 \text{ MeV}^*$. Au point de vue optique, ce tube est une lentille dans laquelle les ions ont une trajectoire parabolique.

En faisant la même hypothèse que dans le paragraphe précédent, on peut calculer l'étendue du faisceau émergent :

$$\begin{aligned} 2 \alpha_2 d_2 &= 2 \alpha_1 d_1 \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \\ &= 5,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{50}{5000}} = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \times \text{rad.} \end{aligned}$$

4. DIAPHRAGMES.

Comme il a été dit plus haut, le faisceau transporte aussi une quantité importante de particules neutres qui arrosent les électrodes ; on pallie facilement à cet inconvénient en interposant 2 diaphragmes. Le premier a été placé dans l'espace sans champ suivant la lentille 4-54 kV (diamètre 6 mm), le deuxième au milieu du tube (diamètre 25 mm). Ce dernier est en réalité décomposé en 3 éléments reposant sur 3 électrodes consécutives, ceci pour ne pas gêner le pompage de la moitié supérieure du tube.

5. CARACTÉRISTIQUES DU FAISCEAU ÉMERGENT.

L'examen du faisceau à l'aide d'un quartz placé environ à 1 mètre au-dessous de la plaque de base du Van de Graaff donne l'aspect suivant (figure II-4) : un cercle brillant ($\varnothing \sim 0,5 \text{ cm}$ à 1 cm selon la tension de focalisation), un cercle qui l'est beaucoup moins ($\varnothing \sim 3 \text{ cm}$). Le premier correspond aux trajectoires ioniques de GAUSS, le deuxième aux neutres, aux aberrations du système optique, et aux particules ayant subi des chocs**. Si l'on défléchit ensuite le faisceau, les neutres vont en ligne droite et on peut les observer sur un quartz (tache circulaire $\varnothing \sim 3 \text{ cm}$) tandis que les particules aberrantes sont observables en même temps que l'image de GAUSS des ions (figure II-5).

III. Possibilités théoriques et choix du type de monochromateur.

1. RÔLE ET RÉOLUTION UTILE.

Les particules élémentaires d'énergie élevée, hautement définie, permettent des investigations nucléaires expérimentales très précises. On y recourt

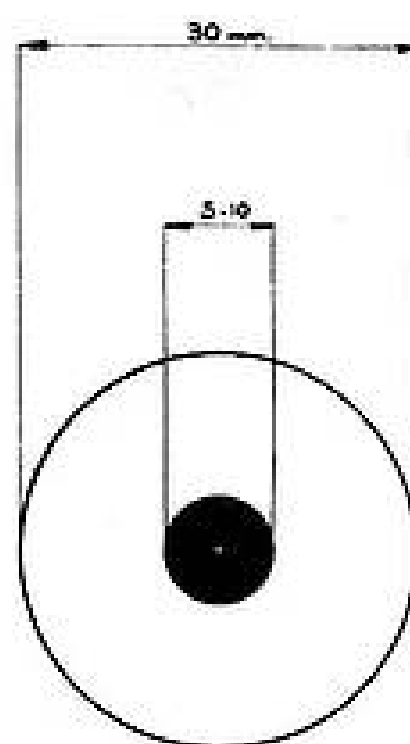


FIG. II-4



FIG. II-5

aussi bien pour des mesures absolues de l'énergie du seuil d'une réaction nucléaire que pour obtenir des courbes entières de répartition d'une réaction en fonction de l'énergie des particules à l'intérieur d'un domaine d'énergie restreint (mesures relatives : courbes de répartition d'une raie, résolution d'un multiplet de raies).

La réaction nucléaire a lieu entre les particules élémentaires incidentes et les atomes d'une cible qu'elles viennent frapper.

Il serait vain de vouloir pousser la définition de l'énergie incidente au-delà de l'incertitude sur sa valeur, provenant des vitesses propres d'agitation thermique des particules de la cible. Cette incertitude est assez importante. Soit $T_i = \frac{1}{2} m_i v_i^2$ l'énergie cinétique de la particule incidente. Par rapport au mouvement thermique d'un noyau de la cible (oscillations dans le réseau cristallin) de composante de vitesse v_c en direction de la particule incidente, l'énergie cinétique de la particule incidente est modifiée de

$$\frac{\delta T_i}{T_i} = 2 \frac{\delta v_i}{v_i} = 2 \frac{v_c}{v_i}$$

L'ordre de grandeur de la valeur moyenne de la vitesse d'agitation thermique v_c est donné par la relation :

$$\frac{1}{2} m_c v_c^2 = \frac{1}{2} k \theta_c$$

où $k = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/deg.}$

θ_c = température absolue de la cible.

* Des essais assez récents ont montré qu'on pouvait atteindre 5,6 MeV.

** (gas-scattering).

D'où

$$\frac{\delta T_i}{T_i} \sim \sqrt{2 \frac{m_i}{m_e} \frac{k\theta_e}{T_i}} \quad \text{III-01}$$

Exemple numérique :

$$\text{Soit } \theta_e = 300^\circ \text{ K ; } k\theta_e = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ eV}$$

$$T_i = 4 \cdot 10^4 \text{ eV}$$

$$m_i = 2 \text{ (deuteron)}$$

$$m_e = 7 \text{ (lithium)}$$

On obtient

$$\frac{\delta T_i}{T_i} \sim 6 \cdot 10^{-4} \quad ; \quad \delta T_i \sim 2,4 \text{ eV}$$

Un monochromateur à ions a la propriété de ne laisser passer, aux dépens de l'intensité, qu'une bande d'énergie étroite, bien définie. En même temps, il fournit un signal d'entrée pour la régulation du potentiel de vitesse du faisceau ionique incident et la stabilisation de ce potentiel à la valeur pour laquelle le monochromateur est réglé.

La régulation seule ne peut pas garantir en toute rigueur le maintien constant d'une valeur déterminée de l'énergie d'un faisceau de Van de Graaff qui peut toujours subir des variations accidentelles incontrôlables.

Un monochromateur peut sélectionner dans un faisceau une certaine bande d'énergie avec toute rigueur voulue. La régulation simultanée de la haute tension a essentiellement pour but de fournir dans cette bande d'énergie sélectionnée un taux de particules aussi élevé que possible.

2. SUR LES DIFFÉRENTS TYPES.

Les monochromateurs d'ions à prisme déflecteur sont préférables aux monochromateurs basés sur le principe du temps de vol, dont le pouvoir de résolution n'est que de l'ordre de 1 %.

D'autre part, il existe aussi un choix embarrassant de types de monochromateurs : prismes électrostatiques ou magnétiques, à indice de champ quelconque et à gradient de champ azimuthalement constant ou alterné. A l'intérieur de chaque type, on dispose encore, dans certaines limites, du libre choix du rayon de courbure et de l'angle de déflexion. Le choix dépend dans une certaine mesure de l'utilisation envisagée. Dans le cas présent, l'accent fut mis sur une grande luminosité et résolution en mesure relative.

Les prismes électrostatiques sont plus délicats que les prismes magnétiques à cause de la fragilité de leur tenue à la haute tension, de courants parasites possibles entre les plaques, et de la plus grande difficulté à stabiliser une haute tension qu'un courant d'aimant. Antérieurement à la généralisation de la résonance magnétique comme méthode de mesure

du champ magnétique, le prisme électrostatique présentait, pour les mesures absolues d'énergie, l'avantage de permettre avec plus de précision la mesure du champ. Il s'y ajoute l'intérêt d'une meilleure définition du champ de fuite azimuthal.

Un prisme électrostatique pour mesure absolue à 1/1 000 près fut réalisé par R.J. HERR à l'Université de Wisconsin et par S.E. HUNT et CHICK à Aldermaston (Angleterre) ; un autre, par R. BARJON est en voie d'achèvement à l'Ecole Polytechnique à Paris.

Il semble cependant possible d'obtenir des résultats encore meilleurs à l'aide d'un champ magnétique. En ayant recours à la technique de mesure par résonance nucléaire et à des méthodes très simples de réajustement du champ par déformation des pièces polaires, H.H. STAUS réalise actuellement à Zurich un secteur magnétique de 180°, les fentes d'entrée et de sortie se trouvant encore dans le champ, dont la définition approche le 1/10 000.

Aussi cet article traite-t-il plus spécialement des prismes magnétiques.

3. RÉSOLUTION ET RÉGLAGE OPTIMUM.

Des considérations théoriques sur le monochromateur, qui justifient en particulier le choix dans le cas présent, ont été déjà développées en détail antérieurement (*). Nous en rappelons ici succinctement les grandes lignes.

En particulier, nous traiterons l'optique et la dispersion du monochromateur comme un problème plan. Ceci est légitime, à cause de la très faible ouverture angulaire des faisceaux de haute énergie.

Fréquemment, on utilise comme monochromateur un secteur magnétique de 90° à champ uniforme, suivi d'une fente de sortie (figure III-1). Un tel

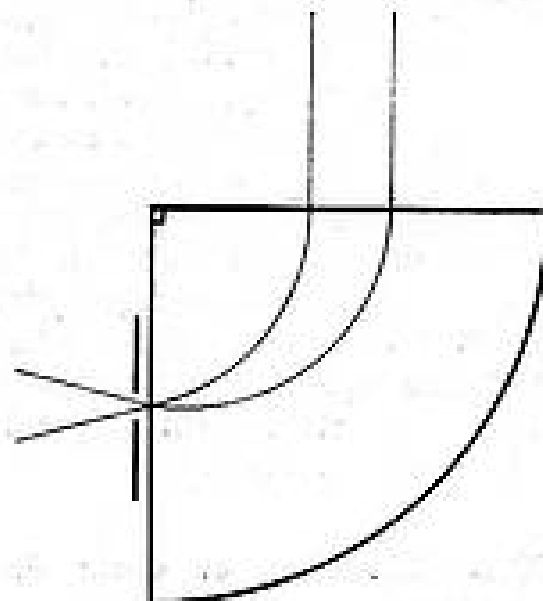


FIG. III-1

ensemble permet des résolutions

$$R = V / \Delta V \sim 1\,000.$$

* H. BRUCK, *J. Phys. Radium*, 1953, 14, p. 251 Réf. (1).

Note CEA n° 39 (décembre 1953)

Réf. (2).

LES GRANDES MARQUES

Américaines

BOONTON RADIO CORP.

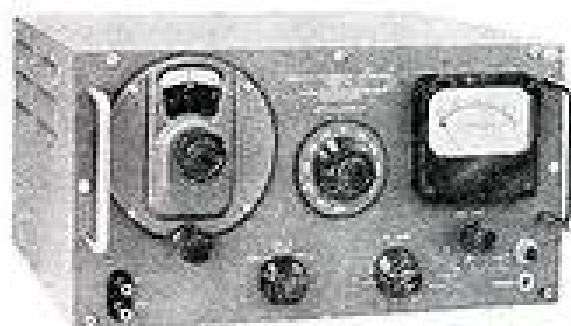
G-MÈTRE 192-A



Pour mesures de :
Valeurs de conductance d'isolants à très faible perte;
Q faible capacité à haut isolement;
Capacité de produits isolants et condensateurs;
Résistance HF de résistances de grande valeur;
Impédance dynamique de circuits résonants.

SIERRA ELECTRONIC CORP.

VOLTMÈTRES SÉLECTIFS



Modèles 101 A - 103 A - 104 - 103 A

Couvrant les fréquences de 3 à 300 kc/s -
Niveau de -80 ± 42 dB - Sélectivité de
3 dB de ± 300 à 750 c/s - Contrôle des tensions dans les équipements à courant porteur.

Mc JONES ELECTRONICS C°

MICROMATCH série 720



Mesureur de faible puissance à lecture directe pour émetteurs ou oscillateurs de fréquence fixe - Puissance mesurable 4 watts maximum - Fréquence de 1 à 1000 Mc/s - Taux d'ondes stationnaire environ 1:1 - Précision absolue $\pm 10\%$ sur toute l'échelle.

RADIO CORP. OF AMERICA

PHOTOMULTIPLICATEURS



Modèles : 1P21 - 1P22 - 1P28 - 931 -
5819 - 6199 - 6328 - 6342.

Sensibilité maximum : entre 3400 et 4800 Angstroms.

Amplification : de 4×10^5 à 2×10^6 .

DISTRIBUTEURS OFFICIELS FRANCE ET U.F.

RADIO-ÉQUIPEMENTS

65, r. de Richelieu
PARIS 2°
RIC. 49-88

Pour obtenir des résolutions plus élevées, il faut constituer le monochromateur d'une manière plus complète (figure III-2) par un collimateur, une fente d'entrée, le prisme dispersif et focalisateur, et la fente de sortie. Un tel dispositif permet de régler les largeurs d_e et d_s des fentes d'entrée et de sortie, ainsi que l'ouverture angulaire admise.

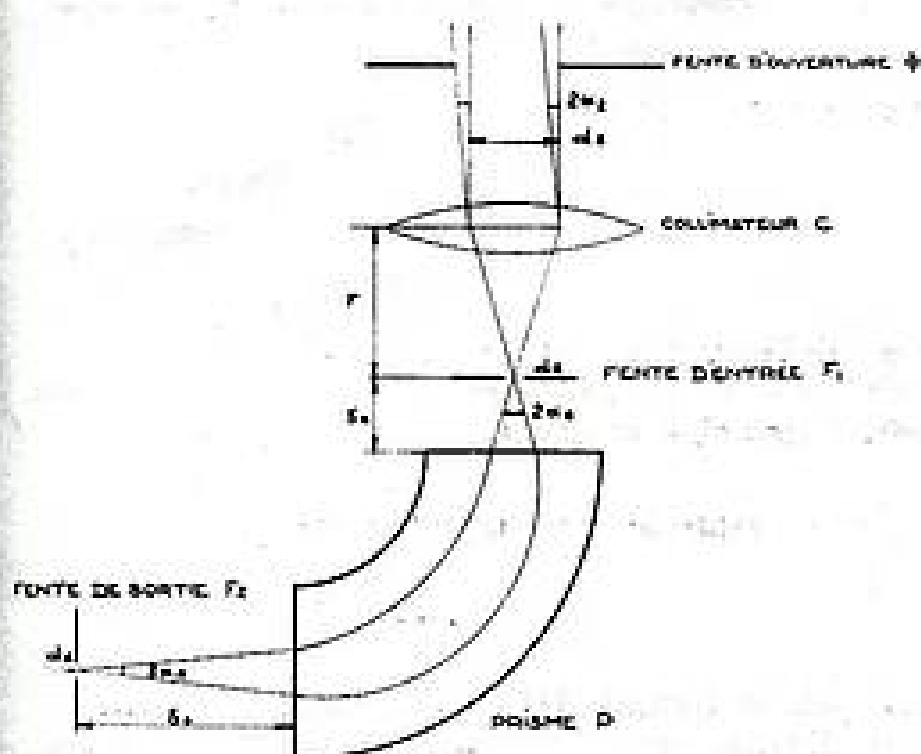


FIG. III-2

Les particules incidentes, ayant l'énergie pour laquelle le monochromateur est réglé, forment à l'endroit de la fente de sortie l'image de la fente d'entrée. Si le monochromateur n'est pas corrigé, cette image sera entachée d'une aberration de coma dont la largeur δ , rapportée au plan objet, sera

$$\delta = C \alpha_e^2 \quad \text{III-02}$$

Soit d_e la largeur de la fente d'entrée. La largeur de l'image monochromatique sera alors approximativement

$$d = G (d_e + C \alpha_e^2) \quad \text{III-03}$$

G étant la valeur absolue du grandissement. On donne avantageusement à la fente de sortie la largeur

$$d_s = d \quad \text{III-03'}$$

de l'image monochromatique.

La dispersion D en énergie du monochromateur est définie par le déplacement dx de l'image (dans le plan de la fente de sortie), rapporté à une variation relative $\Delta V/V$ de l'énergie :

$$D = V \frac{dx}{dV} \quad \text{III-04}$$

La résolution

$$R = \frac{V}{\Delta V} \quad \text{III-05}$$

du monochromateur est l'inverse de la variation d'énergie $\frac{\Delta V}{V}$ pour laquelle l'image monochromatique se déplace de sa propre largeur. C'est-à-dire, en posant dans (III-04) $dx = d$ d'après (III-03), on obtient ainsi

$$R = \frac{D}{G (d + C \alpha_e^2)} \quad \text{III-06}$$

La résolution du monochromateur dépend donc de la somme $d = d_e + C \alpha_e^2$. La luminosité du monochromateur est caractérisée par l'étendue

$$\mathcal{E} = d_e \cdot 2 \alpha_e \quad \text{III-07}$$

que le monochromateur peut accepter.

Un monochromateur est donc réglé à la luminosité maximum pour une résolution donnée, si l'on dispose de la liberté de choix entre d_e et α_e pour une somme $d = d_e + C \alpha_e^2$ donnée, de sorte que le produit $d_e \cdot 2 \alpha_e$ soit rendu maximum. On a dans ce cas

$$C \alpha_e^2 = \frac{d_e}{2} \quad \text{III-08}$$

A l'aide de (III-03', 6 et 8) on peut maintenant exprimer les paramètres de réglage optimum, c'est-à-dire les largeurs de fentes d_e et d_s , ainsi que l'ouverture angulaire $2 \alpha_e$ correspondante, en fonction des caractéristiques optiques du monochromateur et de la résolution désirée.

I. Un monochromateur est caractérisé par sa dispersion D , son grandissement G et sa constante d'aberration C . Pour obtenir alors une résolution R avec le maximum de luminosité, il faut régler les fentes d_e et d_s , ainsi que l'ouverture angulaire $2 \alpha_e$ de manière que :

$$d_e = \frac{2}{3} \frac{D}{G} \frac{1}{R} \quad \text{III-09}$$

$$d_s = \frac{3}{2} d_e G \quad \text{III-10}$$

$$2 \alpha_e = 2 \sqrt{\frac{d_e}{2C}} \quad \text{III-11}$$

1. RÉSOLUTION ET INTENSITÉ SUR CIBLE.

Dans les conditions de réglage optimum, on peut encore exprimer la résolution en fonction de l'étendue $\mathcal{E}$ acceptée et des grandeurs D , G , et C , caractérisant le monochromateur.

Portant (III-07) et III-08) dans (III-06), on obtient

$$R = \frac{4^{\frac{1}{2}}}{3} \mathcal{E}^{-\frac{1}{2}} \Gamma \quad \text{III-12}$$

avec

$$\Gamma = \frac{D}{G \sqrt{C}} \quad \text{III-13}$$

Le type de monochromateur le plus courant qui est aussi celui utilisé pour le Van de Graaff de Saclay est à secteur magnétique à champ uniforme dont les faces d'entrée et de sortie sont perpendiculaires (ou presque) au faisceau.

Pour un tel monochromateur, si r est le rayon de courbure du faisceau, on a

$$D = \frac{r}{2} (1 + G) \quad \text{III-14}$$

$$C = \frac{r}{2} \left(1 + \frac{1}{G^2}\right) \quad \text{III-15}$$

$$\Gamma = \frac{1}{2} \frac{1 + G}{\sqrt{\frac{1}{2} (1 + G^2)}} r^{\frac{1}{2}} \quad \text{III-13'}$$

L'équation III-12 nous donne la luminosité $\mathcal{E}$ compatible avec une certaine résolution R pour un monochromateur donné, caractérisé par Γ . Ceci nous permet de calculer l'intensité i_c que l'on peut obtenir à la sortie du monochromateur, sur la cible, à partir d'un faisceau incident d'intensité i_0 et dont la bande d'énergie avant filtrage par le monochromateur est de largeur ΔV_0 .

Le monochromateur, en effet, affaiblit l'intensité i_0 incidente, en découpant dans l'étendue primitive $\mathcal{E}_0$ l'étendue $\mathcal{E}$, et dans la bande d'énergie primitive ΔV_0 la bande d'énergie ΔV . Donc,

$$i_c = i_0 \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_0} \frac{\Delta V}{\Delta V_0} \quad \text{III-16}$$

ou, avec III-12 et III-05

$$i_c = \frac{4^{\frac{1}{2}}}{3^{\frac{1}{2}}} \frac{i_0}{\mathcal{E}_0} \frac{V}{\Delta V_0} \Gamma^{\frac{2}{3}} R^{-\frac{2}{3}} \quad \text{III-17}$$

En particulier pour le secteur magnétique à champ uniforme et incidence perpendiculaire aux faces

d'entrée, on obtient avec III-13' :

$$i_c = 0,395 \frac{i_0}{\mathcal{E}_0} \frac{V}{\Delta V_0} R^{-\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{(1+G)^2}{1+G^2}} r \quad \text{III-17'}$$

Pour exemple numérique, nous choisissons les caractéristiques réelles du monochromateur de Saclay et des paramètres de faisceau aisément réalisables.

Faisceau incident	$\frac{V}{\Delta V_0} = 1\,000$
	$i_0 = 10\,\mu\text{A}$
	$\mathcal{E}_0 = 5 \cdot 10^{-4}\,\text{cm radian}$
Monochromateur	$r = 60\,\text{cm}$
Champ magnétique uniforme faces d'entrée et de sortie perpendiculaires au faisceau.	$G = 3$

Nous exigeons une résolution de

$$R = 10\,000$$

(D'après la formule III-01 et l'exemple numérique qui illustre, une résolution double peut encore présenter un intérêt).

Pour obtenir $R = 10\,000$ avec un maximum d'intensité, il faut régler les fentes du diaphragme d'ouverture du monochromateur d'après III-09 à III-11, compte tenu de III-14 et III-15. On obtient :

fente d'entrée	$d_e = 2,7/100\,\text{mm}$
fente de sortie	$d_s = 1,2/10\,\text{mm}$

ouverture angulaire à l'entrée : $2\alpha_e = 1,3 \cdot 10^{-2}\,\text{radian}$

A partir de III-17', on trouve pour l'intensité sur cible :

$$i_c = 0,07\,\mu\text{A}$$

correspondant à un affaiblissement du faisceau primitif de 7/1 000.

5. CHOIX DE TYPE.

Nous voulons nous limiter à résumer rapidement les points de vue.

La valeur de la constante d'aberration ne départage par les différents types de prismes, car la constante d'aberration de coma, pour tout type de prisme (électrostatique ou magnétique ; tout indice), s'avère toujours du même ordre $C \sim r$. On peut cependant la prévoir plus importante dans le cas du prisme composé à gradient alterné à cause de la multiplication des champs de fuite.

On peut aussi envisager une correction de l'aberration pour tout type de prisme *.

* Pour la généralisation de la théorie en cas de correction des aberrations, nous renvoyons à la référence (1) page 1012.



APPAREILS DE MESURE ET DE *Contrôle* POUR TOUTES RADIATIONS

INSTRUMENTS FOR THE MEASURING AND
TESTING OF ALL TYPES OF RADIATION

GAMMASCOPE NUMÉRIQUE TYPE 60. C.

Source émissive 3 millicurie de Cobalt 60
Lecture sur voltimètre quantifié.
Précision : 4 chiffres significatifs.

Toutes applications aux mesures et aux contrôles de densités,
de volumes, dans tous les cas où la mesure doit être faite sans
perturber le milieu.



NUMERICAL GAMMASCOPE MODEL 60-C

Emissive source :
3 millicuries of Cobalt 60
Quantified voltmeter rea-
ding
Accuracy : 4 significant
figures

For all density and volume
measurements and checks
and whenever measure-
ments must be carried out
without disturbing the
medium.

GAMMASCOPE NUMÉRIQUE NUMERICAL GAMMASCOPE



CHAMBRE D'IONISATION PORTATIVE PORTABLE IONIZATION CHAMBERS

"Babylog"

CHAMBRE D'IONISATION PORTATIVE. *"Babylog"* TYPE B ET γ LICENCE C.E.A.

Appareil destiné à la protection du personnel
Volume de la chambre d'ionisation : 200 cm³
Courants d'ionisation mesurés : 10⁻¹¹ à 10⁻¹⁴ amp.
Graduation unique de l'appareil de lecture couvrant la gamme 0,01 à 10 R/8 h
Alimentation sur pile Autonomie / 250 heures

PORTABLE IONIZATION CHAMBERS MODELS B AND γ C.E.A. PATENT

Safety equipment for personnel
Volume of Ionization Chamber : 200 cm³
Measurable Ionization currents : 10⁻¹¹ to 10⁻¹⁴ A.
Single scale Reading, range : 0,01 to 10 R/8 h
Dry battery operation operating capacity : 250 hours



LABORATOIRES DERVEAUX

6, rue Jules-Simon, BOULOGNE-SUR-SEINE — Tél. : MOL. 37-00

On remarque, en outre, que les propriétés de dispersion et d'ouverture angulaire ne permettent pas non plus de départager les prismes ioniques. On démontre. En effet, que le prix de revient, pour réaliser un prisme ionique d'une dispersion D et d'une ouverture angulaire $2\alpha_e$ données, est sensiblement le même, à valeur de champ égale, quel que soit le type de prisme. Ceci découle du fait qu'à luminosité et dispersion égales, la surface polaire Σ , nécessaire pour couvrir le faisceau (figure III-3), est toujours la même, quel que soit le type de prisme. On démontre que*

$$\Sigma = 2r \cdot D \cdot 2\alpha_e \quad \text{III-18}$$

Par contre, on se rend aisément compte qu'à dispersion et luminosité égales, le prisme à rayon plus grand est plus économique. La largeur des fentes dont la faible valeur pose des problèmes de réalisation augmente aussi comme le rayon.

En ce qui concerne le choix du prisme, on est ainsi amené finalement à envisager des configurations simples, faciles à usiner (champ uniforme ou à indice $n = \frac{1}{2}$) et à rayon aussi grand que les considérations d'encombrement le permettent.

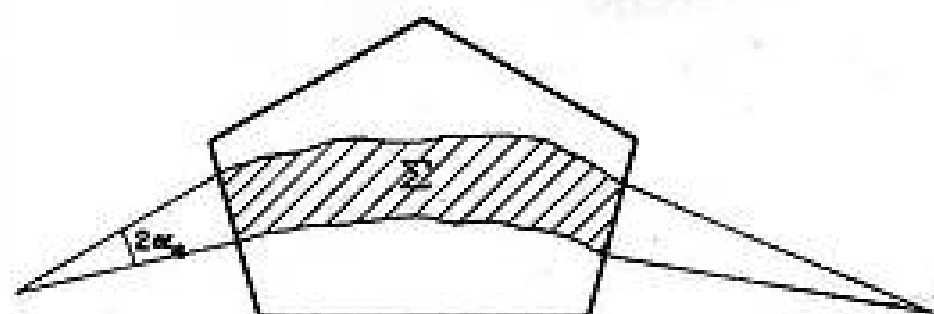


FIG. III-3

IV. Le monochromateur de Saclay.

Il comporte les organes énoncés dans le paragraphe III-3 et il est représenté sur la figure III-2.

Le collimateur C doit focaliser dans le plan de la figure et il est intéressant de conserver un faisceau parallèle dans le plan perpendiculaire (le secteur magnétique n'a aucune action sur le faisceau dans ce plan, sauf celle du champ de fuite qui est faible) ; 2 lentilles à focalisation intense croisées satisfont cette propriété. Dans le paragraphe III, nous avons vu que la résolution du système est fonction de l'angle $2\alpha_e$ (III-12) ; si l'on désire la faire varier, il est nécessaire de pouvoir ajuster la distance focale du collimateur car :

$$d_s = 2\alpha_e F \quad \text{IV-01}$$

F : distance focale du collimateur.

Par ailleurs, F est une fonction de l'énergie des particules incidentes (variable de 0 à 5 MeV).

L'ensemble (F, P, F_s) étant fixe, C sera mobile.

Cette condition impose le choix de lentilles magnétiques plutôt que celui de lentilles électrostatiques, le mouvement de celles-ci sous vide étant assez difficile à réaliser. Le choix d'un analyseur de vitesses magnétique a l'avantage, outre ceux énoncés précédemment, d'éliminer les masses indésirables (H_2^+ , H_3^+)

Nous allons maintenant étudier la marche du faisceau à travers le système optique (à l'approximation de Gauss).

1. COLLIMATEUR*.

a) Etude théorique :

Il est constitué par 2 lentilles à 4 pôles hyperboliques (figures IV-1) croisées.

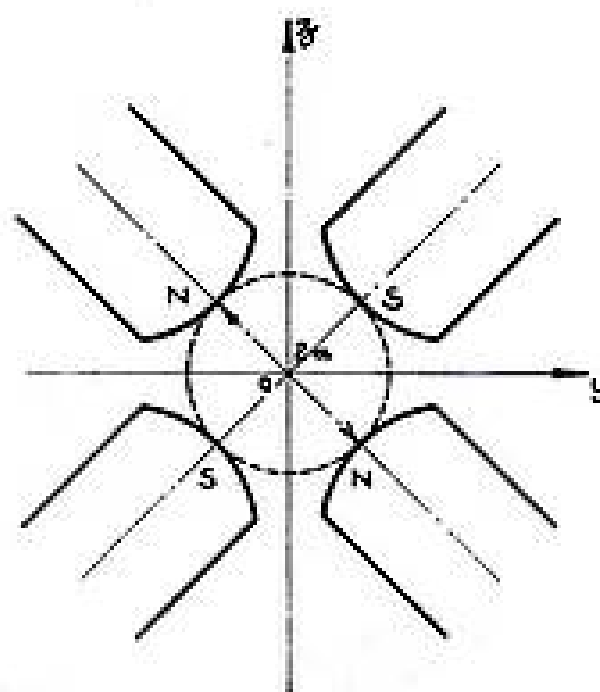


FIG. IV-1

Le champ dans ces lentilles est tel que

$$\frac{\partial B_y}{\partial z} = \frac{\partial B_z}{\partial y} = C^e = k \quad \text{IV-02}$$

Le mouvement des particules dans les plans xoy et xoz obéit aux équations (pour la première lentille par exemple) :

$$\frac{d^2y}{dx^2} + K_1 y = 0 \quad \text{IV-03}$$

$$\frac{d^2z}{dx^2} - K_1 z = 0 \quad \text{IV-04}$$

$$\text{avec } K_1 = \frac{1}{Br} \left(\frac{\partial B_y}{\partial z} \right)_1 = \frac{k_1}{Br} \quad \text{IV-05}$$

$$\text{et } Br = \sqrt{2 \frac{m}{e}} V \quad \text{IV-06}$$

(eV : énergie des particules).

* cf réf. (2) page 1012 ; une formule analogue est valable pour le champ électrique.

* cf E.D. COURANT, S. LIVINGSTON, H.S. SNEYDER : *Phys. Rev.*, 1952, 88, 1190.
Note CEA, n° 29.

Les équations IV-03 et 04 montrent que la première lentille est convergente dans le plan xoy et divergente dans le plan xoz ; la deuxième sera donc divergente dans le xoy et convergente dans le xoz .

Il est facile de montrer que foyer et plan principal objet sont les symétriques par rapport aux centre de la lentille des foyer et plan principal image (ceci dans les deux plans).

Les distances focales et positions des plans principaux images (pour la première lentille) sont données par :

$$(xoy) \quad \begin{cases} f_1 = \frac{1}{\sqrt{K_1} \sin \sqrt{K_1} l} \\ x_{P_1} = -\frac{1 - \cos \sqrt{K_1} l}{\sqrt{K_1} \sin \sqrt{K_1} l} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{IV-07} \\ \text{IV-08} \end{matrix}$$

(position du plan principal par rapport à la face de sortie)

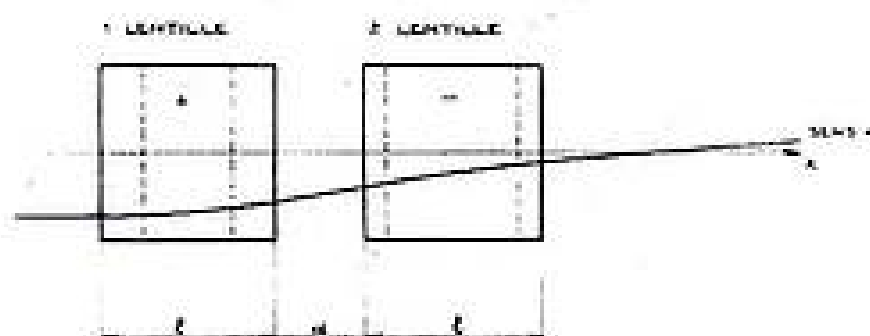


FIG. IV-2

$$(xoz) \quad \begin{cases} f_2 = -\frac{1}{\sqrt{K_1} \operatorname{sh} \sqrt{K_1} l} \\ x_{P_2} = \frac{1 - \operatorname{ch} \sqrt{K_1} l}{\sqrt{K_1} \operatorname{sh} \sqrt{K_1} l} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{IV-09} \\ \text{IV-10} \end{matrix}$$

(position du plan principal par rapport à la face de sortie)

l étant la longueur commune des 2 lentilles.

En appliquant la loi de composition des lentilles épaisses (ou en calculant la matrice de transfert du système), on trouve facilement les 2 distances focales F_1 et F_2 dans les plans xoy et xoz :

$$\frac{1}{F_1} = \sqrt{K_1} \sin \sqrt{K_1} l \operatorname{ch} \sqrt{K_2} l - \sqrt{K_2} \operatorname{sh} \sqrt{K_2} l \cos \sqrt{K_1} l + d \sqrt{K_1 K_2} \sin \sqrt{K_1} l \operatorname{sh} \sqrt{K_2} l \quad \text{IV-11}$$

$$\frac{1}{F_2} = -\sqrt{K_1} \operatorname{sh} \sqrt{K_1} l \cos \sqrt{K_2} l + \sqrt{K_2} \sin \sqrt{K_2} l \operatorname{ch} \sqrt{K_1} l + d \sqrt{K_1 K_2} \operatorname{sh} \sqrt{K_1} l \sin \sqrt{K_2} l \quad \text{IV-12}$$

d étant la distance séparant les 2 lentilles.

Mais $\sqrt{K} l$ reste assez petit pour qu'on puisse faire

l'approximation du premier ordre (en particulier : $f_1 = \frac{1}{K_1 l}$; $f_2 = -\frac{1}{K_1 l}$) c'est-à-dire qu'on remplace les lentilles épaisses par des lentilles minces.

F_1 et F_2 sont pratiquement imposés :

$$\begin{cases} F_1 = \infty \\ F_2 = F \text{ donné } (20 < F < 50 \text{ cm}) \end{cases} \quad \text{IV-13}$$

Les équations IV-11, 12 et 13 permettent de déterminer K_1 et K_2 , c'est-à-dire k_1 et k_2 connaissant l'énergie des particules et F .

On obtient aisément les dimensions de l'image dans les deux plans

$$d_{xoz} = d_e = 2 \alpha_e F \quad (\text{figure III-2}) \quad \text{IV-14}$$

$$d_{xoy} = \frac{\frac{1}{K_2 l}}{\frac{1}{K_1 l}} d_1 = \frac{K_1}{K_2} d_1 = \frac{k_1}{k_2} d_1 \quad \text{IV-15}$$

Le tableau I donne les valeurs numériques de k_1 , k_2 pour des protons et deutons de 1-5 MeV avec $F = 20-30-40$ cm, ainsi que d_{xoy} et d_{xoz} dans les conditions suivantes

$$\begin{aligned} l &= 12,5 \text{ cm} \\ d &= 14 \text{ cm} \\ d_2 &= 1 \text{ cm} \end{aligned} \quad \text{IV-16}$$

TABLEAU I

E_{MeV}	$F_2 \text{ cm}$	H_1^+		H_2^+	
		k_1	k_2	k_1	k_2
1	20	240	529	338	745
	30	210	400	296	564
	40	190	334	267	470
2	20	339	749	473	1 047
	30	297	566	416	792
	40	268	473	375	662
3	20	411	908	582	1 284
	30	361	687	510	973
	40	326	574	460	811
4	20	476	1 050	675	1 484
	30	417	795	590	1 120
	40	376	664	532	937
5	20	535	1 175	752	1 660
	30	467	888	660	1 256
	40	421	742	595	1 050

$F_2 \text{ cm}$	$d_{xoy} \text{ cm}$	$d_{xoz} \text{ cm}$
20	0,453	$5 \cdot 10^{-3}$
30	0,525	$7,5 \cdot 10^{-3}$
40	0,567	10^{-2}



*Oscilloscopes
Amplificateurs*

TECHNIQUE MILLIMICROSECONDE

*Générateurs
Compteurs*

- Synchrosopes et oscillographes à balayage ultra-rapide
- Synchrosopes portatifs
- Amplificateurs distribués
- 200 Mc/s et 400 Mc/s
- Générateurs SHF pulsés
- Circuits de comptage ultra-rapide
- Étalon de temps ● Retardateurs

Soumettez vos problèmes à nos services techniques...

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES NOUVELLES TECHNIQUES RADIOELECTRIQUES

26, RUE MALAKOFF - ASNIÈRES
SEINE - TÉLÉPHONE : GRÉSILLONS 69-80

Remarque : D'après les mesures magnétiques faites par MM. BERNARD et SARAZIN, la longueur effective d'un quadrupôle l_{eff} est :

$$l_{eff} \approx l_{geom} + \pi \tag{IV-17}$$

en appelant $2a$ la distance entre 2 pôles de même nom, soit dans notre cas : $2a = 4$ cm.

Dans le tableau précédent, la correction due au champ de fuite n'a pas été faite car l'erreur commise $\frac{\Delta l}{l} = 13 \%$ est de l'ordre de grandeur de celle faite en utilisant l'approximation linéaire.

b) Réalisation (figure IV-3)

On a choisi :

- $2a = 4$ cm
- $l = 12,5$ cm
- $d = 14$ cm

largeur des pièces polaires = 5 cm

Section culasse	= section des pièces polaires (62,5 cm²) ;
Flux total	= 160 000 maxwells ;
Ampères-tours	= 9 000 At
Section d'une bobine	= 60 cm² ;
Intensité maximum	= 10 A ;
Tension d'alimentation	= 18 V ;
Pertes Joule	= 180 W ;
Débit de l'eau de refroidissement	= 10 cm³/s ;
Poids d'une lentille	= 106 kg.

Le refroidissement se compose d'un manchon en cuivre (épaisseur 2 mm), sur lequel le fil de la bobine est enroulé, refroidi par circulation d'eau dans des spires jointives.

2. SECTEUR MAGNÉTIQUE.

Ses caractéristiques optiques sont :

- $\varnothing = 90^\circ$
- $r = 60$ cm

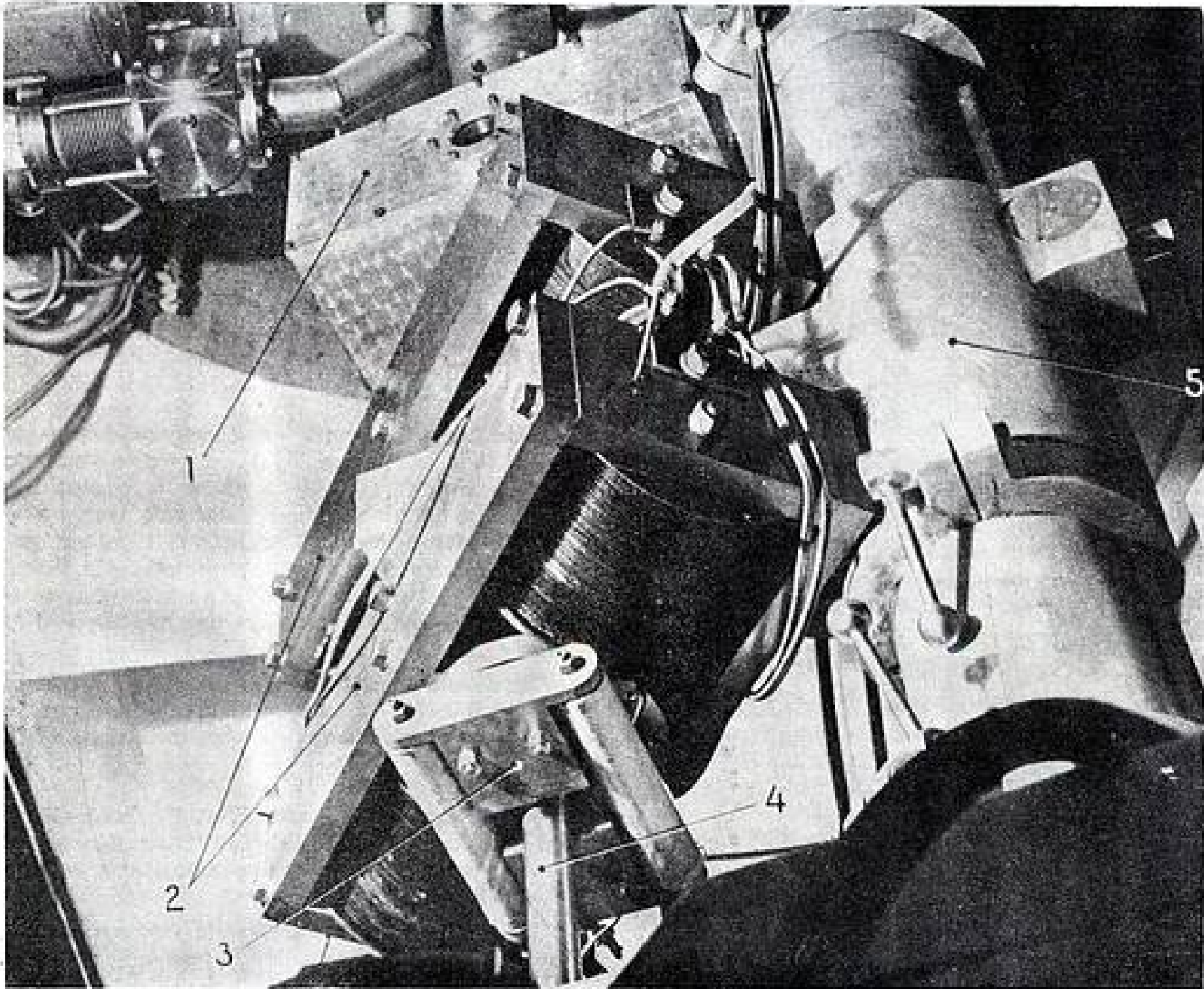


FIG. IV-3. — 1 - Boîte contenant la fente d'ouverture Φ .
2 - Lentilles magnétiques à 4 pôles (collimateur).
3 - Déflecteur magnétique.
4 - Tube où passe le faisceau.
5 - Support.

($B_{max} = 10\,000$ G correspondant aux ions D_1^+ de 5 MeV)

Faces d'entrée et de sortie inclinables (ε_e et ε_s)

Indice du champ : $n = 0$ (champ constant)

La matrice de transfert de l'aimant est *

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \quad \text{IV-19}$$

avec

$$\begin{aligned} T_{11} &= \cos \sqrt{1-n} \varnothing + \frac{\lg \varepsilon_e}{\sqrt{1-n}} \sin \sqrt{1-n} \varnothing \\ T_{12} &= \frac{r}{\sqrt{1-n}} \sin \sqrt{1-n} \varnothing \\ T_{21} &= \frac{\lg \varepsilon_e + \lg \varepsilon_s}{r} \cos \sqrt{1-n} \varnothing \\ &+ \left(\frac{\lg \varepsilon_e \lg \varepsilon_s}{r \sqrt{1-n}} - \frac{\sqrt{1-n}}{r} \right) \sin \sqrt{1-n} \varnothing \\ T_{22} &= \cos \sqrt{1-n} \varnothing + \frac{\lg \varepsilon_s}{\sqrt{1-n}} \sin \sqrt{1-n} \varnothing \end{aligned} \quad \text{IV-20}$$

Elle se simplifie du fait que : $n = 0$ et que, pratiquement, $\varepsilon_e = \varepsilon_s = 0$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & r \\ -\frac{1}{r} & 0 \end{bmatrix} \quad \text{IV-21}$$

Les éléments optiques de cet aimant sont donc

$$\begin{aligned} f_l &= -\frac{1}{T_{11}} = r = -f_o : \text{distances focales} \\ h_l &= \frac{1 - T_{11}}{T_{11}} = -r = -h_o : \text{positions des plans} \\ &\text{principaux par rapport aux faces.} \\ g_l &= -\frac{T_{12}}{T_{11}} = 0 = \frac{T_{22}}{T_{21}} g_o : \text{positions des foyers} \\ &\text{par rapport aux faces.} \end{aligned} \quad \text{IV-22}$$

Appelons δ_e et δ_s les distances respectives de l'objet et de l'image aux faces d'entrée et de sortie ; on a

$$\delta_e = \frac{T_{11} + T_{12} \delta_s}{T_{11} + T_{12} \delta_s} = -\frac{r^2}{\delta_s} \quad \text{IV-23}$$

Grandissement :

$$G = \frac{1}{T_{11} - T_{12} \delta_e} = \frac{r}{\delta_s} = -\frac{\delta_s}{r} \quad \text{IV-24}$$

L'aberration chromatique à la fente de sortie F_2 est donnée par

$$\begin{aligned} \Delta r &= \frac{1}{2} \left[r (1 - \cos \varnothing) + \delta_s \sin \varnothing \right] \frac{\Delta V}{V} \\ &= \frac{r + \delta_s}{2} \frac{\Delta V}{V} \quad \text{IV-25} \end{aligned}$$

Applications numériques.

$\delta_e = 21,5$ cm

$\delta_s = 168$ cm

$G = 2,8$ (avec $d_e = 0,1$ mm pour $F = 40$ cm, $d_s \sim 0,3$ mm).

$$\Delta r = 114 \frac{\Delta V}{V} \text{ soit } \sim 1 \text{ mm pour } \frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{1\,000}$$

Dans ce cas la résolution obtenue est de 3 000 *.

Autres caractéristiques de l'aimant.

Entrefer : 5 cm

Section des pièces polaires : 2 314 cm²

Section culasse : 3 150 cm²

Ampères-tours maximum : 42 000

Intensité maximum : 100 A

Tension d'alimentation : 115 V

Refroidissement par eau circulant dans les conducteurs ($\varnothing$ trou = 4 mm).

Au point de vue de son déplacement, l'aimant possède tous les degrés de liberté comme cela est visible sur la figure IV-4 : translation horizontale (assurée par des rails), rotation autour d'un axe vertical qui est l'axe du faisceau (aimant posé sur une tourelle), basculement (au moyen de 3 vérins dont 2 sont visibles sur la figure IV-4).

3. FENTES ET DÉFLECTEUR

a) Fente d'ouverture Φ

Une fente Φ permet, en découpant dans le faisceau incident (figure III-2), de régler l'ouverture $2 \alpha_e$, c'est-à-dire de faire varier la résolution du monochromateur : celle-ci s'accroît aux dépens de l'intensité, aussi a-t-on intérêt à rechercher la meilleure résolution avec la pleine intensité (fente $\varnothing$ ouverte). Cette fente (réglable au 1/10 mm) ne sert que dans le cas où l'on désire une très bonne définition en énergie.

Au niveau de cette fente on a placé un diaphragme (fentes fixes de 12 mm) qui limite le faisceau dans le plan perpendiculaire au plan de la figure III-2.

b) Fentes objet et image.

Puis viennent les fentes F_1 et F_2 (isolées électriquement) qui permettent de définir l'énergie des particules et de connaître les dimensions de l'objet et de l'image au 1/100 mm.

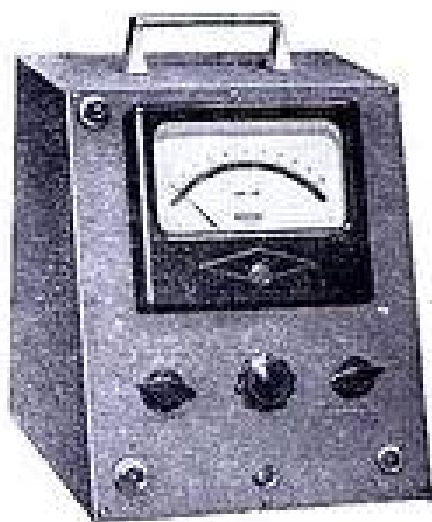
Les fluctuations naturelles du faisceau, en position, risquent de l'amener sur les fentes ; calculons

* La mise au point de l'appareil pour obtenir une résolution dépassant 10³ n'a pas été faite, vu les besoins immédiats des physiciens ; la fente de sortie F_2 a été ouverte à 1 mm et la résolution obtenue fut celle prévue (1 000).

* Rapport Service Accélérateurs OC-10.

**QUELQUES
POSSIBILITÉS
DE MESURES
DU NOUVEAU MONTAGE
ELECTRONIQUE
LEMOUZY**

Brevet S.G.D.G.



R. d'entrée en V : $10^{14} \Omega$
R. d'entrée en I : nulle
R. de sortie : nulle
Courant grille : 10^{-12} A.
Dérive du zéro : 1,5% 24 h.

LE MILLI-MICRO

0,001 μ A à 1 Amp.
R. nulle en μ A.
R. 200 Ω en mA.

Prix : 70 750 Fr. T. C.

■■■■

Le Milliard de M Ω sous 1 000 V.
Le Million de M Ω sous 12 V.
Le Pico-Ampère (10^{-12} A. pleine déviation)
Le centième de pH.
Le centième de Pico-Farad
Du millivolt à 50 kilovolts
Une perte de charge de 50 mV. sur 500 V.
Une variation de tension de 50 mV. sur 500 V.
Une tension statique de 50 mV.
Des milliers de MFD à 2% etc., etc., etc.

Maison fondée en 1915

— 63, rue de Charenton —
PARIS (12^e) Tél. : DID 07-74

Fournisseur des grands laboratoires officiels et privés

ALVAR

ELECTRONIC

6bis, rue du Progrès, Montreuil - PARIS
AVRON 03-81

**DÉTECTION - AMPLIFICATION
ENREGISTREMENT DES COURANTS FAIBLES**

Consultez-nous

pour vos problèmes d'enregistrements et
de comptages.



RADIO-AIR



— Applications Industrielles Radioélectriques —
S. A. Capital 300.000.000

72, rue Chauveau,
NEUILLY-s-SEINE

Tél. : MAI. 59-84

Cable :
RADIO-AIR NEUILLY

★

**Autorégulateurs de Tension
Statiques 350 VA à 30 KVA
Magnétiques ou Électroniques
Mono ou triphasés**

Stabilité : $\pm 2\%$

pour des variations de
tension $\pm 20\%$ et plus
pour des variations de
charge de ± 10 à 100%
et plus

pour des variations de
fréquence de $\pm 10\%$
et plus

Appareillages Électroniques divers

Autorégulateur 10 KVA

PUBL. RAPPY

*Pour votre matériel
professionnel
un seul relais... ACRM*



RELAIS TEMPORISÉ
Type R.T.T. 2 inverseurs
3 A./110 V.
Grande sensibilité,
faible inertie thermique

ACRM

NOMBREUX MODÈLES MINIATURES,
SUBMINIATURES ET INDUSTRIELS.

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 21.500.000,frs

18, rue de Saisset, MONTROUGE (Seine)

TÉL : ALÉ.00-76

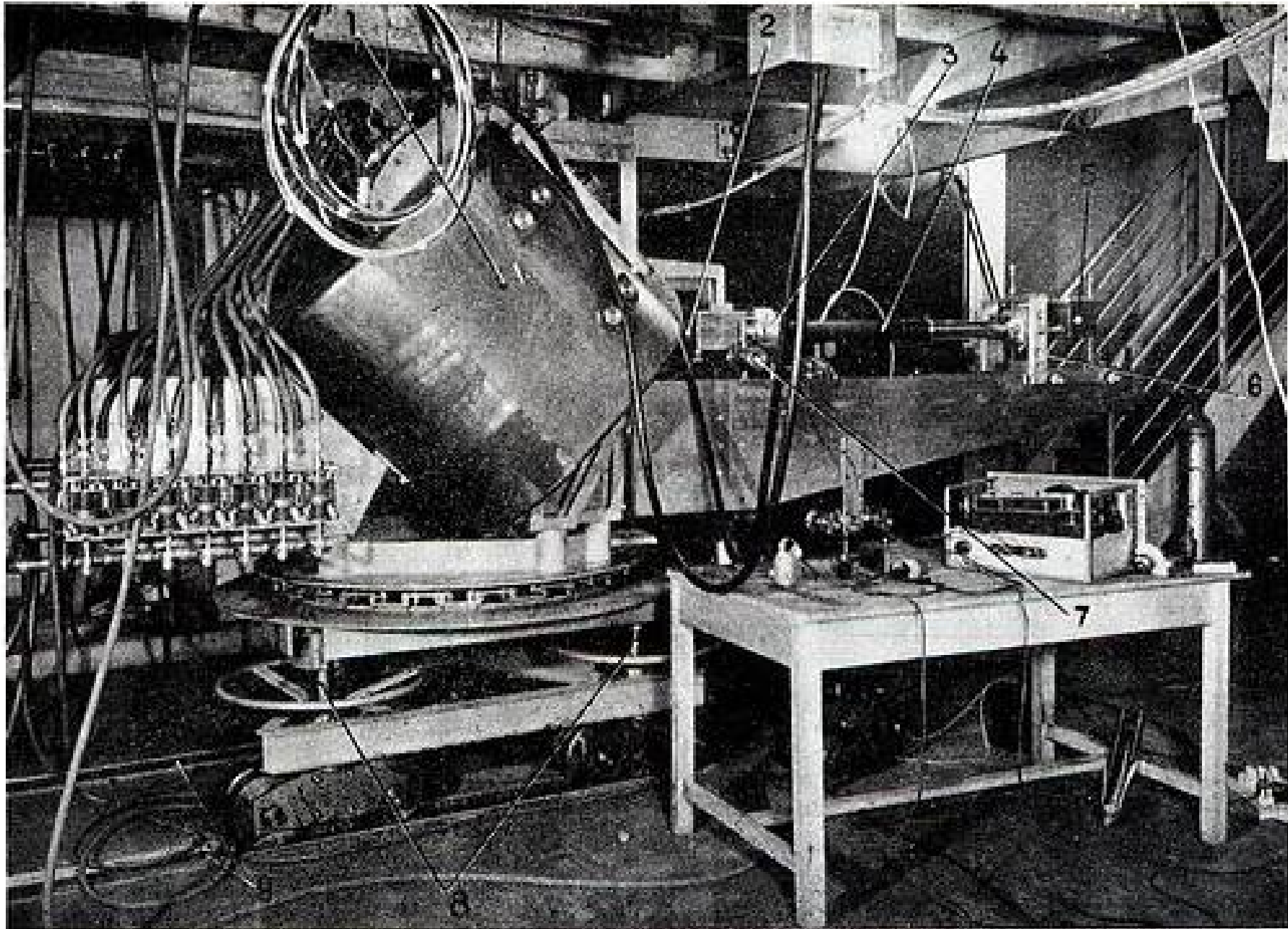


FIG. IV-4. — 1 - Colonne de l'aimant.
2 - Quartz.
3 - Rotule.
4 - Tube télescopique.
5 - Boîte contenant F_1 .

6 - Cadre de réglage.
7 - Vanne de pompage.
8 - Vérins.
9 - Rails.

donc l'énergie qu'il transporte. Supposons un courant de protons de 100 μA sortant avec la tension 5 MV

$$P = 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^6 = 500 \text{ watts}$$

La section du faisceau au niveau de la fente d'entrée F_1 est en moyenne :

$$0,55 \times 7,5 \cdot 10^{-2} \sim 4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad (\text{tableau I})$$

La densité d'énergie est donc de 125 kW/cm² ce qui est énorme et il est difficile de réaliser des fentes dissipant localement une telle énergie. Aussi a-t-on diminué les risques de brûlure de la fente d'entrée F_1 en plaçant sous la lentille collimatrice un petit *défecteur magnétique* dont le courant d'alimentation est commandé par un signal donné par les lèvres * (les courants ioniques sur chacune des lèvres sont maintenus égaux). En ce qui concerne la fente de sortie F_2 , on a placé devant elle 2 *lignes* centrées sur la fente (figure IV-7) qui permettent la *régulation de la tension* du Van de Graaff** et par conséquent de faire passer le faisceau entre les lèvres.

Malgré cela, on a donné aux lèvres une forme arrondie (figures IV-5, IV-6 et IV-7) qui permet d'étaler le faisceau, si celui-ci vient les frapper, de façon à diminuer la densité d'énergie. D'autre part, la paroi interne, en contact avec l'eau de refroidissement, a été dentelée pour augmenter la surface d'échange calorifique.

Dans ces conditions, on peut dissiper une énergie de 300 W sans échauffement exagéré.

1. OBSERVATION DU FAISCEAU.

Pour la mise au point de l'optique, il est nécessaire de pouvoir observer le faisceau, aussi a-t-on placé un quartz immédiatement avant les fentes F_1 et F_2 , quartz tournant à la vitesse angulaire maximum de $\frac{1}{4}$ rad/s (vitesse réglable) pour qu'il ne soit pas transpercé par le faisceau incident de grande énergie et de faible section. Ce quartz de diamètre 10 cm a son axe décentré de 4 cm par rapport à celui du faisceau (figure IV-7), et possède une échancrure permettant son escamotage.

Un autre quartz, fixe, est utilisé à la sortie de l'aimant (figure IV-4) pour permettre un réglage grossier du champ, le réglage fin se faisant au moyen d'un quartz placé derrière F_2 .

* cf. article de D. Pixer : « Régulation en position du faisceau ».
** cf. article de A. Gauer et J. Tarn : « Régulation en tension du générateur Van de Graaff ».

Fentes et quartz sont contenus dans 3 boîtes ayant chacune un hublot d'observation des quartz fluorescents ou du réticule (voir parag. 5-b).

5. MÉCANIQUE DU SYSTÈME.

a) Description (figures IV-3 et IV-4).

Tout l'ensemble est rigidement fixé sur l'aimant :

- une colonne verticale en dural supporte les 2 boîtes contenant Φ et F_1 (fixes), le collimateur et le déflecteur (fixé sur la 2^{ème} lentille) qui sont mobiles au moyen d'un ensemble crémaillère-manivelle (course de 40 cm) :



FIG. IV-5

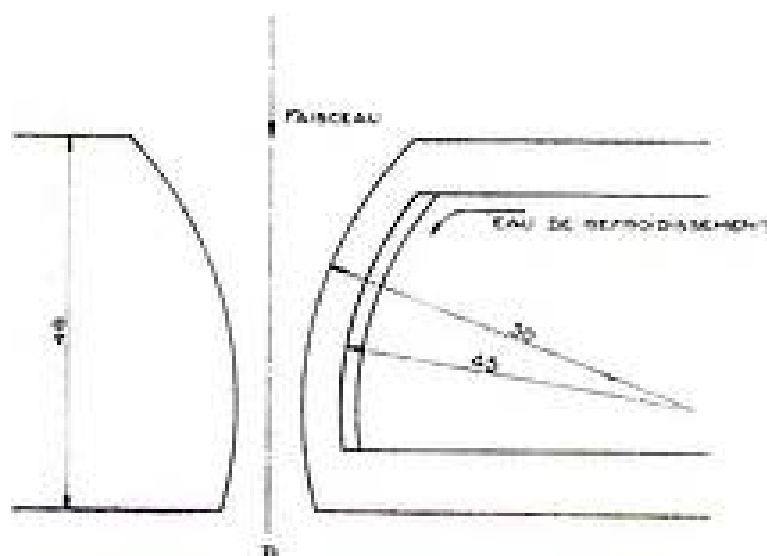


FIG. IV-6

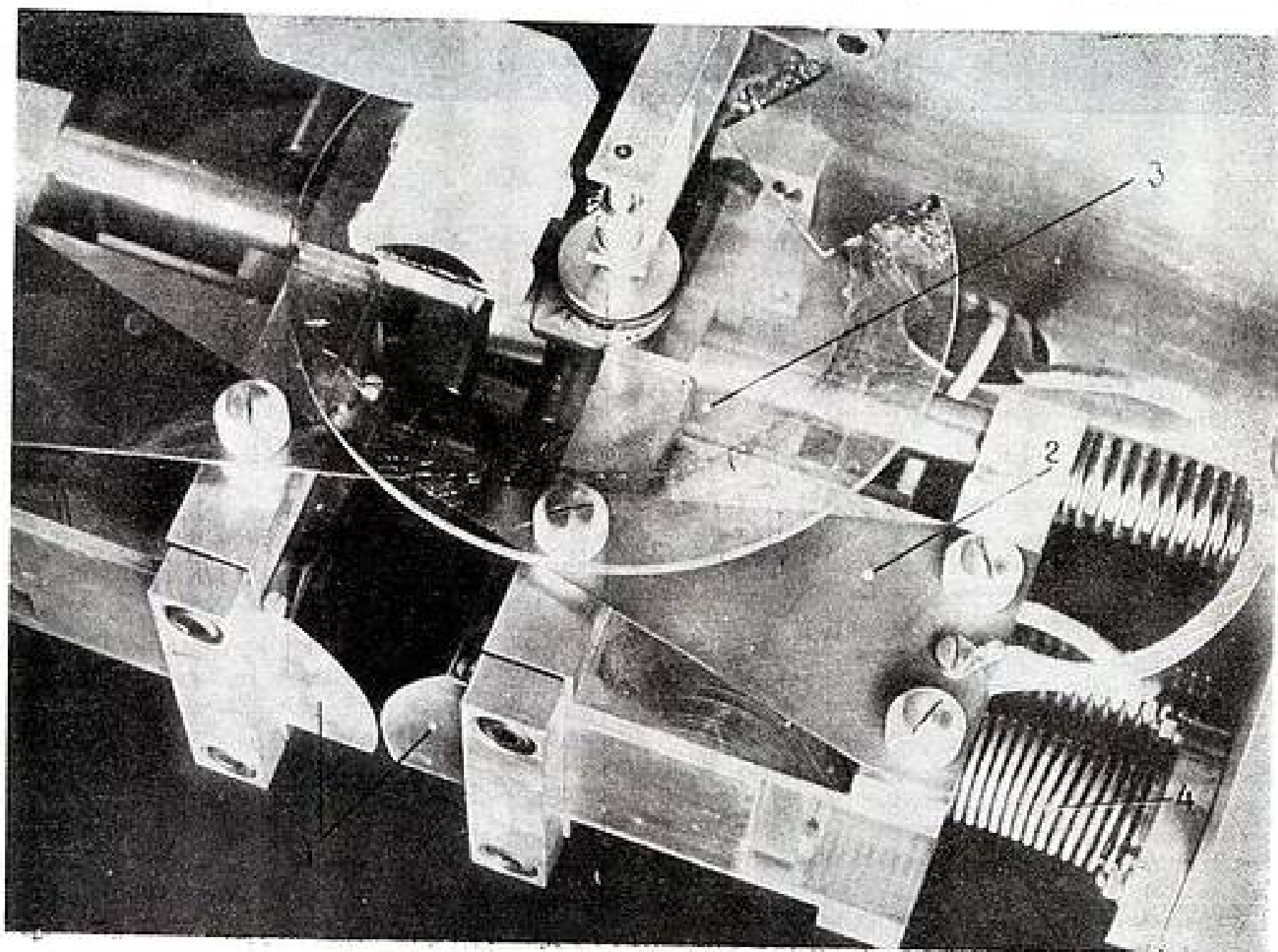


FIG. IV-7. — 1 - Fente de sortie F_2 (id. à F_1).
2 - Pointes servant à la régulation du Van de Graaff.
3 - Quartz tournant.
4 - Double tombac (circulation de l'eau de refroidissement d'une lèvre).

— une boîte plate, de section rectangulaire, est située entre les pièces polaires ; ses parois, perpendiculaires au plan de figure, sont refroidies ;

— un quartz d'alignement (placé dans une fenêtre de l'aimant) sur lequel on a tracé une croix, est fixé sur la boîte précédente ; le centre de la croix est aligné par construction sur l'axe commun de Φ et F_1 ;

— une partie de tube horizontal comprend le quartz de sortie de l'aimant avec un manchon en verre pour l'observation et une vanne par où se fait le pompage de l'ensemble ;

— un bras en dural supporte un tube télescopique horizontal portant la 3^e boîte contenant F_2 et les 2 tiges servant à la régulation du Van de Graaff. Ce tube se raccorde au précédent au moyen d'une rotule. La boîte est portée par un cadre permettant tout déplacement perpendiculaire à l'axe du tube ; ce cadre est lui-même mobile sur des rails, permettant ainsi l'allongement ou le raccourcissement du tube (réglage de δ_2).

L'ensemble du système est raccordé à la sortie du Van de Graaff par un tombac. Notons la présence d'une vanne juste au-dessus du tombac.

b) Alignement.

Dans la première boîte portant Φ , on a placé un réticule en tungstène (escamotable) ce qui permet de définir une ligne droite avec le quartz d'alignement, celle-ci étant confondue par construction avec l'axe des fentes Φ et F_1 . Il suffit donc de faire coïncider cette droite avec l'axe du faisceau : on y arrive en agissant sur les réglages de l'aimant (on superpose l'ombre du réticule avec le centre du quartz inférieur, F_1 étant grande ouverte). Puis,

on aligne la boîte terminale à l'aide des vis du cadre qui la porte, en fermant F_2 à 1 mm par exemple et observant le faisceau sur un quartz placé derrière la boîte. On bloque ensuite ces réglages (ce qui permet de définir un certain r , c'est-à-dire une certaine énergie).

6. RÉGLAGE OPTIQUE.

L'alignement précédent étant réalisé, on fait choix d'une distance focale F pour le collimateur (la résolution R étant donnée) ce qui détermine la position des lentilles par rapport au quartz placé devant F_1 . On excite ensuite les bobines du collimateur à la valeur correspondant à l'énergie des particules ainsi que celles du déflecteur. Un réglage fin de la distance collimateur-quartz et des gradients k_1 dans les lentilles se fait par observation du quartz tournant. On descend ensuite le collimateur d'une distance égale à celle quartz-fente F_1 et l'on ferme F_1 jusqu'à ce que les courants lèbres deviennent importants (d'où la dimension de l'objet). Il peut arriver que le collimateur soit mal centré : on s'en aperçoit sur le quartz de sortie de l'aimant (image déformée). Les 2 lentilles étant centrées par construction sur un tube qui est mobile par rapport au tube à vide à l'aide de 4 vis à 90°, on agit sur ces vis de réglage. On met ensuite en marche la régulation de la tension Van de Graaff et l'on observe le faisceau sur le quartz tournant placé devant F_2 ; on fait glisser la boîte sur les rails jusqu'au maximum de luminosité ; on obtient ainsi δ_2 ; on y place la fente de sortie. Puis on ferme F_2 à un écartement environ 3 fois celui de F_1 (réglage par intensité sur les lèbres).

Simulateur DE PILE ATOMIQUE

ATOMIC PILE SIMULATOR "DJINN"



DES LABORATOIRES
RENÉ DERVEAUX

*Q*U'IL S'AGISSE DE
 ★ NEUTRONIQUE
 ★ CINÉTIQUE
 ★ CONTRÔLE DE PILE
 ★ ÉLECTRONIQUE
 ★ SERVO-MÉCANISMES
 ★ TABLEAUX DE COMMANDES
tous CES PROBLÈMES
 SONT ENTIÈREMENT TRAITÉS PAR
 LE SIMULATEUR DE PILE "DJINN"

ALL YOUR PROBLEMS
 • ATOMIC PILE CONTROL
 • NEUTRONICS • KINETICS
 • ELECTRONICS • SERVO-
 MECHANISMS • CONTROL-
 BOARD... ARE ENTIRELY
 DEALT WITH PILE-SIMULATOR
 "DJINN"



LABORATOIRES R. DERVEAUX

FRANCE



RÉGULATION DE LA TENSION DU GÉNÉRATEUR VAN DE GRAAFF DE SACLAY

PAR

A. GABET et J. TAHER

*Service des Accélérateurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

I. — Caractéristiques générales.

I.1. POSITION DU PROBLÈME.

Le monochromateur et son alimentation stabilisée ayant pour rôle de diriger vers la cible les particules d'énergie choisie par l'opérateur et d'éliminer toutes les autres, le physicien qui étudie une réaction nucléaire est certain qu'aucune réaction parasite ne viendra entacher d'erreur ses mesures. Cependant, si la tension du générateur Van de Graaff n'est pas asservie au champ magnétique, il est extrêmement peu probable que l'énergie des particules délivrées par l'accélérateur soit justement comprise dans l'étroite bande que laisse passer le filtre d'énergie. Cette probabilité diminue lorsque le pouvoir séparateur du monochromateur augmente — c'est-à-dire lorsque la largeur de la bande d'énergie admise diminue. Pour que la cible recueille une intensité suffisante à la réalisation de l'expérience en cours, il faut régler en permanence à la bonne valeur l'énergie du faisceau, et ce réglage est d'autant plus délicat que les performances du monochromateur sont élevées.

L'énergie des particules étant proportionnelle à la tension du générateur Van de Graaff, le maintien du faisceau sur la cible doit être réalisé par commande de la tension du générateur.

On est ainsi conduit à confier l'asservissement de la tension du générateur à un régulateur électronique dont les possibilités doivent être à la mesure des qualités du monochromateur.

Dans certaines expériences, on demande au filtre d'énergie d'assurer une précision relative meilleure que 10^{-4} , ce qui conduit le régulateur à stabiliser la tension du générateur Van de Graaff avec une précision du même ordre. Ainsi, quoique n'exerçant en principe aucune action directe sur la précision de l'énergie des particules délivrées par l'accélérateur,

ce régulateur doit avoir des qualités de précision assez exceptionnelles pour permettre, en maintenant constamment le faisceau sur la cible, une exploitation commode de l'accélérateur.

Le problème ayant avant tout le caractère d'un problème économique, on pourra cependant tolérer que la régulation laisse échapper fortuitement une petite fraction de l'intensité si son prix de revient s'en trouve fortement diminué. On peut par exemple tolérer que le régulateur ne puisse corriger certaines fluctuations accidentelles de la tension du générateur : les composantes parasites ne viendront pas troubler la réaction nucléaire en cours car elles seront éliminées par le filtre d'énergie ; si les fluctuations en question sont très rares, l'intensité moyenne ne sera pratiquement pas diminuée ; enfin la réduction de la bande passante du régulateur permettra de le réaliser économiquement et sans difficultés techniques.

I.2. SCHÉMA DE PRINCIPE DU RÉGULATEUR.

À la sortie de l'électro-aimant de déviation sont disposées de part et d'autre de la position normale du faisceau, deux plaques collectrices ou lèvres reliées à l'entrée du régulateur. La fente qui sépare ces deux lèvres est centrée avec précision sur la fente de sortie du filtre d'énergie. Si les particules ont l'énergie voulue le faisceau passe entre les lèvres en touchant à peine leur bord ; deux faibles fractions de l'intensité totale sont collectées ; elles sont égales et le régulateur reçoit un signal d'entrée nul. Si l'énergie des particules est trop forte (ou trop faible), le faisceau d'ions est moins dévié (ou plus dévié) par le champ magnétique, les courants reçus par les deux lèvres deviennent inégaux et déterminent l'apparition d'un signal d'erreur à l'entrée du régulateur qui réagit en corrigeant la tension de la machine : le faisceau est ramené vers sa position normale. Le monochromateur et son jeu de lèvres jouent le rôle d'un discriminateur d'erreur (fig. 1).

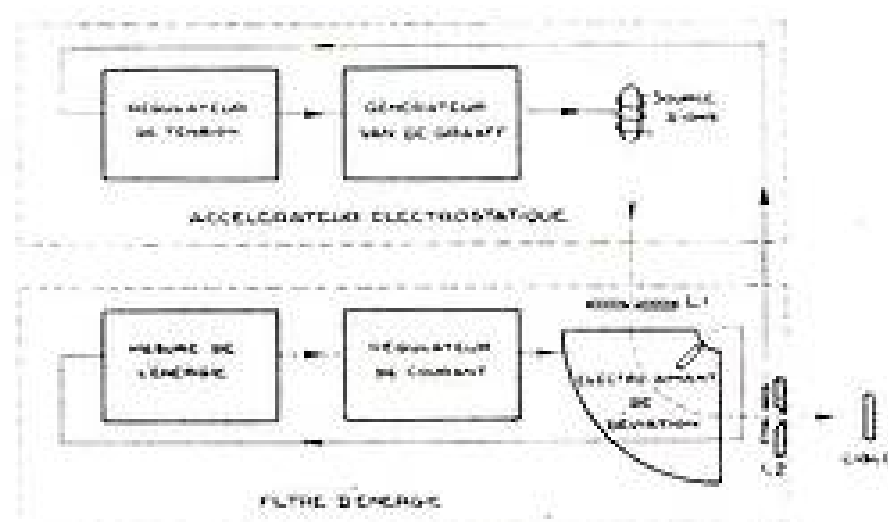


FIG. 1. — Régulation de l'énergie du faisceau de l'accélérateur électrostatique de Saclay.

1.3. NATURE DES IRRÉGULARITÉS DE LA TENSION DU GÉNÉRATEUR VAN DE GRAAFF.

Si l'on excepte la dispersion en énergie des particules fournies par la source d'ions et la dispersion apparente qui peut résulter de l'épaisseur de la cible, les variations de l'énergie des particules accélérées résultent des variations irrégulières au cours du temps de la tension accélératrice.

Nous supposons dans ce qui suit que toutes les précautions ont été prises pour rendre la dispersion en énergie négligeable : le faisceau est alors à chaque instant monochromatique et les fluctuations de l'énergie résultent d'irrégularités de tension que l'on peut classer en plusieurs groupes :

1.3.1. Dérives :

Les dérives de la tension peuvent résulter des causes suivantes :

— évolution du système de charge des courroies du Van de Graaff (par exemple, variation de la tension du secteur entraînant une variation de la haute tension d'alimentation de l'effluve) ;

— évolution du débit du tube accélérateur ;

— évolution du régime des fuites et effluves le long de la chaîne potentiométrique ou autour de l'électrode et des écrans du générateur.

D'autre part, tout changement volontaire des conditions de fonctionnement (variation de l'intensité, de la focalisation) crée des variations de tension de la machine.

1.3.2. Irrégularités liées à la courroie :

Le système de charge du générateur Van de Graaff de Saclay comporte deux courroies sans fin tendues par poulies et contre-poulies entre l'électrode haute tension et la base de l'appareil. La vitesse des courroies est voisine de 15 m/s et leur période de rotation voisine de 0,6 s.

En supposant que l'on maintienne rigoureusement constant le courant injecté par l'effluve de charge, le courant qui arrive à l'électrode supérieure n'est pas constant. Une fraction de ce courant est en effet recueillie par la poulie inférieure (qui joue un rôle important dans le maintien de l'effluve de charge), et cette fraction, liée au déplacement latéral de la courroie sans fin, varie avec une période de 0,6.

D'autre part, l'effluve de charge de la courroie dans l'électrode supérieure est également susceptible de fluctuer. La courroie peut aussi perdre des charges le long de la colonne par effluvage ou par contact (quoique des barres munies de portées en quartz soient prévues pour la guider).

Enfin, même en l'absence de charge, le frottement de la courroie sur les poulies crée une charge d'auto-excitation qui varie avec les propriétés superficielles de la courroie.

Toutes ces causes créent des fluctuations de tension dont certaines sont d'allure périodique et certaines d'allure aléatoire.

1.3.3. Irrégularités dues aux effluves :

L'étude préalable d'un petit générateur électrostatique à l'air libre nous a permis d'observer des fluctuations de tension liées à l'effluvage, sous la forme d'impulsions dont la fréquence de répétition augmente en même temps que l'intensité moyenne de l'effluve. Le spectre de telles fluctuations s'étend jusqu'au mégacycle. Ce type de fluctuations n'a jamais été observé dans le cas du générateur électrostatique sous pression de Saclay : pour cet appareil, les effluves ne provoquent aucune fluctuation appréciable dans tout le domaine de fonctionnement ⁽¹⁾.

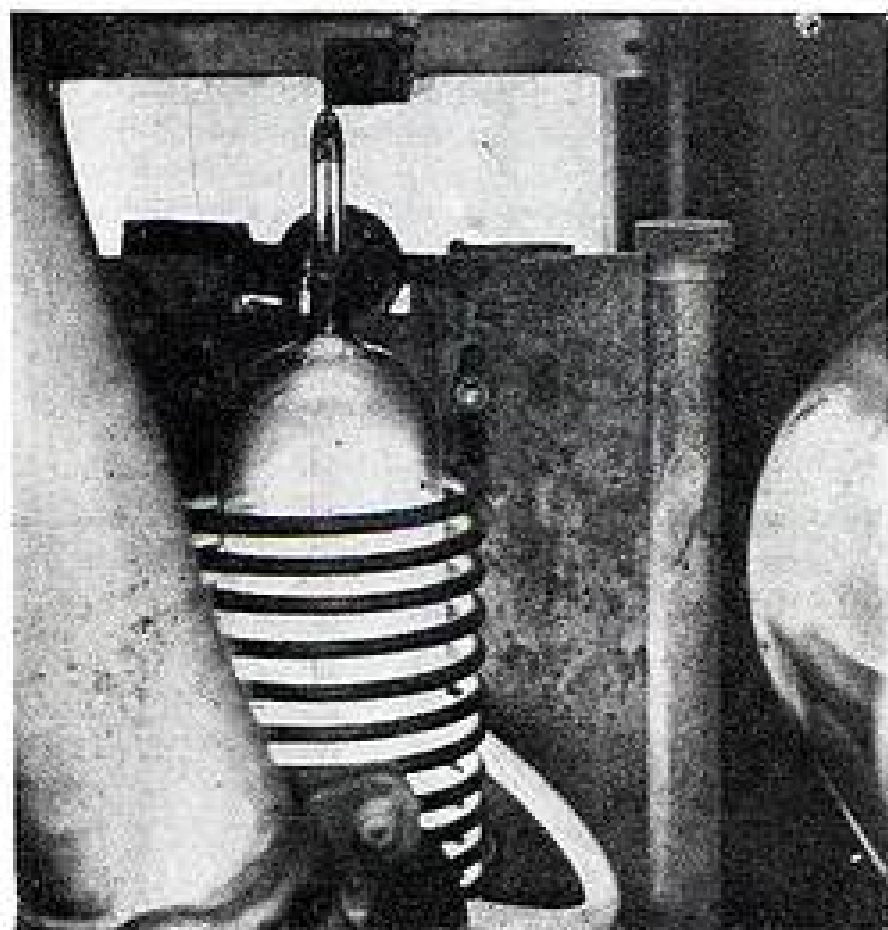


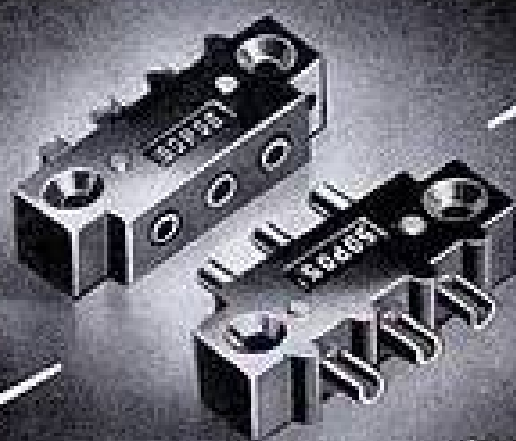
FIG. 2. — Source d'ions du générateur électrostatique de Saclay, en fonctionnement.

Cette source d'ions est du type à haute fréquence. On remarque le solénoïde inducteur, et la lueur du gaz ionisé à l'intérieur de l'ampoule de pyrex.

⁽¹⁾ L'appareil a été utilisé jusqu'à 5 MeV.

FICHES SUBMINIATURES

3 FICHES 7 CAPOTS
30 COMBINAISONS



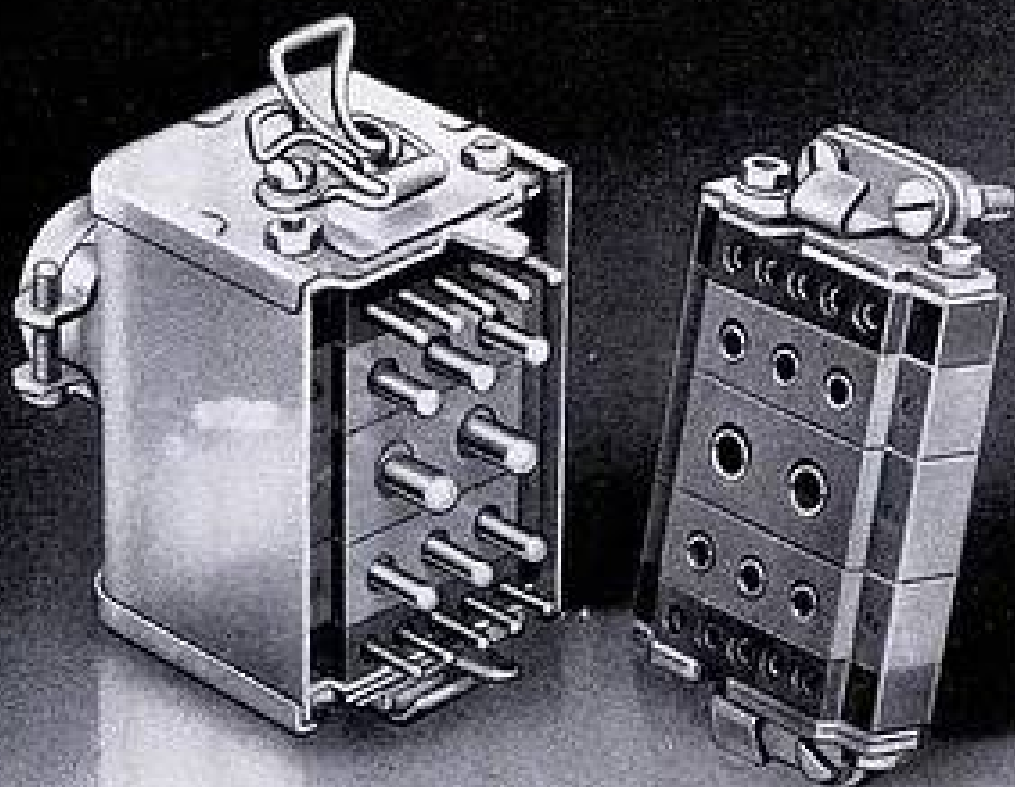
SM 3
15 Ampères
500 V. ALT.



SM 5
5 Ampères
250 V. ALT.



SM 2
25 Ampères
750 V. ALT.



DEMANDEZ NOTRE CATALOGUE

ETS SOCAPEX-PONSOT

9, Rue Édouard-Nieuport, SURESNES (Seine)

LONGchamp 20-40 / 41 / 42

1.3.4. Fluctuations dues au tube accélérateur :

Dans le cas où la pression dans le tube accélérateur est très faible (inférieure à $2 \cdot 10^{-3}$ mm Hg) on constate l'apparition d'un courant spontané dans le tube. Ce courant est formé d'impulsions dont la durée est comprise entre $1/50$ et $1/4$ de seconde et qui semblent correspondre à une charge constante.

Ce phénomène disparaît quand on rétablit la pression à sa valeur normale.

1.3.5. Fluctuations du courant de la source d'ions :

Dans le cas où l'on utilise une source d'ions du type Philips, il existe des régimes de fonctionnement où le courant de la source est formé d'une suite d'impulsions dont le spectre de fréquence s'étend de 50 ke/s à 2 Mc/s. La source utilisée dans le cas du générateur de Saclay étant du type à haute fréquence (fig. 2) ce type de fluctuation n'est pas à craindre.

1.3.6. Irrégularités liées aux oscillations mécaniques de la colonne isolante :

Les courroies imposent à la colonne isolante une oscillation forcée de période égale à leur période de rotation. Cette oscillation se traduit par une irrégularité de tension de même période. L'oscillation mécanique d'une électrode fait en effet varier sa capacité par rapport à la masse ou par rapport aux autres électrodes et cette variation de capacité produit une modulation de tension.

Ce phénomène est peu sensible si les différentes électrodes (et en particulier les écrans intermédiaires) du générateur Van de Graaff sont bien centrées, parce que dans ce cas l'oscillation mécanique est de faible amplitude et que les variations de capacité sont minima.

1.4. SCHÉMA ÉLECTRIQUE SIMPLIFIÉ DU GÉNÉRATEUR VAN DE GRAAFF. IMPORTANCE DE LA CORRECTION DES DÉRIVES.

Au point de vue du schéma électrique, le générateur Van de Graaff se compose essentiellement d'une électrode, d'un réservoir à pression, et de deux écrans intermédiaires (fig. 3. — voir également figure 4 de l'article de M. S.D. WINTER). Un diviseur potentiométrique réunit des différentes électrodes. Le schéma électrique équivalent est constitué par trois réseaux intégrateurs en série (fig. 4). L'impédance entre électrode et masse d'un tel système est de la forme :

$$Z = \frac{R_1}{1 + p\tau_1} + \frac{R_2}{1 + p\tau_2} + \frac{R_3}{1 + p\tau_3}$$

avec :

$$\tau_1 = R_1 C_1 \quad \tau_2 = R_2 C_2 \quad \tau_3 = R_3 C_3$$

R_1, R_2, R_3 et C_1, C_2, C_3 désignant les résistances et les capacités entre écrans.

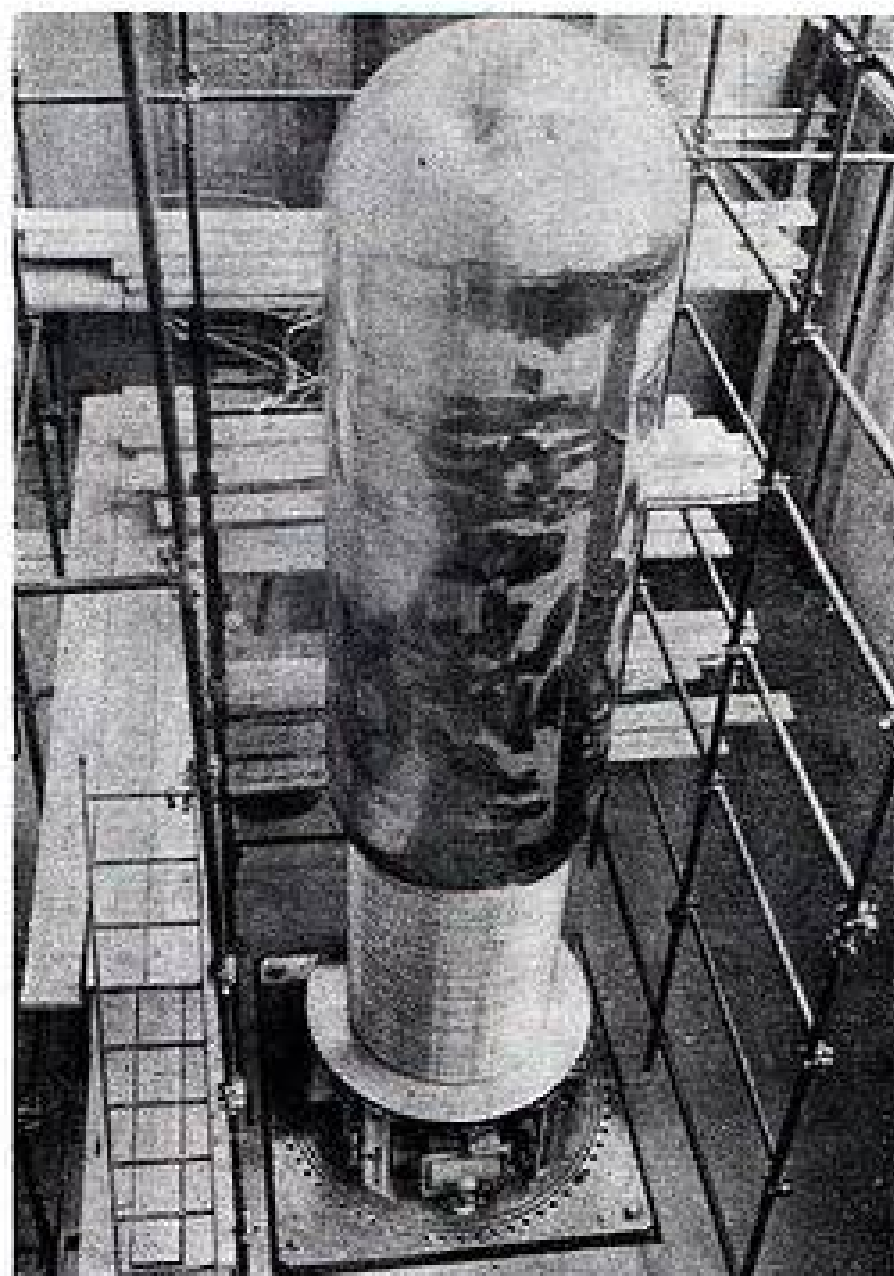


FIG. 3. — Générateur électrostatique, réservoir à pression enlevé. On distingue les plateaux équipotentiels de la colonne isolante et l'écran intermédiaire extérieur.

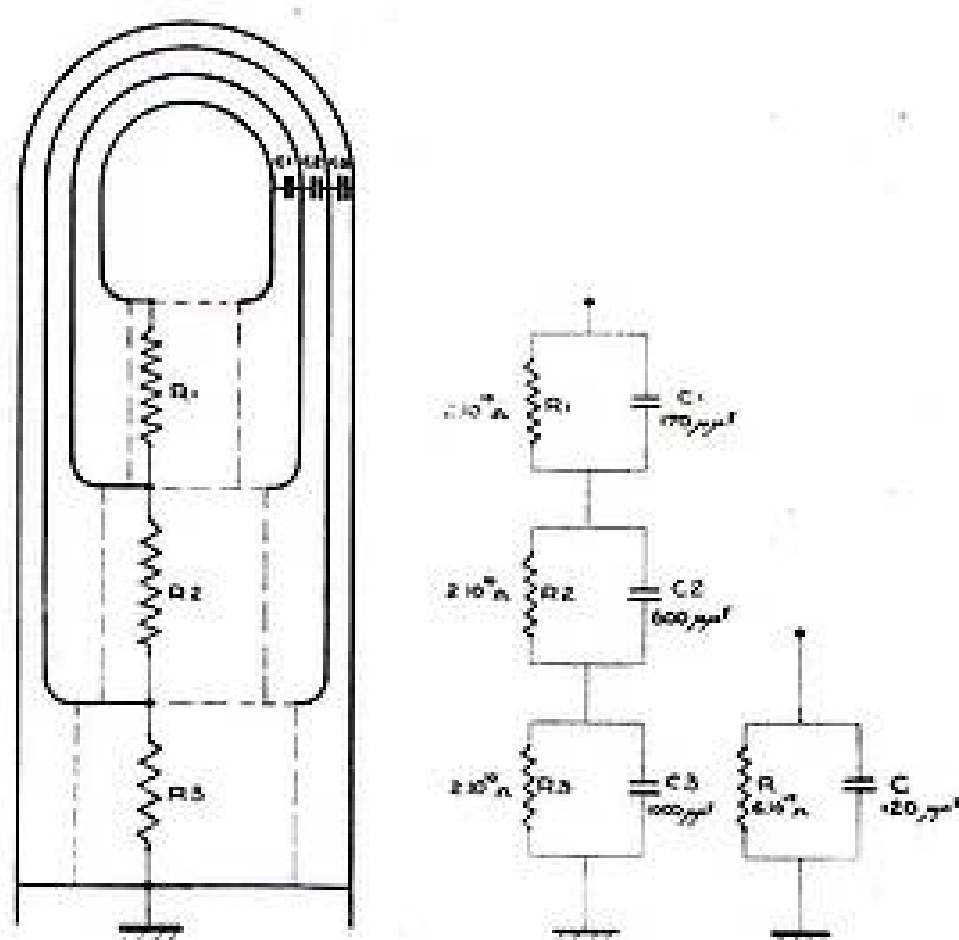


FIG. 4. — Schéma électrique simplifié du générateur Van de Graaff de Saclay.

Les valeurs numériques relatives au générateur de Saclay sont les suivantes :

$$R_1 = R_2 = R_3 = 20\,000\text{ M}\Omega$$

$$C_1 = 170\text{ }\mu\text{F}$$

$$C_2 = 600\text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 = 1\,000\text{ }\mu\text{F}$$

$$\text{d'où } \tau_1 = 3,4\text{ s} \quad \tau_2 = 12\text{ s} \quad \tau_3 = 20\text{ s}$$

Le régime libre du Van de Graaff (décharge des capacités à travers les résistances) est représenté par la somme de trois exponentielles de constante de temps respectivement 3,4, 12 et 20 secondes.

Nous avons tracé sur la figure 5 la courbe de réponse d'un tel système à une excitation en courant sinusoïdal d'amplitude constante.

On voit que cette courbe s'écarte peu de la courbe

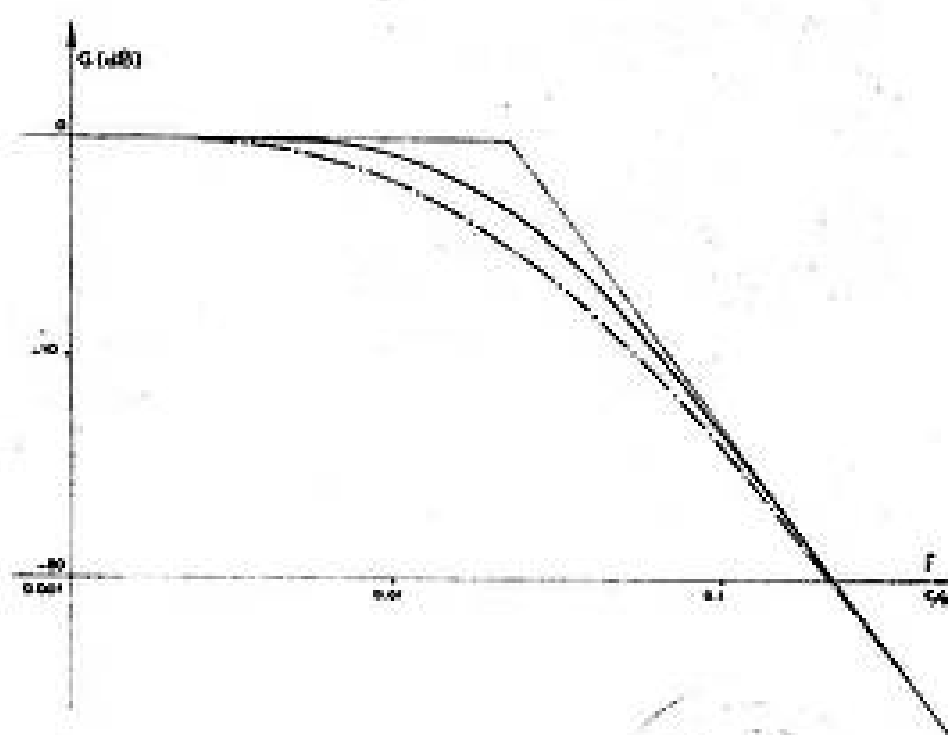


FIG. 5. — Courbe de réponse du réseau équivalent au générateur Van de Graaff.

La courbe en trait mixte correspond aux trois réseaux intégrateurs en série de la figure 4.

La courbe en trait plein correspond au réseau intégrateur unique de la figure 4.

de réponse d'un réseau intégrateur unique de constante de temps égale à 7 secondes, avec $R = 60\,000\text{ M}\Omega$ et $C = 120\text{ }\mu\text{F}$. Nous pouvons donc énoncer :

Alors que pour les fluctuations de courant l'impédance du Van de Graaff se comporte comme une capacité de $120\text{ }\mu\text{F}$, pour les dérives très lentes, elle se comporte comme une résistance de $60\,000\text{ M}\Omega$.

Si l'on suppose que toutes les fréquences sont présentes avec la même amplitude dans le spectre des fluctuations aléatoires du courant fourni à l'électrode haute tension, les composantes du spectre des fluctuations de tension correspondantes sont étouffées proportionnellement à la fréquence à partir de la

$$\text{fréquence } f = \frac{1}{2\pi \times 7} \text{ ou } 0,02\text{ c/s.}$$

Ces remarques permettent de souligner l'importance qu'il faut accorder à la correction des dérives du générateur.

1.5. SCHÉMA ÉLECTRIQUE SIMPLIFIÉ DU SYSTÈME DE CHARGE. SPECTRE DES IRRÉGULARITÉS DE TENSION D'ALLURE PÉRIODIQUE.

Le schéma précédent ne tient pas compte du système transporteur de charge. En première analyse, on peut considérer le système formé par l'effluve de charge et la courroie comme un générateur de courant à impédance infinie. En raison du temps de transmission inhérent à l'emploi d'une courroie à vitesse limitée le courant est recueilli à l'électrode supérieure avec un retard constant sur le courant injecté à la base de l'appareil. La fonction de transfert de la courroie s'écrit alors :

$$\mathcal{G} = e^{-p\tau} \text{ avec } \tau = 0,3\text{ s}$$

Pour rendre compte des irrégularités de tension d'allure périodique, nous supposons que les charges déposées sur la courroie ne sont pas toutes collectées par l'électrode supérieure et qu'il existe des charges circulantes liées à la courroie. Leur répartition en densité par unité de longueur de la courroie peut

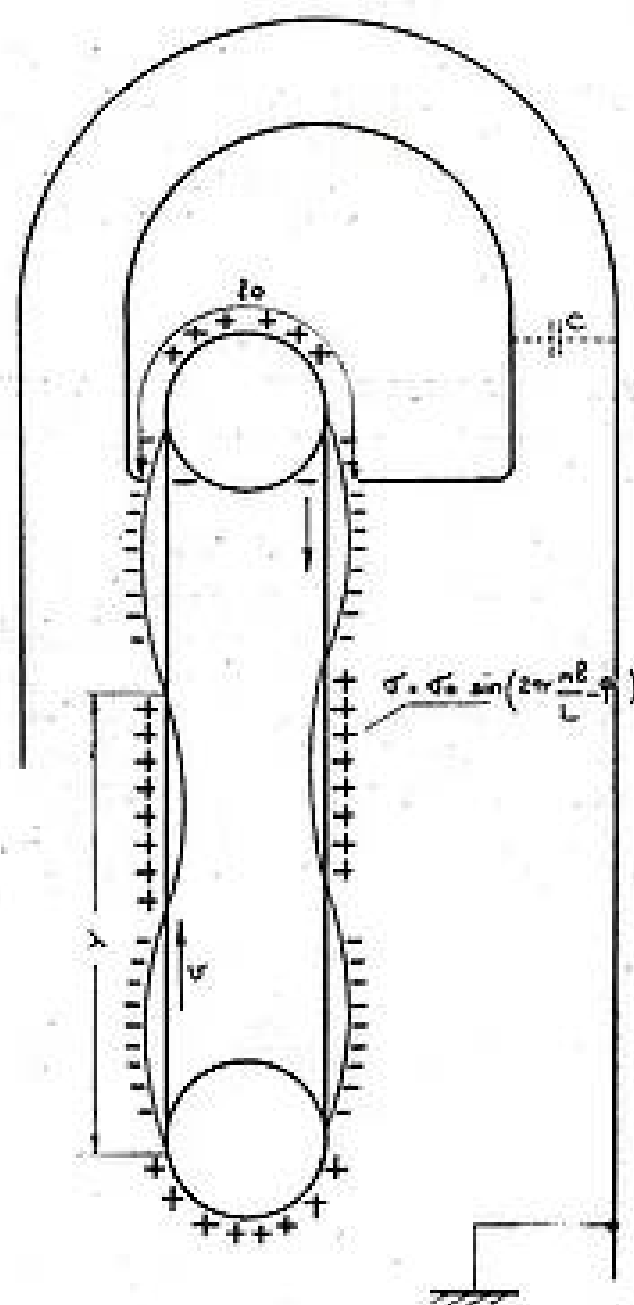


FIG. 6. — Distribution de la charge circulante sur une courroie de générateur Van de Graaff.

Collection de
HAUTE TECHNIQUE

- H. ABERDAM. - Amplificateurs à large bande, 212 p. 3.145 F
- L. BOE. - Dipôles et quadripôles, 148 p. 1.525 F
- L. G. BRAINERD. - Technique des ultra-hautes fréquences, 610 p. . . 3.145 F
- L. CHRÉTIEN. - Traité de réception de la télévision, 240 p. . . . 2.025 F
- V. JEAN-LOUIS. - L'ingénieur du son en radio, cinéma, TV. . . . 3.145 F
- R. METIER. - Les abaques à points alignés. 2.545 F
- R. MESNY. - Radioélectricité générale :
- I. - Circuits et propagation (broché seulement). 1.400 F
- II. - Tubes - Emission et réception (broché seulement). . . 1.700 F
- C. MONTGOMERY. - Technique des mesures en micro-ondes :
- I. - Sources d'énergie - Mesures de puissance - Mesure de fréquence, 520 p. 3.445 F
- II. - Impédances - Ondes stationnaires - Atténuateurs - Rayonnements 530 p. 3.645 F
- P. MOURMANT. - Le calcul graphique des circuits série-parallèle 2.245 F
- A. ROBERTS. - Balises radar (Radar Beacons) 640 p. 3.345 F

LES VARISTANCES (thermistances, résistances non-linéaires, redresseurs secs) et leur emploi par J. SUCHET
1.545 F

Ouvrages reliés pleine toile, décor bronze (prix port compris)

Éditions Chiron

40, rue de Seine - PARIS-VI
Dan 47-56 - C.C.P. Paris 53-35

être considérée comme le résultat de la superposition d'une infinité de composantes de la forme

$$\sigma = \sigma_0 \sin \left(2\pi \frac{nl}{L} - \varphi \right)$$

(L longueur de la courroie, l abscisse curviligne du point sur la courroie : fig. 6). Nous ferons l'hypothèse pessimiste qui consiste à considérer comme également probables toutes les longueurs d'onde sous multiples de la longueur de la courroie : le spectre correspondant aura des composantes d'amplitude égale. On sait en fait que le glissement des charges tend à affaiblir les composantes de faible longueur d'onde.

Si l'on excepte les fluctuations aléatoires, la tension du générateur peut être considérée comme résultant de la superposition d'une tension moyenne et d'une tension périodique proportionnelle à tout instant à la fraction de la charge circulante contenue à l'intérieur de l'électrode haute tension : ainsi le spectre de fréquence de la fluctuation de tension est lié au spectre des longueurs d'onde de la distribution des charges sur la courroie.

A toute composante de charge de longueur d'onde $\lambda = \frac{L}{n}$ correspond une composante de tension de fréquence $f = nF$ et l'on a $nF = \frac{n}{T} = \frac{nv}{L}$

(v : vitesse de la courroie, T et F période et fréquence de rotation de la courroie).

On peut prévoir, à partir de ces hypothèses, que les composantes de tension à fréquence faible (produites par les composantes de charge à grande longueur d'onde) ont une amplitude sensiblement constante tandis que les composantes de tension à fréquence élevée (produites par les composantes de tension à courte longueur d'onde) ont une amplitude décroissant proportionnellement à la fréquence.

En effet, soit l_0 la longueur de la fraction de courroie contenue à l'intérieur de l'électrode haute tension.

Si l'on a $\frac{\lambda}{2} \gg l_0$ la charge maximum contenue dans l'électrode est de la forme $\sigma_0 l_0$ et varie peu d'une composante à l'autre ; l'amplitude de la composante de tension correspondante est de la forme $\frac{\sigma_0 l_0}{C} = C^*$.

Si l'on a $\frac{\lambda}{2} \ll l_0$ l'électrode contient des charges positives et négatives dont l'effet se contrarie, la différence maximum entre ces charges étant de l'ordre de $\frac{\lambda \sigma_0}{2}$ et la composante de tension correspon-

dante de l'ordre de $\frac{\lambda \sigma_0}{2C}$ ou $\frac{v \sigma_0}{2C} \cdot \frac{1}{f}$

La fréquence limite est celle qui correspond à

$$\lambda = 2 l_0 \text{ soit } f = \frac{v}{2 l_0}$$

ici $v = 15 \text{ m/s}$, $l_0 = 1 \text{ m}$, $f = 7,5 \text{ c/s}$.

L'hypothèse de la charge circulante est évidemment une approximation grossière qui ne tient en particulier aucun compte du rôle des écrans intermédiaires et qui peut s'appliquer aux seules perturbations d'allure périodique. Cependant, les mesures confirment qu'elle constitue une approximation très suffisante du phénomène.

1.6. RÉSULTAT DES MESURES DE FLUCTUATIONS.

Pendant la période de réalisation du régulateur, nous avons pu faire fonctionner le générateur après l'avoir muni d'une chaîne de correction des dérives, et observer les fluctuations de position du faisceau à la sortie de l'aimant de déviation. Nous en avons déduit que le niveau des fluctuations de tension n'excède pas $\pm 10 \text{ kV}$ et diminue beaucoup lorsque l'état hygrométrique des courroies s'améliore.

La fréquence fondamentale est $f = 1,6 \text{ c/s}$. ($T = 0,6 \text{ s}$) Il semble y avoir un taux modéré d'harmoniques de rang faible et sensiblement pas de fréquences supérieures à une dizaine de cycles par seconde.

Les deux courroies ayant pour période de rotation respective $T_1 = 0,588 \text{ s}$ et $T_2 = 0,586 \text{ s}$, il se produit un battement de période $T = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} = 180 \text{ s}$, entre les fluctuations produites par les deux courroies et le niveau des fluctuations passe par des maxima et des minima séparés par 90 secondes.

1.7. BANDE PASSANTE DU RÉGULATEUR.

Lorsque le générateur est régulé, chaque composante de fréquence f du spectre des irrégularités est divisée par le gain en chaîne ouverte du régulateur à la fréquence f .

Si l'on veut amener les irrégularités résiduelles de la machine régulée au-dessous d'un niveau déterminé, il faut qu'à chaque fréquence le gain en chaîne ouverte du régulateur soit proportionnel au niveau des composantes correspondantes du spectre des irrégularités.

La bande passante du régulateur doit donc avoir la même allure que le spectre des irrégularités naturelles du système à corriger.

Nous résumerons les caractéristiques essentielles du spectre des irrégularités de tension du générateur Van de Graaff :

a) Importance des dérives. Effet de filtre de la capacité des électrodes à partir de la fréquence $0,02 \text{ c/s}$.

b) Fluctuations dues à la courroie : spectre compris au dessous d'une horizontale entre 0 et 10 c/s . Spectre compris au dessous d'une ligne de pente -6 dB/octave à partir d'une dizaine de c/s .

c) Absence d'effluves parasites en fonctionnement normal.

En fonction de ces caractéristiques, nous nous sommes proposés de réaliser un régulateur dont la

bande passante en chaîne ouverte répond aux conditions suivantes (fig. 7) :

a) Gain en chaîne ouverte infini à la fréquence zéro : courbe de réponse à pente -6 dB/octave, correspondant à une constante de temps infinie.

b) Gain en chaîne ouverte constant dans une petite plage de fréquences : palier de la courbe de réponse entre quelques dixièmes de cycles par seconde et quelques dizaines de cycles par seconde.

c) Gain en chaîne ouverte décroissant de 6 dB/octave à partir de quelques dizaines de cycles par seconde.

En résumé, le régulateur doit pouvoir corriger en permanence dérives et fluctuations liées aux cour-

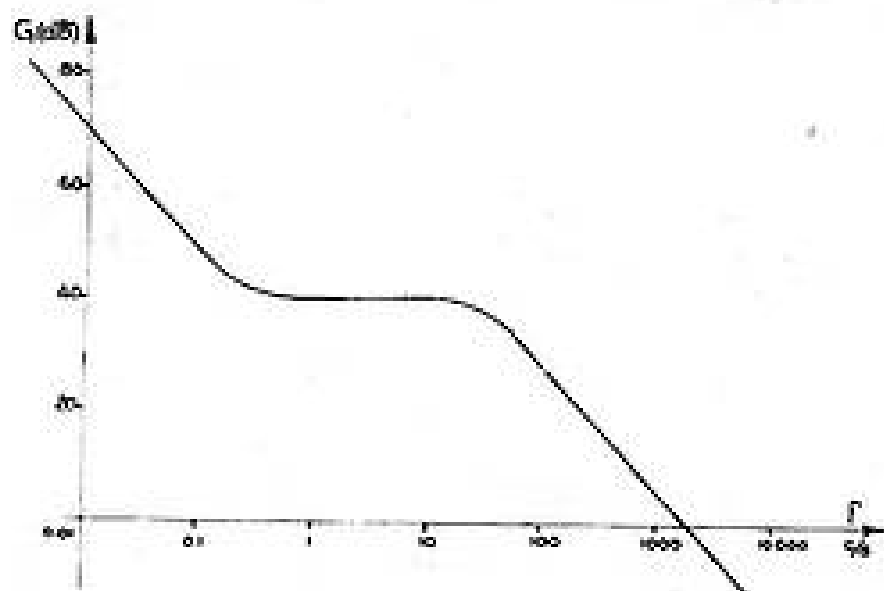


FIG. 7. — Courbe de réponse idéale en chaîne ouverte du régulateur de tension.

roies. Les autres irrégularités qui nécessiteraient pour leur correction une bande passante beaucoup plus importante sont liées à une instabilité fortuite de la source et du tube : le choix d'un type convenable de source et d'une pression correcte dans le tube les élimine complètement.

Leur probabilité est tellement faible qu'il est économique, pour ne pas compliquer inutilement le régulateur, de tolérer la perte d'intensité qu'elles pourraient éventuellement provoquer.

1.8. CHOIX DES ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DU RÉGULATEUR.

Le choix des éléments principaux du régulateur a été guidé par les considérations qui précèdent.

Pour obtenir un gain très élevé aux très basses fréquences, nous avons intercalé dans la chaîne de régulation un moteur qui tourne dans un sens ou dans l'autre dès qu'apparaît le plus petit signal d'erreur. Ce moteur commande les effluves de charge des courroies et règle donc le courant injecté dans l'électrode haute tension.

Les hypothèses développées plus haut sur la nature des fluctuations dues à la courroie supposent qu'un courant bien constant est injecté par l'effluve de charge. En particulier, ce courant ne doit pas comporter de composante à 50 ou 100 c/s.

Pour respecter cette condition et pour satisfaire les exigences des constructeurs de la machine qui demandaient pendant la période de mise au point une alimentation à courant constant du générateur, nous avons réalisé un stabilisateur d'effluve dont le rôle est de maintenir constant le courant injecté sur la courroie si une certaine variable d'entrée est maintenue constante. C'est cette variable d'entrée que commande le moteur de régulation.

Pour corriger les fluctuations, nous avons délibérément rejeté les méthodes classiques de l'effluve réglable ou du faisceau électronique utilisées habituellement pour stabiliser la tension des générateurs Van de Graaff. Ces méthodes se traduisent toutes les deux par un accroissement du courant transporté par les courroies (facteur défavorable à la tenue en tension de la machine). Le procédé de l'effluve réglable augmente les chances de claquage de la machine et les réglages varient avec le point de fonctionnement du générateur (facteur défavorable à la souplesse d'exploitation). Le procédé du faisceau électronique charge inutilement le tube accélérateur (facteur défavorable à la tenue en tension) et produit au niveau de l'électrode une dangereuse émission de rayons γ . Ces deux méthodes corrigent les fluctuations par variation d'un courant dont le sens ne peut s'inverser : sa composante continue est toujours plus importante que ses variations. Or la composante continue est inutile si le réglage lent de la machine est opéré à partir de l'alimentation des courroies, et on a pensé à l'éliminer en utilisant un courant capacitif pour corriger les fluctuations rapides. Les avantages de la méthode sont évidents : aucune composante continue ne vient perturber le fonctionnement du générateur ; le fonctionnement du système est absolument indépendant de la tension du générateur et donne les mêmes résultats à 1 MV et à 5 MV sans changement des réglages : l'amplitude des fluctua-

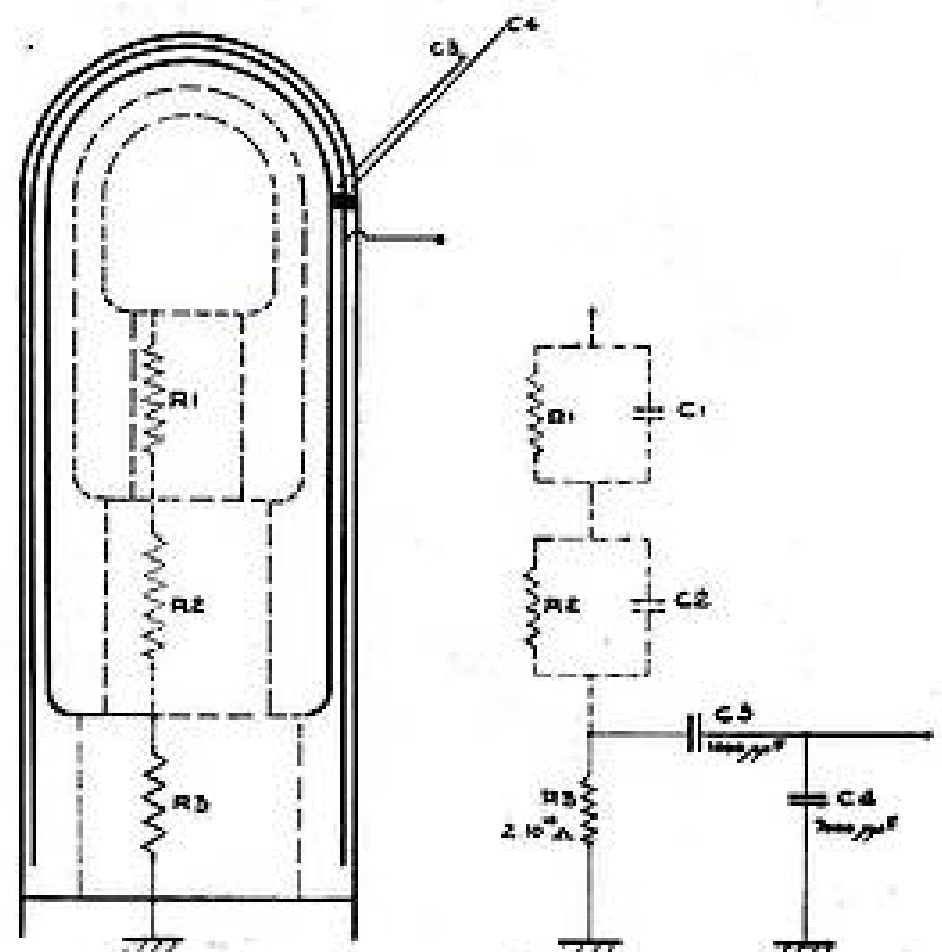
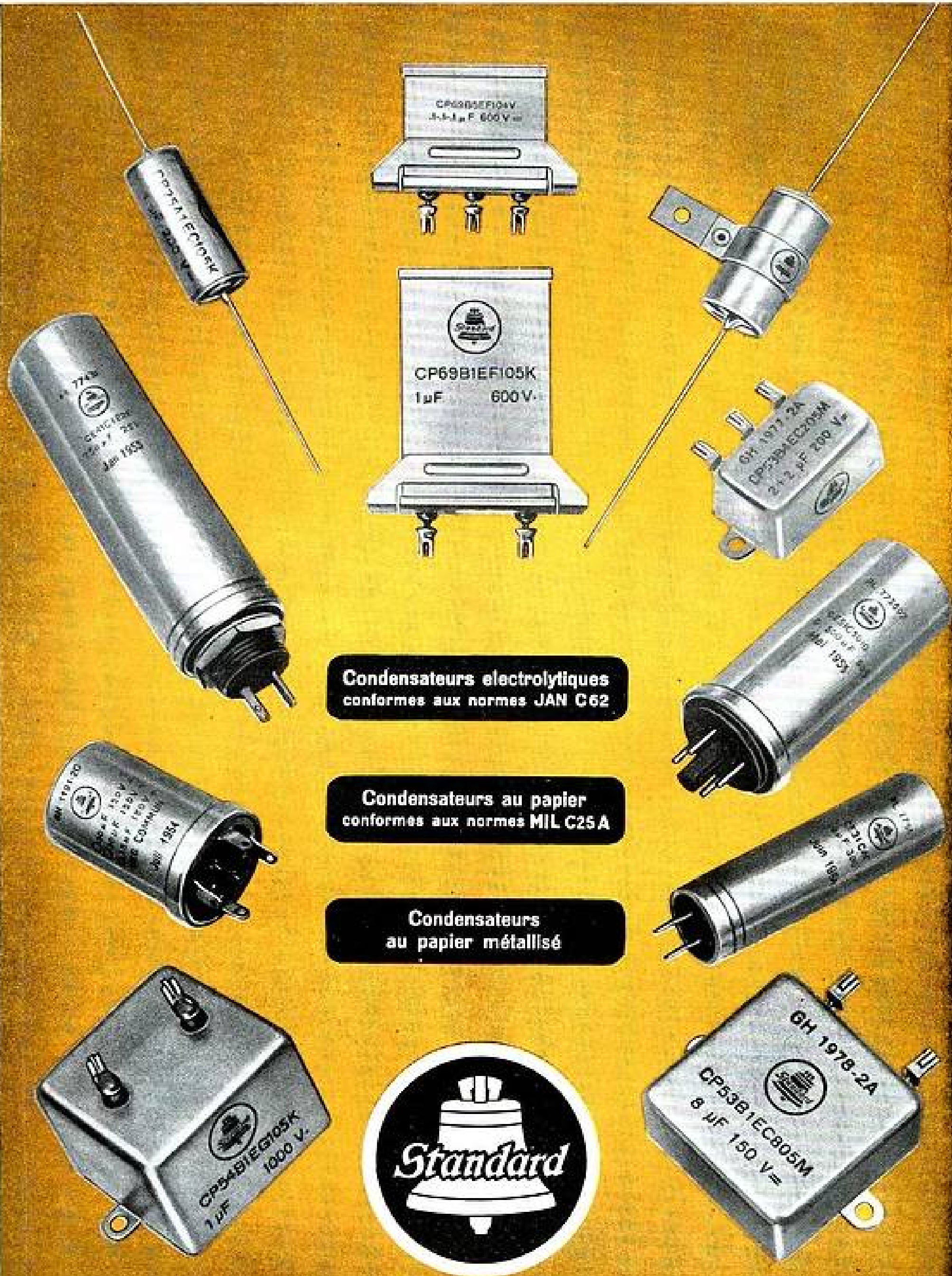


FIG. 8. — Schéma équivalent du générateur muni de son écran capacitif.



**Condensateurs electrolitiques
conformes aux normes JAN C62**

**Condensateurs au papier
conformes aux normes MIL C25A**

**Condensateurs
au papier métallisé**

Standard Téléphone et Radio S.A.

Zurich, Seestr. 395, Case postale Zurich 38

tions de courant qu'il devient possible de corriger n'est plus limitée par le niveau de la composante continue.

En vue de l'application du procédé, le réservoir à pression est doublé vers l'intérieur par un écran métallique bien isolé (écran capacitif) qui entoure complètement l'électrode haute tension, les écrans intermédiaires et la colonne isolante. Toute fluctuation de tension appliquée à l'écran se transmet par influence quasi totale à l'électrode. Un courant correcteur est injecté à l'électrode ou plutôt à l'écran intermédiaire extérieur et se referme par la capacité écran capacitif-écran intermédiaire et par la résistance de la colonne.

Le schéma équivalent du générateur est modifié par l'insertion de l'écran capacitif (fig. 8).

La capacité C_3 n'est plus une capacité écran intermédiaire-masse, mais une capacité écran intermédiaire-écran capacitif. Il apparaît une importante capacité écran capacitif-masse ($C_4 = 7\,000\ \mu\text{F}$).

On voit sur le schéma que la tension de l'électrode supérieure peut être considérée comme la somme de la tension électrode supérieure-écran capacitif et de la tension écran capacitif-masse. C'est entre l'écran capacitif et la masse qu'apparaîtra, pendant la marche du régulateur, une tension égale et de sens opposé à la fluctuation de tension à corriger, de telle sorte que la tension accélératrice soit pure de toute fluctuation.

Cette tension est appliquée à l'écran capacitif par une lampe de puissance excitée par un amplificateur.

II. — Stabilité du régulateur.

II.1. CHAINES DE RÉGULATION LENTE ET RAPIDE.

L'ensemble formé par les amplificateurs, le moteur, le stabilisateur d'effluve de charge et la courroie constitue la chaîne de régulation lente du générateur.

L'ensemble formé par les amplificateurs, la lampe de puissance et l'écran capacitif constitue la chaîne de régulation rapide du générateur.

Les deux chaînes sont en parallèle : elles sont commandées toutes deux à partir du même signal d'erreur provenant des plaques collectrices disposées de part et d'autre du faisceau et elles commandent toutes deux la tension du générateur (fig. 9).

La chaîne de régulation comprend également un élément optique : le faisceau émis par la source d'ions est accéléré par la différence de potentiel entre l'électrode supérieure et la masse, puis courbé par le champ de l'électro-aimant déviateur. La position de ce faisceau est mesurée à partir des plaques collectrices reliées à la masse par des impédances de valeur convenable. Tout cet ensemble constitue un discriminateur de haute tension.

L'affaiblissement dû au discriminateur constitue un élément important de la fonction de transfert du régulateur. Cet affaiblissement varie avec la valeur du potentiel accélérateur, l'intensité du faisceau, la focalisation, mais est indépendant de la fréquence.

La fonction de transfert en chaîne ouverte du régulateur est le produit des fonctions de transfert suivantes :

a) fonction de transfert du discriminateur (de la tension de l'électrode supérieure à la tension recueillie sur les plaques collectrices).

b) fonction de transfert des deux chaînes en parallèle (de la tension recueillie sur les plaques collectrices à la tension de l'électrode supérieure).

II.2. CRITÈRE DE STABILITÉ.

II.2.1. Forme générale :

On peut montrer que la fonction de transfert de la boucle d'asservissement en chaîne couverte est une fonction analytique $T(p)$. Dans ce cas, nous pouvons appliquer le critère de stabilité de Nyquist-Cauchy. Ce critère se simplifie car la fonction $T(p)$ n'a, dans le cas de ce régulateur, aucun pôle dans le demi-plan complexe de droite. On peut alors énoncer :

Le système est inconditionnellement stable si la courbe $T(p)$ obtenue quand le point p décrit l'axe

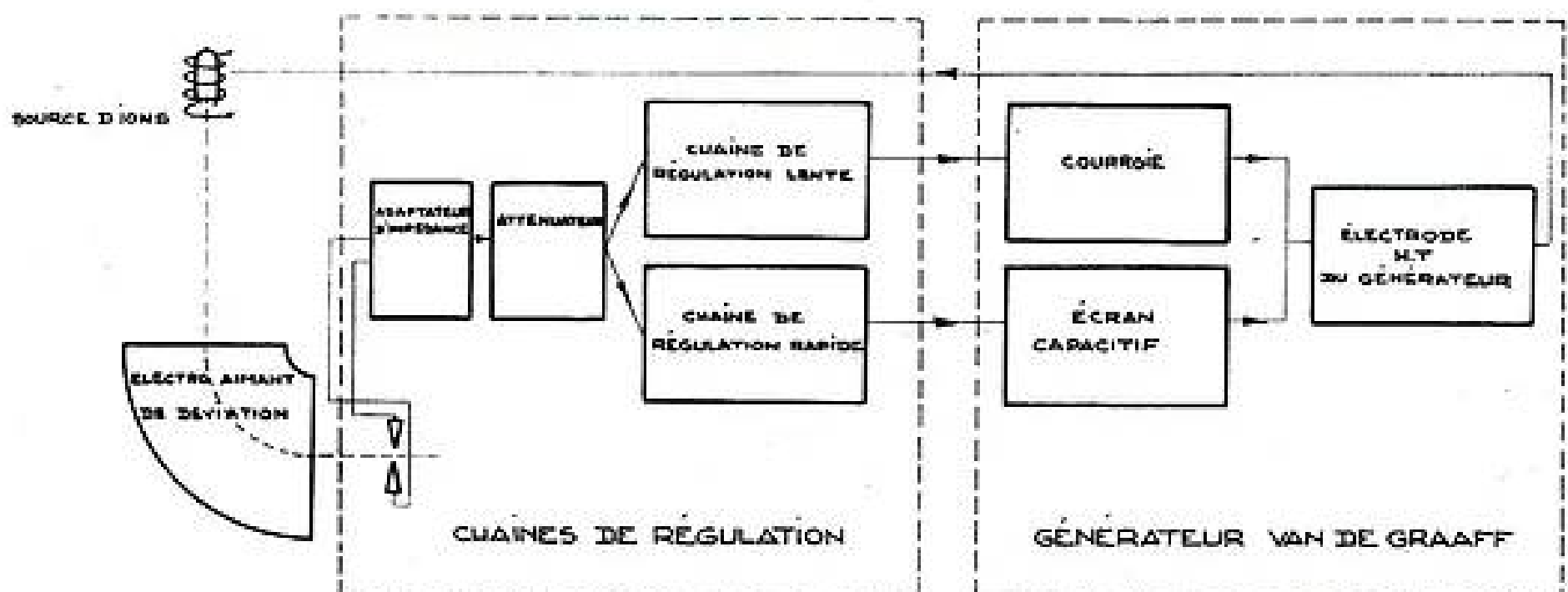


FIG. 9. — Schéma de principe du régulateur de tension de l'accélérateur électrostatique de Saclay

*...Monsieur Édouard Belin
se mit à la disposition
de ses auditeurs
et de ses auditrices
pour leur montrer en
détail le mécanisme
de son appareil.....*



LES ÉTABLISSEMENTS
ÉDOUARD BELIN

296, AVENUE NAPOLÉON BONAPARTE - RUEIL-MALMAISON - MAL. 05-54 - WAG. 93-63

ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

SIGNAL/BRUIT DE FOND

TYPE 38/19 B.

59_{db}!



DIGNE DE LA
RADIODIFFUSION TÉLÉVISION FRANÇAISE

11.2.4. Critère de stabilité dans le cas des deux chaînes en parallèle :

La courbe de réponse des deux chaînes en parallèle peut s'obtenir à partir de la courbe de réponse de chacune des deux chaînes en additionnant vectoriellement les rayons vecteurs correspondant à la même pulsation (fig. 10).

La stabilité à la fréquence de recouplement des deux chaînes (fréquence pour laquelle l'affaiblissement est le même) est assurée si la courbe $T(j\omega)$ n'entoure pas le point critique au voisinage de cette fréquence. Le gain de chacune des chaînes étant bien supérieur à 1 pour la fréquence de recouplement, cet accident ne peut se produire que si les phases des signaux sont en opposition dans les deux chaînes. Il est cependant prudent pour éviter non seulement l'instabilité mais aussi pour conserver le gain de la chaîne ouverte (et la précision du régulateur) à la fréquence de recouplement, de ne tolérer entre les deux signaux qu'un déphasage inférieur à 120° . Cette condition est respectée dans le cas des systèmes à minimum de phase, si l'intersection des

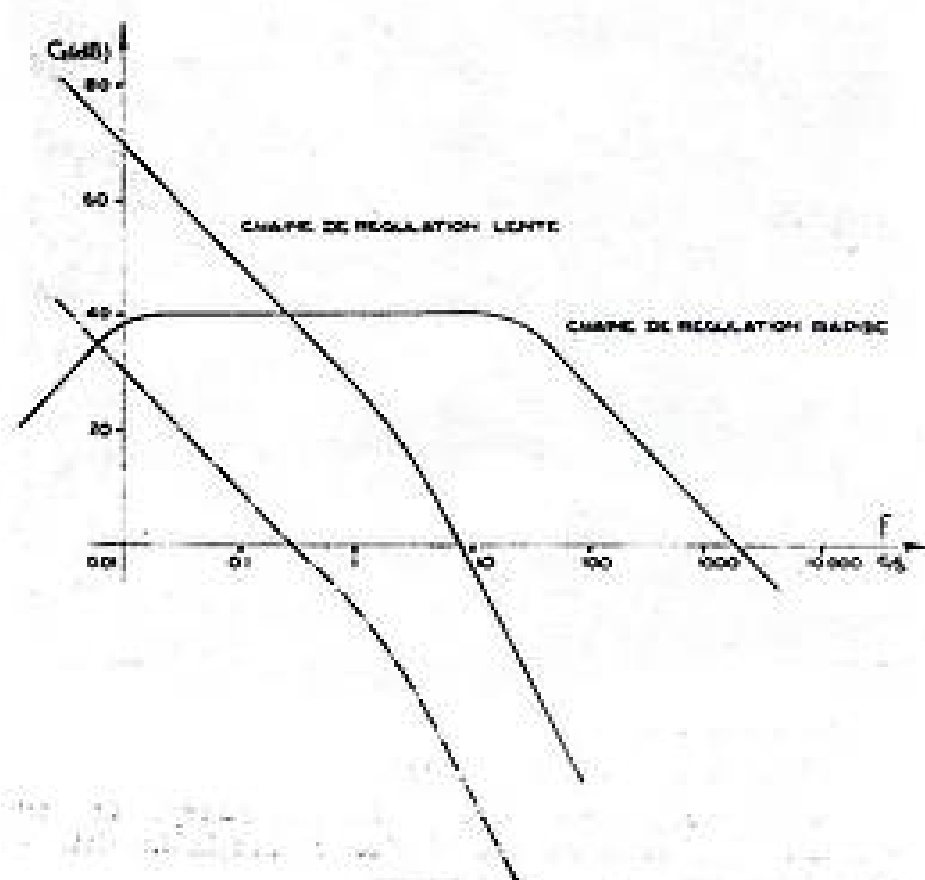


FIG. 11. — Courbes de réponse en boucle ouverte des chaînes de régulation lente et rapide.

Trait plein : Courbe de réponse de chacune des deux chaînes pendant leur fonctionnement en parallèle.

Trait mixte : chaîne lente fonctionnant seule sans chaîne rapide. Ces courbes sont les courbes de réponse calculées. On a vérifié expérimentalement les valeurs du gain et les fréquences de coupure.

courbes d'affaiblissement est réalisée avec une pente relative de l'ordre de 6 dB/octave. Dans le cas où la courbe de réponse de la chaîne rapide est assimilable à un palier dans la région de recouplement on peut énoncer la condition de stabilité des deux chaînes en parallèle sous la même forme que la condition de stabilité de la chaîne lente seule.

La stabilité de l'ensemble des deux chaînes est assurée si la courbe d'affaiblissement de la chaîne lente coupe le palier de la courbe d'affaiblissement de la chaîne

rapide avec une pente de -6 dB / octave et pour une fréquence inférieure à 0,3 c/s.

On a représenté sur la figure 11 la courbe de réponse de la chaîne lente fonctionnant seule et la courbe de réponse de chacune des deux chaînes pendant leur fonctionnement en parallèle.

La stabilité de la régulation est donc assurée même si l'on utilise pour la chaîne lente un gain qui la conduirait au pompage si elle fonctionnait seule : on peut lui donner pour gain la somme du gain de la chaîne lente fonctionnant seule et du gain de la chaîne rapide.

Ainsi, la mise en parallèle d'une chaîne rapide avec une chaîne lente permet non seulement d'augmenter le gain aux fréquences élevées, mais aussi d'accroître le gain aux fréquences basses : la précision du régulateur en chaîne fermée étant proportionnelle à son gain en chaîne ouverte, on peut énoncer en généralisant :

L'utilisation d'une chaîne de régulation rapide en parallèle avec une chaîne de régulation donnée permet non seulement d'améliorer les performances dynamiques mais aussi de diminuer l'erreur statique.

11.3. COURBE DE RÉPONSE DES DEUX CHAINES DE RÉGULATION.

L'application des critères de stabilité et les exigences de précision nous ont conduits à réaliser deux chaînes dont les gains et les courbes de réponse répondent aux conditions suivantes :

a) Le gain des deux chaînes ouvertes à la fréquence de recouplement est de l'ordre de 100, ce qui fait passer le niveau des irrégularités maxima de ± 10 kV à ± 100 Volts.

b) Chaîne lente (fig. 11). Pente de -6 dB/octave jusqu'à une fréquence de 2 c/s. Cette pente a été obtenue par utilisation d'un ensemble moteur birotax-dynamo tachymétrique.

La constante de temps de 7 secondes de l'impédance du générateur Van de Graaff a été corrigée par l'emploi d'un réseau RC de constante de temps du même ordre inséré dans le stabilisateur de courant d'effluve.

c) Chaîne rapide (fig. 11). Pente de $+6$ dB/octave jusqu'à la fréquence 0,01 c/s (constante de temps $R_2 C_2$). Palier de 0,01 à 35 c/s. Pente de -6 dB/octave à partir de 35 c/s.

La pente de -6 dB/octave est due à l'action de la capacité C_1 entre écran capacitif et masse. Le choix d'une fréquence de coupure de 35 c/s nous a permis d'utiliser une résistance de plaque de l'ordre du mégohm pour la lampe de sortie, ce qui limite la puissance consommée par la chaîne rapide à quelques centaines de watts.

La palier de 0,01 à 35 c/s nécessite l'emploi d'une chaîne d'amplificateurs passant la composante continue. Le niveau du signal fourni par les plaques collectrices étant de l'ordre de 0,1 volt et le niveau du signal de sortie de l'ordre de 10 kV un gain de l'ordre de 100 dB est nécessaire. Nous avons réalisé la chaîne sous la forme d'un amplificateur continu;

la tension d'entrée de 0,1 volt est, en effet, bien supérieure aux dérives d'un bon amplificateur symétrique et la transposition de spectre n'est pas nécessaire. L'amplificateur continu est cependant plus délicat à réaliser qu'un amplificateur à liaisons RC.

Moyennant cette difficulté d'ordre technologique, nous avons pu réaliser un ensemble extrêmement simple au point de vue fonctionnel, avec le minimum de réseaux correcteurs et de singularités dans les courbes de réponse.

III.1. CARACTÉRISTIQUES DU DISCRIMINATEUR.

La dispersion du monochromateur est de 1 nm pour une variation relative de tension de 1 pour mille.

Le spot, au niveau des lèvres de régulation, peut être assimilé dans les meilleures conditions de focalisation à un rectangle de 6 mm de long et de 0,1 mm de large.

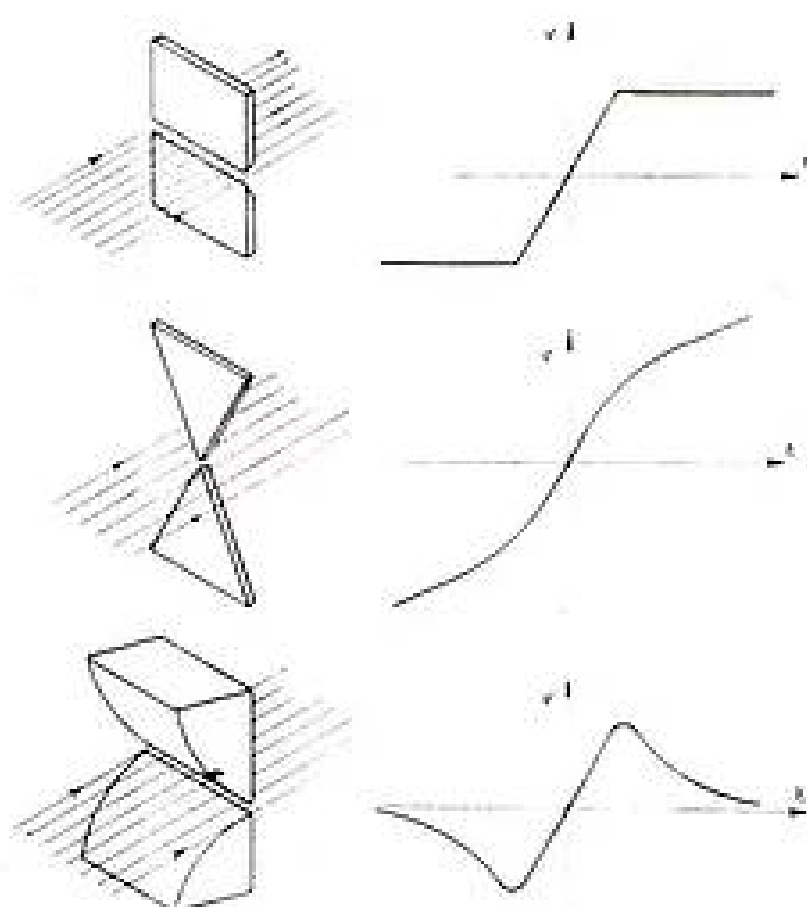


FIG. 12. — Courbes de discrimination de plusieurs jeux de lèvres.

En haut, lèvres rectangulaires ; courbes de discrimination présentant des paliers aux extrémités.

Au milieu, lèvres triangulaires.

En bas, lèvres à bord d'attaque sensiblement tangentiel. Courbe de discrimination à pente inversée aux extrémités, effet dû à la diminution du coefficient de multiplication des électrons secondaires dès que le faisceau s'écarte de la fente.

Le discriminateur fournit à la sortie une tension continue v fonction de l'erreur en position z du spot. Pour que la plage du discriminateur soit aussi large que possible les lèvres sont triangulaires : si le spot est entièrement sur une lèvre, le signal devient indépendant de z si les lèvres sont rectangulaires ; il reste proportionnel à z si les lèvres sont convenablement taillées (fig. 12).

Les premiers essais de régulation par chaîne lente seule ont été réalisés en utilisant les lèvres de limitation du faisceau ; la courbe de discrimination présentait aux extrémités une inversion de pente due à l'émission d'électrons secondaires : les fluctuations rapides (non corrigées par la chaîne lente seule) entraînaient le point de fonctionnement du discriminateur en dehors de la zone linéaire et la régulation était impossible (fig. 12).

La suite des essais a été réalisée avec des lèvres triangulaires spécialement destinées à la régulation.

Indiquons à titre d'exemple l'affaiblissement du discriminateur dans le cas où le générateur fonctionne à 5 MeV et où il fournit un courant de 5 μ A. On suppose que les résistances d'entrée branchées aux plaques collectrices (densité de courant 10 μ A/mm²) sont des résistances de 1 M Ω .

Dans ce cas, pour une fluctuation de tension de 500 V on a évalué la variation correspondante de courant sur les lèvres à 0,1 μ A et la variation de tension à 0,1 volt. L'affaiblissement du discriminateur est alors égal à 5000.

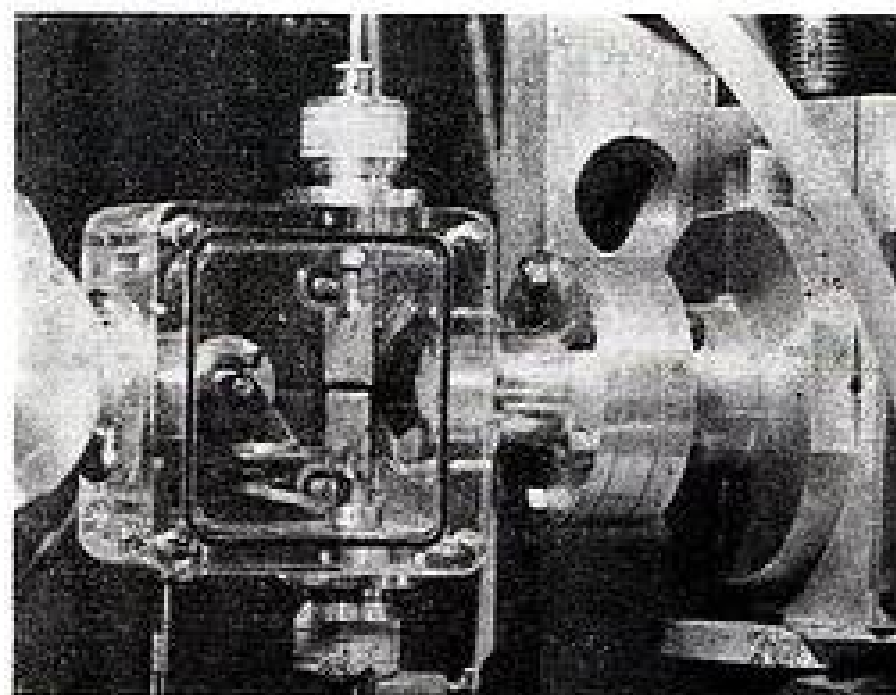


FIG. 13. — Boîte à lèvres.

Le faisceau va de la droite vers la gauche.

La boîte en plexiglass permet l'observation visuelle du spot. Les lèvres visibles sur le cliché servent à la définition en énergie. Les lèvres de régulation sont masquées par les premières.

En régime normal de fonctionnement, la réaction sur la cible produit un rayonnement dangereux et les opérateurs doivent se tenir dans la salle de commande, séparée de la salle de la cible par un épais mur de béton. Les réglages de focalisation sont alors réalisés avec l'aide d'un dispositif de télévision industrielle.

Cet affaiblissement peut varier dans un très large domaine avec le point de fonctionnement du générateur : il faut donc que le gain des chaînes d'amplificateurs puisse varier dans la même proportion pour que les exigences de précision et de stabilité soient à tout moment satisfaites.

La figure 13 représente une boîte à lèvres réalisée par le Service de Physique Nucléaire pour l'utilisation aux faibles intensités. Pour les fortes intensités, il est nécessaire d'utiliser des lèvres refroidies par eau (voir l'article de MM. BRUCK et GENDREAU).



CFTH

Télévision Industrielle

Contrôle à Distance

- Contrôle du traitement et des manipulations de matériaux radioactifs.
- Examen de l'état de surface de barreaux d'uranium et de leurs gaines.
- Observation de l'intérieur de piles atomiques.
- Surveillance de locaux d'accès dangereux.

COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON

GROUPE ÉLECTRONIQUE • 173, Bd HAUSSMANN, PARIS-8^e – ÉLY. 83-70 – TÉLÉGR. ELIHU 42 PARIS

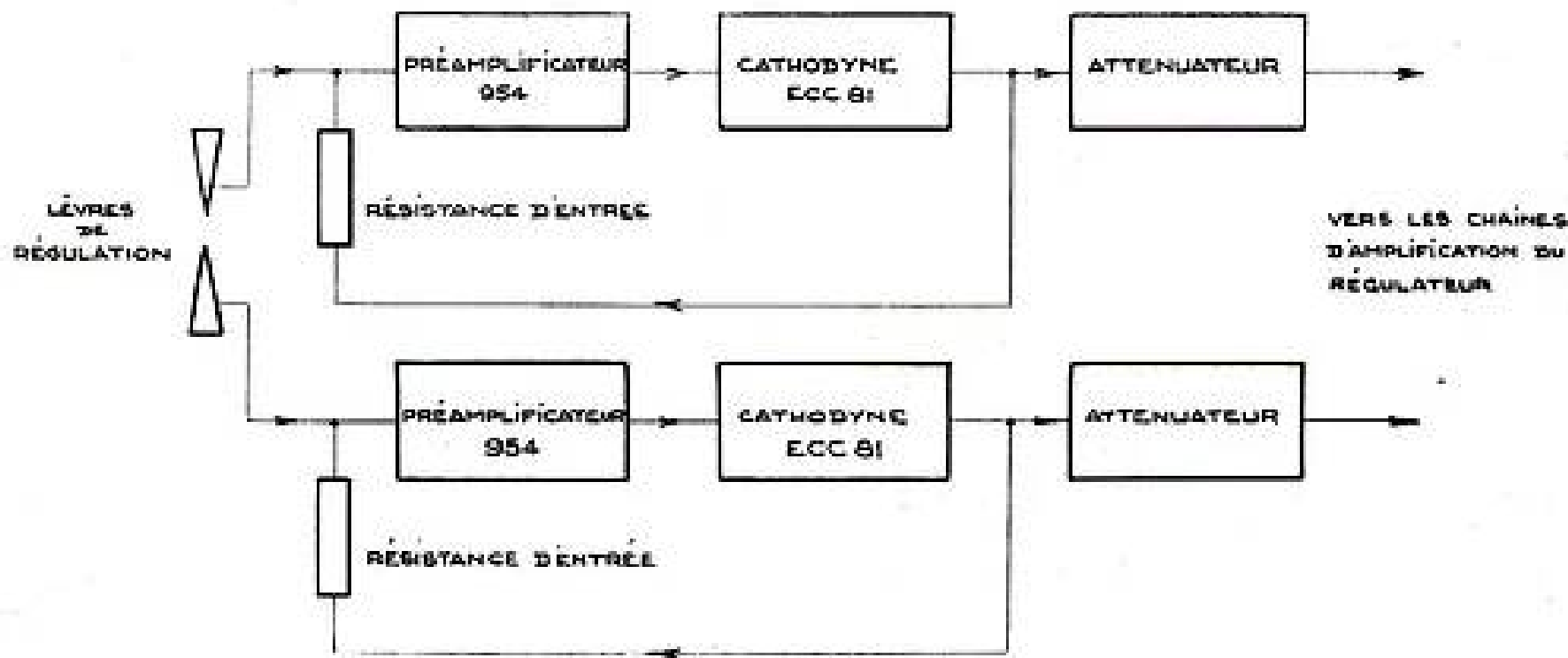


FIG. 14. — Schéma de principe de l'adaptateur d'impédance.

III.2. ADAPTATEURS D'IMPÉDANCE.

Chacune des deux lèvres de régulation est connectée à l'entrée d'un adaptateur d'impédance. Il s'agit d'un préamplificateur à contre réaction totale destiné à permettre la transmission à basse impédance du signal depuis la salle de la cible jusqu'à la salle de commande.

On sait qu'un tel amplificateur jouit de la propriété suivante : si nous désignons par A le gain en chaîne ouverte de l'amplificateur, par R sa résistance d'entrée et par C sa capacité parasite d'entrée, la constante de temps du circuit d'entrée n'est pas RC mais $\frac{RC}{A}$. Dans le cas où le faisceau utilisé a

une intensité faible, le signal d'entrée est faible et il est nécessaire d'utiliser une résistance R de valeur élevée : la contre réaction totale empêche que cette résistance ne soit court-circuitée par la capacité parasite avec apparition d'une pente de -12 dB/octave dans la courbe de réponse du régulateur en chaîne ouverte. On conçoit l'importance du dispositif pour la stabilité de l'asservissement.

La figure 14 représente le schéma de principe de l'adaptateur d'impédance.

Les résistances R , disposées entre la sortie de

l'adaptateur et sa grille d'entrée sont interchangeables ; on peut ainsi faire varier l'impédance de transfert de l'adaptateur : ce réglage contribue à maintenir constant l'ordre de grandeur du gain de la chaîne ouverte quelle que soit l'intensité du faisceau.

A la sortie de l'adaptateur d'impédance, un atténuateur permet également d'ajuster la valeur du gain : ce réglage maintient constant à quelques décibels près le gain de la chaîne ouverte quelles que soient les conditions de fonctionnement (intensité du faisceau, dimensions du spot, tension du générateur).

III.3. CHAÎNE DE RÉGULATION LENTE.

La régulation lente n'agit que sur une seule des courroies du générateur. La chaîne de régulation comprend un amplificateur de tension, un moteur de commande et un stabilisateur de courant de charge (fig 15).

III.3.1. Amplificateur de tension et moteur de commande.

Si la chaîne lente était utilisée seule pour stabiliser la tension du générateur, la dérive de l'amplificateur n'aurait qu'une importance secondaire. Pour éviter

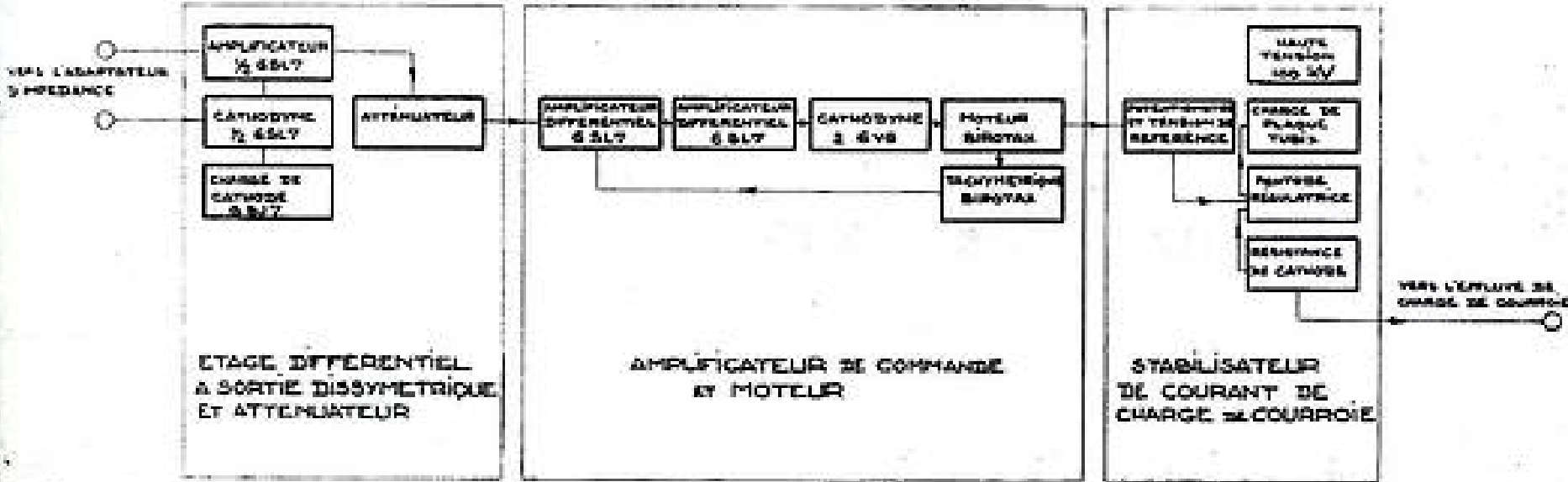


FIG. 15. — Schéma de principe de la chaîne de régulation lente.

le blocage de l'amplificateur à courant continu de la chaîne rapide, il est nécessaire de réduire au minimum la dérive de l'amplificateur de tension de la chaîne lente. L'amplificateur de tension de la chaîne rapide ayant un gain en continu de 10 000 et une excursion de sortie de ± 200 Volts, la dérive de la chaîne lente, ramenée à l'entrée de l'amplificateur ne devra pas être supérieure à 10 millivolts.

L'étage d'entrée de l'amplificateur de la chaîne lente est un étage différentiel à sortie dissymétrique, de gain 20. Cet étage est suivi par un atténuateur et un amplificateur de commande du moteur de régulation. Cet amplificateur comporte deux étages symétriques de gain respectif 40 et un étage cathodyne de puissance. Après un préchauffage de 30 minutes, la dérive ramenée à l'entrée est inférieure à 5 mV dans le courant d'une journée de fonctionnement.

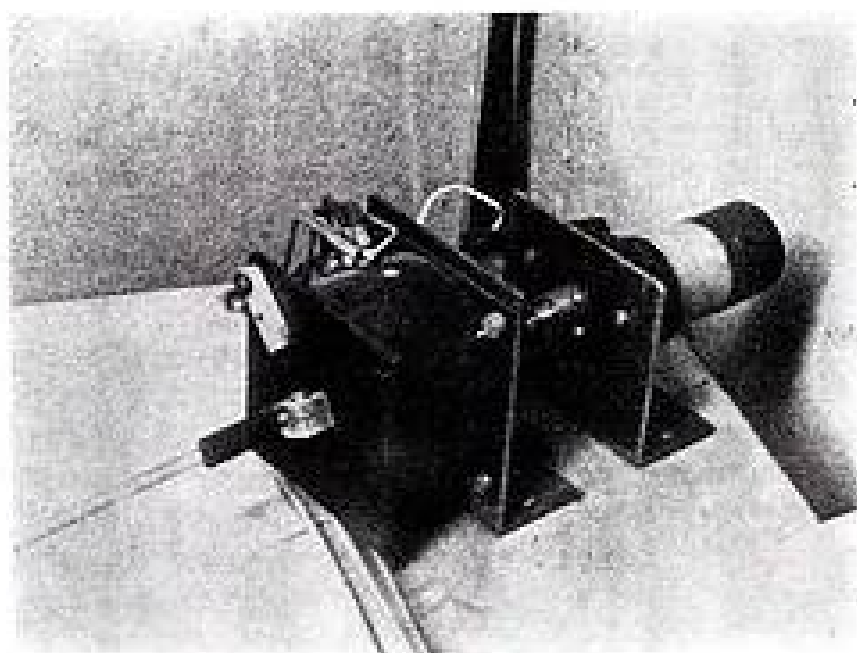


FIG. 16. — Moteur de commande du stabilisateur de courant.

Le moteur « birotax » (à droite) commande, par l'intermédiaire de la baguette de verre visible à gauche, un potentiomètre (non visible sur le cliché) qui règle le courant injecté sur la courroie par le stabilisateur de courant. On voit que l'information est transmise par ce système sous la forme d'une position angulaire. Le potentiomètre visible sur la figure (au milieu) est un organe de télé-indication destiné à répéter cette information au pupitre de commande.

Le moteur de régulation utilisé est un « birotax » à dynamo tachymétrique incorporée. Un circuit de contre réaction injecte la tension aux bornes de la dynamo tachymétrique à l'entrée de l'amplificateur de commande.

L'utilisation d'un moteur a l'avantage de simplifier notablement le problème de l'isolement de l'amplificateur par rapport au stabilisateur de courant qui est portée à une très haute tension. Cet isolement est réalisé simplement au moyen d'une baguette de verre de 60 cm de long et de 6 mm de diamètre qui relie l'axe de sortie du démultiplicateur du « birotax » à l'axe de commande d'un potentiomètre qui effectue le réglage du stabilisateur (fig. 16).

III.3.2. Stabilisateur du courant de l'effluve de charge :

III.3.2.1. *Description générale* : Le stabilisateur de courant est destiné à asservir le courant de charge de la courroie du générateur Van de Graaff à une grandeur de référence (ici une tension) que l'on peut

faire varier, soit par un réglage manuel, soit par l'intermédiaire d'un servomécanisme (moteur de régulation).

Le système de charge de la courroie du générateur Van de Graaff comporte un peigné maintenu à une tension pouvant varier de 0 à 80 kV. Devant ce peigné, passe la courroie transporteuse de charges derrière laquelle une poulie à la masse permet de maintenir un champ électrique suffisant, au voisinage du peigné, pour provoquer la formation d'une effluve. Le régulateur est en série avec l'effluve et une alimentation haute tension. Son rôle est de maintenir constant le courant d'effluve quelles que soient les fluctuations de la haute tension et les variations des conditions de la décharge.

Le stabilisateur comporte essentiellement deux tubes électroniques, une triode et une pentode, montés en cascade. La triode est destinée à supporter la tension tandis que la pentode est la régulatrice du

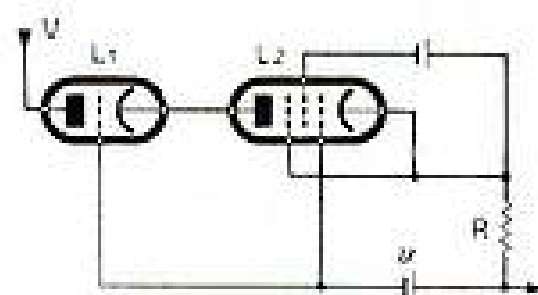


FIG. 17. — Schéma de principe du stabilisateur de courant de l'effluve de charge.

courant. Dans la cathode de la pentode est insérée une résistance de charge cathodique R (fig. 17).

L'ensemble de l'appareillage électronique de ce stabilisateur est monté dans un châssis fixé à la partie supérieure d'un transformateur d'isolement. Ce châssis est entouré, pour éviter la formation d'effluves, pas une électrode en aluminium repoussé (fig. 18). Chaque courroie possède son propre stabilisateur. Un seul de ces stabilisateurs est inséré dans la chaîne de régulation ; l'autre est commandé manuellement par l'intermédiaire d'un axe isolant en plexiglass.

III.3.2.2. *Impédance dynamique du stabilisateur* : soit V la haute tension appliquée aux bornes du système, v la tension de référence appliquée à la grille de la pentode, K_1 le coefficient d'amplification de la pentode, K_2 le coefficient d'amplification de la triode.

En fonctionnement normal, le courant débité a pour valeur :

$$I = \frac{v}{R} + \frac{V}{K_1 K_2 R}$$

La tension de référence v est prise entre le curseur et une borne d'entrée d'un potentiomètre branché sur une alimentation stabilisée.

Lorsque la tension de référence v est maintenue constante, le système se comporte vis-à-vis des fluctuations de la tension V à ses bornes, comme une

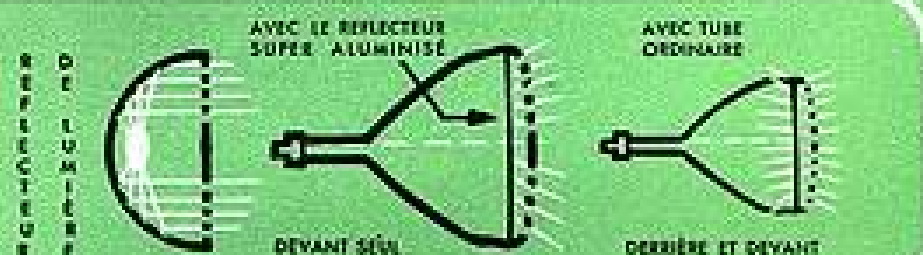
"SILVER SCREEN 85"

SYLVANIA



Avantages =

- ★ AUGMENTATION de la BRILLANCE et des CONTRASTES
- ★ TRÈS GRANDE RÉGULARITÉ de la TEINTE
- ★ SUPPRESSION des RAYONS RÉFLÉCHIS
- ★ PLUS GRANDE PRÉCISION MÉCANIQUE du CANON ÉLECTRONIQUE
- ★ MEILLEURE RESTITUTION de la COMPOSANTE CONTINUE
- ★ AUGMENTATION de L'EFFET de RELIEF PAR des CONTRASTES PLUS RIGOUREUX
- ★ ÉMISSION CATHODIQUE PEU POUSSÉE AUGMENTANT la DURÉE de VIE du TUBE
- ★ UTILISATION IMMÉDIATE SUR TOUS TÉLÉVISEURS



PIÈGE À IONS ALNICO P.M.

Tous nos tubes sont livrés avec le piège à ions Alnico P.M., de grande stabilité, spécialement conçu pour eux - Épouse facilement le canon du tube et s'y maintient sans glissement.



RADIO TÉLÉVISION FRANÇAISE

CONCESSIONNAIRE EXCLUSIF FRANCE ET U.F. 29, RUE D'ARTOIS - PARIS 8^e - BAL. 42-35

résistance de valeur $K_1 K_2 R$ avec $K_1 = 1\,000$, $K_2 = 200$, $R = 1\text{ M}\Omega$.

d'où $K_1 K_2 R = 200\,000\text{ M}\Omega$

c'est-à-dire que $\frac{dI}{dV} = \frac{1}{K_1 K_2 R} = 5 \cdot 10^{-12}\text{ A/V}$

Les fluctuations de la tension d'alimentation de l'effluve entraînent donc une variation négligeable du courant.

III.3.2.3. *Triode haute tension* : lorsque le régulateur est réglé pour un courant donné, les fluctuations de la haute tension se retrouvent presque intégralement entre plaque et cathode du tube triode. La tension entre plaque et cathode de ce tube doit être suffisamment élevée pour que, compte tenu de ces fluctuations, le régulateur ne sorte jamais de la zone de fonctionnement normal. Lorsque les caractéristiques de l'effluve varient, le réglage du régulateur étant réalisé pour un courant donné, la tension entre plaque et cathode du tube triode varie également, et le régulateur doit cependant toujours rester dans le domaine de fonctionnement normal.

Si, en cas de pompage, par exemple, le servomécanisme tend à réduire rapidement la valeur du courant, la tension aux bornes de l'effluve décroît rapidement et la tension aux bornes du régulateur croît rapidement, ainsi que la tension plaque de la triode. Si celle-ci n'est pas dimensionnée très largement, le dispositif peut être endommagé par un claquage.

Dans ces conditions, il est commode d'utiliser une triode pouvant tenir une tension très élevée.

Au moment où nous avons entrepris la construction de ce régulateur, nous n'avons pas trouvé sur le marché de triode construite pour un faible débit et une forte tension plaque.

Une collaboration amicale avec la Société Tubix, la S.I.F. et le Service de Technologie du C.E.A. nous a permis de mettre en fabrication quelques triodes spéciales répondant aux caractéristiques suivantes :

- a) Tension plaque maximum (sans claquage) : 80 kV ;
- b) Tension plaque maximum (sans courant inverse de grille) : 40 kV. ;
- c) Coefficient d'amplification de l'ordre de 200 ;
- d) Pente : 40 mA/V ;

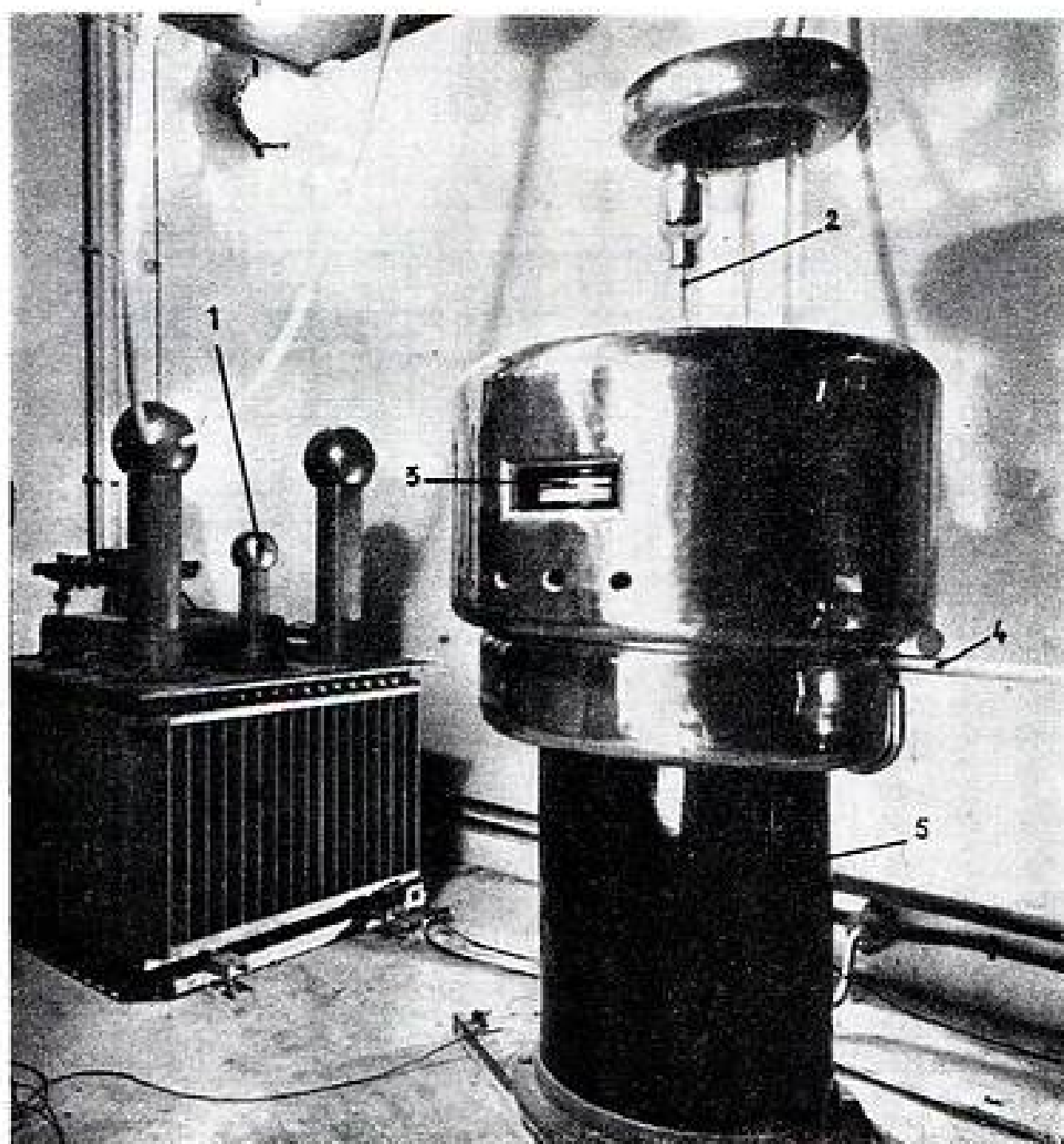


FIG. 18. — Stabilisateur du courant des effluves de charge des courroies.

1. Alimentation haute tension. — 2. Triode haute tension L_1 (voir figure 17). — 3. Appareil de mesure du courant injecté sur la courroie.
4. Axe de commande en plexiglass. — 5. Transformateur d'isolement.

c) Courant plaque d'utilisation dans le montage en régulateur : 0 à 1 mA.

Les essais ont été faits avec un courant plaque variant de 0 à 5 mA.

f) Caractéristiques I_p/V_g :

Ces courbes sont tracées figure 19.

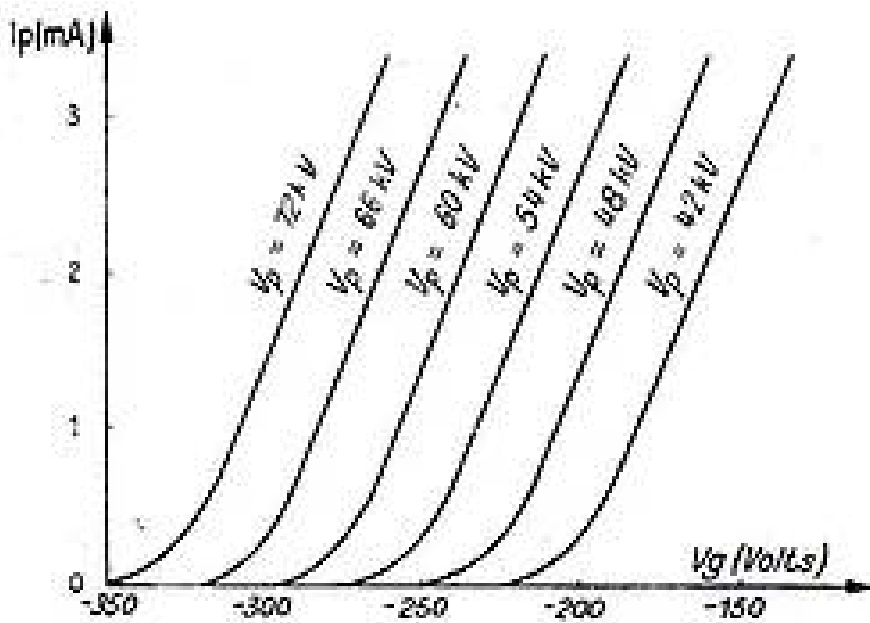


Fig. 19. — Caractéristiques I_p/V_g de la triode haute tension du stabilisateur de courant.

On remarquera la faible tension de polarisation nécessaire pour amener la lampe au « cut-off ».

L'amplificateur est constitué par deux étages symétriques suivis d'un étage à sortie dissymétrique, d'un étage « cascode » à grande excursion de sortie et d'un étage cathodyne. Son gain maximum en tension est de 80 dB, une atténuation réglable pouvant être obtenue par modification des charges de plaque des deux étages symétriques. La bande passante est de 10 kc/s. Après un préchauffage de 30 minutes, la dérive ramenée à l'entrée est inférieure à 5 mV dans le courant d'une journée de fonctionnement.

III.4.2. Amplificateur de puissance :

Il est constitué par une triode E. 1301 alimentée à partir d'une haute tension de 30 kV. La résistance de plaque R étant de l'ordre de 1 M Ω et la capacité de charge C de l'ordre de 7 000 $\mu\mu\text{F}$, le point de fonctionnement aux fréquences supérieures à

$\frac{1}{2\pi RC} = 20 \text{ c/s}$ se déplace sur une ellipse. Pour les petites amplitudes il n'y a pas alors d'affaiblissement appréciable, la constante de temps de sortie

étant égale à $\frac{R \rho^2 C}{R + \rho}$ et non à RC (ρ : résistance interne de la triode). Mais, pour les grandes amplitudes, l'ellipse de charge sort du domaine des caractéristiques linéaires et l'on observe des distorsions et des saturations qui interviennent pour une tension d'entrée d'autant plus faible que la fréquence est élevée.

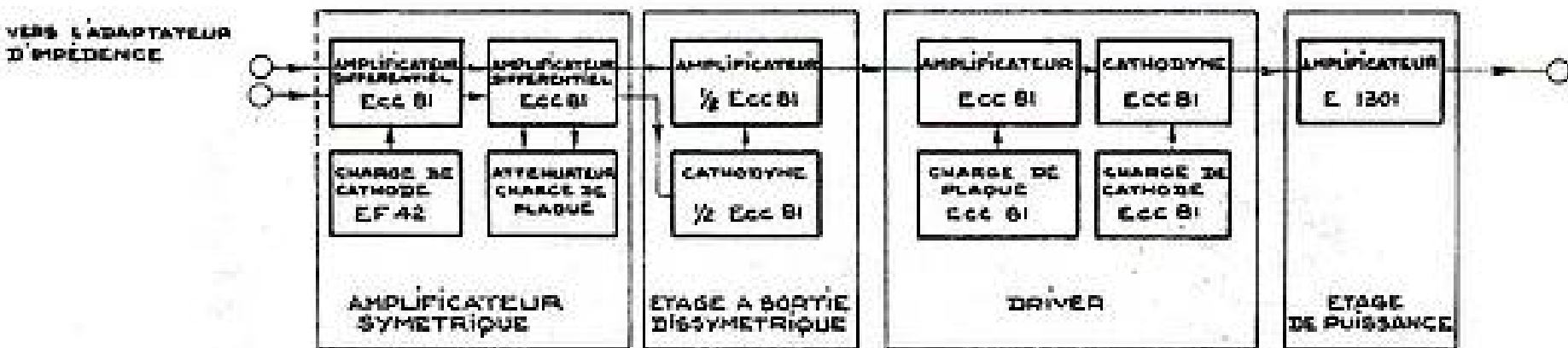


Fig. 20. — Schéma de principe de la chaîne de régulation rapide.

III.4. CHAÎNE DE RÉGULATION RAPIDE.

La chaîne de régulation rapide comprend un amplificateur de tension et un amplificateur de puissance (fig. 20).

III.4.1. Amplificateur de tension :

On veut diviser par environ 100 les fluctuations de tension du générateur. Le discriminateur présentant un affaiblissement maximum de l'ordre de 5 000, il est nécessaire que le gain des amplificateurs de la chaîne rapide soit au moins égale à $5 \cdot 10^4$ pour toutes les fréquences inférieures à 10 c/s. L'amplificateur de puissance ayant un gain de 50, chutant à 6 dB/octave à partir de 35 c/s, le gain de l'amplificateur de tension devra être, au minimum, de 10 000. Pour des raisons de stabilité de la chaîne, la courbe de réponse doit être plate jusqu'à 5 kc/s minimum. Pour éviter le blocage de l'amplificateur de puissance, la dérive d'entrée doit être inférieure à 10 mV.

Pour éviter les non linéarités, nous avons introduit, entre la capacité C_1 (capacité écran capacitif-masse) et la plaque de la lampe de puissance,

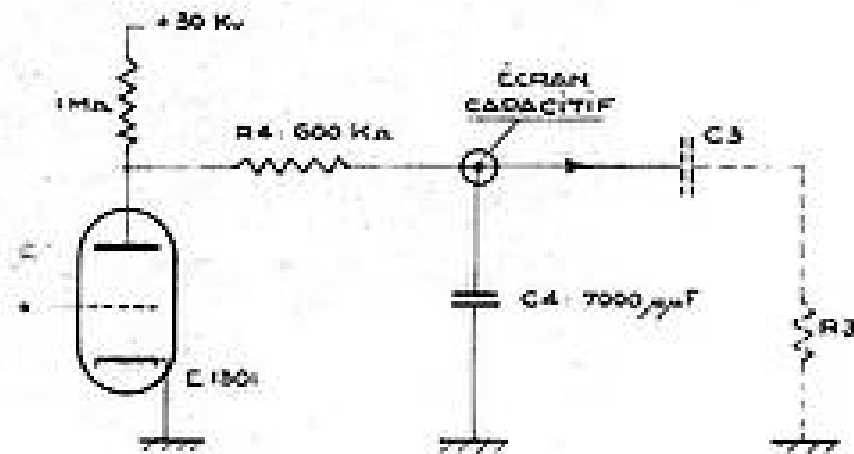


Fig. 21. — Schéma de principe de l'amplificateur de puissance de la chaîne de régulation rapide.
 C_3 est la capacité écran capacitif-écran intermédiaire.
 R_3 la résistance écran intermédiaire-masse.

une résistance R_4 de 600 k Ω (fig. 21). La charge ramenée sur la plaque a une composante réactive, faible quelle que soit la fréquence, et le fonctionnement de la lampe est plus satisfaisant. La résistance R_4 de 600 k Ω et la capacité C_4 de 7 000 μ F déterminent la chute à - 6 dB/octave de la courbe de réponse, conformément aux exigences définies précédemment. En continu, l'amplificateur a un gain en tension de l'ordre de 50.

IV. — Conclusion.

PERFORMANCES DU RÉGULATEUR.

Le rôle fondamental du régulateur de tension est l'augmentation de l'intensité moyenne du faisceau pendant l'étude d'une réaction nucléaire. A ce titre, le régulateur s'est avéré l'auxiliaire indispensable de l'accélérateur Van de Graaff. L'expérience nous a montré que la poursuite non automatique du faisceau est pratiquement impossible. D'autre part, les deux chaînes de régulation sont absolument nécessaires : si la régulation rapide n'est pas en fonctionnement, le faisceau passe seulement par intermittences entre les lèvres et l'intensité moyenne reçue par la cible est très faible.

Au point de vue de la souplesse d'exploitation de l'accélérateur, le régulateur de tension a contribué à réduire considérablement les temps morts : en effet tout changement du point de fonctionnement de l'accélérateur conduit à effectuer de longs et pénibles réglages si la tension n'est pas stabilisée. Dans le cas où la chaîne lente fonctionne seule, il est alors pratiquement impossible de ne pas perdre le faisceau qui sort du domaine de fonctionnement du discriminateur de tension et dont il faut effectuer la poursuite par réglage manuel.

Par contre, si les deux chaînes de régulation sont en marche, le changement de point de fonctionnement ne conduit à aucune perte de temps : il suffit de régler le champ magnétique du monochromateur à la valeur choisie et la tension de la machine suit automatiquement : le faisceau arrive donc constamment sur la cible.

Un régulateur provisoire ne comportant que la seule chaîne lente a d'abord été mis en service.

Le régulateur définitif est en exploitation depuis octobre 1954 avec ses deux chaînes. Certaines expériences ont exigé un fonctionnement continu de

l'accélérateur. Aucune panne ne s'est manifestée, excepté la coupure d'une résistance dans le circuit de plaque de l'amplificateur de puissance.

La stabilité de la chaîne de régulation est en tous points conforme aux prévisions théoriques. Les rares réseaux correcteurs ayant pu être entièrement déterminés par le calcul, la mise en route de l'ensemble des deux chaînes de régulation a demandé moins d'une demi journée d'essais.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail et en particulier Monsieur Gérard LEHMANN dont les conseils ont grandement contribué au succès de cette réalisation.

BIBLIOGRAPHIE

1. — *Généralités sur les générateurs Van de Graaff* :
 - [1] R. J. VAN DE GRAAFF, J. G. TRUMP and W. W. BUCKNER. *Rep. Progr. Phys.* G.B. XI, 1 (1946-47).
 - [2] R. L. FORTESCUE and P. D. HALL. *Proc. Inst. Electr. Engr.* G.B. 96, 1-77 (1949).
 - [3] S. D. WINTER. *Le générateur électrostatique moderne du type Van de Graaff. Les Accélérateurs de particules*. Editions de La Revue d'Optique théorique et instrumentale. 1950.
2. — *Généralités sur la régulation de tension des générateurs Van de Graaff* :
 - [4] J. TAIB. *Onde Electr.* Fr. 1950, 30, 284.
3. — *Régulation lente* :
 - [5] A. O. HANSON. *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A., 15, 57 (1944), voir également [1] et [2].
4. — *Régulation par efflux* :
 - [6] R. M. ASHBY and A. O. HANSON. *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A., 13, 128 (1942).
 - [7] J. L. Mc KIBBEN, D. H. FRISCH and J. M. HUSE. *Phys. Rev.*, U.S.A. 70, 117 (1946).
5. — *Régulation par faisceau électronique* :
 - [8] W. E. BENNETT, T. W. BONNER, C. E. MANDEVILLE and R. E. WATT. *Phys. Rev.*, U.S.A., 70, 832 (1946).
 - [9] S. J. BAME and L. M. BAUGHN. *Rev. Sci. Instrum.*, U.S.A., 20, 839 (1949).
6. — *Régulation par ébran capactif* :
 - [10] W. C. MILLER, B. WALDMAN, J. C. NOYES and J. E. VAN HOOMSEN. *Phys. Rev.*, U.S.A. 77, 758 (A) 1950.
7. — *Stabilisateur de courant d'efflux* :
 - [11] A. GABET et J. TAIB. Rapports CEA No 46 et 213.
Dans la limite des disponibilités, ces rapports peuvent être communiqués sur demande par le Service de Documentation du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

Émetteurs

DE 1 à 4 KW

OC — OM

**POUR TRAFIC
ET RADIODIFFUSION**

**TÉLÉCOMMUNICATIONS
RADIOÉLECTRIQUES
or
TÉLÉPHONIQUES**

TRT

26, RUE BOYER

PARIS-XX^e — TÉLÉPHONE : MÉNIL. 62-94

ÉMETTEURS 100 W - 1 KW - 2 KW - 4 KW OC et OM ★ 2 KW - 12 KW FM RADIODIFFUSION ★ 15 W - 50 W FM FIXES et MOBILES ★ VHF DE TOURS DE CONTRÔLE ★ FAISCEAUX HERTZIENS DE TÉLÉVISION 250 mW - 10 W UHF et SHF ★ FAISCEAUX HERTZIENS ET MULTIPLEX POUR TÉLÉPHONIE

LE CYCLOTRON DU C.E.A A SACLAY

PAR

P. DEBRAINE

Service des Accélérateurs. Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

I. — Généralités.

Le Cyclotron de Saclay prévu pour produire des deutons de 25 MeV a commencé à fonctionner en juin 1954 en accélérant des ions lourds : carbone, azote, oxygène qui permettent d'obtenir des énergies maxima respectivement de 120, 140, 160 MeV. Pour éviter d'être gêné par les deutons il était important de démarrer directement en ions lourds sans introduire de deutérium dans la chambre ; cela impliquait de faire les réglages initiaux sur un faisceau extrêmement faible. Cette difficulté a été en grande partie levée grâce à la sensibilité des appareillages de détection (cristal à scintillation, guide de lumière et photomultiplicateur) mis au point au CEA par M. CHAMINADE. Cette sensibilité était telle qu'il a été possible de déceler le faisceau avant même que la source soit mise en action, c'est-à-dire sur un faisceau formé par les ions résiduels produits par action du champ électrique existant entre les électrodes accélératrices.

Nous supposons que les lecteurs de l'Onde Electrique connaissent le principe et la structure d'ensemble du Cyclotron et nous donnerons ci-dessous les caractéristiques essentielles du Cyclotron de Saclay. Nous reviendrons cependant sur la manière dont se présente le problème haute-fréquence afin de bien montrer ses particularités. Ce problème sera traité en détail par M. A. BARRAUD qui, entre autres activités, a eu la charge essentielle dans la réalisation de l'équipement haute-fréquence.

II. — Caractéristiques du cyclotron de Saclay.

II.1. — ELECTRO-AIMANT.

L'électro-aimant (voir fig. 2 page 1053) est du type symétrique avec pièces polaires centrales munies d'un entrefer cylindrique dans lequel vient se placer la chambre d'accélération. Les bobines d'excitation sont placées symétriquement autour des pièces polaires de part et d'autre de l'entrefer central. Les extrémités des pièces polaires font partie de la chambre (couvercles).

Les caractéristiques de l'électro-aimant sont les suivantes :

longueur de l'armature	5,50 m
largeur de l'armature	2,50 m
hauteur de l'armature	3,60 m
diamètre des pièces polaires ..	1,60 m
hauteur de l'entrefer	0,30 m
diamètre extérieur des bobines	3,20 m
masse totale	270 tonnes
masse de cuivre des conducteurs	20 tonnes
champ maximum (avec l'alimentation actuelle)	1,9 Wb/m ²
puissance d'alimentation correspondante	200 kW

La décroissance radiale du champ du centre au rayon maximum d'utilisation (71 cm) est, en l'absence de correction, de 3 % et l'homogénéité azimutale est de l'ordre de 1 ‰.

L'électro-aimant est alimenté par un groupe convertisseur (moteur asynchrone — dynamo — excitatrice) la tension de la dynamo est stabilisée à 10^{-4} près par un régulateur qui peut être éventuellement commandé par un dispositif de synchronisation automatique asservi au faisceau.

Les bobines sont réalisées par enroulement de conducteurs en cuivre à section carrée, munis d'un canal cylindrique central dans lequel passe l'eau de refroidissement.

II.2. — ENCEINTE ÉTANCHE.

L'enceinte étanche se compose de la chambre d'accélération (visible sur la fig. 2 de la page 1053 dans l'entrefer de l'électro-aimant), des enveloppes de lignes résonnantes, de la chambre de bombardement (fixée sur l'une des faces avant de la chambre d'accélération), des canalisations de pompage et des pompes. L'ensemble a un volume de l'ordre de 4 m³.

Cette enceinte est réalisée au moyen de plaques d'acier inoxydable laminées et soudées. Cette solution s'est montrée satisfaisante tant en ce qui concerne l'étanchéité que l'état de surface.

Des pompes à diffusion à huile à gros débit assurent le vide désiré (q.q. 10^{-4} mm Hg) et des écrans refroidis bloquent les remontées d'huile. Les joints sont généralement réalisés au moyen de tores (à section ronde ou carrée) en caoutchouc synthétique placés dans des gorges qui assurent leur maintien avant serrage.

II.3. — EQUIPEMENT HAUTE-FRÉQUENCE.

Les électrodes accélératrices ou dees placées dans la chambre constituent un condensateur complexe qui est utilisé systématiquement comme élément constitutif des résonateurs. Les parties inductives des résonateurs sont constituées par des tronçons de lignes coaxiales fermées par des disques de court-circuit à une distance convenable du raccordement avec les dees.

L'ensemble a été réglé pour osciller à une fréquence de 10,6 MHz. Cette fréquence a été choisie de façon à pouvoir passer rapidement, en fait par simple changement du champ magnétique, de l'accélération du carbone à celle de l'oxygène, en passant par l'azote. Si l'on voulait se limiter à un seul type d'ion, il serait possible de se régler sur la fréquence qui permettrait de travailler avec le champ magnétique le plus élevé possible et, par suite, avec l'énergie finale la plus élevée. Pour plus de détails sur cette partie de l'équipement voir l'article de M. BARRAUD dans le même numéro.

II.4. — SOURCE D'IONS.

La source doit émettre les ions à accélérer au centre de la chambre, dans une région où règnent à la fois un champ magnétique intense et un champ électrique HF élevé.

L'introduction du support de la source s'effectue à travers une des parois de la chambre.

Le principe de la source actuelle consiste à faire éclater un arc dans une petite enceinte conique venant déboucher au centre de la chambre. Le gaz à ioniser est envoyé dans cette enceinte et l'amorçage de l'arc est effectué par les électrons émis par un filament chauffé (en HF ou en continu) placé dans cette enceinte.

La figure 6, page 1055, montre la source d'ions en place devant l'un des dees. On voit l'extrémité du cône débouchant dans la région centrale.

II.5. — CIBLES ET SONDES.

Lorsque les ions atteignent leur énergie maximum ils circulent sur un arc de cercle correspondant

au rayon de sortie et viennent dans un canal destiné à permettre leur éjection. Dans ce canal, une électrode portée à un potentiel négatif convenable produit, entre la paroi interne du canal et l'électrode, un champ électrique qui augmente le rayon de courbure de la trajectoire des particules et permet à celles-ci d'entrer dans une chambre annexe dite de bombardement. La chambre de bombardement qui peut être isolée, au moyen d'une porte, de la chambre d'accélération, est fermée par des porte-cibles dont le type peut être variable. Les cibles peuvent être perpendiculaires au faisceau ou au contraire recevoir celui-ci presque tangentiellement de façon à le répartir sur une plus grande surface. Le faisceau peut venir frapper une cible d'une substance à bombarder directement, ou au contraire irradier une cible de béryllium ou de lithium de façon à produire des neutrons qui iront bombarder le produit en étude à l'extérieur de la chambre. Le faisceau peut encore sortir directement dans l'air à travers une fenêtre mince d'aluminium pour être utilisé à l'extérieur. Avec un porte-cible tournant les trois possibilités peuvent être utilisées successivement en un temps très court.

Le passage par le canal déflecteur amène une perte importante d'intensité, aussi est-il intéressant d'utiliser directement le faisceau circulant à l'intérieur de la chambre d'accélération. Ceci est obtenu en introduisant par l'une des parois une sonde qui vient occulter le faisceau à un rayon donné. Les sondes peuvent être de types assez variables suivant les utilisations envisagées ; dans tous les cas un sas permet de les extraire et de les changer sans faire d'entrées d'air dans la chambre principale. Une transmission pneumatique permet de transporter rapidement les produits irradiés vers les laboratoires de mesure.

II.6. — EQUIPEMENT DE COMMANDE.

Les conditions très particulières d'exploitation dues à la nécessité de protéger le personnel des atteintes des rayonnements imposent une télécommande totale de l'installation.

Les opérations de réglage et de fonctionnement se font d'une salle de commande située deux étages au-dessus de la machine, en rez-de-chaussée. Les équipements de commande, munis de tous les verrouillages nécessaires pour éviter les fausses manœuvres, se trouvent dans une salle intermédiaire.

II.7. — UTILISATION DU CYCLOTRON.

Bien qu'il soit affecté d'une limitation supérieure d'énergie, ainsi que nous le verrons plus loin, le Cyclotron est cependant d'un grand intérêt pour la recherche nucléaire.

Les énergies que l'on peut atteindre permettent de traverser les barrières de potentiel même des éléments les plus lourds.



Technique AVANCÉE

CIRCUITS imprimés



TV et USAGES professionnels

- ★ STABILITÉ
- ★ SÉCURITÉ
- ★ ÉCONOMIE
- ★ RENDEMENT



ENSEMBLE DÉFLEXION BOBINÉ EN FORME



CONCENTRATION AIMANT PERMANENT OU BOBINÉ



PIÈGE À IONS RÉGLABLE



TRANSFO. DE LIGNES THT

ETABLISSEMENTS R. HALFTERMEYER

35, AV. FAIDHERBE - MONTREUIL S/S BOIS - SEINE — TÉL. AVRON 28-90 ET LA SUITE

Les intensités relativement élevées et les grandes probabilités de désintégration que l'on peut obtenir permettent l'utilisation de faisceaux importants de neutrons et une production non négligeable de nucléides.

Certains nucléides que l'on ne peut pas obtenir à la pile sont susceptibles d'être produits au moyen du Cyclotron.

Bien que le Cyclotron ne soit pas comparable à la Pile au point de vue des neutrons thermiques, il permet d'obtenir des neutrons d'énergie plus élevée qu'avec celle-ci. La possibilité d'avoir un fonctionnement pulsé est intéressante pour un certain nombre de recherches.

L'accélération d'ions lourds qui s'est développée récemment est aussi un facteur important en faveur du Cyclotron. Cette dernière utilisation est encore dans l'enfance et promet d'être extrêmement intéressante, en particulier pour élucider le mécanisme des réactions nucléaires.

III. — Problème haute-fréquence du cyclotron.

III.1. — LIMITATION D'ÉNERGIE.

Le fonctionnement du Cyclotron est basé sur la possibilité d'accélération répétées lorsqu'il y a synchronisme entre le mouvement de rotation des particules et les variations de la tension alternative apparaissant entre les deux dees. La condition de synchronisme est :

$$\omega = \frac{keB}{m} = 2\pi f$$

ω est la vitesse angulaire des particules, e la charge élémentaire, k le degré d'ionisation, m la masse de la particule, B la valeur du champ d'induction magnétique et f la fréquence de la tension accélératrice.

Si B et m étaient fixes, la condition de synchronisme serait réalisée en utilisant une fréquence constante. En fait, le champ magnétique doit décroître du centre vers les bords de la chambre afin de donner des effets de focalisation sans lesquels il n'y aurait aucune stabilité des trajectoires et par ailleurs la masse des particules augmente au fur et à mesure que l'énergie croît (variation relativiste). Ces deux effets jouent dans le même sens pour détruire la réalisation de la condition de synchronisme.

En pratique, dans le Cyclotron classique, on travaille bien avec une fréquence fixe, mais les effets signalés ci-dessus donnent une limitation de l'énergie maximum que l'on peut atteindre.

Dans le cas idéal une particule donnée se retrouverait dans les mêmes conditions d'accélération à chaque passage dans l'intervalle accélérateur et l'énergie maximum ne serait donnée que par les dimensions de l'espace utile. Dans le cas réel, il

se produit un déphasage entre le mouvement des particules et la variation de la tension accélératrice. Ce déphasage évolue au cours du cycle d'accélération, ce qui veut dire que les particules sont accélérées par des tensions différentes lors des différents passages. L'énergie des particules peut ainsi croître jusqu'à ce que le déphasage soit tel que l'accélération soit nulle.

Grossièrement, on peut dire que ces déphasages jouent de tour à tour, ce qui veut dire que l'on ne peut admettre qu'un nombre limité de passages avant d'arriver à la borne d'énergie. Bien que cette remarque soit un peu schématique, elle montre que si l'on veut augmenter l'énergie limite, il faut augmenter le gain d'énergie à chaque passage et par suite l'amplitude de la tension accélératrice.

En réalité, les conditions sont différentes pour les différentes particules injectées et dans des conditions données il y a une certaine fraction des particules qui peut arriver jusqu'à l'énergie finale. Cette fraction augmente lorsque l'on augmente la tension accélératrice et il existe une certaine tension, dite tension de seuil, au dessous de laquelle aucune particule n'arrive jusqu'à l'énergie maximum correspondant aux dimensions utiles et au champ magnétique choisis lors du projet de la machine.

Le seuil dépend du type de particule, de la forme du champ magnétique et de l'énergie maximum que l'on veut obtenir. Dans le cas du Cyclotron de Saclay, pour accélérer des deutons, ce seuil est de 130 kV. Pour avoir des résultats intéressants, il faut donc avoir une tension entre dees d'au moins 150 kV, une tension plus élevée étant d'ailleurs très intéressante ; l'équipement HF a été prévu largement afin de pouvoir monter au maximum raisonnablement possible. Des questions de dégazage limitent d'ailleurs lors des premiers stades les possibilités de montée en tension.

III.2. — ACCÉLÉRATION DES IONS LOURDS.

Dans le cas des ions lourds, le mécanisme est un peu différent et l'expérience montre que le seuil est moins élevé que dans le cas des deutons. Les ions lourds sont susceptibles d'avoir des degrés d'ionisation multiples et l'on fait le réglage de façon à réaliser le synchronisme sur le degré d'ionisation le plus élevé. Sur les degrés moins élevés la vitesse angulaire des particules est moins grande que la pulsation de la tension accélératrice. Pour certains de ces degrés la pulsation de la tension est un multiple impair de la vitesse angulaire et la particule passe dans les intervalles accélérateurs dans des conditions convenables pour être accélérée ; pour les autres degrés la particule subit des accélérations et décélérations désordonnées donnant un gain d'énergie total nul. Cependant, au cours de ce mouvement sans gain d'énergie les particules peuvent s'ioniser plus profondément et un certain nombre d'entre-elles peuvent arriver jusqu'au degré d'ionisation maximum pour lequel la machine est réglée.

Le mécanisme détaillé des phénomènes n'est pas

encore complètement élucidé car sa complexité est grande, mais l'expérience montre que cela marche. Les changements de degré d'ionisation modifient les conditions de phase d'une manière assez imprévisible, mais qui s'avère au total plutôt favorable au point de vue seuil.

III.3. — POSITION DU PROBLÈME HAUTE-FRÉQUENCE.

Le Cyclotron, particulièrement lorsque l'on envisage des énergies élevées, pose des problèmes haute-fréquence relativement importants par suite des tensions élevées qu'il est nécessaire d'obtenir pour dépasser assez largement le seuil. Dans le cas des ions lourds, le problème est un peu différent mais toutes les implications n'ont pas encore été élucidées.

Indépendamment de la valeur de la tension, qui exige des résonateurs de très bonne qualité, il se pose un problème de stabilité très critique.

Ce dernier problème a d'ailleurs deux faces :

1° réalisation de la condition de synchronisme ;

2° accord du système de façon à avoir la tension accélératrice la plus élevée possible, ceci indépendamment des déformations pouvant se produire dans le circuit d'utilisation.

La première partie du programme se réalise au mieux en agissant sur l'autre paramètre disponible dans la condition de synchronisme, c'est-à-dire sur le champ magnétique, au moyen d'un régulateur asservi. Il serait possible d'agir sur la fréquence mais cela serait plus compliqué. La deuxième partie du programme se résout en faisant un oscillateur dont la fréquence soit imposée strictement par le circuit du Cyclotron proprement dit. Ceci impose une chaîne extrêmement directe entre l'oscillateur et sa charge ; le plus commode est de prendre cette charge elle-même comme circuit oscillant de l'oscillateur. L'oscillateur se fixe alors à la valeur de fréquence imposée par le circuit et le champ magnétique s'ajuste automatiquement pour donner le synchronisme.

HIGH VOLTAGE ENG. CORP. CAMBRIDGE U.S.A.

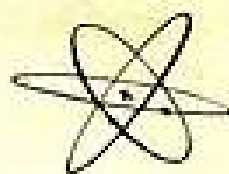
Accélérateurs DE PARTICULES

TYPE VAN DE GRAAFF

0,5 à 5,5 MeV

IONS POSITIFS - ÉLECTRONS

NEUTRONS - RAYONS X



Recherches

EN PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Applications -

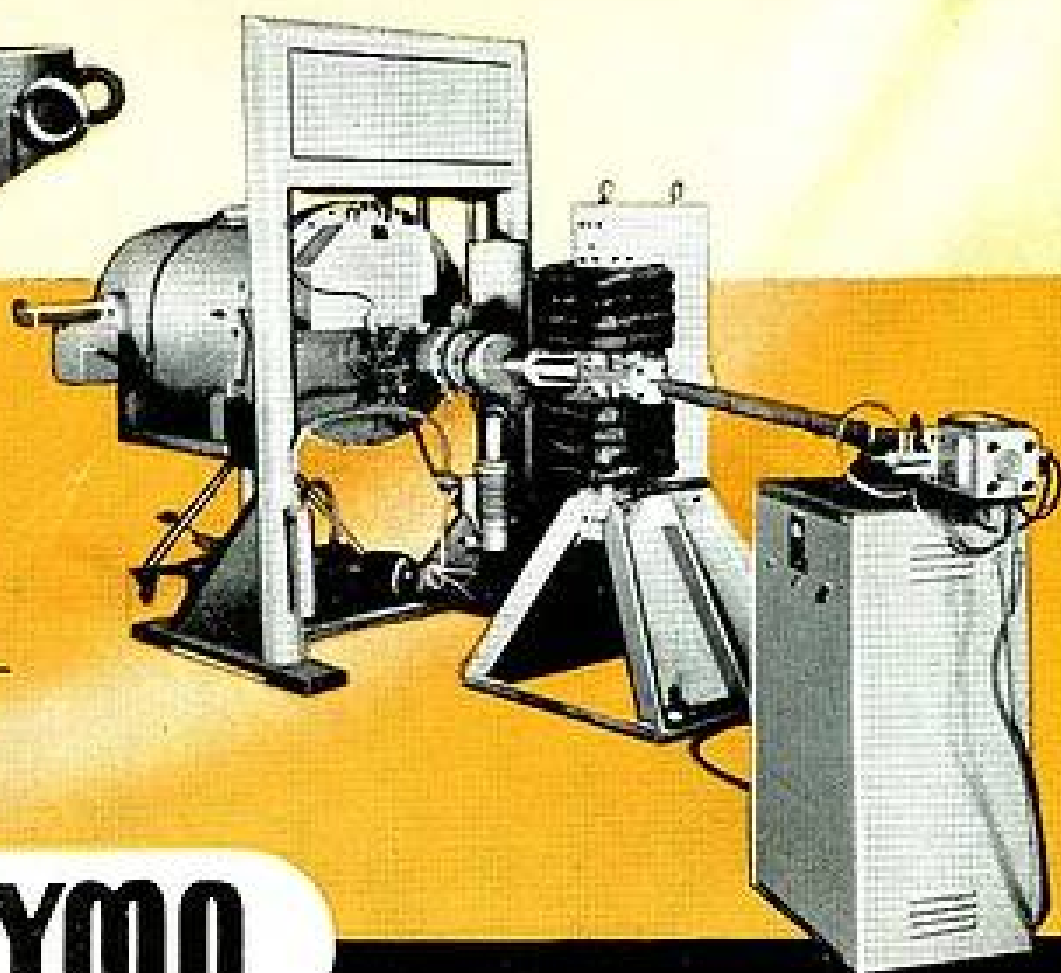
INDUSTRIE — MÉDECINE

ÉNERGIE ATOMIQUE



★ ACCÉLÉRATEUR D'IONS
POSITIFS 5,5 MeV.

ACCÉLÉRATEUR 0,5 MeV ★



SAPHYMO

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF DE HIGH VOLTAGE ENG. CORP. CAMBRIDGE U.S.A.
9, PLACE DES ÉTATS-UNIS - PARIS 16^e - TÉL. PASSY 46-80

AGENCE PUBLICITEC DOMINACOM

CIRCUITS HF DU CYCLOTRON

PAR

A. BARIAUD

*Service des Accélérateurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

1. Description générale.

Nous avons vu qu'il était nécessaire d'obtenir entre les dees une tension de l'ordre de 150 kV à la fréquence de 10,6 MHz.

Chaque dee constitue approximativement une capacité par rapport au sol et pour obtenir cette tension sans une dépense excessive d'énergie réelle il est naturel de coupler ces capacités à des circuits inductifs de façon à réaliser des circuits résonnants sur la fréquence désirée, et de coefficient de surtension le plus élevé possible.

Ces circuits inductifs ont été réalisés jusqu'à présent et en suivant l'évolution des Cyclotrons en puissance croissante, par des selfs localisées, des lignes bifilaires court-circuitées dans l'air, et enfin des lignes coaxiales court-circuitées et sous vide. Cette dernière solution a été retenue dans notre cas.

Le schéma de l'ensemble est représenté Fig. 1 et son équivalent électrique (fig. 3). Le circuit des dees est ainsi constitué par deux circuits résonnants couplés par une capacité. Les valeurs mesurées sont les suivantes :

capacité dee-sol : $C_1 = C_2 = 440$ pF

capacité de couplage $\Gamma = 11$ pF

fréquence de résonance $f = 10,6$ MHz

coefficient de surtension à vide $Q_1 = Q_2 = 5\,000$.

Outre le coefficient de surtension élevé ce mode de réalisation permet de maintenir mécaniquement les dees en porte à faux, derrière le court-circuit, partie où le champ HF est nul, ce qui supprime tout isolateur servant de support mécanique aux dees et

devant tenir une tension haute-fréquence élevée et être étanche au vide.

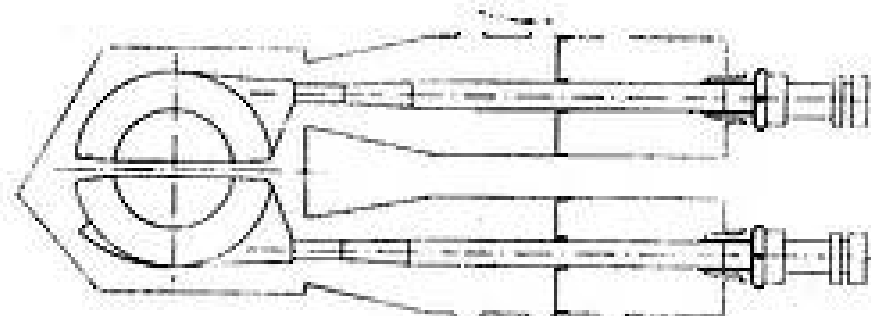


Fig. 1 a. — Schéma des dees et lignes résonnantes vues de dessus

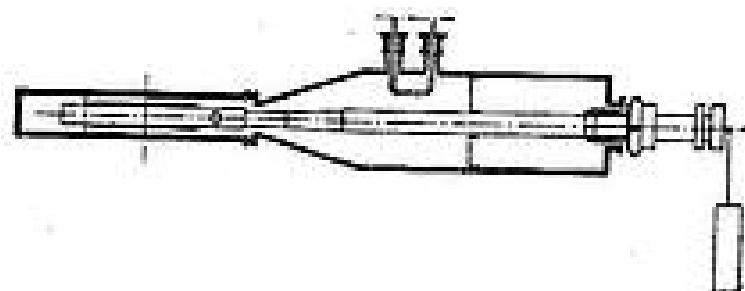


Fig. 1 b. — Schéma des dees et lignes résonnantes vue de profil. (échelle 1 cm = 1 m).

Par contre, cette solution a pour résultat d'accroître assez notablement le volume à vider ce qui, actuellement, grâce aux pompes à diffusion ayant de grandes vitesses de pompage, ne constitue pas un problème trop difficile à résoudre.

Nous verrons que la puissance réelle dissipée dans l'ensemble des circuits résonnants est donnée par la formule

$$P = \frac{V_{DS}^2 (C + 2\Gamma)}{Q} \quad (10)$$

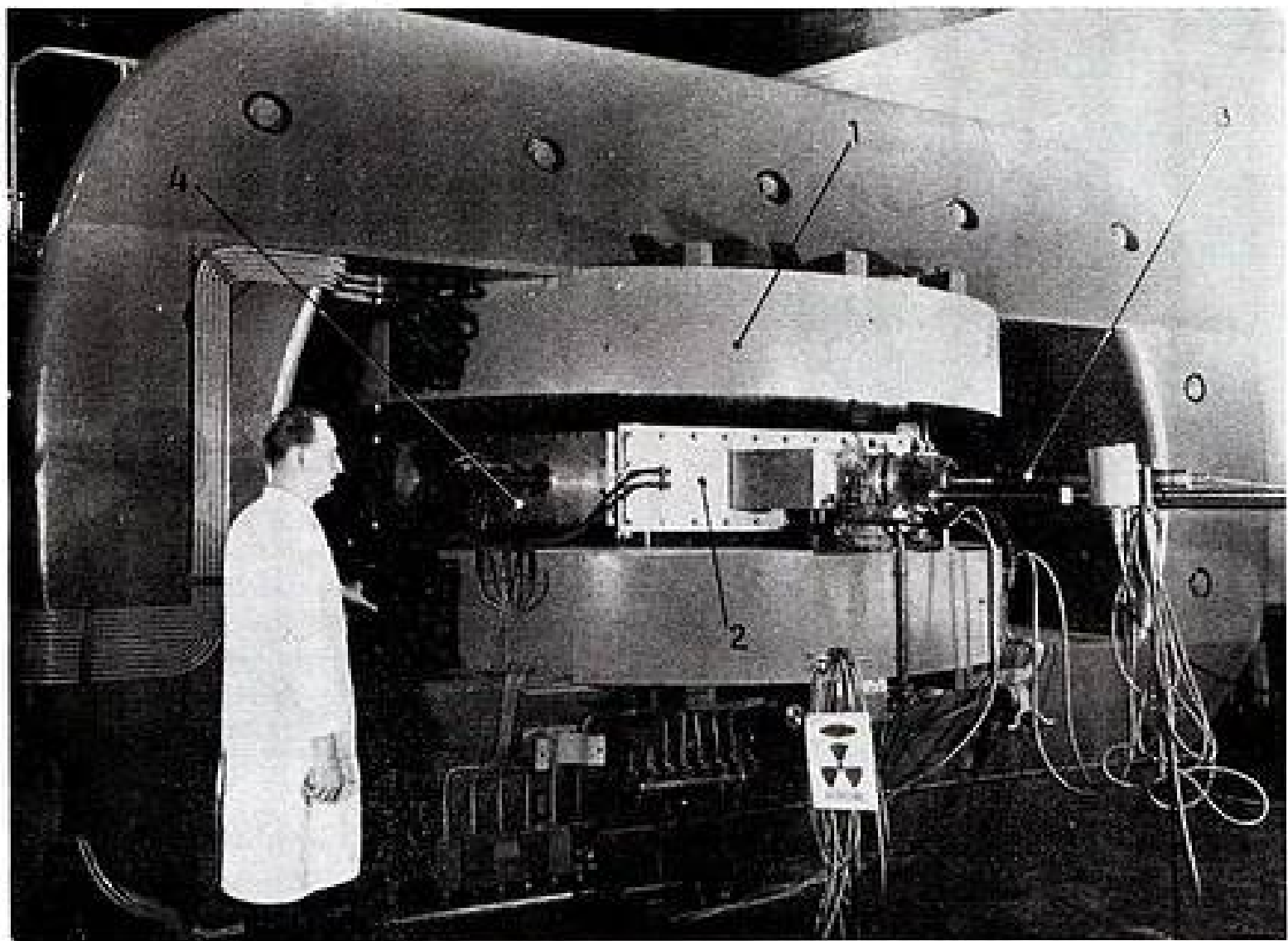


FIG. 2. — Electro-aimant vu de l'avant.
1. — Bobine de l'électroaimant.
2. — Chambre d'accélération.
3. — Scaie support de cible en position d'irradiation.
4. — Commande de la capacité réglable.

ou V_{DS} = tension 1 dee et le sol
 C = capacité d'un dee par rapport au sol
capacité de couplage entre les dees ;
 Q = coefficient de surtension d'un des circuits
résonnants

et le tableau suivant nous montre les puissances en kW nécessaires pour des tensions diverses et des coefficients de surtension correspondant aux selfs localisées de l'ordre de 300, aux lignes bifilaires dans l'air de l'ordre de 1 000, aux lignes coaxiales sous vide de 5 000.

V_{DS} kV	50	75	100
Q			
300	255	565	1 020
1 000	77	170	307
5 000	15,4	34	61

Ce tableau nous montre rapidement que des tensions de l'ordre de 200 kV entre dees soit $V_{DS} = 100$ kV seraient très difficiles, pour ne pas dire impossible à obtenir avec des circuits autres que les coaxiaux.

II. Réalisation mécanique des circuits résonnants.

La réalisation des circuits résonnants, est guidée par des conditions mécaniques et électriques, place disponible et distances disruptives.

A) Les DEES : L'énergie des particules étant choisie et les dimensions de l'électro-aimant déterminées ainsi que sa valeur de fonctionnement, la dimension des dees est liée au rayon optimum des trajectoires et à la hauteur de l'entrefer.

Pour utiliser au maximum l'entrefer on est amené à prendre de faibles marges de sécurité pour les dis-

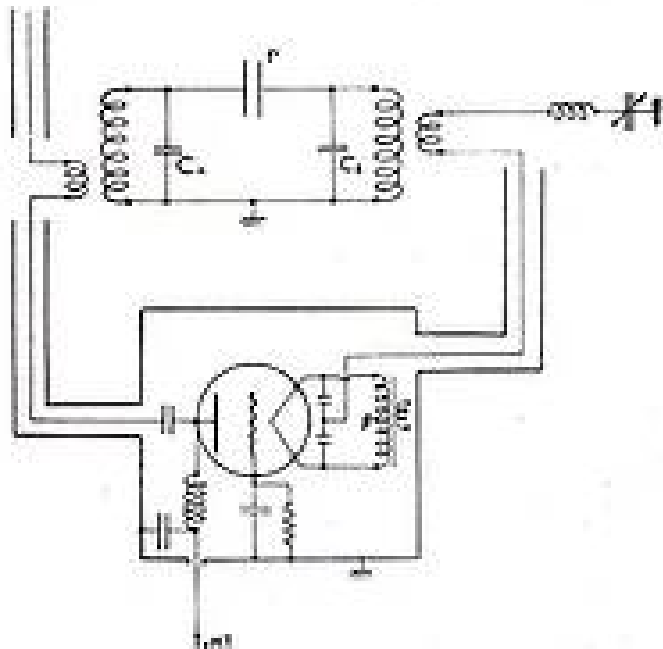


FIG. 3. — Schéma général de l'oscillateur

SÉCURITÉ..

PERFORMANCES...

POUR VOS découplages

"Emission"

★ ASSIETTES CIRCUITS

COEFFICIENTS DE TEMPÉRATURE TRÈS FAIBLEMENT NÉGATIFS

CAPACITÉ : 10 A 500 pF

- 5 A 25 KVAR
- 5 A 20 AMPÈRES
- 5.000 VOLTS-SERVICE
- DIAMÈTRES : 20 A 55 mm.

★ TUBULAIRES

petite Emission

CAPACITÉ : 10 A 500 pF

- 1 KVAR 1,5 A

POTS

CAP. 300 A 1.200 pF

INTENS. 15 A 30 AMPÈRES

5 A 15 KVAR

TUBES

CAP. 1.000 A 2.000 pF

- 30 KVAR - 50 AMPÈRES
- 8.500 VOLTS-SERVICE
- DIM. MAX. 85 x 120 mm.

LES CONDENSATEURS CÉRAMIQUES L.C.C.

ÉQUIPENT LES MATÉRIELS LES PLUS MODERNES DE TOUTES PUISSANCES : ÉMETTEURS RADIODIFFUSION ET TV - ÉMETTEURS DE TRAFIC RADIOÉLECTRIQUE - GÉNÉRATEURS HAUTE FRÉQUENCE INDUSTRIELLE - MATÉRIELS MILITAIRES - AIR - TERRE - MER - ETC...

ASSIETTES DÉCOUPLAGE

CAP. 1.000 A 5.000 pF

INTENS. 10 A 30 Amp.

5 A 10 MHz

T.H.T.

POUR FILTRAGE TRÈS HAUTE TENSION

CAP. 500 pF

20 KVCC SERV

D - 75 mm, H - 15 mm.

LCC

CÉRAMIQUE L.C.C.

LE CONDENSATEUR

SERVICES COMMERCIAUX : 22, RUE DU GÉNÉRAL FOY, PARIS 8^e - TÉL. LABORDE 38-00

AEROVOX CORP. • PRECISION CERAMICS INC. • U.S.A. • MICROFARAD • MILAN • HUNT • IRLAND INST. LTD • LONDRES • DUÇON CONDENSER LTD • AUSTRALIE • FERROPERM • DANEMARK

Signalisation CONTRÔLE

NÉON L.I.R.E.

LABORATOIRE INDUSTRIEL ET DE RECHERCHES ELECTRONIQUES

59, RUE DES GALVENTS — CLAMART (SEINE) — TEL. : MIC 46-19

DEMANDEZ notre documentation complète

Agence DOMENACH

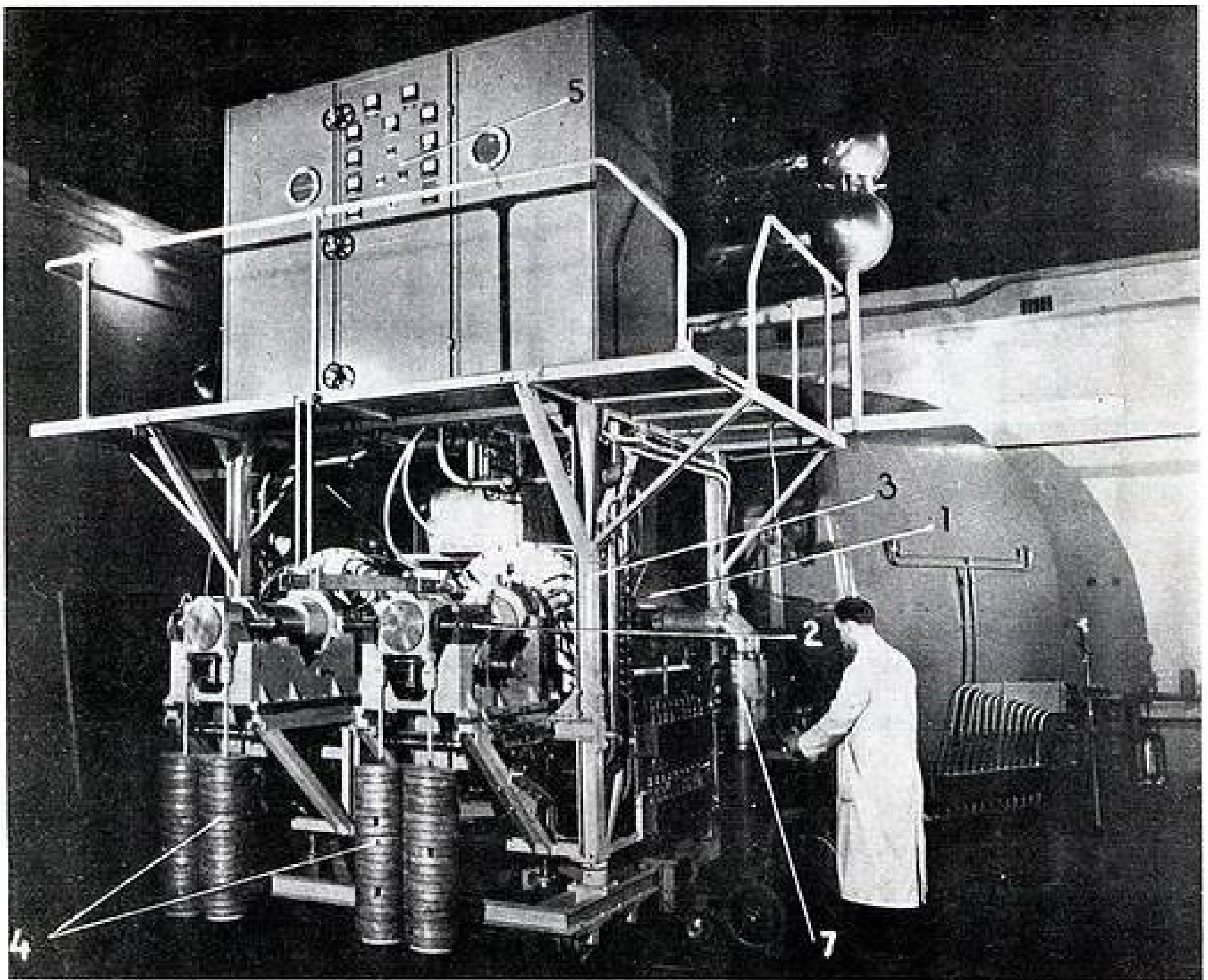


FIG. 4. — Vue arrière du cyclotron.

- 1. — Ligne extérieure.
- 2. — Ligne intérieure.
- 3. — Chariot principal.

- 4. — Contre-poids équilibrant la ligne intérieure.
- 5. — Cabine de l'oscillateur.
- 6. — Ligne de liaison.
- 7. — Pompe sur la ligne.

tances de claquage. Nous avons pris 25 kV-cm^{-1} ce qui à l'usage se révèle un peu élevé principalement dans le sens vertical, le champ magnétique favorisant les claquages principalement pendant la période de dégazage.

Le dee gauche (en regardant la machine de l'arrière des lignes résonnantes) comportant un canal destiné au déflecteur, sa capacité par rapport au sol est supérieure à celle du dee droit. Pour compenser cette différence et pouvoir régler les deux capacités à l'égalité, une paroi mise à la masse et déplaçable par un moteur a été ajoutée en face du dee droit.

Les dees sont réalisés par un support en dural qui se fixe sur la ligne coaxiale interne comme le montrent les figures 5 et 6.

Des plaques de cuivre démontables et refroidies par de l'eau circulant dans les tubes de cuivre

plats soudés constituent la partie électrique des dees.

La puissance réelle étant dissipée en grande partie en pertes JOULES, il est nécessaire de refroidir toutes les parties des circuits résonnants ce qui ne simplifie pas le problème des liaisons et de l'étanchéité au vide.

B) CHAMBRE D'ACCÉLÉRATION : Les dees sont situés dans l'entrefer de l'électro-aimant et à l'intérieur d'une chambre à vide. Cette chambre est doublée intérieurement par une chambre en cuivre refroidie également par circulation d'eau.

C) LIGNES RÉSONNANTES : Les lignes résonnantes sont des coaxiaux de gros diamètres (fig. 1) qui sont réalisés pour la partie extérieure par une ligne en acier inox étanche au vide comportant des hublots et des passages pour les boucles de couplage, ligne

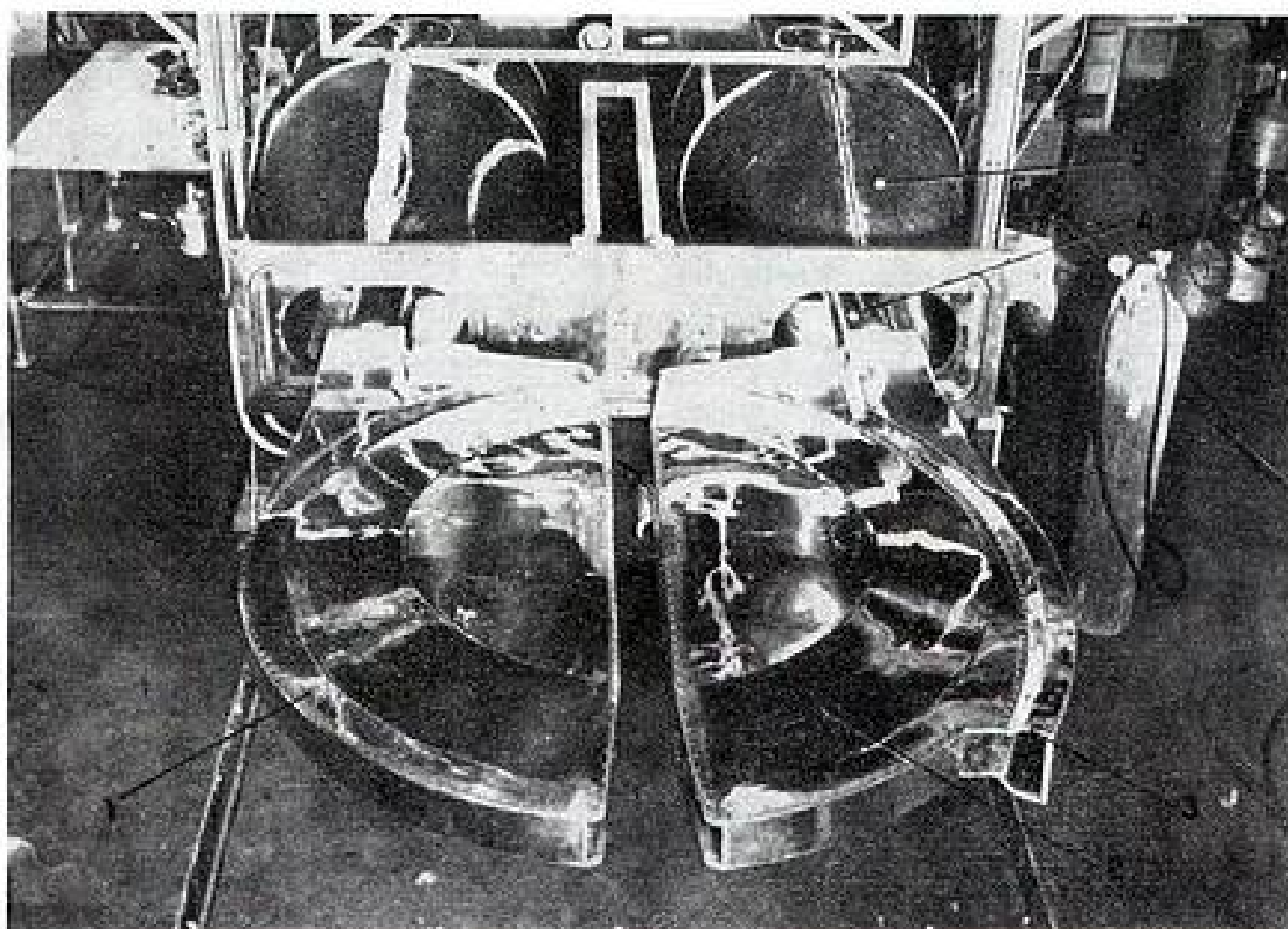


FIG. 5. — Dees sortis de la chambre.

1. — Dee droit.

2. — Dee gauche.

3. — Canal déflecteur.

4. — Ligne intérieure.

5. — Ligne extérieure.

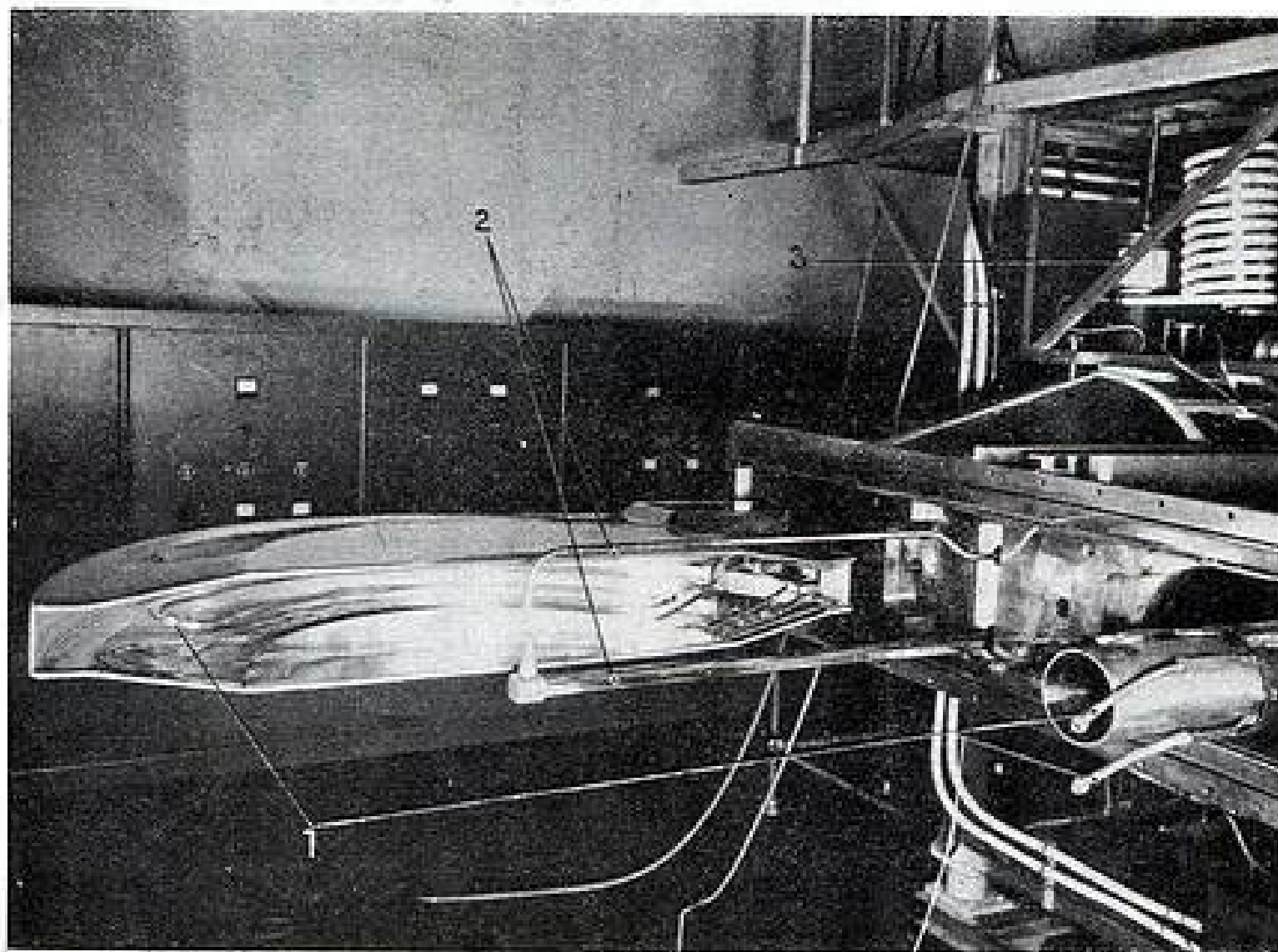


FIG. 6. — Vue latérale d'un seul dee.

1. — Tubes de refroidissement.

2. — Source d'ions.

3. — Cabine des boucles.

CIRCUIT
EN POTS

FERRITES

ferromagnétiques

A HAUTE STABILITÉ

CIRCUIT
EN L

Agence Publi-Dis-Domenach

CARACTÉRISTIQUES

- ★ Perméabilité élevée 2.400 (Fermalite).
- ★ Coefficient de température minimum.
- ★ Coefficient de pertes faible.
- ★ Homogénéité des matériaux.

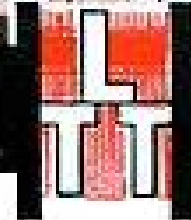
AVANTAGES

- ★ Réalisation d'inductances et transformateurs de haute qualité.
- ★ Faible encombrement
- ★ Economique.
- ★ Montage rapide.
- ★ Gamme de fréquence étendue.

Type FERRITE	PROPRIÉTÉS	APPLICATIONS	
	Perméabilité initiale moyenne	Bobines d'inductance (circuit à antenne)	Transformateur (circuit sans antenne)
1002	1750	1 KHz à 300 KHz	
1003	1950	200 KHz à 500 KHz	
2001	2400		1 KHz à 20 MHz
2002	2400	Bobines Papiers et Bobines basse fréquence	
3001	1500		Transformateur de puissance H-F
		Bobines d'inductance	Transformateurs
1101	800	0,2 à 2 MHz	1 KHz à 20 MHz
1102	350	1 à 7 MHz	1 KHz à 50 MHz
1103	100	5 à 15 MHz	1 KHz à 70 MHz
1104	30	10 à 60 MHz	1 KHz à 100 MHz
1105	15	50 à 120 MHz	1 KHz à 200 MHz

pour H	10 ohms	B _i G	B _r G	B _s G	Fr. Kc	Hc Oe	APPLICATIONS
4302		3340	3080	0,92	0,7		Mémoire
4303		2800	2570	0,92	1,6		
4304		2500	2300	0,92	1,4		
4401		3650	3360	0,92	0,55		Commande et Amplis magnétiques
4402		3500	3220	0,92	0,60		
4001		4000	3520	0,90	0,60		
		B _r G	Hc Oe	B. H. 10 ⁻⁴ max. G. Oe			
5202		2000	1500	1,3			Amplis à champ sautiel et/ou bobines imprimées microscopiques

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES
89, Rue de la Faisanderie



ET TÉLÉPHONIQUES
PARIS-16^e TRO. 45-50

doublée intérieurement par une enveloppe en cuivre refroidie.

Les deux lignes extérieures sont reliées du côté de la chambre par une plaque qui vient se fixer sur la chambre.

Les lignes intérieures sont constituées par des lignes en acier inox servant de support mécanique aux dees et doublées également sur la partie utile par une enveloppe de cuivre refroidie par eau (fig. 7). L'étanchéité au vide est réalisée en arrière du court-circuit par une plaque de fermeture reliée à la ligne intérieure par une membrane métallique flexible. La ligne intérieure est supportée par un cardan fixé à un petit chariot et équilibrée par des contre-poids. Des moteurs et selsyns commandés du pupitre permettent de déplacer les dees verticalement et, horizontalement dans la direction de l'axe des lignes et perpendiculairement à cet axe.

D) COURT-CIRCUITS : Les court-circuits sont constitués par des plaques de cuivre refroidies et comportant à l'extérieur des lames de chrysocale, à l'intérieur des bandes de cuivre souples. Ces plaques

constituent une partie délicate car de la qualité des contacts dépend en grande partie la valeur du coefficient de surtension et comme nous le verrons les intensités y sont de l'ordre de 3 000 A.

L'ensemble des lignes est monté sur un chariot principal qui peut rouler sur des rails. Ceci permet de désaccoupler l'ensemble de la chambre d'accélération. La liaison électrique entre la chambre de cuivre et les lignes extérieures est assurée par des ressorts de chrysocale qui viennent porter entre la chambre de cuivre et la chambre d'acier inox. L'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc.

Ce chariot comporte une plate-forme sur laquelle se trouve l'oscillateur qui fournit la puissance *HF* aux circuits résonnants par l'intermédiaire des lignes de transmission coaxiales et des boucles de couplage.

III. Oscillateur.

Différents montages ont été réalisés pour fournir la puissance *HF* aux circuits résonnants : émetteurs

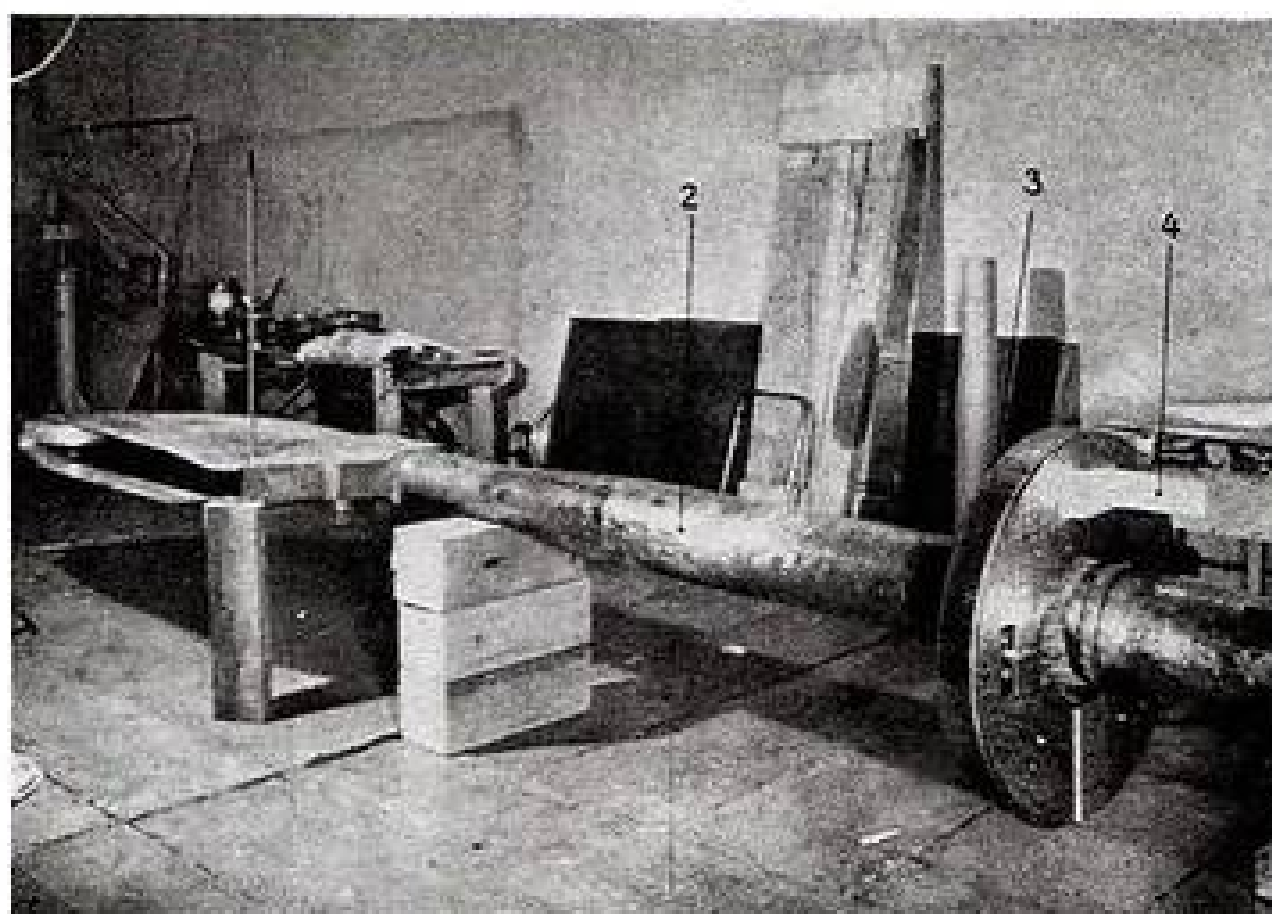


FIG. 7. — Ensemble ligne dees intérieur dees.

- 1. — Dees.
- 2. — Ligne intérieure.
- 3. — Court-circuit.
- 4. — Bras coulissant support du court-circuit.

de cuivre sont supportées par une plaque en dural maintenue par un bras coulissant (fig. 7) qui porte également des sabots destinés à assurer le serrage des lames de chrysocale sur la ligne extérieure. Les bandes de cuivre sont serrées sur la ligne intérieure par des colliers.

Le réglage en position des court-circuits se fait lorsque l'appareil est dans l'air. Un réglage sous vide ne s'est pas avéré nécessaire.

Les court-circuits doivent être déplaçables puisque c'est grâce à eux que l'on peut ajuster la fréquence de résonance des circuits à la valeur choisie. Ils

constitués d'un oscillateur pilote et d'une ou deux lampes de puissance, auto-oscillateurs à circuit grille accordé, auto-oscillateur avec une triode à grille au sol.

Ce dernier type de source *HF* qui a été utilisé et mis au point en premier par l'équipe de Berkeley pour le Cyclotron de 60 pouces, nous a semblé le plus simple pour attaquer les circuits résonnants à surtension élevée.

L'avantage du circuit à grille au sol est de supprimer les oscillations parasites qui prennent naissance dans les circuits à excitation grille. En effet, la grille

forme ainsi un blindage électrostatique entre le circuit d'excitation de cathode et le circuit d'utilisation d'anode.

Dans l'excitation par la grille, les deux circuits sont couplés par la capacité grille plaque, ce qui entraîne, quand on utilise de grosses triodes, des risques presque certains d'oscillations parasites difficiles à éliminer.

L'excitation par la cathode demande une puissance d'excitation plus grande mais cette puissance se retrouve dans l'utilisation et dans un système auto-oscillateur le rendement est le même quel que soit le mode d'excitation.

L'avantage du système auto-oscillateur est que la lampe utilise comme circuit résonnant le circuit même des dees. Dans ces circuits à haute surtension et mécaniquement complexes des petites dérives de fréquence apparaissent par déformations dues aux échauffements et au champ magnétique. La lampe auto-oscillatrice s'adapte automatiquement lorsque les circuits de liaison sont réglés de façon telle que des dérives de fréquences affectent peu les déphasages et les amplitudes des tensions vues du tube ce qui peut être réalisé.

Un tel système fonctionne parfaitement dans l'air et nous avons pu réaliser des variations de fréquence importantes : 5 %, en déplaçant les dees et la capacité ajustable, en appliquant ou non le champ magnétique sans modifier notablement le fonctionnement de la lampe.

Les systèmes auto-oscillateurs présentent malheureusement un petit inconvénient lorsque les circuits sont mis sous vide. Pour de faibles valeurs de tensions HF entre dees et lignes et les enveloppes externes un genre de décharge constituée par les électrons oscillants entre les parois prend naissance et vient charger le circuit résonnant de façon telle que l'oscillation se limite à un niveau très bas. Cette décharge disparaît si une tension suffisante pour balayer les électrons est appliquée entre les électrodes et la masse.

Ce phénomène est très gênant au démarrage de l'installation et après une entrée d'air.

Il est en effet impossible de dégazer les électrodes métalliques de grandes surfaces et les gaz occlus dans les parois en se libérant donnent naissance à des arcs. L'oscillation cesse pendant le temps de l'arc et ne reprend plus à cause du phénomène décrit.

Pour éliminer cette décharge, deux solutions ont été utilisées.

— soit isoler les circuits des dees en réalisant un court-circuit capacitif, de grande capacité et appliquer sur ces circuits une tension continue de l'ordre de 1 000 volts qui suffit à balayer les électrons oscillants. L'auto-oscillateur fonctionne alors normalement comme s'il était dans l'air. (solution utilisée, par exemple, pour le Cyclotron de Stockholm).

— soit forcer l'oscillation en faisant travailler l'oscillateur principal en amplificateur à l'aide d'un générateur HF auxiliaire de façon à créer des

tensions HF suffisantes pour le balayage des électrons. Ceci est possible car la surtension des circuits est fortement abaissée par la décharge et la fréquence d'attaque n'a pas besoin d'être réglée de façon aussi précise que dans le cas du fonctionnement normal en amplificateur.

Cette dernière solution a été retenue dans notre cas et fonctionne actuellement à l'aide d'un auto-oscillateur de faible puissance (1 kW). Nous avons l'intention de le modifier par l'adjonction d'une lampe intermédiaire plus puissante travaillant en amplificatrice afin d'éviter certains ennuis dus aux retours de puissance HF lorsque l'oscillateur principal démarre en auto-oscillation.

L'oscillateur principal représenté par la figure 3 utilise comme lampe une triode d'émission LCT n° 3067 B dont les caractéristiques sont les suivantes :

facteur d'amplifications : 48
résistance interne : 960 Ω
pente : 50 mA/V.
capacités grille anode : 80 pF
grille filament : 120 pF.
anode filament : 2 pF.
tension plaque max. : 17 500 volts.
dissipation plaque max : 160 kW
dissipation grille max. : 3 kW.

Cette lampe peut sembler surpuissante mais elle a à subir des régimes assez durs puisque l'oscillation cesse lorsqu'un arc se produit dans les circuits résonnants. De plus le coefficient de surtension mesuré relativement bon par rapport à celui calculé s'abaisse d'environ 40 % lorsqu'on accélère des ions légers, une partie des ions étant perdue et venant frapper les dees constituent une charge résistive assez importante.

Nous avons préféré séparer les circuits HF et les alimentations continues et mettre le point négatif à la masse.

La grille est donc mise à la masse du point de vue HF par des condensateurs de capacité totale 4 000 pF et auto-polarisée par une résistance de 600 Ω constituée par une batterie de résistances au carbone.

L'anode qui est à refroidissement par eau est isolée par deux serpentins en tuyau de polythène enroulés sur le trépied isolant support de la lampe (figure 8). Nous avons adopté cette solution par manque de place pour loger des serpentins en céramique, le polythène est assez facile à travailler et possède de bonnes qualités HF. L'anode est alimentée par une source HT à travers un filtre constitué par une self d'arrêt de 10 μH et une capacité à la masse de 2 000 pF.

Cette alimentation est constituée par un redresseur tri-hexaphasé comportant 6 phanotrons LCT n° 3078. La tension continue peut varier de 0 à 18 kV à l'aide d'un autotransformateur Clémançon qui règle la tension primaire du transformateur HT.

POUR LA BANDE des 10cm...



GÉNÉRATEUR type LG-201 1800 - 4000 MHz

Toutes commandes à lecture directe :
- fréquence - atténuation.

Modulations internes en : signaux carrés - impulsions - modulation de fréquence (dents de scie).

Le générateur LG 201 est l'appareil qui convient à tous les laboratoires, aussi bien pour les mesures sur les récepteurs que pour les mesures d'impédances sur lignes.

Toutes ses possibilités en font l'appareil de base pour les études dans la bande 10 cm.

Bande 20 cm : générateur type LG 101
mêmes caractéristiques que le LG 201 sauf
plage de fréquences : 900-2200MHz.

ETS GEFROY & C^{IE}
SOCIÉTÉ ANONYME - CAP. 71.192.000 FR.

7 A 9, RUE DES CLOYS - PARIS XVIII^e

: MON 44-65

NOUVEAU CENTRE DE PRODUCTION : 18, AVENUE VAILLANT-COUTURIER - TRAPPES (S. & O.)



FIG. 8. — Intérieur de la cabine de l'oscillateur.

1. — Lampe L.C.T.
2. — Trépied isolant support de lampe.
3. — Serpentin en polythène pour le refroidissement de l'anode.
4. — Self arrêt dans le circuit H.T.
5. — Self arrêt cathode.
6. — Départ de la ligne de cathode.

La puissance *HF* est transmise aux circuits résonnants par une ligne coaxiale de longueur réglable. Cette ligne est constituée par deux tubes de cuivre : intérieur 100 mm de diamètre, extérieur 300 mm de diamètre. La ligne intérieure est maintenue par des isolateurs constitués par 3 tiges de quartz dont l'enfoncement est réglable, chaque ensemble étant espacé d'une distance de 1 m environ.

Cette ligne se termine sur une boucle de couplage refroidie par eau qui entre dans la ligne résonnante par l'intermédiaire d'isolateurs en quartz. L'étanchéité au vide est réalisée à l'aide de joints toriques en caoutchouc (figure 9).

L'autre extrémité de la boucle est reliée à une ligne coaxiale de même constitution que la précédente, de longueur convenable et réglable.

La réaction est fournie par une boucle analogue entrant dans l'autre ligne résonnante. Cette boucle est reliée d'un côté à la cathode par une ligne coaxiale analogue et de l'autre à un circuit formé d'une self et d'une capacité réglable en série.

Le filament de la lampe qui doit être isolé du point de vue *HF* est alimenté à travers deux selfs

d'arrêt qui laissent passer les 600 A de chauffage du filament. La ligne coaxiale est reliée au filament par une capacité de 2 000 pF.

IV. Détermination de l'oscillateur.

Pour le calcul de cet auto-oscillateur nous avons été guidé par les travaux publiés par l'Université de Californie à Berkeley ⁽¹⁾ ⁽²⁾. Ce calcul peut se diviser en trois parties :

- détermination des circuits résonnants ;
- choix d'un régime de fonctionnement de la lampe ;
- calcul des éléments de liaison entre la lampe et les circuits résonnants pour l'obtention d'un fonctionnement correct.

A) DÉTERMINATION DES CIRCUITS RÉSONNANTS :

Chaque circuit résonnant dec-ligne a une géométrie assez complexe ce qui rend le calcul exact de la longueur de la ligne impossible. Le court-circuit étant déplaçable, il n'est pas nécessaire de connaître sa position exacte qui peut être fixée expérimentalement. Un calcul approché permet cependant de

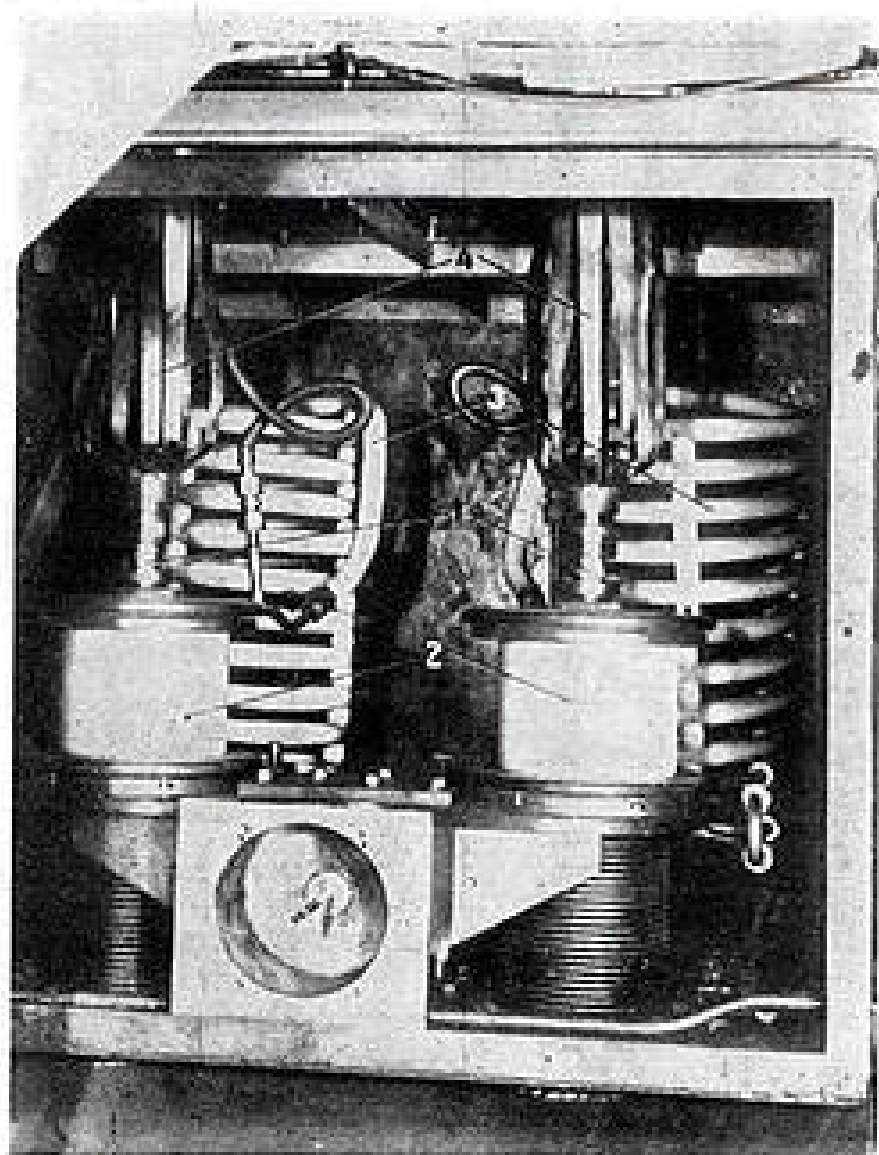


FIG. 9. — Cabine des boucles de couplage.

1. — Départ de la boucle.
2. — Isolateurs de support.
3. — Serpentin en polythène pour l'eau de refroidissement de la boucle.
4. — Bandes de liaison souples entre la boucle et les lignes de liaison.

⁽¹⁾ *The Radio-Frequency System of the 60" Cyclotron at Berkeley* by Kenneth E. RILEY (B.P. 42 (3rd Ed)).

⁽²⁾ *Design of Cyclotron Oscillations*, John BACKERS, R.S.I. Vol. 22, N° 2, Febr. 1951.

choisir une longueur convenable des lignes coaxiales. Dans ces calculs ainsi que dans la détermination des lignes de liaison nous avons vérifié que nous pouvions négliger les pertes ohmiques.

Si nous considérons une ligne coaxiale d'impédance caractéristique Z_0 terminée par une impédance Z_T , l'impédance d'entrée s'écrit dans ce cas

$$Z_s = Z_0 \frac{Z_T + jZ_0 \operatorname{tg} \beta l}{Z_0 + jZ_T \operatorname{tg} \beta l}$$

où
$$\beta = \frac{2 \pi}{\lambda} = \frac{2 \pi f}{c} = \frac{\omega}{c} \tag{1}$$

ce qui nous donne dans le cas d'une ligne ouverte $Z_T = \infty$

$$Z_s = -jZ_0 \operatorname{cotg} \beta l \tag{2}$$

C'est-à-dire par exemple pour $l \leq \frac{\lambda}{4}$ une capacitance et dans le cas d'une ligne court-circuitée $Z_T = 0$,

$$Z_s = jZ_0 \operatorname{tg} \beta l \tag{3}$$

soit pour $l < \frac{\lambda}{4}$ une inductance.

L'impédance du dee peut être calculée en considérant le dee comme une capacité localisée par rapport à l'enveloppe extérieure. Le calcul est forcément approché étant donné la forme géométrique du dee. Une autre méthode que nous avons utilisée consiste à considérer le dee comme une ligne de transmission dont l'impédance caractéristique est variable.

Quelle que soit la méthode utilisée nous obtenons une capacité équivalente au dee. En couplant cette capacité avec une ligne coaxiale de longueur inférieure au quart d'onde et court-circuitée nous pouvons donc réaliser un circuit résonnant à la fréquence choisie. La ligne coaxiale qui constitue en même temps le support du dee n'étant pas une ligne à diamètre constant son calcul exact serait aussi très difficile. Nous avons été amenés à faire quelques approximations et considérer la ligne comme étant formée de trois lignes coaxiales à diamètre constant mises en série. Nous pouvons ainsi calculer la longueur de la portion de ligne qui comporte le court-circuit, les autres parties ayant des longueurs fixées par des considérations d'encombrement. Les longueurs et impédances caractéristiques sont indiquées sur la

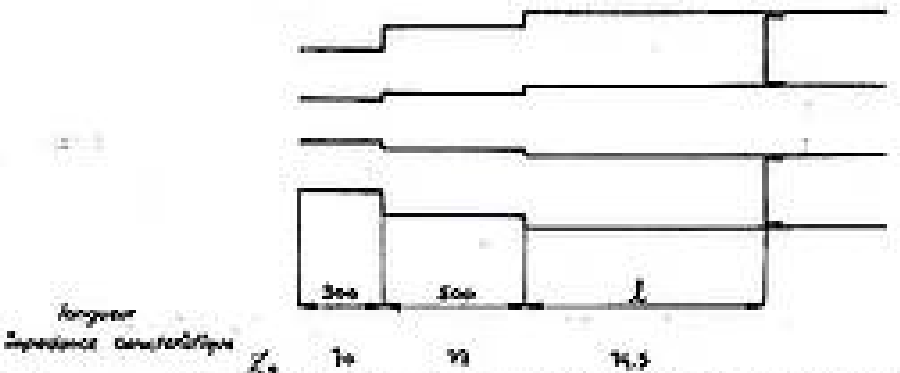


FIG. 10. — Schéma de la ligne équivalente à la ligne coaxiale réelle.

figure 10. La longueur de la ligne fixant la position du court-circuit ainsi calculée était de 1,10 m, la valeur mesurée en réglant les circuits à la résonance 0,95 m. Malgré son imprécision le calcul suffit à déterminer une longueur approximative de la ligne.

Nous pouvons également calculer la répartition des tensions et courants dans les lignes. Dans une ligne résonnante la valeur des tensions et courant en un point A étant donnée par rapport aux valeurs en un point B par les formules :

$$V_B = V_A \cos \beta l \tag{4}$$

$$I_B = j \frac{V_A}{Z_0} \sin \beta l \tag{5}$$

La résistance des lignes en cuivre étant donnée par la formule :

$$R = 41,6 \cdot 10^{-7} f^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \Omega \cdot m^{-1} \tag{6}$$

ou a et b sont les diamètres exprimés en m.
 f : la fréquence exprimée Hz.

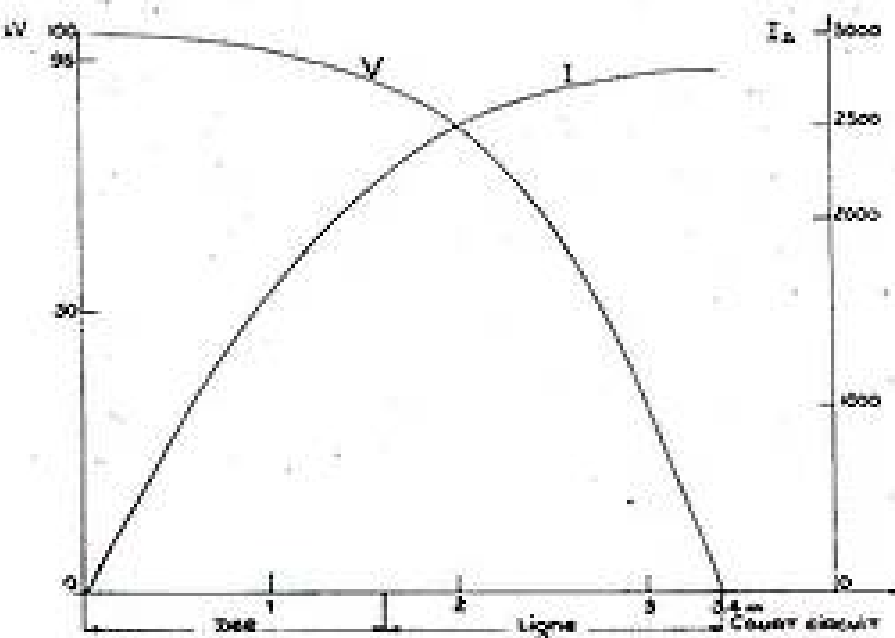


FIG. 11. — Répartition de courants et tensions le long des dees et lignes résonnantes.

et celle du court-circuit assimilé à un disque de cuivre

$$R = 0,95 \cdot 10^{-7} f^{\frac{1}{2}} \log \frac{b}{a} \Omega \tag{7}$$

nous pouvons ainsi calculer les pertes ohmiques en admettant qu' à l'extrémité du dee

$$I = 0$$
$$V = V_{DS} : 100 \text{ kV par exemple}$$

Les résultats des calculs sont indiqués figure 11. De ces résultats nous déduisons le coefficient de sur-tension :

$$Q = \frac{\text{Puissance réactive}}{\text{Puissance dissipée}} \tag{8}$$

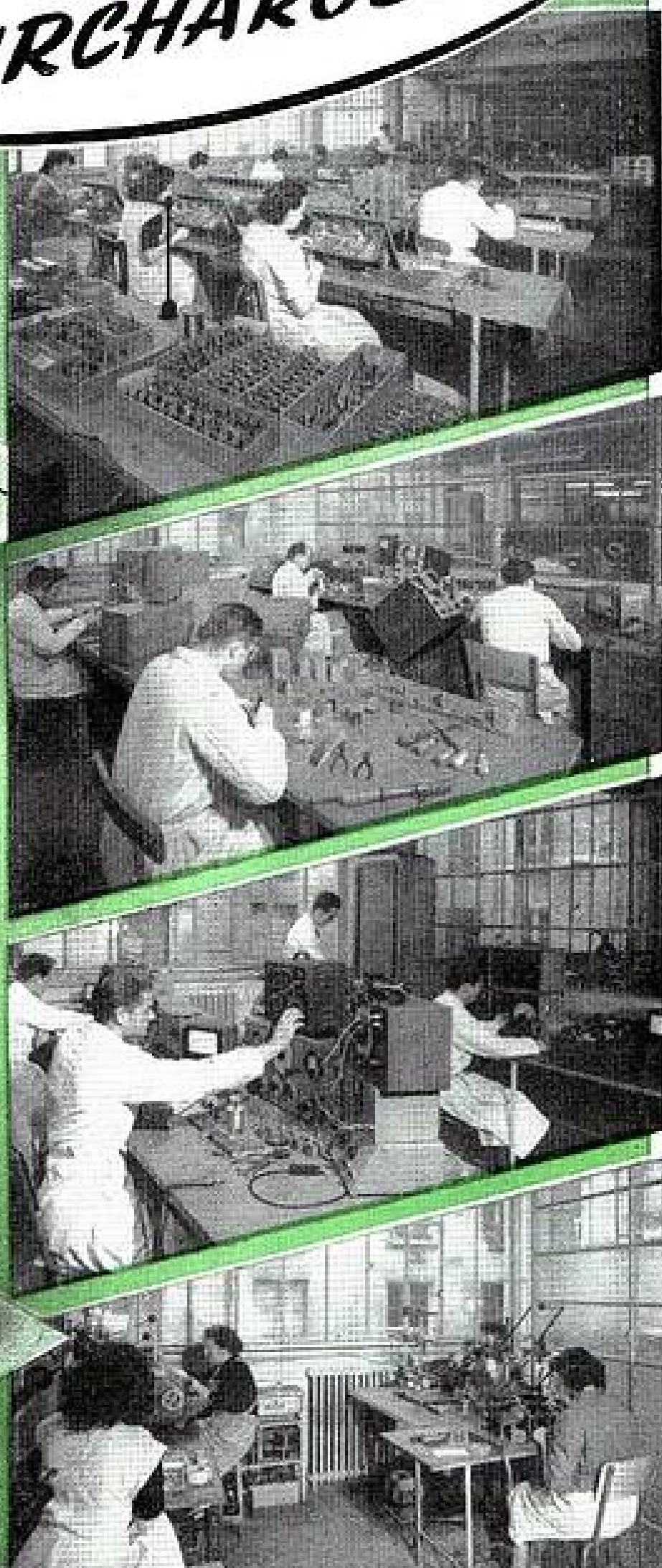


DÉLIVREZ
vos ingénieurs
SURCHARGÉS...

LE *problème*
DES FILTRES
est notre spécialité

★

B.F. - M.F. - Haute
fréquence à bande
étroite ou à large
bande, passe-bas,
passe-haut, passe-
bande, coupe-bande



SOCIÉTÉ
NORD 29-57

SECRE

D'ÉTUDES ET DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRONIQUES
214-216, FAUBOURG SAINT-MARTIN - PARIS X

Agence DOMENACH

Le calcul nous a donné la valeur de 8000 et les mesures 5 000 au moins. Étant donné les imprécisions et le fait que la résistance de contact du court-circuit et de la ligne a été considérée comme nulle, le résultat est assez satisfaisant. Nous pouvons également écrire que le coefficient de surtension de ce circuit résonnant est donné par :

$$Q = \frac{1}{\omega_1 CR} = \frac{\omega L}{R} \quad (9)$$

où $C_1 = C + 2 \Gamma$

C : capacité d'un dee par rapport au sol

Γ : capacité entre dees

d'où nous pouvons calculer la puissance réelle dissipée :

$$P = \frac{V_{DS}^2 \omega (C + 2 \Gamma)}{2 Q} \quad (10)$$

où $V_{DS} = \left[\frac{2 Q P}{\omega (C + 2 \Gamma)} \right]^{1/2} \quad (11)$

Le circuit résonnant total de l'oscillateur étant constitué par deux circuits résonnants couplés par une capacité, présente deux fréquences de résonance telles que pour la fréquence inférieure les tensions sur les dees sont en opposition de phase et pour la fréquence supérieure les tensions sont en phase. C'est évidemment le premier mode d'oscillation qui nous intéresse, la tension accélératrice n'existant que si les dees oscillent en opposition de phase. Le calcul complet de ces fréquences peut être fait mais si l'on considère les capacités de chaque dee par rapport au sol comme égales et si l'on néglige les pertes un raisonnement simple permet de déterminer ces deux fréquences.

Dans le cas de l'oscillation en phase tout se passe comme si Γ n'existait pas, les tensions aux bornes de cette capacité étant égales. On en déduit donc :

$$f_1 = \frac{1}{2 \pi} (LC)^{-1/2} \quad (12)$$

Dans le cas de l'opposition de phase chaque circuit peut être considéré comme indépendant et symétrique de l'autre par rapport à un plan médian mis au sol. La fréquence de résonance est alors

$$f_1 = \frac{1}{2 \pi} [L (C + 2 \Gamma)]^{-1/2} \quad (13)$$

fréquence qui dans notre cas a été choisie de 10,6 MHz

Les mesures effectuées sur ces circuits ont été faites en attaquant les circuits à l'aide d'un amplificateur stabilisé couplé faiblement. La réponse en tension était indiquée par des petites sondes situées près des dees et formant diviseur capacitif pour attaquer un système redresseur fonctionnant en voltmètre de crête.

En court-circuitant alternativement l'un ou l'autre dee et en ajoutant une petite capacité connue nous pouvons régler les deux circuits à la même fréquence de résonance et mesurer les capacités dont les valeurs ont été données au début de l'article.

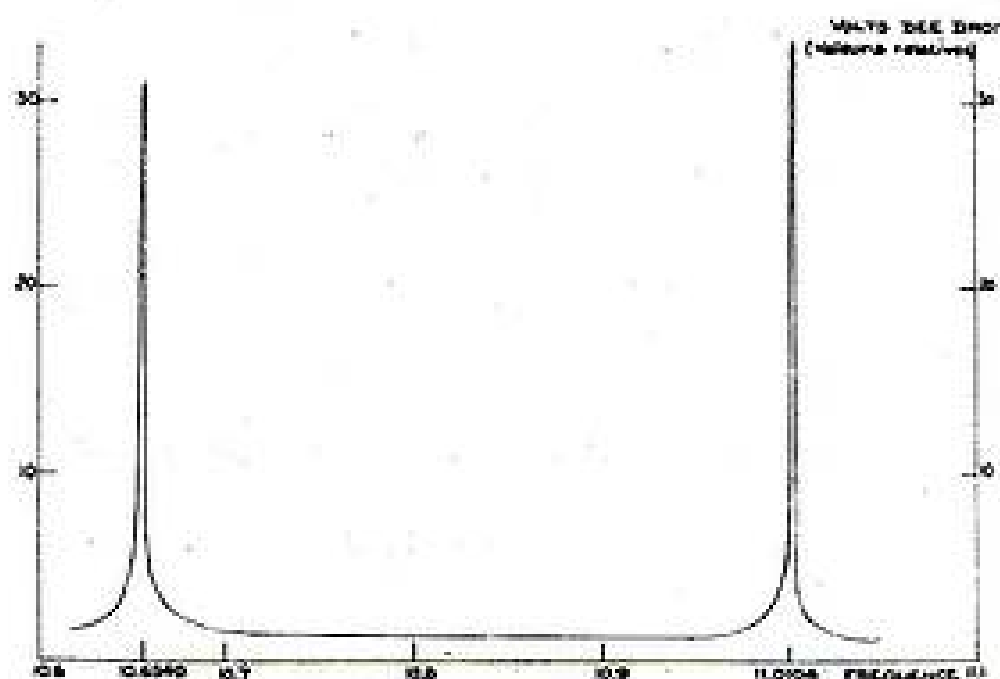


FIG. 2. — Réponse des circuits résonnants en faisant varier la fréquence d'attaque.

Le coefficient de surtension d'un circuit résonnant à haute surtension peut être déterminé en traçant la courbe de réponse en fonction de la fréquence autour de la fréquence de résonance. On a alors :

$$Q = \frac{f}{\Delta f} \quad (14)$$

f : fréquence de résonance

Δf : écart de fréquence pour $\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$

Les deux fréquences de résonance sont également déterminées en faisant varier la fréquence et en notant la réponse sur les voltmètres. Le résultat est indiqué figure 12.

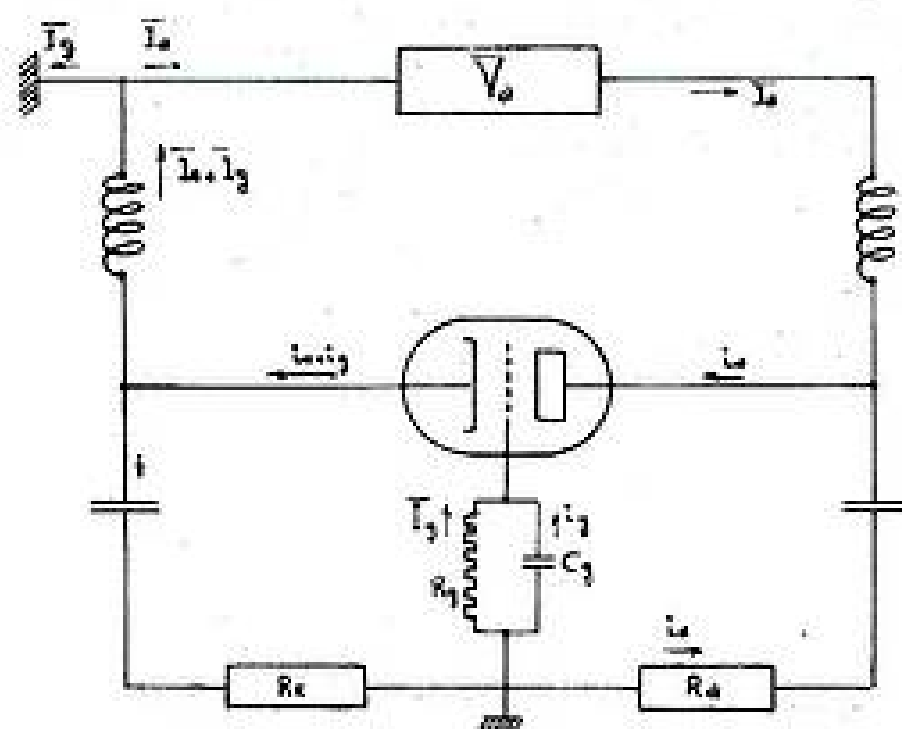


FIG. 13. — Schéma de l'oscillateur

B) FONCTIONNEMENT DE LA LAMPE.

La puissance HF nécessaire pour obtenir une tension donnée entre les dees ayant été calculée il est possible en utilisant les courbes caractéristiques de la lampe de déterminer un régime de fonctionnement qui permette de délivrer cette puissance aux circuits résonnants. Pour cela, nous pouvons utiliser une méthode rapide indiquée par Terman (1) ou une méthode graphique plus précise. Afin d'obtenir un rendement convenable nous utiliserons un fonctionnement en classe C étant donnée la surtension élevée du circuit résonnant. Dans un fonctionnement à grille au sol, les tensions alternatives cathode et plaque sont en phase alors que dans l'excitation par la grille les tensions d'excitation et d'utilisation sont en opposition de phase. Nous avons utilisé les notations suivantes (fig. 14).

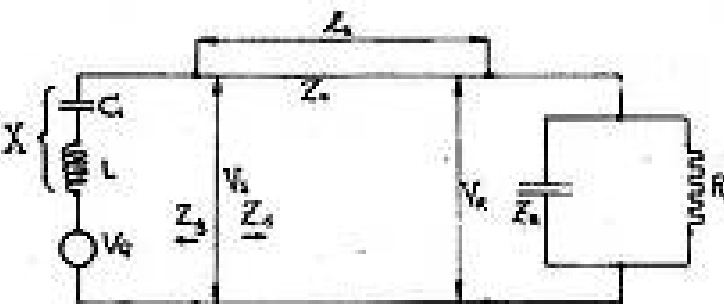


FIG. 14. — Schéma d'une ligne de liaison

$\overline{V_A}, \overline{I_A}$ tension et courant continu d'anode

$\overline{V_g}, \overline{I_g}$ tension et courant continu grille

V_a, i_a, V_g, i_g tensions et courants alternatifs instantanés dont les amplitudes du fondamental sont :

$$V_A, I_A, V_g, I_g$$

Nous avons alors :

puissance d'alimentation de la lampe :

$$P_A = \overline{V_A} \overline{I_A}$$

puissance fournie au circuit anodique

$$P_P = \frac{1}{2} (V_A + V_g) I_A$$

puissance fournie à la cathode

$$P_K = \frac{1}{2} V_g (I_g + I_A)$$

puissance dissipée sur l'anode

$$P_d = \overline{V_A} \overline{I_A} - \frac{1}{2} V_A I_A$$

puissance dissipée sur la grille

$$P_{dg} = \frac{1}{2} V_g I_g - \overline{V_g} \overline{I_g}$$

puissance utile au circuit oscillant

$$P_C = P_P - P_K = \frac{1}{2} (V_A I_A - V_g I_g)$$

résistance anodique

$$R_P = \frac{V_A + V_g}{I_A}$$

résistance cathodique

$$R_K = \frac{V_g}{I_g + I_A}$$

résistance de polarisation

$$R_g = \overline{V_g} / \overline{I_g}$$

rendement de la lampe

$$\eta_t = P_P / P_A$$

rendement global

$$\eta_c = P_C / P_A$$

et un exemple de fonctionnement possible nous donne les valeurs suivantes :

$\overline{V_A} = 12\,000\text{ V}$	$V_A = 10\,500\text{ V}$
$\overline{V_g} = -600\text{ V}$	$V_g = 1\,300\text{ V}$
$\overline{I_A} = 8\text{ A}$	$I_A = 13\text{ A}$
$\overline{I_g} = 1\text{ A}$	$I_g = 2\text{ A}$
$P_A = 95\text{ kW}$	$P_C = 66,7\text{ kW}$
$P_P = 76,5\text{ kW}$	$R_P = 900\ \Omega$
$P_K = 9,8\text{ kW}$	$P_K = 78\ \Omega$
$P_d = 27\text{ kW}$	$R_g = 600\ \Omega$
$P_{dg} = 0,7\text{ kW}$	$\eta_t = 85\ \%$
	$\eta_c = 74\ \%$

Nous voyons ainsi qu'il est possible d'obtenir avec un bon rendement des puissances suffisantes pour avoir des tensions de l'ordre de 200 kV entre les dees.

C) LIGNES DE LIAISON

Le point de fonctionnement de la lampe ayant été choisi, il nous faut déterminer les lignes de liaison et les impédances terminales des boucles de couplage pour que les tensions aux bornes de ces boucles aient des valeurs correctes.

Il est plus simple de faire le raisonnement inverse, c'est-à-dire, considérer que la tension entre les dees existe (tension sur chaque dee oscillant en opposition de phase) et le circuit résonnant comme source d'énergie HF. Les tensions induites dans les boucles sont en phase avec les tensions dees respectives et dans notre cas nous avons relié les lignes de transmission plaque et cathode à des extrémités opposées de chaque boucle. En regardant l'appareil de l'arrière, nous avons ainsi : la ligne plaque reliée à l'avant de la boucle qui entre dans la ligne résonnante gauche, la ligne cathode reliée à l'arrière de la boucle qui entre dans la ligne résonnante droite.

Les tensions à l'entrée de ces lignes sont alors en phase. Nous allons calculer les tensions ramenées au tube en fonction de l'impédance terminale des boucles et de leur enfoncement qui sont nos paramètres de réglage.

En traçant les courbes des rapports de tension induites dans les boucles et les tensions ramenées à la lampe en fonction de ces paramètres nous pouvons choisir des valeurs telles que les tensions ramenées à la lampe soient en phase et dont le rapport soit celui choisi pour le fonctionnement de la lampe.

(1) Radio Engineers' Handbook, by F.R. TERMAN.



PRÉSENTE TOUTE LA GAMME
DES TUBES DE TÉLÉVISION

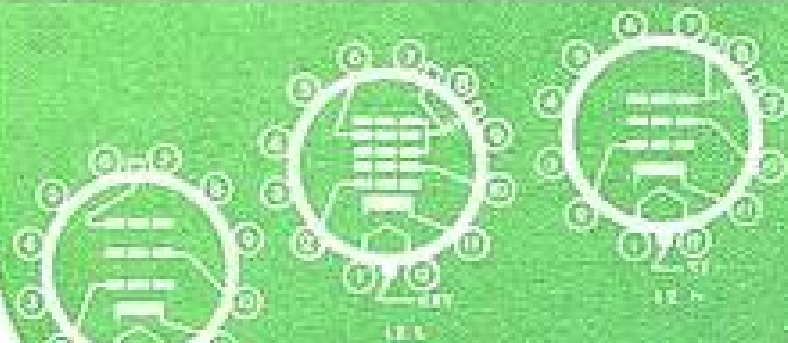
ALLEN B

DU MONT



CARACTÉRISTIQUES DES TUBES TV ALLEN B DU MONT - SÉRIE ALUMINISÉE

Appellation	Code	Ballon	Concentration	Largeur de l'apex de l'inflecteur	Série P.A.	Page 1 (mm)	Valeurs maximales		I ou I ₀ Concentration	Prétype	Capacité aux-sec ² %	Déviation de la face %	Dimensions maximales d'installation %	Série spéciale	Dimensions ballons (mm)								Appellation	
							Reb. (mm)	Grille 2 (mm)							A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	H %		
17AVPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Isotrope	90° dia.	Control	5	14.000	500	-50 + 270 V	12L	276,4	190,5 + 211,1	162 + 273	B	217,8	165,1	149,2	533,4				66,7	685,8	17AVPAA
17BPAB	RT-G-EX-H	Sph.	Magnétique	90° dia.	Control	5	14.000	410	92 mA	12H	488,9	190,5 + 211,1	162 + 273	B	276,5	190,5	181	533,4				66,7	685,8	17BPAB
17HPAB	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	14.000	500	-50 + 270 V	12L	487,4	190,5 + 211,1	162 + 273	B	276,8	190,5	179,4	533,4				66,7	685,8	17HPAB
17LPAA	RT-G-EX-H-CF	Cyl.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	14.000	500	-50 + 270 V	12L	487,4	190,5 + 211,1	162 + 273	B	276,5	190,5	181	533,4				66,7	685,8	17LPAA
20CPAD	RT-G-EX-H-CF	Sph.	Magnétique	90° dia.	Control	5	18.000	410	92 mA	12N	544,4	474,3 + 579,4	431,8 + 512,9	B	362	190,5	190,5	473,1				90,5	864	20CPAD
21ALPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	90° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	508	514,3 + 615,9	485,8 + 581	B	317,5	190,5	212,7	444,5				101,6	781,8	21ALPAA
21ATPA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	90° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	508	514,3 + 615,9	485,8 + 581	B	317,5	190,5	215,9	444,5				101,6	781,8	21ATPA
21ALPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	585	514,3 + 615,9	485,8 + 581	B	374,5	190,5	212,7	444,5				101,6	781,8	21ALPAA
21AVPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	585	514,3 + 615,9	485,8 + 581	B	374,5	190,5	212,7	444,5				101,6	781,8	21AVPAA
21AWPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Magnétique	70° dia.	Control	5	18.000	500	92 mA	12H	585	514,3 + 615,9	485,8 + 581	B	374,5	190,5	215,9	444,5				101,6	781,8	21AWPAA
21BPAB	RT-G-EX-H-CF	Cyl.	Magnétique	70° dia.	Control	5	18.000	500	92 mA	12N	584,2	514,3 + 595,3	485,8 + 552,4	B	371,7	190,5	212,7	558,8				104,3	1.033,5	21BPAB
21HPAC	RT-G-EX-H-CF	Cyl.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	584,2	514,3 + 595,3	485,8 + 552,4	B	371,7	190,5	212,7	558,8				104,3	1.033,5	21HPAC
21WPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Magnétique	70° dia.	Control	5	18.000	500	92 mA	12H	583,8	474,3 + 579,4	431,8 + 512,9	B	371,4	190,5	196,8	473,1				97,2	864	21WPAA
21XPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	569,8	474,3 + 579,4	431,8 + 512,9	B	371,4	190,5	196,8	473,1				97,2	864	21XPAA
21TPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	70° dia.	Control	5	18.000	500	-50 + 270 V	12L	584,2	514,3 + 595,3	485,8 + 560,4	B	371,7	190,5	212,7	558,8				104,3	1.033,5	21TPAA
21ZPAB	RT-G-EX-H	Sph.	Magnétique	70° dia.	Control	5	18.000	500	92 mA	12H	585	514,3 + 595,3	485,8 + 560,4	B	371,7	190,5	212,7	558,8				104,3	1.033,5	21ZPAB
24CPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Magnétique	90° dia.	Control	5	20.000	500	92 mA	12H	536,6	576,3 + 668,2	579,8 + 415,3	B	346,1	190,5	212,7	558,8				106,4	965,2	24CPAA
24BPAA	RT-G-EX-H	Sph.	Scat. basse tension	90° dia.	Control	5	20.000	500	-50 + 270 V	12L	536,6	576,3 + 668,2	579,8 + 415,3	B	346,1	190,5	212,7	558,8				106,4	965,2	24BPAA
30BPAA	RD-G-EX-H	Rond métal	Magnétique	90°	Bevton	5	30.000	410	92 mA	12D	598,5	765,2	717,5 - 449	A	357,2	182,6			284,3	34,7				30BPAA
CODE :		EX RT-G	Couche conductrice extérieure Rectangulaire - face gris			RD-G CF	Rond - face gris Cylindrique face plate			H Sph.	Rond - métal Sphérique			Cyl. S	Cylindrique Simple									



ALLEN B.

DISTRIBUTEURS



DU MONT

EXCLUSIFS

COMPTOIR INDUSTRIEL

Société anonyme au

28 RUE DE LÉNINGRAD, PARIS-VIII^e - TÉL. LAB. 11-74 & 75

ET COMMERCIAL

cap. de 20.000.000 de frs

AUTRES FABRICATIONS : TUBES PHOTOMULTIPLICATEURS - ENGINE ANALYZERS - TÉLÉVISION INDUSTRIELLE
ÉQUIPEMENTS MOBILES de TÉLÉCOMMUNICATIONS - TUBES CATHODIQUES INDUSTRIELS et SPÉCIAUX, etc

Nous avons ensuite à contrôler que les tensions en divers point des lignes ne dépassent pas des valeurs admissibles et reprendre les calculs en conséquence. Ceci étant fait la lampe reliée au circuit doit entrer en oscillation.

Ces calculs sont assez difficiles à faire avec une grande précision et en général il est nécessaire de retoucher un peu les paramètres de réglage : longueur des lignes de liaison, enfoncement des boucles, impédances terminales des boucles, pour obtenir un fonctionnement correct. Ces réglages peuvent être faits, les lignes résonnantes n'étant pas sous vide pour éviter le phénomène de limitation des oscillations déjà décrit. Il faut évidemment appliquer une tension plaque assez faible pour éviter des claquages trop violents dans les circuits résonnants, les distances de claquage étant bien plus faibles dans l'air que sous vide...

Malgré ces incertitudes, nous avons obtenu une oscillation avec les valeurs calculées pour une valeur de tension plaque très faible ; 1 500 V et nous avons pu contrôler l'influence de variations des paramètres de réglage en nous plaçant en dessous des valeurs de claquage (environ 30 kV entre dee et [masse]) c'est-à-dire pour une tension d'anode de 2 500 V.

a) Boucles de couplage :

Les boucles de couplage sont constituées par un tube de cuivre refroidi par eau dont la longueur est de 0,3 m et l'enfoncement réglable. La figure 11, nous montre que le courant dans la ligne a une intensité presque constante au voisinage du court-circuit. La tension induite dans la boucle par un courant I_d circulant dans la conducteur central sera donc donnée par la formule ;

$$V_g = -j\omega M I_d \quad (15)$$

La mutuelle M peut être calculée à partir du flux à travers la boucle du champ magnétique créé par le courant I_d . Si nous prenons R comme rayon de la ligne extérieure et d l'enfoncement de la boucle nous aurons :

$$\Phi = 10^8 M I_d = \int_R^{R-d} \frac{2 I_d}{10 r} l dr \quad (16)$$

l étant la longueur de la boucle.

d'où nous déduisons :

$$M = 0,46 \cdot 10^{-8} l \log \frac{R-d}{R} \quad (17)$$

En considérant un courant I_d constant en première approximation nous aurons :

$$I_d = \frac{V_{DS}}{\omega L} = V_{DS} \omega C \quad (18)$$

L : self de la ligne

C : capacité dee-masse.

et la tension induite dans la boucle peut s'écrire :

$$V_g = 0,46 \cdot 10^{-8} \times 4 \pi^2 f \cdot V_{DS} \cdot C \cdot l \cdot \log \frac{R-d}{R} \quad (19)$$

La self représentée par cette boucle peut être calculée en fonction de la distance d'enfoncement d .

Ces valeurs seront utilisées pour le calcul des lignes de transmission entre l'oscillateur et les boucles.

b) Ligne cathode :

La ligne cathode représentée figure 2 peut être schématisée (fig. 14) par une ligne bifilaire d'impédance caractéristiques Z_0 de longueur l_K . La boucle peut être représentée par une source de tension V_g terminée par une impédance formée de l'inductance propre de la boucle, une inductance variable et une capacité variable en série.

Soit Z_g la valeur de cette impédance qui peut s'écrire :

$$Z_g = j X_K$$

Les formules générales des lignes de transmission nous donnent alors :

$$V_S = V_R \cos \beta l_K + j I_R Z_0 \sin \beta l_K \quad (20)$$

$$I_S = I_R \cos \beta l_K + j \frac{V_R}{Z_0} \sin \beta l_K \quad (21)$$

d'où nous tirons :

$$\begin{aligned} \frac{V_g}{V_R} &= \cos \beta l_K - \frac{X_K}{Z_0} \sin \beta l_K \\ &+ j \left[\frac{X_K}{Z_R} \cos \beta l_K + \frac{Z_0}{Z_R} \sin \beta l_K \right] \end{aligned} \quad (22)$$

où Z_r est l'impédance complexe côté cathode constituée par la résistance cathode, la capacitance cathode grille et les inductances des selfs d'arrêt.

Nous pouvons écrire :

$$\frac{1}{Z_R} = \frac{1}{R_K} - j \frac{1}{X_T} \quad (23)$$

et en remplaçant dans (21) nous obtenons :

$$\begin{aligned} \frac{V_g}{V_{R_K}} &= \left(1 + \frac{X_T}{X_K} \right) \cos \beta l_K + \left(\frac{Z_0}{X_T} - \frac{X_K}{Z_0} \right) \sin \beta l_K \\ &+ j \left[\frac{X_K}{R_K} \cos \beta l_K + \frac{Z_0}{R_K} \sin \beta l_K \right] \end{aligned} \quad (24)$$

Le rapport des amplitudes est donc :

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_g}{V_{R_K}} \right| &= \left\{ \left[\left(1 + \frac{X_T}{X_K} \right) \cos \beta l_K + \left(\frac{Z_0}{X_T} - \frac{X_K}{Z_0} \right) \sin \beta l_K \right]^2 \right. \\ &\left. + \left[\frac{X_K}{R_K} \cos \beta l_K + \frac{Z_0}{R_K} \sin \beta l_K \right]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (25)$$

et le déphasage :

$$\frac{V_g}{V_{R_K}} = \left| \frac{V_g}{V_{R_K}} \right| (\cos \theta + j \sin \theta) \quad (26)$$

où $\operatorname{tg} \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$

$$= \frac{\frac{X_K}{R_K} \cos \beta l_K + \frac{Z_0}{R_K} \sin \beta l_K}{\left(1 + \frac{X_K}{X_T}\right) \cos \beta l_K + \left(\frac{Z_0}{X_T} - \frac{X_K}{Z_0}\right) \sin \beta l_K} \quad (27)$$

qui nous donne θ à π près, la valeur exacte étant déterminée par le signe de $\cos \theta$.

c) Ligne de liaison à l'anode :

Un calcul semblable peut être fait pour la ligne de liaison à l'anode et nous obtenons :

$$\frac{V_P}{V_{R_P}} = \left(1 + \frac{X_P}{X_T}\right) \cos \beta l_P + \left(\frac{Z_0}{X_T} - \frac{X_P}{Z_0}\right) \sin \beta l_P + j \left[\frac{X_P}{R_P} \cos \beta l_P + \frac{Z_0}{R_P} \sin \beta l_P \right] \quad (28)$$

où R_P est la résistance plaque, X_T l'impédance complexe côté anode qui inclut la capacitance grille-plaque et l'inductance de la self d'arrêt.

X_P : l'impédance terminale de la boucle qui est la somme de l'inductance de boucle et de l'impédance d'une ligne coaxiale, de longueur réglable.

l_P : longueur de la ligne de liaison.

d) Choix des paramètres :

Nous pouvons alors tracer sur un même diagramme les courbes donnant $\left| \frac{V_g}{V_{R_K}} \right|$, $\left| \frac{V_g}{V_{R_P}} \right|$ et les déphasages correspondants (figure 15).

Nous choisissons alors deux valeurs telles que les déphasages soient égaux et les rapports de tension pas trop élevés. Les valeurs choisies doivent se situer dans une région où la phase ne varie pas trop rapidement sinon une faible variation des paramètres ou de la fréquence risque d'introduire une variation de phase de 180° .

Si ces conditions sont impossibles à réaliser, le calcul doit être repris avec des longueurs de ligne différentes.

Des points de fonctionnement ainsi déterminés et des valeurs prises pour la lampe nous pouvons alors déduire les tensions induites dans les boucles et par conséquent l'enfoncement des boucles (formule 19). Nous avons alors les valeurs des inductances propres des boucles et nous pouvons déterminer les valeurs des impédances terminales.

Dans notre cas, nous avons obtenu les résultats suivants :

Les lignes de liaison sont des lignes coaxiales d'impédance caractéristique $Z_0 = 72$ ohms, de longueurs égales $l_K = l_P = 6$ m et $\beta l = 77^\circ$

L'impédance terminale de la ligne de liaison cathode est réalisée par une self de 8 spires dont la valeur est $6 \mu H$ et en série une capacité variable sous vide dont la valeur est $70 pF$. L'enfoncement de la boucle est de 10 cm.

L'impédance terminale de la ligne de liaison anode est réalisée par une ligne coaxiale ouverte de longueur 2,5 m qui réalise donc une capacitance. Nous avons adopté cette solution à cause des tensions plus élevées développées aux bornes de cette impédance.

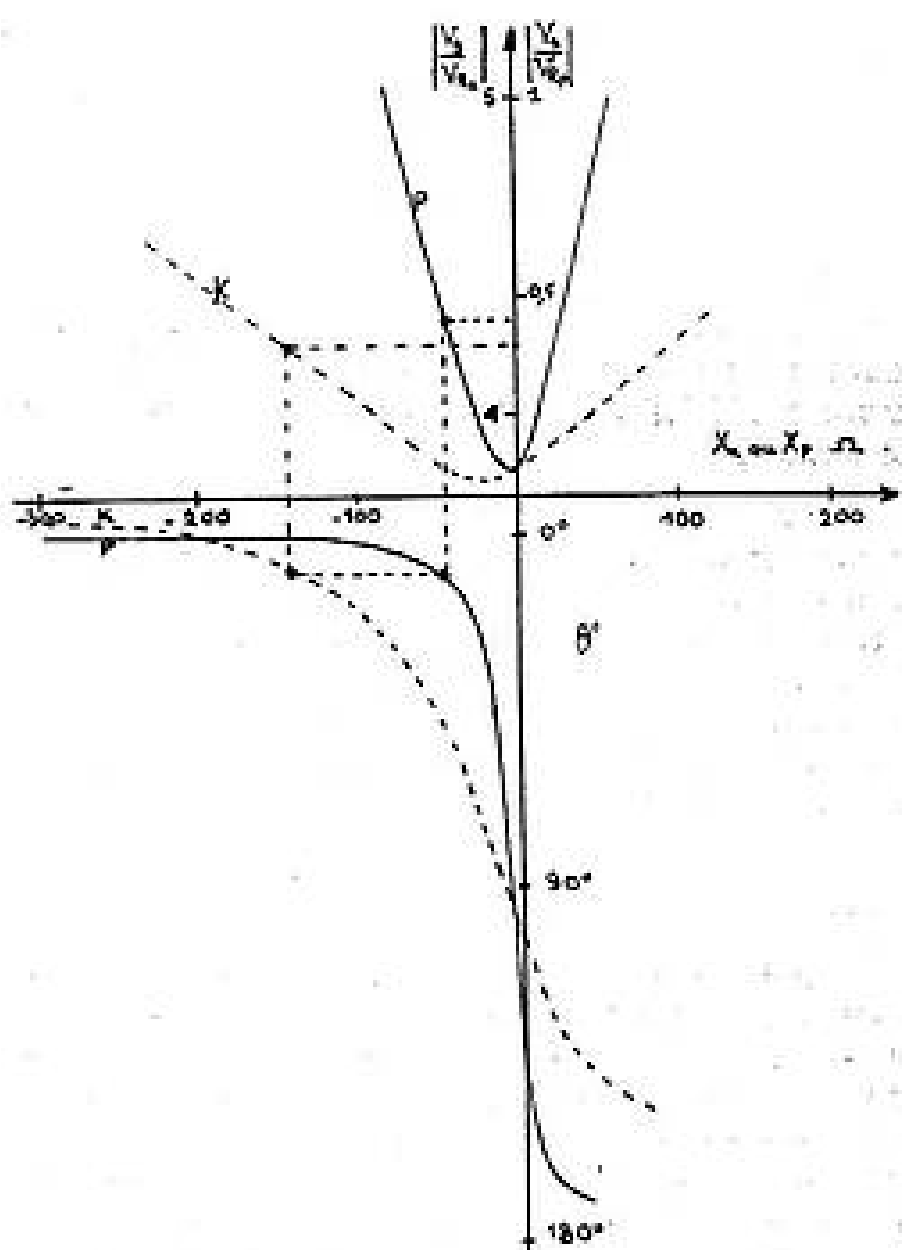


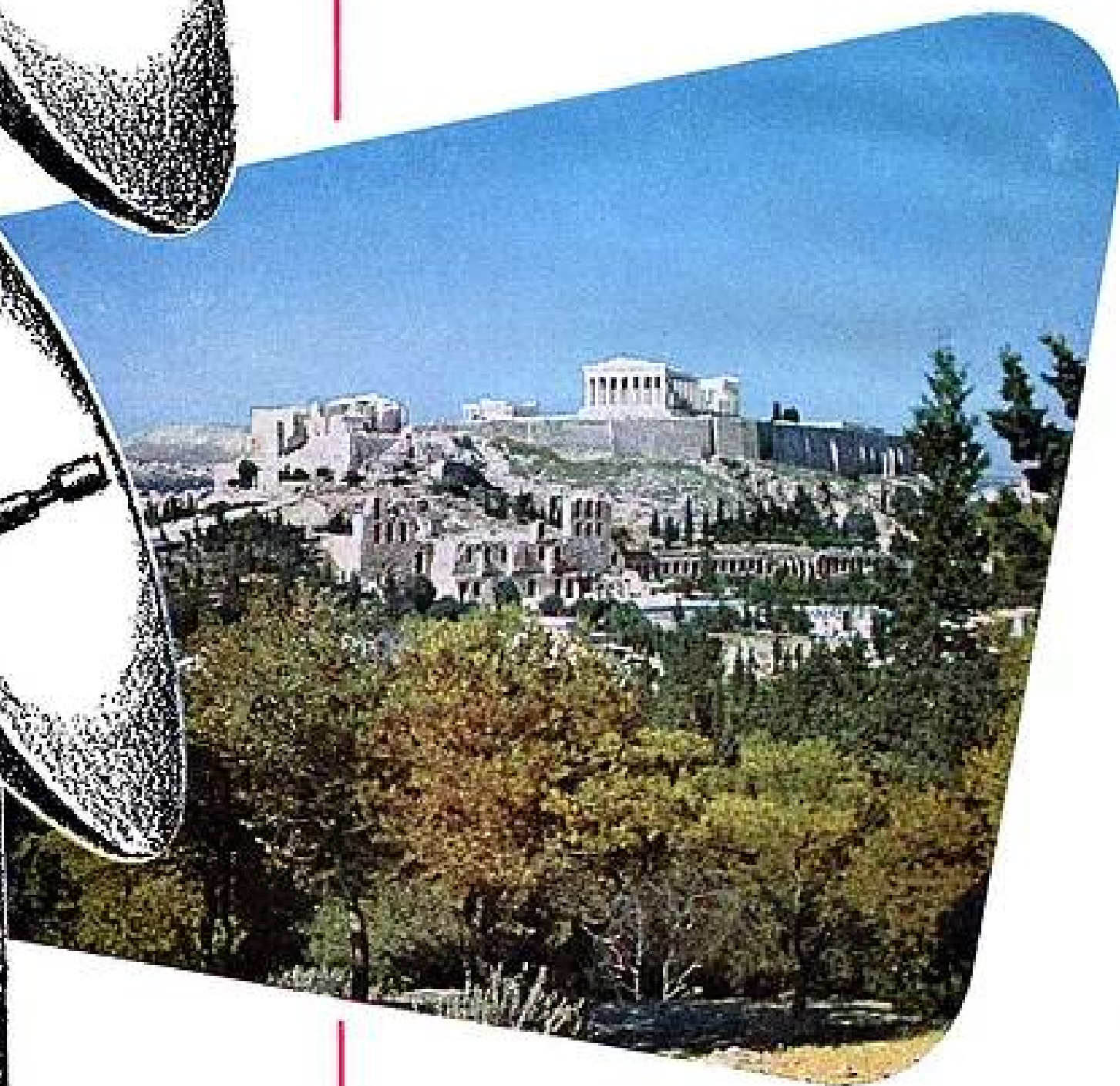
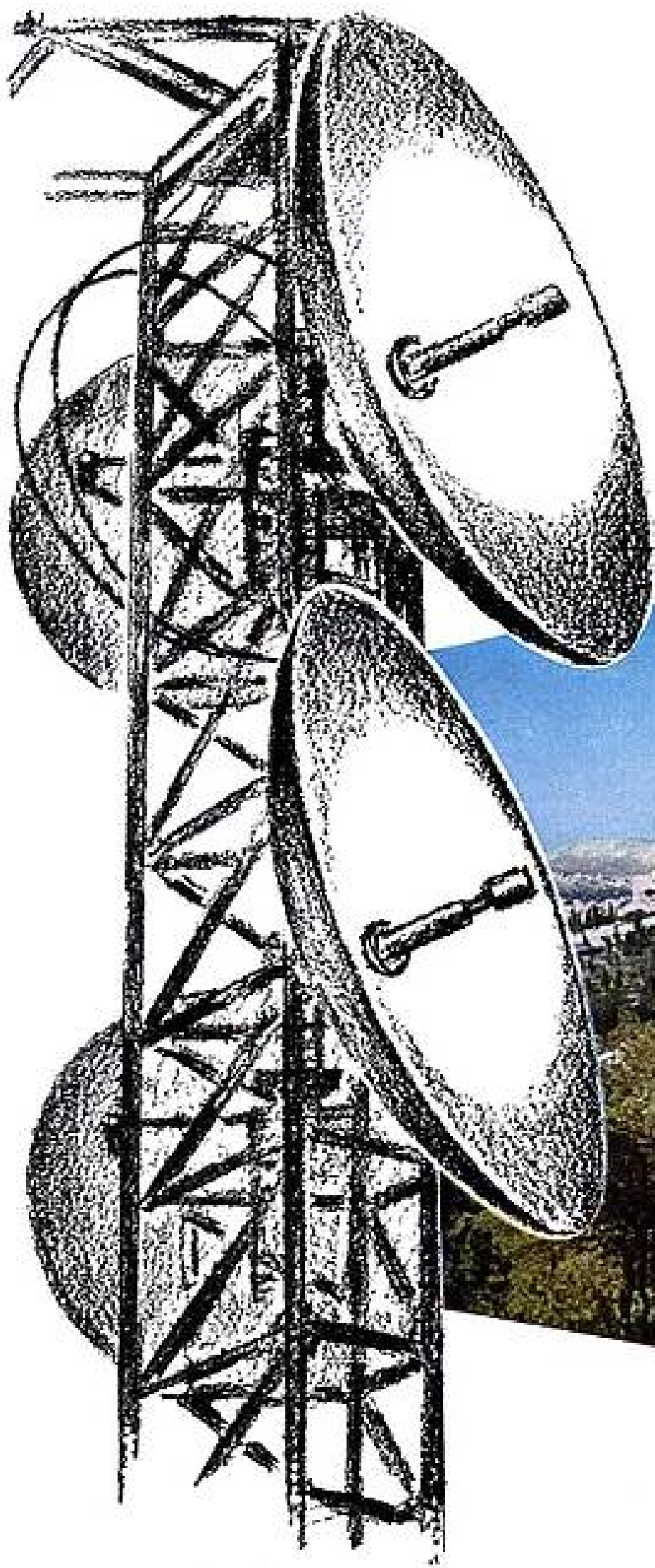
FIG. 15. — Variation des rapports de tensions et déphasages entre boucles et lampe.

L'enfoncement de la boucle est de 8 cm.

Les différents paramètres ayant été réglés à ces valeurs nous avons obtenu une oscillation immédiate de la lampe et de faibles ajustements ont été nécessaires pour obtenir un fonctionnement correct lorsque l'ensemble du circuit résonnant a été mis sous vide.

L'ensemble de cet oscillateur qui constitue une partie importante du Cyclotron a été réalisé au C.E.A. par l'équipe travaillant sur cet accélérateur et nous tenons à remercier toutes les personnes qui, au cours de la mise au point, nous ont aidés de leurs conseils.

faisceaux hertziens



* RÉSEAU DE GRÈCE

L.M.T.

46, QUAI DE BOULOGNE - BOULOGNE-BILLANCOURT (Seine) - Téléphone : + MOLIor 50.00

LA MESURE DE L'AGE DES FOSSILES PAR LA MÉTHODE DU CARBONE RADIOACTIF (C¹⁴) NATUREL

PAR

J. LABEYRIE

*Chef de la Section d'Electronique Physique
au Commissariat à l'Energie Atomique*

Introduction.

Les neutrons thermiques agissent sur l'azote naturel pour donner du carbone et de l'hydrogène, suivant la réaction :



La section efficace de capture du neutron thermique est de $1,7.10^{-24}$ cm².

Le carbone 14 se forme ainsi spontanément dans l'atmosphère, par action sur l'azote de l'air des neutrons thermiques provenant du rayonnement cosmique. Cette réaction est, de loin, la plus probable de toutes celles qui peuvent se produire par action des rayonnements naturels sur les divers constituants de l'atmosphère [1]. Le carbone 14 ainsi créé continuellement dans l'air suit le destin du carbone ordinaire, c'est-à-dire qu'il est rapidement transformé en gaz carbonique, dont une partie est assimilée par les plantes terrestres et les végétaux marins. La proportion de carbone 14 par rapport au carbone ordinaire (lui-même composé de 98,89 % de carbone 12 et 1,11 % de carbone 13) est extrêmement faible : environ $1,3.10^{-12}$ et se trouve être, à quelques % près, la même dans ces végétaux et dans l'atmosphère (1). Il en est de même chez les animaux qui se nourrissent de ces végétaux.

Le carbone 14 est radioactif : il émet un rayonnement bêta de faible énergie (énergie maximum : 0,155 MeV) qui a un parcours maximum dans l'aluminium de 28 mg/cm² et dont l'intensité diminue de moitié après traversée d'un écran en aluminium de 2,3 mg/cm². Sur la Figure 1 est indiqué le spectre du carbone 14.

La période du carbone 14 est longue : la valeur moyenne obtenue d'après les mesures récentes de divers auteurs est de $5\,568 \pm 30$ ans. Ces mesures ont été effectuées de la façon suivante : du CO₂ contenant une proportion de carbone 14, préparé à la pile, de l'ordre de 1 % est analysé au spectrographe de masse de façon à connaître la proportion

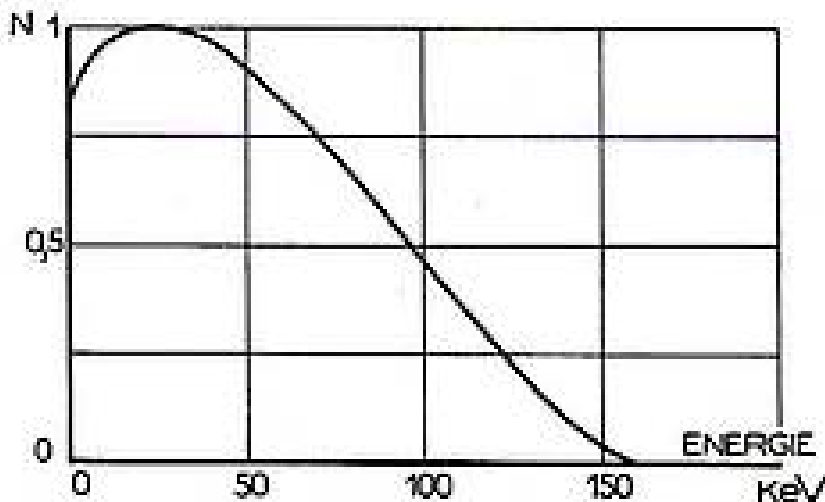


FIG. 1. — Spectre d'énergie du rayonnement β du carbone 14. En ordonnées : intensités relatives du rayonnement β par bande d'énergie de largeur constante. Ce spectre a été calculé d'après la formule théorique (C. S. Wu, *Rev. Mod. Phys.* 22, 386 (1950) en utilisant la méthode simplifiée de J. M. MARSHALL (*Nucleonics*, 13, 34 (1955).

exacte de carbone 14 ; le CO₂ radioactif est ensuite dilué dans un rapport connu, qui est de l'ordre de 10 000, avec du CO₂ ordinaire inactif, afin d'obtenir un gaz ayant une activité spécifique suffisamment faible pour qu'elle puisse être mesurée dans un compteur. La mesure se fait en introduisant un volume connu de ce gaz carbonique faiblement actif, soit dans un compteur de Geiger rempli d'un mélange argon-alcool classique [2] [3], soit dans un compteur proportionnel [4] ; on a déterminé, par ailleurs, le rendement de ces compteurs d'une façon aussi précise que possible, et la période du carbone 14 est alors déduite du nombre de désin-

(1) D'après LAMAY il y a 6% de C¹⁴ en plus dans les matériaux inorganiques que dans les matériaux biologiques du même âge.

tégrations que subit pendant l'unité de temps un nombre connu d'atomes de cet isotope (*).

Bien que le carbone 14 ne soit contenu qu'en proportion infime dans le carbone naturel, il lui communique cependant une activité mesurable. Cette activité est maximum dans un animal ou un végétal vivant ; au moment de la mort, l'assimilation directe ou indirecte du carbone atmosphérique cesse et l'activité du carbone contenu dans le végétal ou l'animal commence alors à décroître avec la période radioactive indiquée ci-dessus : en mesurant l'activité spécifique du carbone contenu dans un fossile, on peut donc en déduire le laps de temps qui s'est écoulé depuis sa mort ; nous appellerons « âge » du fossile ce laps de temps. Sur la Figure 2, nous avons indiqué comment varie cette activité spécifique du carbone en fonction de l'âge du fossile. La détermination de l'âge d'un fossile par cette méthode suppose, bien entendu, que l'activité spécifique des organismes vivants avait la même valeur autrefois que celle qu'elle a aujourd'hui (ceci implique, en particulier, que l'intensité du rayonnement cosmique est restée constante) ; bien

ralement avec ces deux paramètres [6], les résultats montrent que l'activité spécifique du carbone ne suit pas ces variations, à cause des vents qui rendent homogène l'atmosphère en un temps court devant le temps moyen qui est nécessaire aux végétaux pour assimiler le CO_2 . Notons cependant qu'une légère décroissance (4 % environ) de l'activité spécifique du carbone contemporain, connue sous le nom d'effet Suess [7] [8] [10] se manifeste au voisinage des zones industrielles, où sont déversées dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz carbonique provenant de la combustion de carbone totalement inactif (houille, pétrole).

Dans le Tableau I, nous avons indiqué quelques valeurs de l'activité spécifique de divers échantillons de carbone contemporain obtenues par différents auteurs.

Auteurs	Année	Bois	Coquillages
LIBBY [1]	1952	$15,3 \pm 0,5$	$16,5 \pm 0,5 (*)$
FERGUSON [9].	1955	$12,5 \pm 0,2$	$13,1 \pm 0,3$
HAYES [10] . . .	1955	$13,6 \pm 0,2$	

Tableau I
Activité spécifique du carbone contemporain
(exprimée en désintégrations bêta par minute par gramme).

Remarque : les chiffres indiqués pour le bois sont relatifs à des échantillons prélevés à grande distance des zones industrielles.

La découverte de cette faible activité spécifique du carbone contemporain date de 1946 [11] ; à cette époque, les installations électroniques de comptage n'étaient pas considérées comme assez sûres pour que l'on puisse faire une mesure directe de comparaison entre l'activité spécifique du carbone contemporain et celle du carbone très ancien, et on avait donc procédé, au préalable, à une concentration isotopique du carbone 14 dans ces deux échantillons ; comme nous allons le voir par la suite, l'électronique a été suffisamment perfectionnée depuis pour permettre, sans enrichissement isotopique, la mesure d'activités spécifiques 100 fois plus faibles que celle du carbone contemporain (présentées par exemple par des fossiles âgés de 30 000 à 40 000 ans).

La mesure de l'âge d'un fossile nécessite simplement que l'on mesure l'activité spécifique du carbone qu'il contient. Plusieurs méthodes ont été développées ; toutes nécessitent l'extraction du carbone contenu dans l'échantillon et une transformation appropriée de ce carbone pour détecter le rayonnement bêta qu'il émet avec un rendement de comptage aussi élevé que possible ; toutes nécessitent également d'importantes précautions pour éliminer les rayonnements parasites qui troublent les mesures.

Précisions des mesures.

Quelle que soit la méthode utilisée, la précision d'une mesure d'âge est toujours limitée par la même

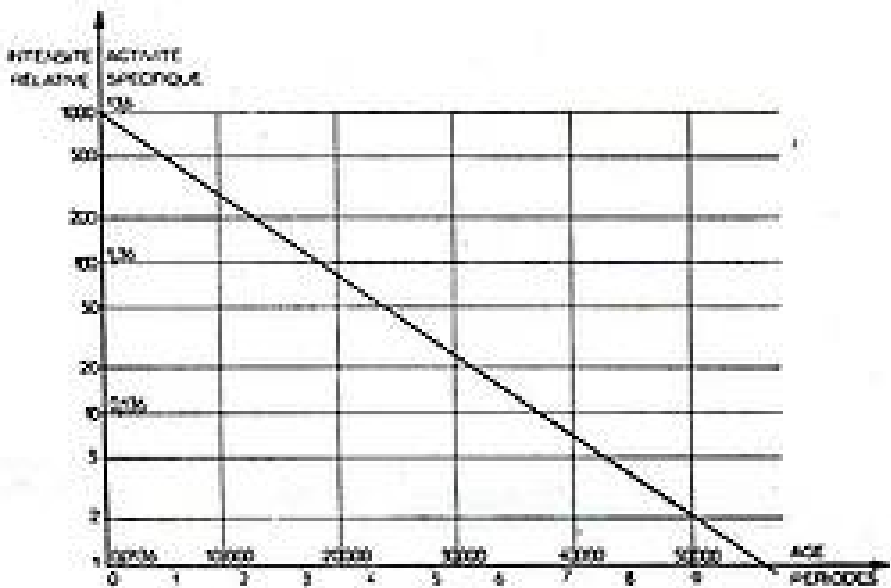


FIG. 2. — Variation de l'intensité du rayonnement β du carbone naturel en fonction de son âge.
L'activité spécifique indiquée ici de 13,6 rayons β par minute et par gramme de carbone naturel contemporain est extraite de HAYES, ANDERSON, ARNOOLD [10].

qu'il n'ait pas encore été possible de déterminer depuis quand cette activité spécifique est restée constante, le fait qu'il y a concordance pendant les quatre derniers millénaires entre les évaluations basées sur cette méthode et celles qui sont basées sur des considérations historiques, nous incite à penser que nous avons le droit d'extrapoler cette constance pendant les quatre ou cinq dernières dizaines de millénaires.

D'autre part, il est nécessaire de s'assurer que la proportion de carbone 14 dans le carbone des organismes vivants est la même, quel que soit le lieu où ils vivent. Cette constance a été vérifiée, en particulier par ANDERSON [5], qui a mesuré l'activité spécifique d'échantillons contemporains prélevés en des lieux situés à des latitudes et altitudes très variées : bien que l'intensité du rayonnement de neutrons d'origine cosmique varie considé-

(*) Rendement : rapport entre le nombre d'impulsions comptées et le nombre de rayons bêta émis dans le compteur.

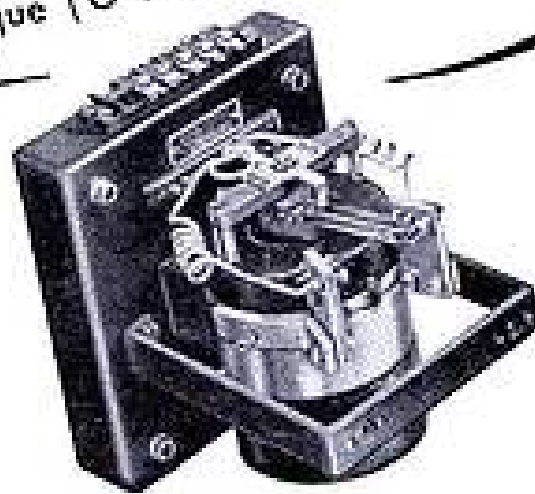
APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MESURE



**APPAREILS ÉTANCHES
ANTICHOCS**
Microampèremètres depuis $2\mu A$
Millivoltmètres dep. $1mV$ (sur cadre)
Ampèremètres - Voltmètres, etc...

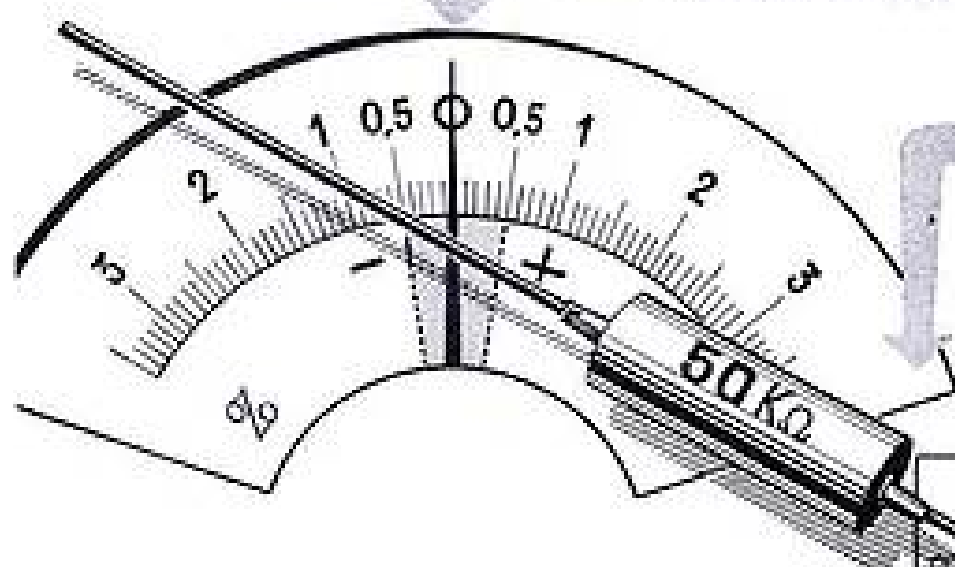
APPAREILS SPÉCIAUX SUR DEMANDE

**RELAIS GALVANOMÉTRIQUES
DE SÉCURITÉ**
Courant de commande depuis $3\mu A$
à minimum et maximum
symétrique (0 control)
différentiel
régulateur



ALBERT LE BŒUF & FILS
194 RUE DES GROS-GRÈS - COLOMBES - CHA.56-03+

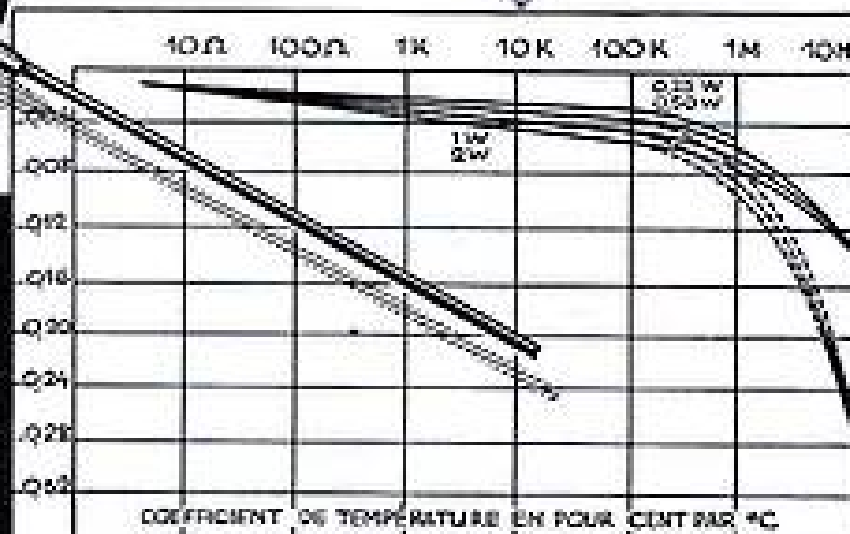
Une résistance MINIATURE...



précise
[Tolérance de $\pm 5\%$ à $\pm 0,5\%$]

solide

stable



Toutes nos fabrications sont conformes aux normes
C.C.T.U. et J.A.N.

RADIAC S.A.

Service Cl. 79, rue du Fr. Poissonnière
Paris - 9° PRO. 39-51



Documentation technique sur demande

cause : l'incertitude sur le nombre *moyen exact* de rayons émis par l'échantillon pendant la durée de la mesure. Cette incertitude est due au fait que les rayons sont émis au hasard dans le temps et, par conséquent, deux mesures ayant duré le même temps donneront des impulsions en nombres voisins mais pas nécessairement égaux. La Loi de Poisson indique que si *N* est le nombre de rayons comptés et que si *N'* est le nombre moyen exact (que l'on ne connaît pas), *N* sera d'autant plus voisin de *N'* que ces nombres seront plus grands ; elle indique également que si l'on a un nombre *N*, le nombre moyen exact *N'* possède une chance égale à 68,2 % d'être compris dans l'intervalle (*N* - √*N* ; *N* + √*N*) et égale à 95,4 % d'être compris dans l'intervalle (*N* - 2 √*N* ; *N* + 2 √*N*). Par exemple, si *N* = 10 000, nous avons une chance de 68,2 % de trouver le nombre moyen exact entre 9 900 et 10 100, autrement dit dans un intervalle de 1 % de part et d'autre du nombre trouvé.

La valeur relative $\frac{\sqrt{N}}{N}$ est habituellement appelée « erreur standard ».

Cette incertitude agit de la manière suivante sur la précision de la mesure d'âge :

Soit *N* le nombre de rayons comptés pendant un certain temps, et qui sont dus à un échantillon ayant un âge *t* (ans) ; soit *T* la période de décroissance du carbone 14 (*T* = 5 568 ans). Une mesure de même durée effectuée quand l'échantillon avait l'âge zéro aurait donné un nombre *N*₀ relié à *N* et à *t* par l'équation :

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{L2}{T} \cdot t}$$

(1)

une variation *dt* de l'âge entraîne une variation *dN* du nombre de rayons émis :

$$dN = - \frac{L2}{T} \cdot N_0 \cdot e^{-\frac{L2}{T} \cdot t} \cdot dt$$

(2)

dont la valeur relative par rapport à *N* est :

$$\frac{dN}{N} = - \frac{L2}{T} \cdot dt$$

(3)

autrement dit, l'incertitude absolue sur l'âge, *dt*, est proportionnelle à l'incertitude relative sur le taux de comptage :

$$dt = 8\,100 \frac{dN}{N}$$

(4)

(en remplaçant *T* et *L2* par leur valeur numérique).

TABEAU II

Principales caractéristiques de méthodes typiques de comptage du carbone naturel

Auteur et Référence	Méthode (1)	Poids de Carbon (g)	Comptage net (C contemporain)		Rendement de Détection	Bruit de fond c/m	Durée pour « précision de 100 ans » (minut.) (2)
			c/m	c/24 h			
Libby (1)	G M C solide	8	6,7	9 660	6 %	4	1 000
Suess (8)	P C ₂ H ₂	1	10,7	15 450	79 %	2,3	615
De Vries (12)	P CO ₂	0,5	5,6	8 050	82 %	2,6	1 200
Fergusson (14)	P CO ₂	13	103	148 000	58 %	14	64
Pringle (21)	S C ₂ H ₂ . CH ₄	2,3	15,5	22 300	48 %	3,3	425
Audric (18)	S C ₂ H ₂ /toluène	7	45	65 000	47 %	40	146
Arnold (19)	S hexane /toluène	47	182	262 000	28 %	26	36
Hayes (10)	S cymène	67	470	676 000	52 %	60	14

(1) GM : compteur GM ; P : compteur proportionnel ; S : scintillation.

(2) Sans tenir compte de l'erreur liée par le bruit de fond.

MILLIVAC

Sensationnel

50 μ V. en continu
1 mV. — 2.500 Mcs

MILLIVAC

Millivoltmètre électronique
MV - 18 C

**MESURES EN
COURANT CONTINU**

50 μ V à 10 mV
zéro au milieu de l'échelle
Impédance 6 megohms



MESURES EN H F

1 mV à 1000 V jusqu'à 2500 Mc/s
Capacité de la sonde 1-1,5 ou 2,8 μ F
suivant la gamme de mesure.

LELAND RADIO IMPORT CO

M. BAUDET, 6, RUE MARBEUF, PARIS 8 - TÉL. ÉLY. 11.25

On prend à priori, en général, $dN = \sqrt{N}$, d'où l'on tire la relation entre l'erreur absolue sur l'âge et le nombre d'impulsions observé :

$$dt = \frac{8\,100}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

par exemple, si nous avons compté pendant la durée de la mesure 10 000 impulsions, l'erreur sera égale à 81 ans ; si on mesure, avec le même appareil, un échantillon dont l'âge est supérieur de 20 000 ans à celui du précédent, la même durée de mesure nous fournira environ 800 impulsions et l'erreur sur l'âge, toujours d'après l'équation (5), sera de 300 ans environ ; bien entendu, dire que l'erreur est de 300 ans signifie simplement que l'on a une chance égale à 68,2 % de trouver la valeur exacte de l'âge dans un intervalle de 300 ans de part et d'autre de la valeur trouvée. On peut également dire que si l'on veut indiquer l'âge à 100 ans près, avec une chance égale à 68,2 % de ne pas se tromper, l'équation (5) nous montre qu'il faudra compter 6 600 impulsions ; nous indiquons, sur le Tableau II, les durées de mesure qui sont nécessaires, avec différentes méthodes, pour obtenir cette « précision » de 100 ans ainsi définie, pour du carbone contemporain. Il est bon de noter qu'à l'heure actuelle, une précision réelle de 100 ans ne peut être atteinte dans la plupart des cas, à cause de phénomènes parasites (contamination, effet Suess, ... etc).

Âge limite.

Il n'y a théoriquement pas de limite à l'âge que l'on peut mesurer par la méthode du carbone 14. En fait, avec les méthodes actuelles, la durée de la mesure ne dépasse pas 48 heures, et l'on convient d'habitude que l'âge limite est celui pour lequel on obtient, pendant cette durée de mesure, un nombre d'impulsions égal à $4 \cdot \sqrt{N_0}$, N_0 étant le nombre d'impulsions obtenues pendant le même temps avec du carbone contemporain ; les âges limites que les différentes méthodes permettent d'atteindre, avec cette convention, varient actuellement entre 28 000 ans (LIBBY) et 48 000 ans (HAYES).

Bruit de fond.

Toutes les méthodes utilisées donnent, en plus des impulsions dues au carbone 14, un certain nombre d'impulsions parasites, dites de « bruit de fond ». Ces impulsions sont dues essentiellement à trois causes : le rayonnement cosmique, la pollution radioactive du détecteur et des objets environnants, les imperfections du détecteur lui-même et de l'appareillage électronique qui l'accompagne (on peut citer, en particulier, l'émission d'électrons par effet thermique dans les photomultiplicateurs ou l'arrivée d'impulsions parasites par le réseau).

Ces impulsions, tout comme celles qui sont dues aux rayons bêta du carbone 14, sont émises au hasard et la détermination de leur nombre exact est soumise

à la même incertitude ; il importe de réduire le taux de comptage dû à ce bruit de fond à une valeur faible par rapport au taux de comptage dû aux rayons bêta du carbone 14, car l'erreur relative propre au bruit de fond s'ajoute à celle qui est propre à l'échantillon et augmente ainsi l'imprécision des mesures.

Au cours de la description des diverses méthodes de comptage, on trouvera l'indication des principaux moyens de réduire les causes de bruit de fond.

Principales méthodes de comptage du radiocarbone naturel.

1° Méthode utilisant le carbone à l'état solide :

Mise au point par LIBBY et ses collaborateurs de 1948 à 1952 [1], cette méthode a été la première à être utilisée pour les mesures d'âge et c'est elle qui a permis de réaliser la plupart des datages faits jusqu'à ce jour.

Le carbone de l'échantillon est d'abord transformé en gaz carbonique par combustion dans l'oxygène, s'il s'agit d'une matière organique, ou par action de l'acide chlorhydrique s'il s'agit d'une substance minérale (coquillage) ; après différentes transformations destinées à le purifier, le gaz carbonique est réduit par le magnésium et transformé en une fine poudre de carbone ; lavée et séchée, cette poudre est délayée dans l'eau pour former une pâte que l'on étale sur la paroi interne d'un compteur. On constitue ainsi une couche « infiniment épaisse », c'est-à-dire d'épaisseur supérieure au parcours des rayons bêta (environ 30 mg/cm²). Le compteur de LIBBY a une surface active d'environ 300 cm² et un volume de l'ordre de un litre ; la quantité de poudre de carbone nécessaire pour recouvrir sa surface active est d'environ 8 grammes. Après séchage, le compteur est rempli d'un mélange d'argon (10 cm Hg) et d'éthylène (0,5 cm Hg), afin de pouvoir fonctionner en régime de GEIGER.

Bien qu'une centaine de désintégrations se produisent chaque minute dans cette couche de carbone, il n'y aura que 6 ou 7 rayons bêta qui pénétreront dans le gaz du compteur par suite de l'absorption dans la couche ; par contre, à cause des grandes dimensions du compteur, les mésons cosmiques et les rayons gamma dus aux dérivés de l'uranium, qui sont toujours présents partout, créent un bruit de fond important (plusieurs centaines de coups par minute), qui masque complètement le faible taux de comptage dû à l'échantillon. Avec une protection de fer d'une épaisseur de 20 cm placée tout autour du compteur, on supprime l'essentiel des rayons gamma et une partie des rayons cosmiques et l'on arrive ainsi à réduire le bruit de fond de 500 à 100 coups par minute. Les rayons cosmiques restant sont à la fois très pénétrants et très ionisants ; cette double propriété va permettre de les éliminer : entre le blindage en fer et le compteur de LIBBY, on dispose une couronne serrée de compteurs de GEIGER ordinaires, de telle sorte que tout rayon cosmique ne puisse traverser le compteur central sans traverser un ou plusieurs des

compteurs de la couronne ; il suffira alors, au moyen d'un dispositif électronique à anticoincidence d'un type classique, d'interrompre l'enregistrement des impulsions provenant du compteur central chaque fois qu'une impulsion provient d'un des compteurs de la couronne, pour éliminer la plupart du bruit de fond cosmique. On passe ainsi d'une centaine de coups par minute à environ 12 lorsque le compteur contient du carbone contemporain et à 5 environ lorsqu'il contient du carbone inactif (formé à partir d'anthracite) ; enfin, en adjoignant un blindage supplémentaire en mercure ou en bismuth entre le compteur de LIBBY et la couronne de compteurs anti-cosmiques, on arrive à réduire le bruit de fond à la valeur très faible de 2 à 3 coups par minute.

Signalons une disposition caractéristique du compteur de LIBBY : la couche de carbone solide déposée sur la paroi interne du compteur et qui joue le rôle de cathode n'est pas un matériau très satisfaisant pour constituer la cathode d'un compteur, car les cendres alcalino-terreuses présentes dans cette couche peuvent donner lieu à une abondante émission d'électrons par effet thermique, et l'on sait qu'il suffit d'un seul électron qui pénètre dans le gaz du compteur pour que celui-ci donne une impulsion. Pour éviter cet effet, LIBBY dispose contre la cathode une grille ; il suffit alors d'une différence de potentiel de quelques dizaines de volts entre celle-ci et la cathode pour repousser en dehors du volume actif du compteur les électrons thermiques, dont l'énergie est très faible (inférieure à 1 eV).

Avec une durée de comptage de 48 heures, un échantillon de carbone contemporain donne un total (net) d'environ 20 000 impulsions et le bruit de fond en donne, dans le même temps, environ 10 000 ; la précision de la mesure, selon les conventions indiquées plus haut, sera donc de 100 ans environ ; l'âge limite, défini également comme il a été indiqué plus haut, est de 28 000 ans environ, la précision sur cet âge limite étant de 400 ans environ.

La méthode de LIBBY permet donc de dater, avec une précision déjà remarquable, des échantillons fossiles relativement très âgés ; malheureusement, à cause du faible rendement de comptage du carbone sous forme solide, la précision du comptage est faible, compte tenu de la quantité importante de substance fossile qu'il a fallu traiter pour obtenir les 8 grammes de carbone nécessaires à la fabrication de la couche (il faut ainsi détruire une douzaine de grammes dans le cas d'un charbon de bois, une trentaine de grammes dans le cas d'un échantillon en bois ou en tissu et une centaine de grammes dans le cas d'une coquille). D'autre part, la couche de charbon pulvérulent est extrêmement adsorbante : sa surface totale est de l'ordre de 200 mètres carrés, ce qui crée de grandes chances de contamination accidentelle par le radon toujours présent dans l'atmosphère ; enfin, le carbone obtenu peut contenir une proportion importante de cendres, obligeant ainsi à une correction qui ne peut se faire que par une analyse pondérale.

Dans les deux méthodes que nous allons maintenant décrire, et qui sont encore en plein développement, on est parvenu à augmenter d'une façon considérable le rendement de comptage des rayons bêta, en même temps qu'on simplifiait les manipulations et qu'on diminuait les risques de contaminations accidentelles.

2^e Méthode utilisant le carbone à l'état de gaz dans un compteur proportionnel :

Si le carbone est introduit sous forme de gaz à l'intérieur d'un compteur GEIGER ou d'un compteur proportionnel, presque tous les rayons qu'il émet se trouveront dans le volume utile du compteur et par conséquent, le rendement de comptage sera a priori beaucoup plus important que dans le compteur de LIBBY. Nous laisserons tout de suite de côté le compteur de GEIGER car il nécessite, à pressions de gaz égales, des tensions de fonctionnement beaucoup plus élevées que le compteur proportionnel, ce qui est une cause importante d'instabilité de fonctionnement ; d'autre part, il ne permet pas la distinction des impulsions dues au carbone 14 de celles qui sont dues au bruit de fond, supprimant ainsi une possibilité de réduire celui-ci.

Presque tous les gaz contenant du carbone conviennent pour remplir un compteur proportionnel ; cependant, à l'heure actuelle, seuls le gaz carbonique, le méthane et l'acétylène ont été utilisés ; d'autres gaz, comme le propane ou le butane, sont a priori très séduisants parce qu'ils contiennent davantage d'atomes de carbone dans leur molécule, ce qui permet d'introduire davantage de carbone dans un compteur sans augmenter la pression ; ils ne sont pas encore utilisés cependant car leur synthèse, à partir des échantillons usuels, nécessite des transformations chimiques trop nombreuses et à rendements trop faibles.

Le premier auteur ayant décrit une méthode de comptage du radiocarbone naturel à l'état de gaz dans un compteur proportionnel est DE VRIES [12]. Le compteur qu'il utilise a un volume de 0,3 litre ; il est rempli de gaz carbonique pur à une pression qui peut aller jusqu'à trois atmosphères. A cette pression, le compteur contient environ 0,5 gramme de carbone et donne un taux de comptage net, pour le carbone contemporain, de 5,6 coups par minute. Le bruit de fond du compteur non protégé est de 180 coups par minute ; il diminue de 115 coups par minute par adjonction d'un blindage en fer de 22 cm d'épaisseur et devient finalement égal à 3,9 coups par minute lorsqu'on entoure le compteur central d'une couronne anti-cosmique d'un type spécial (elle est formée de 11 compteurs de GEIGER élémentaires baignant dans une atmosphère commune). La méthode de DE VRIES donne donc une précision et un âge limite analogues à ceux que donne la méthode de LIBBY, mais elle a l'avantage sur celle-ci d'utiliser une quantité de carbone 16 fois moindre. En outre, comme toutes les méthodes utilisant le carbone sous forme gazeuse, elle permet d'introduire le carbone dans le compteur sans avoir à manipuler celui-ci. On gagne ainsi du temps et on évite une cause importante de contamination.



Le générateur de signaux étalonnés

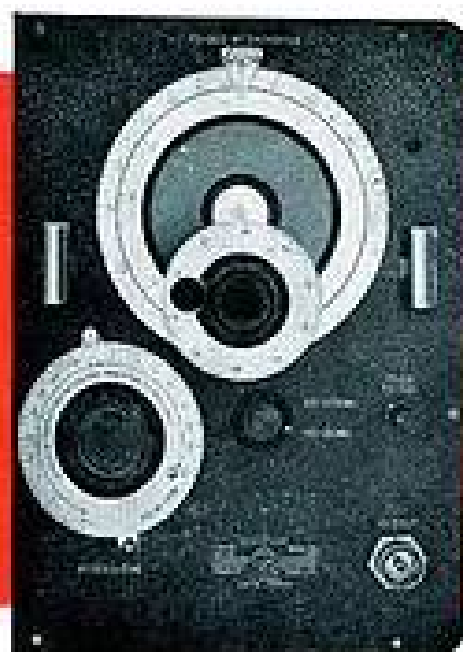
couvrant la gamme de

**40 à
2000 Mc**

Le générateur étalonné bien connu Type 1021-A a trouvé sa gamme HF élargie vers le haut jusqu'à 2000 Mc par l'adjonction d'un 3^e bloc oscillateur et vers le bas jusqu'à 40 Mc par l'adjonction d'une gamme supplémentaire 40-50 Mc. La gamme complète de 40 à 2000 Mc est couverte actuellement par une alimentation unique et par trois oscillateurs ayant respectivement des gammes de 40-250, 250-920 et 900-2000 Mc.

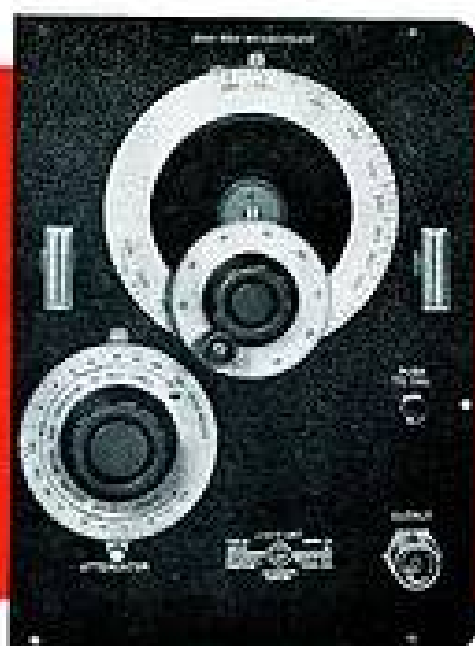
Le nouveau modèle, du type 1021-P4 couvrant la gamme de 900-2000 Mc est un oscillateur à triode avec grille séparatrice, utilisant le tube crayon UHF, type 5675. Il donne des puissances de sortie relativement élevées aux U.H.F., il est bien blindé, il est prévu pour la modulation en ondes carrées. Des lignes à curseur sont utilisées pour accorder la plaque et la cathode. Ce réglage est particulièrement doux. L'appareil est totalement exempt de bruits parasites dus à l'effet microphonique et aux vibrations.

Blocs oscillateurs complémentaires



40 - 250 Mc

Le type 1021-P3B couvre en plus actuellement la gamme de 40-50 Mc destinée aux mesures HF pour télévision et l'étude des récepteurs U.H.F., amplificateurs.



250 - 920 Mc

Le type 1021-P2 constitue une source de puissance U.H.F. bien blindée, très utile pour les ponts, lignes fendues et télévision U.H.F.



Nouveau bloc oscillateur type 1021-P4

SPÉCIFICATIONS

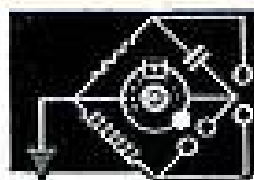
- Gamme de fréquence - 900-2.000 Mc.
- Précision d'étalonnage de la fréquence - Grand cadran à lecture directe, très lisible avec mouvement d'entraînement lent, précision 1 % sur 200%.
- Contrôle de la fréquence par Vernier - une résistance variable dans le circuit de grille permet des réglages fins de fréquences.
- Dérive de la fréquence - Inférieure à 0,1 % par jour.
- Tension d'utilisation - Réglable de 0,5 μ V à 1 V à vide.
- Impédance de sortie - 50 $\Omega \pm 10$ %.
- Voltmètre - Les tensions de sortie sont indiquées avec une précision supérieure à 20 %. Calibrage interne.
- Dispositif de modulation. Modulation par ondes carrées de 100 à 5.000 cycles venant d'un modulateur externe.
- Rayonnement - Les champs de fuite et tension de sortie résiduelle ne peuvent être détectés avec un récepteur d'une sensibilité de 2 μ V.
- Tension de chauffage redressée - Pour réduire la modulation due à la fréquence du secteur.

GENERAL RADIO Company

Cambridge U.S.A.

AUTRES FABRICATIONS :

Admittancemètres - Amplificateurs - Pôles pour oscillateurs
Distorsionmètres - Fréquencesmètres - Fréquencesmètres étalon
Ponts d'impédance - Potentiomètres - Mégohmmètres
Modulateurs - Polariscopes - Condensateurs de précision
Oscillateurs - Matériel de mesure V.H.F. - Pôles
détecteurs et accélérateurs - Générateurs de signaux -
Analyseurs de forme d'onde - Moniteurs de Radiodiffusion
et Télévision - Générateurs d'impulsions - Résistances - Self - Capacités - Décodeurs - Etc., etc...



ETS RADIOPHON

50, FAUBOURG POISSONNIERE - PARIS (10^e) + + PRO. 52-03.04

BUREAU AUX U.S.A. : RADIOPHON Corp. 35 W. 42 nd str. NEW YORK

Avant d'être introduit dans le compteur, le gaz carbonique doit être soigneusement purifié ; en particulier, des traces de certains éléments électro-négatifs comme l'oxygène ou le chlore ont tendance à produire des ions négatifs peu mobiles, au dépens des électrons, et rendent beaucoup plus critiques les conditions de fonctionnement du compteur : le coefficient de multiplication n'est plus constant pour une tension donnée et la pente du palier augmente considérablement. En pratique, il convient de ne pas avoir plus de quelques parties par million d'oxygène [12] et plus de quelques parties par dix millions de chlore [14]. La purification du gaz carbonique se fait en le condensant sous forme de neige sur laquelle on fait le vide et en recommençant cette opération plusieurs fois de suite ; le gaz carbonique, ainsi débarrassé de l'air et de la vapeur d'eau, est alors fixé sur de l'oxyde de calcium chauffé, à 800°, le carbonate formé est ensuite refroidi à 450°, pompé, puis on le porte à 900° pour redégager le gaz carbonique.

L'appareillage électronique utilisé par DE VRIES est relativement simple : sous une pression de 3 atmosphères, le coefficient de multiplication du compteur utilisé, qui possède une anode de diamètre 50 microns, varie de 1 000 à 1 000 000 lorsque la différence de potentiel entre fil et coque varie de 6 500 à 8 100 volts. La tension de fonctionnement normale est aux environs de 7 800 volts et la pente du palier, pour cette tension, est de l'ordre de 0,5 % par 100 volts. Un amplificateur ayant une bande passante de l'ordre de 1 MHz (le temps moyen de montée des impulsions est de 5 microsecondes) laisse passer toutes les impulsions dont l'amplitude est supérieure à 13 millivolts. Ces impulsions correspondent à des rayons bêta dont l'énergie est supérieure à environ 1 keV. Après amplification, les impulsions sont normalisées, avec une largeur de 130 microsecondes, et mises en anti-coïncidence avec les impulsions provenant de la couronne anti-cosmique ; ces dernières impulsions sont normalisées à une largeur de 400 microsecondes. Le taux de comptage de la couronne est de l'ordre de 10 coups par seconde et, par conséquent, le fonctionnement de celle-ci est suspendu pendant 0,4 % du temps seulement.

Plusieurs installations du même type ont été montées dans d'autres laboratoires ; parmi celles-ci, signalons celle du Centre d'Etudes Nucléaires de SACLAY [13] dont on a indiqué le schéma sur la figure 3, et quelques aspects sur les figures 4 et 5, et celle du Dominion Physical Laboratory en Nouvelle-Zélande [14]. Dans cette dernière installation, le compteur est beaucoup plus grand (7,7 litres, 3 atmosphères, ce qui correspond à 13 grammes de carbone dans le compteur), et l'électronique comporte, en outre, un sélecteur d'amplitude à 4 canaux, ce qui permet de distinguer, dans les coups qui ne sont pas en coïncidence avec ceux que donne la couronne anti-cosmique, ceux qui ont des amplitudes trop grandes pour être dus à des rayons bêta du carbone 14. On peut ainsi éliminer, en particulier, plus du tiers des impulsions provenant des dérivés du radon (ces dérivés sont proba-

blement dus, dans la technique qu'emploie FERGUSON, à des impuretés de l'oxyde de calcium utilisé pour purifier le gaz carbonique).

L'utilisation d'hydrocarbures à la place de gaz carbonique a l'avantage d'abaisser la valeur de la tension de fonctionnement. BURKE et MEINSCHEIN [15] ont ainsi développé une méthode de comptage utilisant un compteur rempli de méthane pur sous une pression de 2 atmosphères ; la tension de fonctionnement est seulement de 3 500 volts, et ce point est situé au centre d'un plateau ayant 600 volts

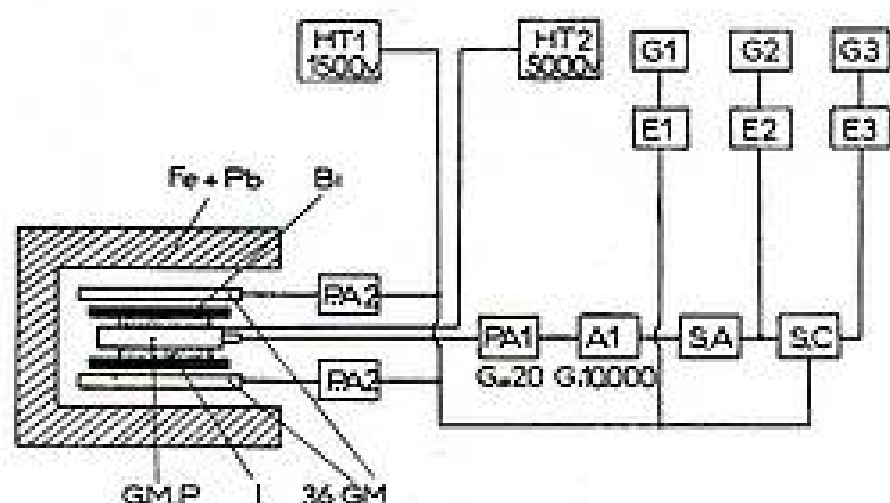


FIG. 3. — Schéma d'une installation de mesure de l'activité du carbone naturel par la méthode du compteur proportionnel (C. E. A. SACLAY).

Fe + Pb, Bi : Blindages antigamma en fer, plomb et bismuth.

GM P : Compteur proportionnel (volume 1 litre) rempli de CO_2 sous 1 atmosphère.

36 GM : 2 des 36 compteurs GM entourant le compteur central et permettant de le protéger contre les rayons cosmiques ionisants.

PA2 : Préamplificateurs-adaptateurs d'impédance des 36 compteurs GM (Gain : 0,9).

PA1 : Préamplificateur du compteur proportionnel (gain : 20, bande passante 2 MHz).

A1 : Amplificateur 2 MHz, gain 10 000 (standard C.E.A.).

SA : Sélecteur d'amplitude à une bande.

SC : Sélecteur de coïncidences, dont le rôle est de ne laisser passer vers la voie E_3 , G_3 que les impulsions du compteur proportionnel qui ne sont pas en coïncidences avec celles qui proviennent des 36 compteurs GM.

HT1 : Haute tension d'alimentation des compteurs GM (1 500 V.).

HT2 : Haute tension stabilisée (5 000 V.) pour alimenter le compteur proportionnel.

E1, G1, E2, G2, E3, G3 : Echelles et enregistreurs destinés à enregistrer respectivement : les impulsions provenant de la couronne de 36 compteurs GM, l'ensemble des impulsions provenant du compteur proportionnel (et dont l'amplitude est comprise entre 2 valeurs définies), les impulsions dues au carbone 14 seul.

de long, avec une pente inférieure à 1 % par 100 volts. La synthèse du méthane se fait en faisant circuler le gaz carbonique avec un excès d'hydrogène sur un catalyseur au ruthénium, à chaud. Les premiers essais ont conduit à un rendement de comptage de l'ordre des deux tiers (8 coups par minute au-dessus du bruit de fond pour 0,8 gramme de carbone contemporain dans le compteur).

Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, l'utilisation d'acétylène C_2H_2 a l'avantage de permettre d'introduire, à pression égale, deux fois plus de carbone dans le compteur que lorsqu'on utilise du gaz carbonique ou du méthane ; la synthèse à partir du gaz carbonique en est relativement aisée, d'autre part, et d'un rendement important. Ces avantages

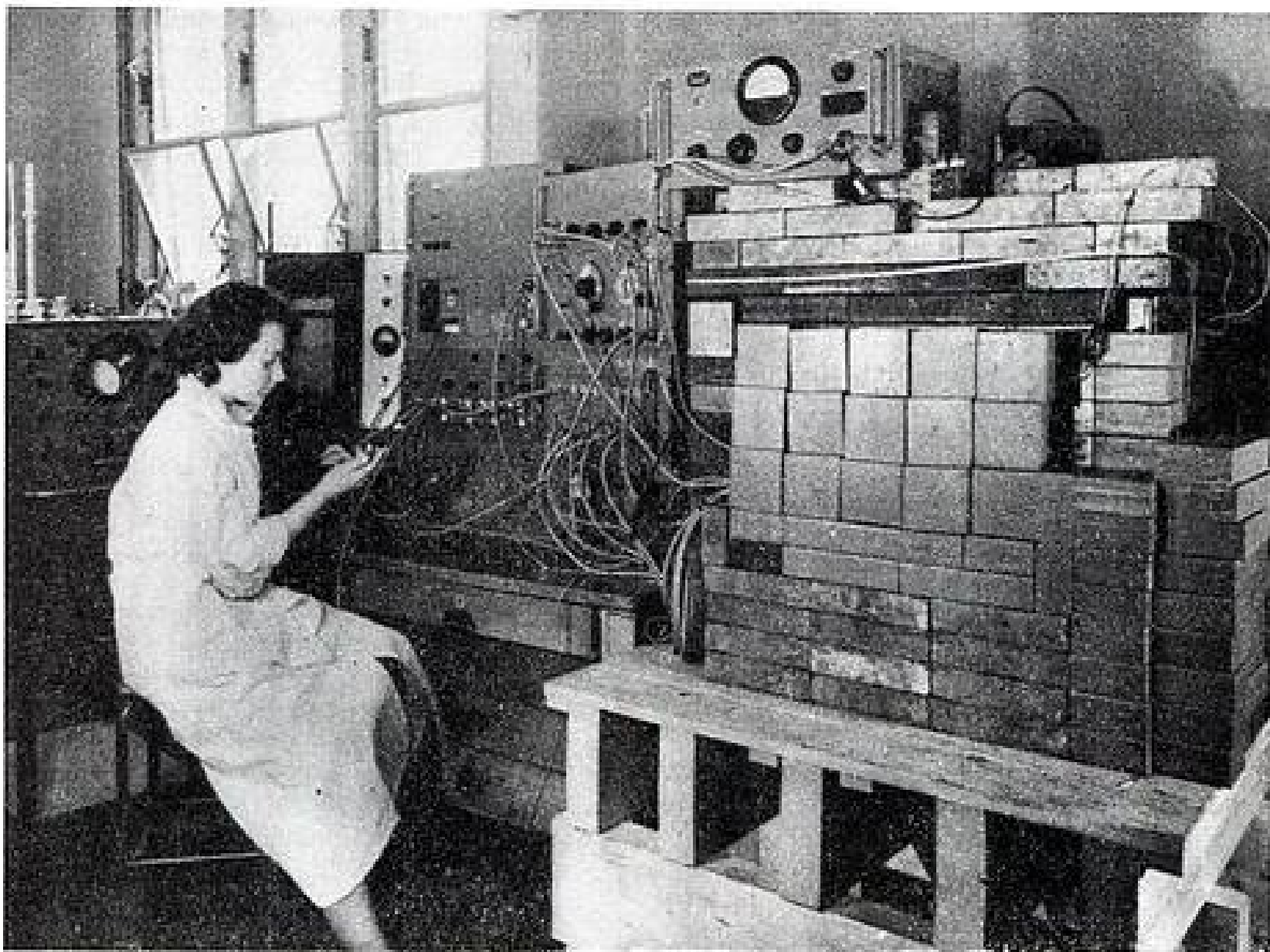


FIG. 4. — Vue d'ensemble d'une installation de comptage par compteur proportionnel (C.E.A. SACLAY).
Sur la gauche de la figure on aperçoit l'électronique schématisée sur la figure 3, et sur la droite le blindage de Fer et Plomb (7 tonnes au total) enfermant l'ensemble des compteurs.

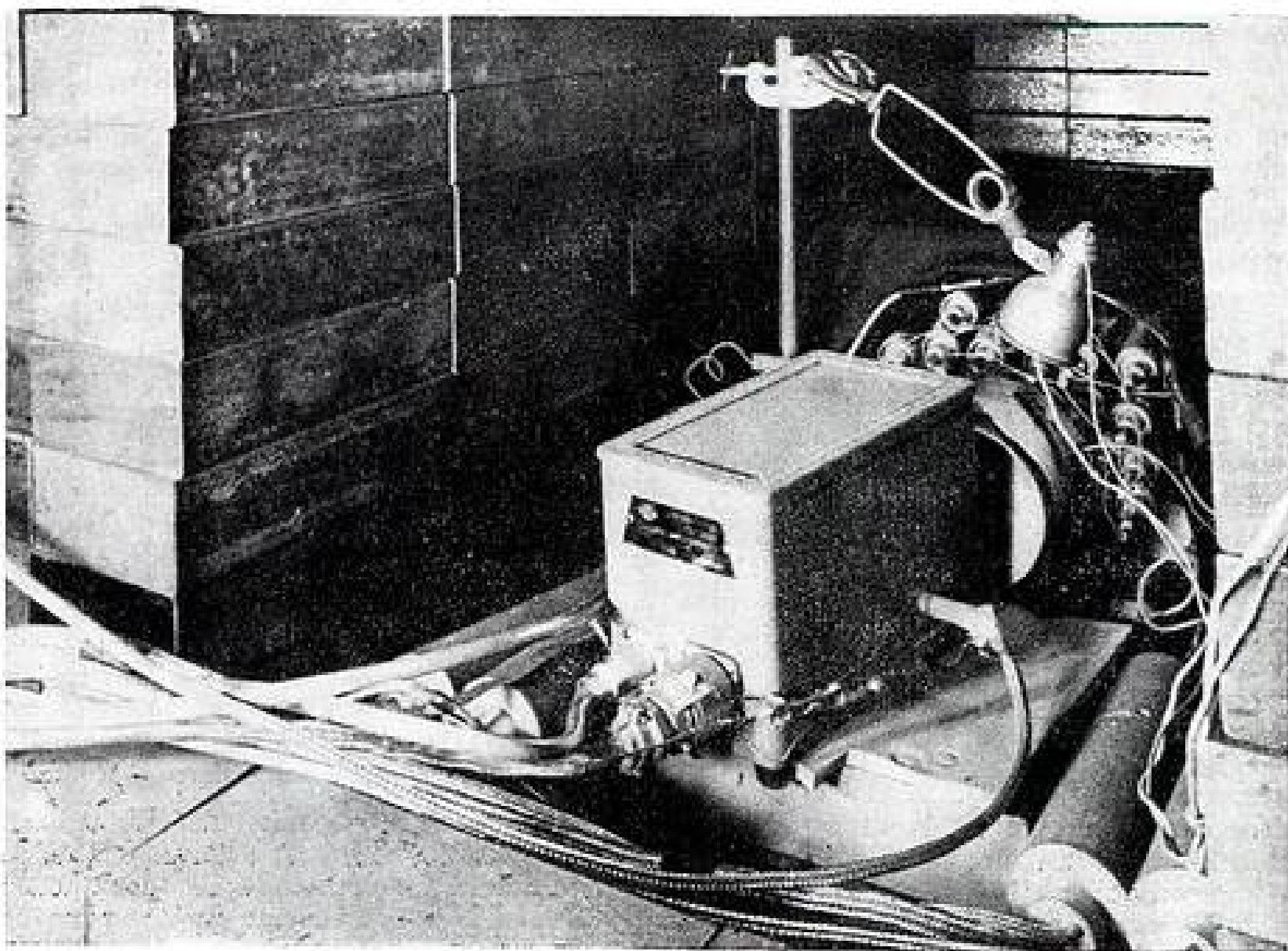
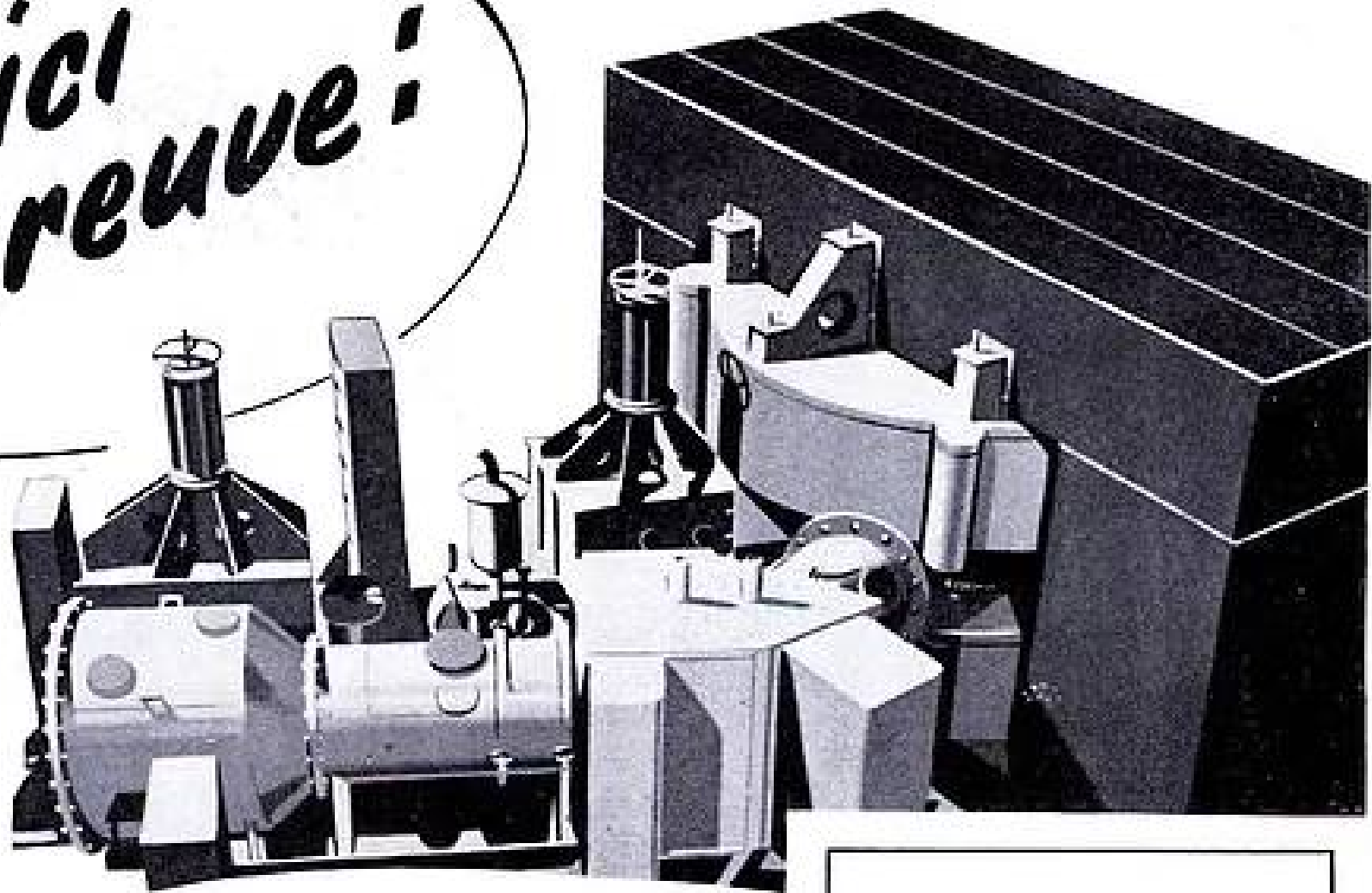


FIG. 5. — Détail des compteurs à l'intérieur du blindage.
On aperçoit, au premier plan, le préamplificateur du compteur proportionnel ; les 4 cylindres à droite et à gauche du préamplificateur sont les adaptateurs d'impédance des compteurs de la corrélation anticorrelation.

*En voici
la preuve!*



La gamme étendue d'équipements PHILIPS pour la Recherche Nucléaire et ses applications est à l'avant-garde du progrès. Elle comprend :

- Les nouveaux générateurs H. T. du type compact, avec soupapes au sélénium et tubes accélérateurs d'ions, jusqu'à 300 kV.
- Les mêmes en tank d'acier sous pression, permettant de résoudre tous les problèmes d'encombrement et de s'affranchir des conditions atmosphériques, jusqu'à 2.000 kV.
- Les générateurs H. T. classiques à soupapes à gaz ou au sélénium. Tubes accélérateurs d'ions de conception nouvelle, de grande accessibilité, à régime élevé, jusqu'à 1.100 kV.

Tous ces équipements peuvent être fournis avec une stabilisation exceptionnelle, des valeurs d'ondulation très faibles et des sources d'ions et cibles variées.

- Accélérateurs linéaires d'électrons jusqu'à 30 MeV.
- Cyclotrons.
- Synchro-Cyclotrons pour l'accélération de deutons, protons ou particules α , jusqu'à 300 MeV ; intensité du faisceau très élevée.
- Séparateurs électro-magnétiques d'isotopes.
- Echelles de comptage, indicateurs de taux de radiation, dosimètres et détecteurs de radiation pour laboratoires et services de sécurité. Tubes Geiger.
- Isotopes radioactifs (produits par pile atomique ou cyclotron).
- Générateurs d'impulsions de haute tension, jusqu'à 3,5 MV, avec enregistreur.

Les Synchrocyclotrons PHILIPS pour un encombrement réduit fournissent des performances remarquables. L'illustration représente le Synchrocyclotron d'Amsterdam en service depuis plusieurs années déjà et utilisé en permanence pour des recherches nucléaires et la production d'isotopes radio-actifs.

Energie : 30 MeV pour deutons, 60 MeV pour particules α . Courant ionique garanti de 30 μ A!

Les Laboratoires de développement PHILIPS spécialisés dans le domaine nucléaire, se tiennent à votre disposition pour toute étude d'équipement à réaliser en vue de répondre à des besoins particuliers.

PHILIPS
Equipement nucléaire



PHILIPS-INDUSTRIE

105, R. DE PARIS, BOBIGNY (Seine) - Tél. VILLETTE 28-55 (lignes groupées)

ont tenté plusieurs auteurs [8] [17] et, depuis deux ans déjà, cette méthode a permis de faire de nombreuses déterminations d'âge. La synthèse de l'acétylène se fait, soit par réduction à chaud du carbonate de strontium par de la poudre de magnésium [8], soit par attaque directe, vers 1 000°, du lithium par le gaz carbonique [17.]

Alors que les développements de cet intéressant mode de comptage ne sont pas terminés, une nouvelle méthode de comptage a déjà fait son apparition et permet d'accroître la précision des mesures : c'est la méthode des scintillations.

3° Méthode utilisant le comptage par scintillations.

Cette méthode consiste à introduire au sein même d'un scintillateur liquide le carbone dont on veut mesurer l'activité spécifique. On arrive ainsi à incorporer à un faible volume de solution (100 cm³) plusieurs dizaines de grammes de carbone. Les avantages sont évidents : on peut détecter les rayons beta provenant d'une quantité de carbone beaucoup plus importante que celle que l'on parvenait à incorporer dans les détecteurs des méthodes précédentes ; le volume de détection sensible aux rayons cosmiques et aux rayons gamma parasites est beaucoup plus petit ; enfin, comme dans le cas du compteur proportionnel, le système scintillateur-photomultiplicateur-amplificateur donne des impulsions dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie dissipée dans le scintillateur, ce qui permet de faire une sélection électronique, au moins grossière, des différents types de rayons ayant traversé le détecteur. On ne doit cependant pas oublier que la transformation de l'énergie des rayons beta en lumière est effectuée avec un rendement faible (environ 10 photons par keV) ; les impulsions de très faible amplitude qui proviennent du début du spectre du carbone 14 seront donc noyées dans le bruit de fond d'origine thermique du photomultiplicateur et, pour les distinguer, on sera obligé de refroidir celui-ci. Pour éliminer les impulsions de bruit de fond thermique du photomultiplicateur, tout en laissant subsister les impulsions de faible amplitude dues au carbone 14, on peut également procéder de la façon suivante (figure 6) : le scintillateur est observé simultanément par deux photomultiplicateurs et les impulsions qui en proviennent sont envoyées dans un circuit à coïncidences rapides ; en laissant passer uniquement les impulsions qui se produisent dans les deux photomultiplicateurs à moins de 1 microseconde environ d'écart l'une de l'autre, on élimine à peu près toutes les impulsions dues au bruit de fond thermique des photomultiplicateurs puisqu'elles sont produites dans ceux-ci sans corrélation [18] [19] ; on peut également combiner les deux techniques ci-dessus [20]. On peut enfin, comme l'ont fait PRINGLE et ses collaborateurs [21], sélectionner le photomultiplicateur pour qu'il ait une émission thermique aussi faible que possible, et ne compter que les impulsions nettement supérieures à celles du bruit de fond thermique, c'est-à-dire correspondant, pour celles qui sont dues aux rayons beta, à une énergie supérieure à 40 keV ;

on simplifie ainsi notablement l'appareillage, puisqu'on supprime les dispositifs de refroidissement et d'anticoïncidences, tout en conservant un rendement de comptage suffisant pour les rayons beta du carbone 14. Dans les mesures de PRINGLE, il est encore de 50 % environ, y compris la perte résultant de la coupure du spectre, du côté des énergies supérieures, à 100 keV pour éliminer la plupart des impulsions dues aux rayons cosmiques et aux

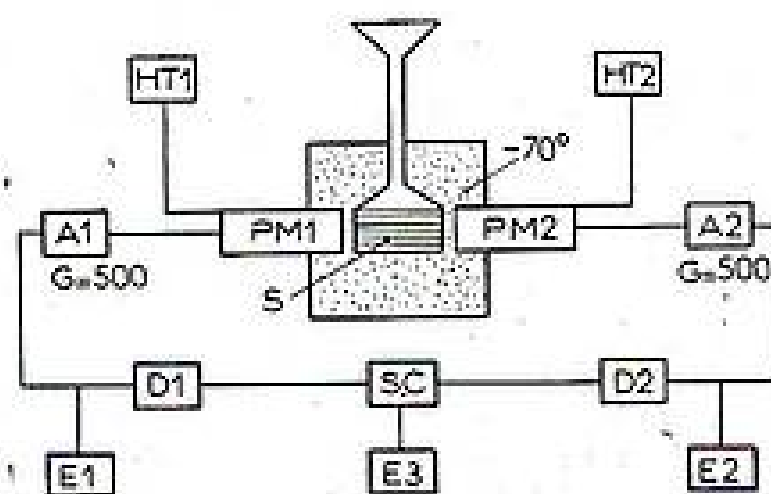


FIG. 6. — Schéma d'une installation de comptage du carbone naturel par scintillations (du type à carbure dissous).

S : Scintillateur liquide (dans lequel est dissous le carbure contenant le carbone à analyser), refroidi vers -70° (ce qui a pour double effet d'accroître la solubilité du carbure dans le scintillateur, et de diminuer le bruit de fond thermique des cathodes de photomultiplicateurs).

PM 1 et 2 : Photomultiplicateurs.

HT 1 et 2 : Tension d'alimentation des photomultiplicateurs.

A 1 et 2 : Amplificateurs (bande passante de 10 MHz, gain 500).

D 1 et 2 : Discriminateurs d'amplitude des impulsions.

SC : Sélecteur à coïncidence ne laissant passer que les impulsions arrivant simultanément par les voies 1 et 2.

E 3 : Echelle comptant ces impulsions.

E 1 et 2 : Echelles comptant les impulsions arrivant dans chacune des deux voies, avant coïncidence.

rayons gamma ambiants. Le bruit de fond qu'il obtient ainsi est très faible : un photomultiplicateur sélectionné DuMont K 1190, avec un scintillateur ayant un volume de 20 cm³, constitué par du toluène contenant 4 grammes par litre de terphényl, 1 gramme par litre de 2,5-diphényloxazole et débarrassé de son oxygène, protégé par 12,5 cm de plomb et par 3,7 cm de mercure, donne un bruit de fond de $3,34 \pm 0,03$ coups par minute. L'addition à ce scintillateur de toluène de synthèse, marqué au carbone 14 sur le radical alkyl, de façon à constituer des scintillateurs ayant des âges apparents de 16 800, 24 800 et 35 000 ans, donne les taux de comptage suivants : $1,86 \pm 0,04$, $0,94 \pm 0,04$ et $0,30 \pm 0,04$ coups par minute. En extrapolant, on peut en déduire que si la totalité du toluène était marquée sur le radical alkyl avec du carbone contemporain (il y aurait alors environ 2,3 g de carbone contemporain), le taux de comptage que l'on obtiendrait serait d'environ 15,5 coups par minute, ce qui représente bien le rendement de comptage d'environ 50 % dont nous avons parlé plus haut.

Cette méthode que nous venons d'indiquer, qui consiste à introduire le carbone de l'échantillon dans la molécule même de la substance scintillante ou de son solvant, a le grand avantage de ne pas

introduire d'impuretés dans le scintillateur et celui-ci, par conséquent, conserve intactes ses propriétés (en particulier le rendement de transformation de l'énergie du rayon beta en lumière). La synthèse, même partielle, du scintillateur ou de son solvant à partir du carbone de l'échantillon est cependant une opération relativement très compliquée : pour incorporer le carbone de l'échantillon sur le radical alkyl du toluène, c'est-à-dire pour marquer un atome sur 7 de la molécule de ce solvant, PRINGLE transforme d'abord le gaz carbonique pur en acide benzoïque, avec un rendement de 80 % ; il réduit ensuite l'acide benzoïque en alcool benzylique à l'aide d'hydrure d'aluminium et de lithium, avec un rendement de 90 % ; l'alcool est ensuite transformé en bromure de benzyle avec un rendement de 75 % et celui-ci est finalement converti en toluène avec l'hydrure de lithium et aluminium. le rendement total est de l'ordre de 50 %.

La méthode qui consiste à dissoudre dans le scintillateur le composé contenant le carbone à examiner a été développée par plusieurs auteurs : ARNOLD [19] a montré que le scintillateur formé de 0,4 % de diphenyloxazole et 0,002 % de diphenylhexatriène dans le toluène pouvait admettre jusqu'à 40 % d'alcool éthylique ou méthylique et jusqu'à 80 % d'hydro-carbures aliphatiques sans que l'amplitude des impulsions dues aux rayons beta du carbone 14 diminue de plus de moitié. AUBRIC [20] a montré que le scintillateur constitué par 0,3 % de diphenyloxazole et 2 % d'alcool éthylique dans le toluène restait encore clair à -78° et pouvait dissoudre à cette température d'importantes quantités d'acétylène : l'amplitude des impulsions, ou plus exactement le rendement lumineux, diminue de 20 % seulement lorsqu'on dissout 1 litre d'acétylène (à la pression atmosphérique) dans 10 cm³ de ce scintillateur ; la diminution de rendement, au voisinage de cette concentration, est, en gros, proportionnelle à la quantité d'acétylène dissoute.

On peut également chercher, parmi les substances carbonées dont la fabrication est simple, quelles sont celles qui constituent de bons scintillateurs. Dans cette voie, HAYES [10] a remarqué que le p-cymène (paraisopropyltoluène) constitue un excellent solvant de scintillateur et peut être préparé facilement à partir d'un grand nombre de terpènes naturels, qui sont eux-mêmes largement distribués dans les huiles essentielles des bois, des feuilles et des fruits des arbres ou des herbes : on a ainsi un moyen simple, bien qu'il ne soit pas très général, de mesurer avec une grande précision l'âge ou les effets parasites de variation isotopique (comme l'effet SUSS) dans les échantillons contemporains ou pseudo-contemporains.

L'addition d'oxygène aux scintillateurs liquides usuels diminue le rendement de fluorescence, mais en envoyant de l'azote, qui chasse l'oxygène dissous, on rétablit le rendement à sa valeur initiale : on peut ainsi ajuster le rendement de telle sorte, comme l'a indiqué ARNOLD, que le maximum

du spectre « de tension » ⁽¹⁾ des impulsions dues au carbone 14 coïncide avec le minimum du spectre de tension de bruit de fond du photomultiplicateur utilisé. La variation du bruit de fond en fonction de la tension appliquée étant elle-même minima au voisinage de ce minimum, on réduit ainsi fortement une des principales causes d'erreur, en dehors de celle qui provient de la distribution au hasard des impulsions, sur la valeur moyenne du bruit de fond. En particulier, on rend ainsi minima les erreurs provenant de légères variations de la haute tension du photomultiplicateur ou du gain de l'électronique.

Dans la recherche d'une précision toujours plus grande, les qualités du photomultiplicateur jouent un très grand rôle : en particulier, tout en conservant une très grande sensibilité de photocathode (supérieure à 50 micro-ampères par lumen) il doit avoir un bruit de fond thermique extrêmement faible (inférieur à 10^{-12} ampères par cm² à la température ordinaire) ; en outre, il doit être construit en matériaux dépourvus de radioactivité, le verre, en particulier, ne doit pas contenir de potassium.

Dès maintenant, les différentes méthodes utilisant les scintillations se montrent très encourageantes et on peut leur prédire un grand développement pour la mesure d'échantillons extrêmement peu actifs, ou pour des mesures de très grande précision sur des échantillons contemporains. La méthode utilisant le compteur proportionnel rempli de gaz carbonique ou d'acétylène conserve, par contre, tout son intérêt pour le datage des échantillons que l'on ne peut se procurer qu'en petite quantité, comme c'est le cas pour la plupart des échantillons préhistoriques.

Conclusion

A l'heure actuelle, au moins 25 laboratoires dans le monde exploitent ou perfectionnent les méthodes qui viennent d'être décrites. En dehors des datages d'échantillons archéologiques qui permettent, pour le moment, de remonter à environ 20 000 ans et qui ont apporté des renseignements du plus haut intérêt, de nombreuses autres mesures concernant la géologie, la géographie, la météorologie, l'océanographie ont déjà été faites. C'est ainsi, par exemple, qu'en examinant l'âge des tourbes fossiles, on peut mesurer la vitesse avec laquelle une région côtière s'enfonce dans la mer, et que la mesure de l'âge du carbonate de l'océan renseigne sur le taux de renouvellement de l'eau dans les fosses marines (ce qui est d'un grand intérêt pratique pour savoir si l'on peut envoyer dans ces fosses les déchets radioactifs des usines où sont traités les produits de fission).

Il est possible que dans un proche avenir on puisse augmenter considérablement la précision de datage et, par conséquent, reculer l'âge qu'il est possible de mesurer en procédant, au préalable, à l'enrichis-

(1) En appelant spectre de tension la variation du nombre d'impulsions ayant des amplitudes comprises entre deux limites fixes, en fonction de la tension appliquée au photomultiplicateur.

sement isotopique en C_{14} du carbone qui provient de l'échantillon ; le taux d'enrichissement est, par ailleurs, mesuré au spectrographe de masse sur un type de molécule qui subit le même enrichissement que le C_{14} tout en étant plus abondant (1) ; cette méthode nécessite, bien entendu, que l'on ait des quantités importantes (contenant de l'ordre de 1 kg de carbone) de l'échantillon à mesurer. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que de nouvelles causes d'erreur apparaissent lorsque l'on veut utiliser la sensibilité maximum des méthodes que l'on vient de décrire : c'est ainsi, par exemple, que les synthèses de composés chimiques utilisées dans les méthodes de scintillation risquent de produire de légers déplacements des proportions isotopiques du carbone, ou que des contaminations, mêmes légères, par du carbone contemporain, deviennent une source d'erreur très importante lorsqu'il s'agit de dater des échantillons très anciens (0,1 % de carbone récent mélangé à du carbone de 55 000 ans introduit une erreur de 5 000 ans).

Il est cependant permis de penser que des progrès considérables seront certainement effectués dans un proche avenir, si l'on se rappelle qu'il y a seulement 6 ans la méthode des scintillations ne permettait même pas de compter individuellement les rayons beta du carbone 14, et qu'une seule équipe, celle de LIBBY, commençait alors à se lancer dans les premières mesures d'âge.

(1) C'est ainsi, par exemple, que si l'on enrichit de l'oxyde de carbone sur une colonne de CLEGG, le rapport d'enrichissement de la molécule $C_{12}O_{13}$ est le même que celui de la molécule $C_{14}O_{16}$ (A. E. DEVAIS, communication privée).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W. F. LIBBY, « Radiocarbon Dating », *The University of Chicago Press* (1952).
- [2] A. G. ENGELKEMEIR, W. F. LIBBY, *Rev. Sci. Instr.* 21, 550 (1950). La valeur obtenue est $T = 5\,580 \pm 45$ ans.
- [3] W. M. JONES, *Phys. Rev.*, 76, 385 (1949). $T = 5\,589 \pm 75$ ans.
- [4] W. W. MILLER et al., *Phys. Rev.* 77, 717 (1950). $T = 5\,513 \pm 165$ ans.
- [5] E. C. ANDERSON, W. F. LIBBY, *Phys. Rev.* 81, 64 (1951).
- [6] Effet latitude : J. A. SIMPSON JR., *Phys. Rev.* 73, 1389 (1948). Effet altitude : L. C. L. YUAN, *Phys. Rev.*, 77, 728 (1950).
- [7] H. E. SUSS, *Proceedings Conf. Nuclear Processes in Geologic Sampling*, p. 53, National Research Council, Washington (1953).
- [8] H. E. SUSS, *Natural Radiocarbon measurements by acetylene Counting*, *Science*, 120, 5 (1954).
- [9] G. J. FERGUSSON, *Nuclonics*, 13, 18 (Jan. 1955).
- [10] F. N. HAYES, E. C. ANDERSON, J. R. ARNOLD, *Liquid Scintillation Counting of Natural Radiocarbon*, Rapport 8/P/68, Conférence Internationale sur les applications pacifiques de l'Énergie Atomique, Genève, Août 1955.
- [11] E. C. ANDERSON, W. F. LIBBY, S. WEINHOUSE, A. F. RIRD, A. D. KIRSHENBAUM, A. V. GROSSE, *Science*, 105, 576 (1947).
- [12] H. DE VRIES, G. W. BARENDSEN, *Physica*, 19, 987 (1953).
- [13] G. DELIBRIAS, J. LABEYRIE, *Journ. Phys.* (Sous presse).
- [14] G. J. FERGUSSON, *Nuclonics*, 13, 18, (Jan. 1955).
- [15] W. H. BURKE JR., W. G. MEINSCHEN, *Phys. Rev.* 93, 915 A (1954).
- [16] H. E. SUSS, *Science*, 120, 5 (1954).
- [17] A. R. CRATHORN, W. R. LOOSEMORE, *Gas counting of Natural Radiocarbon* (Oxford), *Radioisotope Conference 1954*, P. 123, II, Academic Press, N. Y.
- [18] B. N. AUDRIC, J. V. P. LONG, *Jour. Sci. Instr.* 30, 467 (1953).
- [19] J. R. ARNOLD, *Science*, 119, 155 (1954).
- [20] B. N. AUDRIC, J. V. P. LONG : Voir *Op. cit. Ref.* (17) P. 134.
- [21] B. L. FONT, S. SONERINO, R. W. PRINGLE, W. TURCHINETZ, *Nature*, 175, 1042 (1955).
- [22] J. L. KULP, D. R. CARR, *Dating with Natural Radioactive Carbon*, *Trans. of N. Y. Acad. of Sci. ser. II*, vol. 16, n° 14 (Feb. 1954).



nuclear-chicago

1945-1955

10 ANNÉES AU SERVICE DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE



A - LABITRON, échelle 0-20.000 cpm. HT 700-900 Volts.

D - DÉTECTEUR PORTATIF de contrôle et de protection.

E - HORLOGE IMPRIMANTE, capacité 99 échantillons.

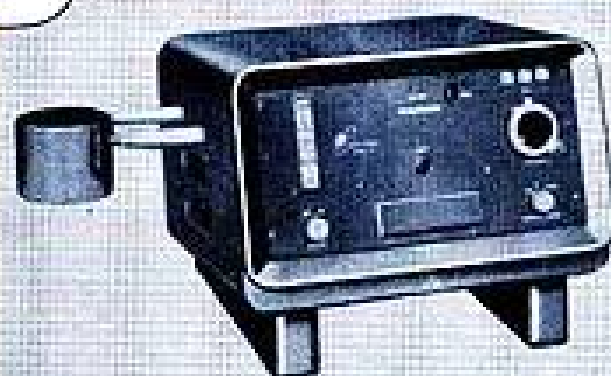
B - AMPLICOUNT pour Geiger, scintillation ou numération proportionnelle. Echelle Higinbotham 256. Temps de réponse inférieur à 2 microsecondes. Perte par coïncidence inférieure à 1% jusqu'à 300.000 cpm.

C - CHANGEUR AUTOMATIQUE d'échantillons équipé d'un compteur D-47 à courant gazeux.
F - TUBE COMPTeur à fenêtre mica sous plomb avec système d'entraînement des échantillons pour les radiochromatogrammes.

ENSEMBLE VAN SLEEK LABORATOIRE pour l'ÉTUDE du RADIOCARBONE C. 14



- Appareil manométrique Van Sleet-Floch
- Échelle électronique
- Deshydrateur
- Tube compteur Bernstein-Ballentine
- Support M4A et écran au plomb



ET TOUTES APPLICATIONS SPÉCIALES : MÉDICALES... ÉTUDES DES DÉTERGENTS, RADIOGRAPHIE DES MÉTAUX..

DÉTECTEURS PORTATIFS



Détecteur muni d'une chambre d'ionisation pour les rayonnements γ intenses.



TUBES COMPTEURS

à fenêtre cathode bismuth. Geiger Muller chirurgicaux. Types économiques pour prospection.



Détecteur muni d'un tube Geiger Muller pour les rayonnements α , β , γ , de faible et moyenne intensités.

ROCKE INTERNATIONAL
113, Rue de l'Université



BUREAU DE LIAISON
Paris-7 - Tél. : INV. 99-20

*Une qualité
Une Technique inégalées*

PRISES DE CONTACTS
ET DISPOSITIFS DE
RACCORDS POUR
APPAREILS ET MACHINES
ÉLECTRONIQUES
PRISES DE COURANT
MINIATURES



TUCHEL-KONTAKT



Jahnichen

REPRÉSENTANT EXCLUSIF
A. JAHNICHEN et C^{ie}

27, R. de TURIN, PARIS-8 - Tél. EUR. 59-09

Arrêté du 11 Mai 1951

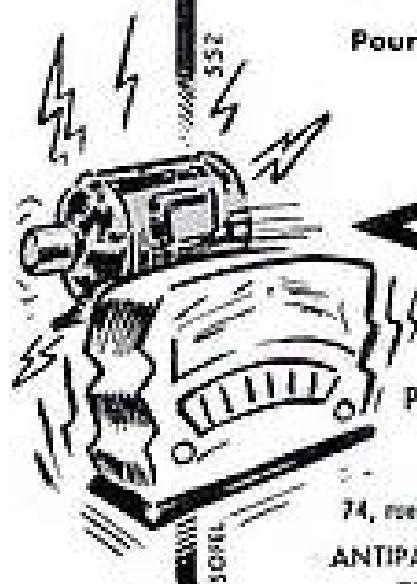
**METTEZ-VOUS
EN RÉGLE
AVEC LA LOI!**

Art. 2 - Les constructeurs et revendeurs des appareils électriques et de leurs accessoires visés à l'article premier, sont tenus de pourvoir ces éléments de dispositifs appropriés ou de les établir de façon à protéger les réceptions de radiodiffusion contre les troubles parasites qu'ils peuvent provoquer de telle manière que la valeur des tensions perturbatrices symétriques ou asymétriques mesurées dans les conditions définies à l'article 4 ci-après n'excède pas 500 microvolts pour toutes les fréquences incluses dans les bandes de radiodiffusion comprises entre 150 kcs et 30 Mcs.

qu'ils peuvent provoquer de telle manière que la valeur des tensions perturbatrices symétriques ou asymétriques mesurées dans les conditions définies à l'article 4 ci-après n'excède pas 500 microvolts pour toutes les fréquences incluses dans les bandes de radiodiffusion comprises entre 150 kcs et 30 Mcs.

Pour la mesure du niveau parasite
de vos appareils

Pour l'antiparasitage de vos séries
consultez



Spécialiste de l'antiparasitage
pour grandes séries de fabrications

LA TECHNIQUE ÉLECTRONIQUE

74, rue de la Fédération, PARIS 15^e - Tél. SDF. 58-98

ANTIPARASITAGE - FILTRES ANTIPARASITES
THERMOMÉTRIE - EXTENSOMÉTRIE
RÉGULATEURS ÉLECTRONIQUES

M.B.M.

**LA PIÉZO ÉLECTRICITÉ
DANS L'INDUSTRIE**

6-8, Rue Jenner — SAVIGNY-SUR-ORGE
Tél. 144

- ★ QUARTZ OSCILLATEURS
1 à 25 Mc/s
- ★ QUARTZ POUR ULTRA-
SONS - 500 - 3000 Kcs
- ★ QUARTZ ÉTALONS
STABILITÉ 1×10^{-7}
- ★ QUARTZ SPÉCIAUX
- ★ MONTURES MINIATURES.

DÉLAIS RÉDUITS



POUR TOUS LES EMPLOIS
air, mer, terre.
DANS TOUTES CONDITIONS
froid, chaleur, humidité.

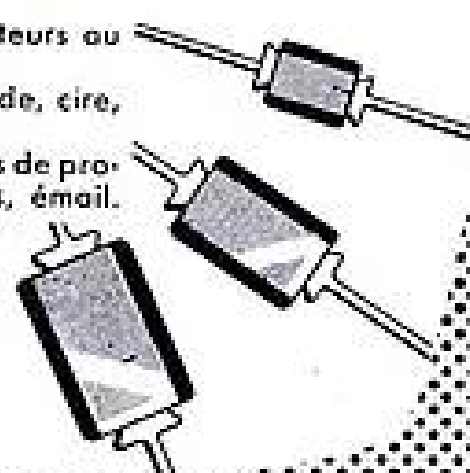
Les condensateurs au mica
métallisé sous gaine céra-
mique moulée étanche de
la série PRC se sont révélés



... *hors classe*

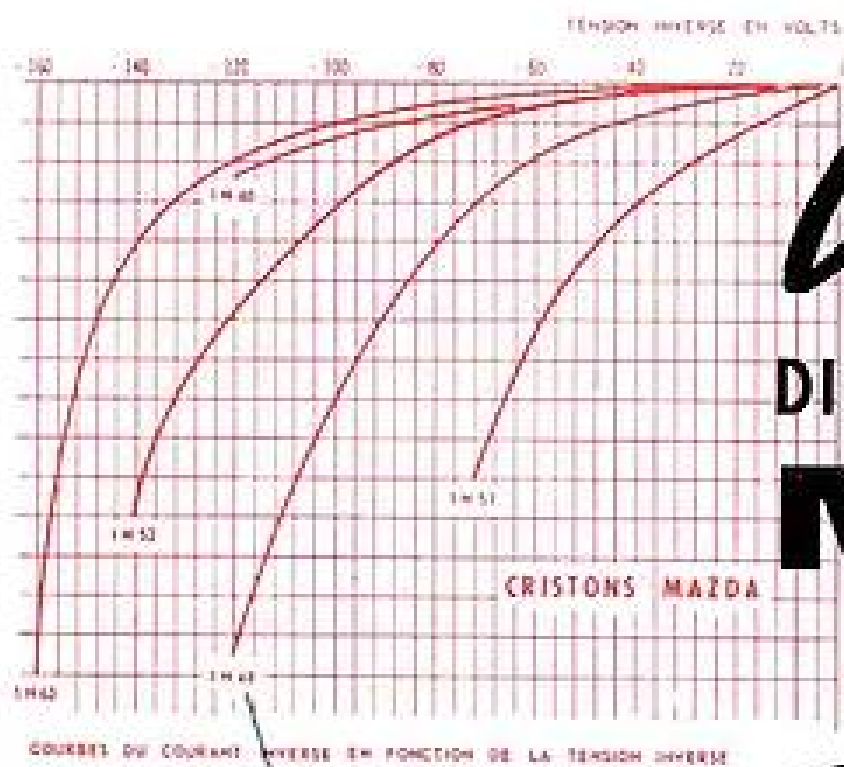
Tropicalisation intégrale.

Tous les condensateurs au
mica:
imprégnés sous vide, cire,
ou silicones.
tous les traitements de pro-
tection: polyesters, émail.



ANDRÉ SERF et C^{ie}
spécialistes depuis 1923

127, Fg du Temple, PARIS. Tél. NOR. 10-17



Cristons

DIODES AU GERMANIUM

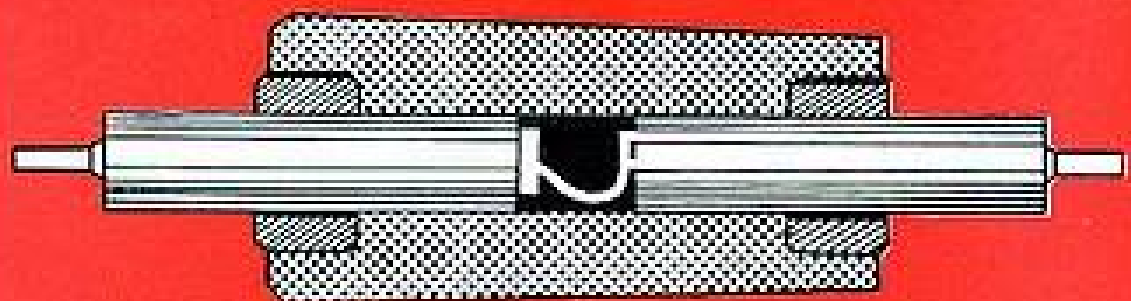
MAZDA

la garantie d'une technique éprouvée

Techniciens, chaque fois que vous avez un problème qui pose un de ces impératifs :

- 1) consommation réduite.
- 2) encombrement réduit.
- 3) longue durée d'utilisation.
- 4) constance des performances

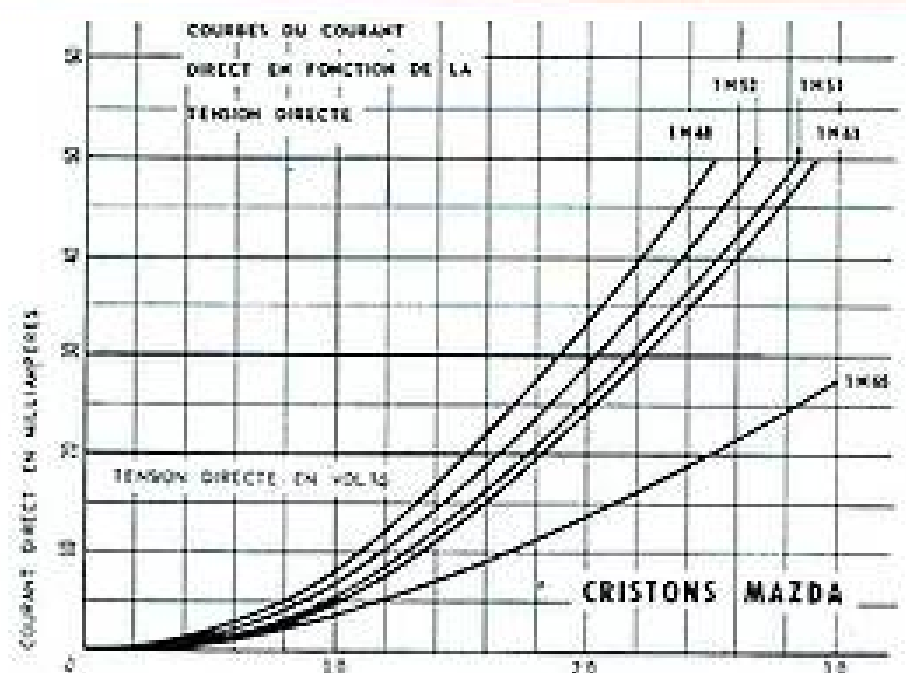
rappelez-vous que les CRISTONS MAZDA sont à votre disposition



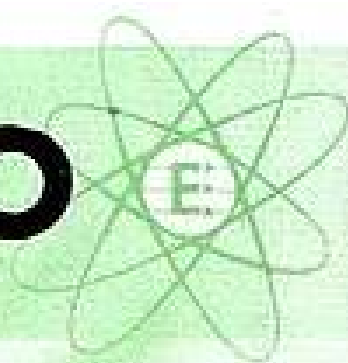
Une "SOLUTION CRISTONS" vous intéresse
documentez-vous
COMPAGNIE DES LAMPES
SERVICE DES LIAISONS TECHNIQUES
29, RUE DE LISBONNE, PARIS 8^e

NOM

ADRESSE



EKCO



ELECTRONICS LIMITED
Grande-Bretagne

- Amplificateurs linéaires - N 567, N 568
- Appareil de mesure des résistances élevées - N 535
- Alimentation stabilisée - N 570
- Détecteur pour recherche minéralogique N 533
- Détecteurs-contrôleurs de radio-activité N 569, MRS 2, N 571, N 554, N 555
- Intégrateur - N 522
- Échelles de comptage - N 526, N 529, N 530
- Compteurs de scintillations - N 550, N 559 A, N 559 B
- Electromètre à lame vibrante - N 572
- Compteurs GM
- Cristaux pour scintillateurs
- Appareillage auxiliaire pour manipulations et laboratoire
- Jauges d'épaisseur à simple et double canaux - N 504

★ **AGENT EXCLUSIF**
FRANCE & U.F.
DÉMONSTRATION-VENTE
ENTRETIEN-RÉPARATION

JOUAN

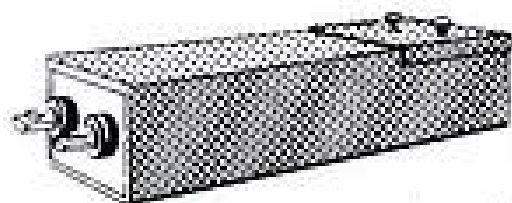
S. A. AU CAP. DE 108.000.000 DE FRF
113, boulevard Saint-Germain
PARIS-6° — Tél. : ODÉon 91-46

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DU TERNOIS

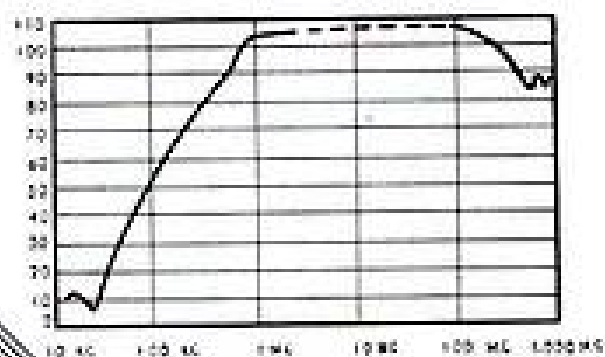
ST-MICHEL-SUR-TERNOISE (P.-de-C.)

FILTRES

POUR CAGES DE FARADAY S.I.D.T.
AGENT GÉNÉRAL POUR
L'EUROPE DES FILTRES HOPKINS

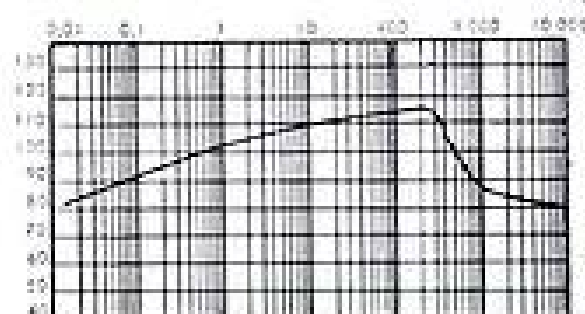


Courbe d'affaiblissement du filtre bifilaire, type 146 - 250 v. 30 ampères
400 périodes.



Brochure D. 13

Affaiblissement
100 dB
de 1 à 500 Mégacycles



Atténuation
mesurée dans la limite
de lecture des appareils.

Brochures D. 11

CAGES DE FARADAYS.I.D.T.

BREVETÉ S.G.D.G.

Ces cages sont de type cellulaire, c'est-à-dire extensibles, réductibles, démontables, transformables. Elles sont à double écran grillagé donc transparentes et d'une parfaite aération. Elles donnent des caractéristiques d'affaiblissement exceptionnelles, supérieures à tout ce qui est connu à ce jour. Elles permettent de ce fait toutes les mesures, même les plus délicates, à l'abri des champs perturbateurs même les plus forts.

70 ANS D'EXPÉRIENCE A VOTRE SERVICE...

TRANSFORMATEURS SELS-REDRESSEURS

RÉGULATEUR AUTOMATIQUE DE TENSION "STABILISTOR" (Licence C.F.S. Westinghouse)

AMPLIFICATEURS MAGNÉTIQUES POUR TOUS USAGES CONTROLE ET RÉGULATION

BARDON

SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION D'APPAREILS BARDON 41, Bd JEAN-JAURÈS, CLICHY, SEINE, PER + 43-10

LES POTENTIOMÈTRES AUTOMATIQUES PHILIPS

mesurent
contrôlent et
enregistrent

même en
des lieux
éloignés
des points
de mesure

Tensions continues
Températures,
pH,
Conductibilité,
Humidité,
Contraintes,
Poids,
Débit,
Pression,
Niveau.

A leurs qualités de robustesse, précision et sensibilité, ils ajoutent **une grande rapidité de réponse, une simplicité très poussée**, grâce à :

- un nombre de pièces mobiles réduit au minimum,
- un montage en blocs séparés standard et préétalonnés permettant un rechange rapide,
- plusieurs modes de régulation adaptés à chaque usage particulier,
- un traceur de programme à exécution rapide et interchangeable.

Posez-nous votre problème
Demandez notre notice documentaire n° 636



PHILIPS-INDUSTRIE

105, R. DE PARIS, BOMBY (Seine) - Tél. VILLETTE 28-33 (lignes groupées)

ELVINGER

11454

LES CAHIERS DE L'OPÉRATEUR RADIO

G. de MAXIMY
ingénieur

L'IONOSPHERE ET LA PRÉVISION DES FRÉQUENCES EN TÉLÉCOMMUNICATIONS (propagation des ondes décimétriques)

Un ouvrage de 56 pages et 27 figures. Prix : 750 F.

ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6*

LES CAHIERS DE L'ONDE ÉLECTRIQUE

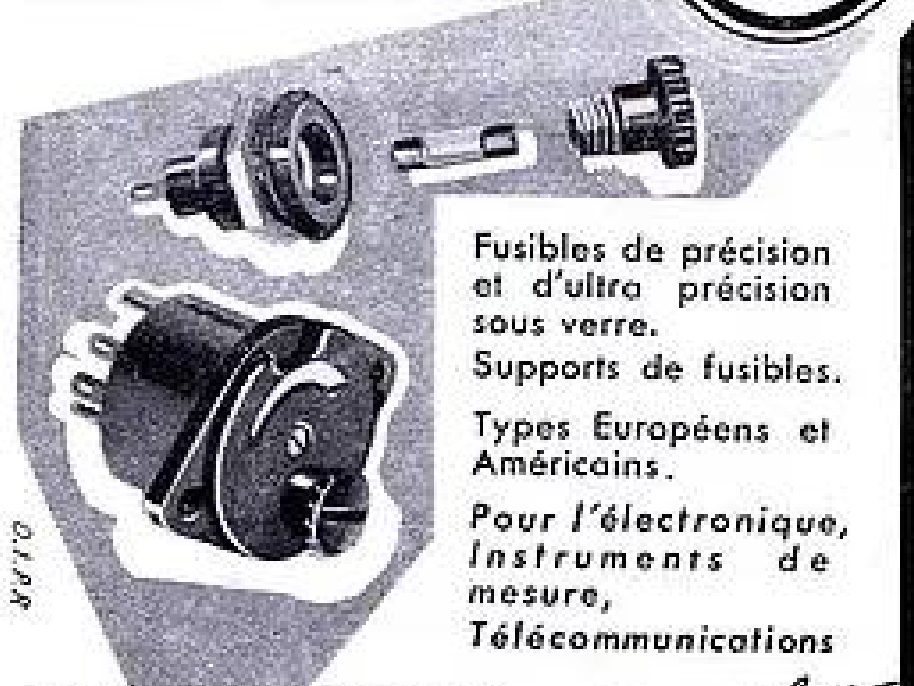
PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES DES TRANSISTONS

par J. M. MOULON
Ingénieur des Télécommunications
au Centre National d'Études des Télécommunications

Un volume de 38 pages 21 x 31 cm : 600 F port compris

ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6*

**FUSIBLES DE
PRÉCISION**



Fusibles de précision
et d'ultra précision
sous verre.
Supports de fusibles.
Types Européens et
Américains.
Pour l'électronique,
Instruments de
mesure,
Télécommunications

WICKMANN-WERKE

REPRÉSENTANT EXCLUSIF,
A. JAHNICHEN et C^{ie}

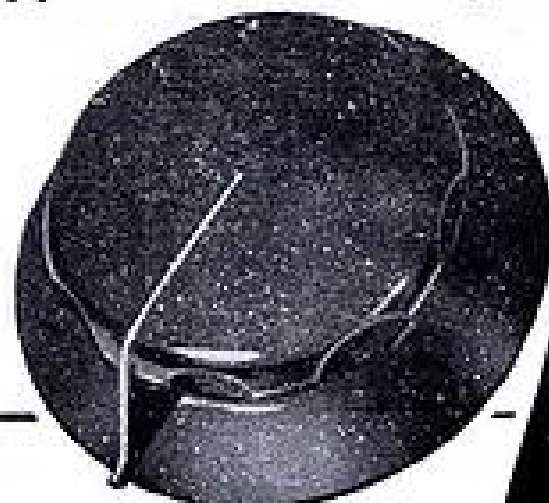
27, R. de TURIN, PARIS-8 - Tél. EUR. 59-09 +

Jahnichen

RADIO AIR

BOUTONS
pour appareils électroniques

★ diamètre 35-55-80 %
avec ou sans flèche
série normale noire
axe 6 %.



★ diamètre 30 %
avec ou sans gravure
série normale noire
axe 6 %.



Demandez notre documentation

**2, AVENUE DE LA MARNE
ASNIÈRES (Seine) GRÉ 47-10**

PUBL. RADY 11

SFME
PANTIN

**TRANSFORMATEUR
D'ISOLEMENT**
120.000 volts



pour l'usage d'antenne

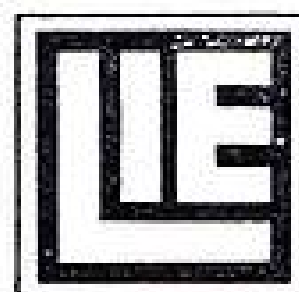
62, RUE DENIS-PAPIN ★ Tél. NORD. 47-62

VILLARD (S.-E.-F.)

MATÉRIEL DE QUALITÉ

pour

**TÉLÉCOMMUNICATION
RADIODIFFUSION
SONORISATION**



41, rue E.-ZOLA

MONTREUIL
(Seine)

COBAT-PUB - 1954-1

POUR LA PREMIÈRE FOIS

EN

France...

LES PLUS GRANDES MARQUES AMÉRICAINES

LFE

LABORATORY FOR ELECTRONICS
Compteurs à décades - Oscilloscopes spé-
ciaux pour TV 819 L - Générateurs VHF
Stabilisés - Spectrographes de masse

FXR

F. R. MACHINE WORKS INC.
Matériels de Mesures Hyper-
fréquences sur les bandes
S.H.C. W.X.Y.K.U.

SCIENTIFIC

R. C. SCIENTIFIC INSTRUMENT Co
Compteurs de Geiger Muller

LPE

LAMBDA-PACIFIC ENGINEERING INC.
Relais Hertziens

hrb

HALLER RAYMOND & BROWN INC.
Appareils de Contrôle
de Radars

EP

ELECTRO PULSE INCORPORATED
Générateurs d'impulsions
Lignes à retard

SERC

STANDARD ELECTRONIC RESEARCH CORP.
Mesures micrométriques industrielles

CPPE
INC. CLIFTON

CLIFTON PRECISION PRODUCTS Co
INC. : Moteurs miniatures
AC-DC pour asservissement
Resolvers, etc...

BI

BRUNO NEW-YORK INDUSTRIES CORP.
Wattmètres U.H.F. - Matériel Loren
Signal generators - Goniomètres
Pig Tailoring

AMIC

AMERICAN MEASURING INST. CORP.
Radio Sondes

SERVO

SERVO CORPORATION OF AMERICA
Préamplis - Montage Bolomètre
Générateurs d'impulsion 150 Kc à
150 Mc - Pyromètre pour infra-rouge
Servoscopes

AGENCE EXCLUSIVE

RADIO TÉLÉVISION FRANÇAISE

29, RUE D'ARTOIS - PARIS 8* ★ TÉL. BALZAC 42-35