

# Ensemble de SPECTROSCOPIE RAMAN par EXCITATION LASER

par A. DUCROS

Ing. E. F. R. E.

École Polytechnique,

et M. OLIVIÉ

Ing. E. S. O.

Laboratoires du Professeur Vignal

La spectroscopie Raman existe depuis de nombreuses années, mais le nombre de spectres obtenus est relativement réduit. En effet, les sources excitatrices utilisées jusqu'à ces dernières années nécessitaient des poses photographiques de 24, 48 et parfois même 80 h suivant les performances désirées, et des précautions draconiennes devaient être prises pour leur stabilité. L'ensemble décrit ci-dessous, en utilisant un laser à argon ionisé comme source excitatrice, permet l'enregistrement d'un spectre complet en un temps variant de une minute à une heure suivant la résolution désirée. De plus, les spectres sont fournis simultanément sur graphique, imprimante numérique et bande magnétique. Il est évident que cet ensemble, étudié pour fonctionner dans les conditions difficiles des spectres Raman, peut être utilisé sans aucune modification dans toute recherche spectroscopique.

## L'EFFET RAMAN

En 1928, le physicien indien RAMAN, en analysant spectralement la lumière diffusée par du benzène traversé par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_e$ , découvre que cette lumière diffusée contient non seulement la longueur d'onde  $\lambda_e$ , mais encore des radiations de longueurs d'onde différentes que l'on désigne sous le nom de *raies Raman*.

Les fréquences des raies Raman sont symétriques par rapport à la fréquence excitatrice  $\nu_e$  (fig. 1). Les différences entre  $\nu_e$  et les fréquences ré-émises  $\nu'_1, \nu'_2, \dots, \nu''_1, \nu''_2, \dots$  appelées *fréquences Raman* :  $\nu_1 = \nu_e - \nu'_1 = \nu'_1 - \nu_e$  sont caractéristiques du corps transparent étudié et sont indépendantes de la fréquence excitatrice  $\nu_e$ . Elles sont, de plus, égales aux fréquences caractéristiques du spectre d'absorption infrarouge ; ce sont donc les fréquences propres d'oscillation des atomes à l'intérieur de la molécule. On voit alors l'énorme avantage que présente la spectroscopie Raman sur la spectroscopie infrarouge : la fréquence excitatrice  $\nu_e$  peut être choisie à volonté et sera prise dans le domaine spectral visible où les détecteurs sont extrêmement sensibles (photomultiplicateurs, plaques photographiques).

Cependant, un obstacle majeur vient noircir le tableau, à savoir l'intensité des raies Raman qui se trouve être de l'ordre de 100 à 1 000 fois plus faible que l'intensité de la raie de diffusion. L'expérience nécessitait donc des sources puissantes qui, malheureusement, produisaient un voile continu de lumière parasite brouillant la plupart

des informations. Les sources employées étaient des lampes à vapeur de mercure à basse pression filtrées qui, moins puissantes que les lampes à haute pression, étaient néanmoins les seules utilisables en raison de la nécessité qu'il y a d'obtenir une raie excitatrice fine. On arrivait ainsi à des poses de 24 h et même davantage. Ces divers facteurs faisaient que l'obtention de spectres Raman s'avérait trop délicate et trop longue pour que l'on puisse l'employer systématiquement dans l'étude des vibrations atomiques.

La découverte du laser allait tout remettre en question ; on avait enfin trouvé, dans le domaine de l'optique, une source à la fois puissante et cohérente tant spatialement que temporellement. Le laser employé dans cette expérience est un laser continu à gaz (argon ionisé) émettant à 4880 Å (dans le vert) une puissance de 100 mW dans un angle solide de  $10^{-3}$  stéradians et dont la largeur de raie est d'environ 0,03 Å. Les meilleures lampes classiques fournissaient 3,6 W dans  $4\pi$  stéradians à 4358 Å avec une largeur de 30 Å ; il en résulte un gain en puissance lumineuse d'environ  $10^8$  et un gain de précision de  $10^6$ . Un spectre que l'on enregistrerait en 24 h peut maintenant l'être en une minute et demie ; notons qu'à cette vitesse, le système d'enregistrement graphique suit très mal, et qu'une heure sera un temps raisonnable pour l'enregistrement d'un spectre de 2000  $\text{cm}^{-1}$ .

## LE SPECTROMÈTRE

Le laser continu semble donc être la source excitatrice idéale, mais il faut lui adjoindre un spectromètre avec détection par photomultiplicateur, et non plus un spectrographe avec enregistrement sur plaque photographique de façon à pouvoir enregistrer les spectres directement sur

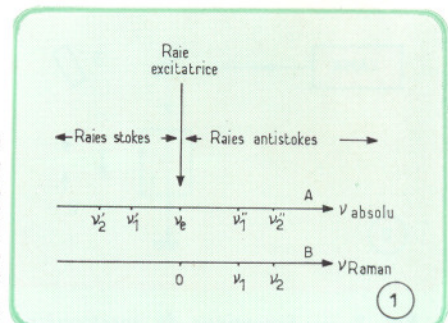
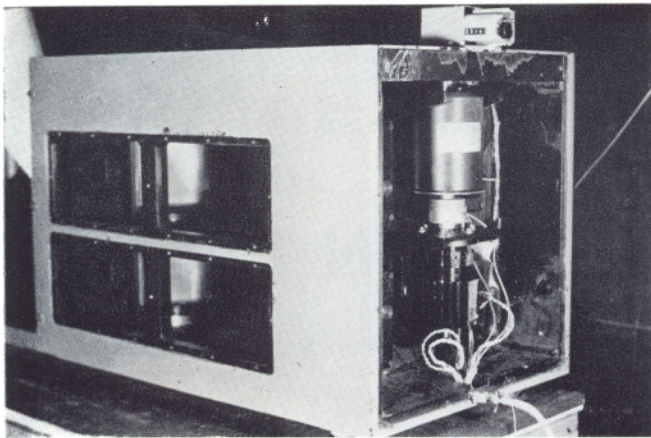


Fig. 1. — Principe de la spectroscopie Raman. On a porté, en A, un axe des fréquences absolues ;  $\nu_e$  est la raie excitatrice,  $\nu'_1, \nu'_2, \dots$  sont les raies dites Stokes ;  $\nu''_1, \nu''_2, \dots$  sont appelées raies anti-Stokes. On a :  $\nu'_1 - \nu_e = \nu_e - \nu'_1 = \nu_1$  ;  $\nu''_2 - \nu_e = \nu_e - \nu''_2 = \nu_2$ . Les raies Stokes ont une amplitude supérieure à celle des raies anti-Stokes. Les fréquences portées en B sont les fréquences dites Raman, elles sont égales aux fréquences caractéristiques du spectre d'absorption infrarouge.





Le spectromètre. On distingue, à l'arrière, les moteurs d'entraînement et l'embrayage ; à gauche, les deux réseaux superposés, la fente d'entrée et la fente de sortie.

graphique ou sur bande magnétique ; ces derniers sont, en effet, d'utilisation beaucoup plus aisée que les plaques photographiques qu'il faut développer, puis passer au microdensitomètre. Ce spectromètre doit, de plus, être à grande luminosité et à très faible taux de lumière parasite.

L'appareil réalisé est un double spectromètre à deux réseaux, constitué par deux spectromètres identiques du type Czerny-Turner superposés (fig. 2) ; les réseaux sont montés sur un support unique, ce qui supprime le délicat problème de la synchronisation de leur rotation, problème rencontré dans les appareils analogues à deux spectromètres juxtaposés.

L'appareil est ouvert à  $f/7$ , la focale est de 630 mm et les réseaux sont de 1220 traits par millimètre, « blazés » dans le rouge dans le premier ordre ; on compense ainsi la perte de sensibilité des photomultiplicateurs et la réponse de l'ensemble gagne en linéarité. Ces éléments optiques conduisent à une dispersion de 23 Å par millimètre, soit 52  $\text{cm}^{-1}$  par millimètre à 5000 Å. La largeur des fentes étant continuellement variable de 10  $\mu\text{m}$  à 2 mm, la résolution varie de 1  $\text{cm}^{-1}$  à 100  $\text{cm}^{-1}$  aux alentours de 5000 Å ; étant donné que l'optique est à miroirs et à réseaux, le domaine spectral n'étant limité par aucune

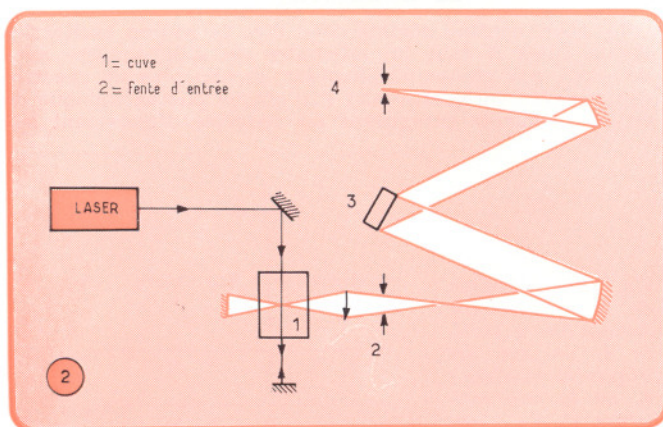


Fig. 2. — Synoptique du spectromètre : le laser éclaire la cuve 1 ; la lumière diffusée est focalisée sur la fente d'entrée 2. Les deux réseaux identiques sont superposés en 3. En 4, le signal lumineux passe au spectromètre supérieur identique au premier ; le signal sort finalement au-dessus de 1 où se trouve un photomultiplicateur RTC type « PM 400 ».

traversée de verre s'étend de 1800 Å à 30 000 Å (0,18 à 3  $\mu\text{m}$ ).

La rotation des réseaux est assurée par un système de deux moteurs superposés reliés par un embrayage magnétique ; un moteur pas-à-pas donne une vitesse lente correspondant à un défilement de 60  $\text{cm}^{-1}$  par minute et un moteur alternatif monophasé permet un défilement de 1000  $\text{cm}^{-1}$  par minute. On peut, ainsi, revenir rapidement en un point quelconque du spectre ou effectuer un enregistrement rapide, mais grossier. Le système mécanique qui suit les moteurs donne aux réseaux un mouvement de rotation linéaire (en  $\text{cm}^{-1}$ ) en fonction du temps et un disque découpeur avec ampoule et cellule photoélectrique, fixé sur la vis mère, fournit une impulsion électrique à chaque  $\text{cm}^{-1}$  balayé.

## RAPPEL SUR LES PHOTOMULTIPLICATEURS

### Fonctionnement en impulsions

Les éléments constitutifs d'un photomultiplicateur sont : une photocathode, un dispositif de focalisation à optique électrostatique, un multiplicateur d'électrons à dynodes et une anode (fig. 3 a).

Sous l'action d'un flux lumineux, la photocathode émet un certain nombre d'électrons par seconde ; si son rendement quantique est  $r = 1/p$  ( $r$  varie de 10 à 20 %), la photocathode émet en moyenne un électron pour  $p$  photons incidents. Après focalisation, cet électron vient frapper la première dynode. Si son coefficient d'émission secondaire est  $d_1$ , cette dynode émet  $d_1$  électrons qui vont aller frapper la deuxième dynode, laquelle va réémettre  $d_1 \times d_2$  électrons, et ainsi de suite jusqu'à la dernière dynode qui va fournir  $d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n = G$  électrons à l'anode :  $G$  est le gain du photomultiplicateur.

Si tous les électrons suivaient la même trajectoire, ils arriveraient au même instant sur l'anode où ils produiraient une impulsion de courant d'amplitude infinie et de largeur nulle ; en réalité, les trajectoires étant différentes, cette impulsion est finie et dure quelques nanosecondes. Lorsque le flux lumineux sur la photocathode est continu, l'émission des électrons est régulière et l'on obtient à l'anode une suite d'impulsions de courant de quelques nanosecondes de largeur. La tension recueillie dépend alors de la charge utilisée.

La capacité parasite au niveau de l'anode est de l'ordre de quelques dizaines de picofarads (30 pF) ; on consi-

### A PROPOS DES UNITES $\text{cm}^{-1}$ ET Å

◆ Il est très commode, en spectroscopie, d'utiliser comme unité l'inverse de la longueur d'onde, qu'on appelle également **nombre d'ondes**. Les longueurs d'onde étant exprimées en centimètres (cm), par exemple, les nombres d'ondes le seront en centimètres moins un ( $\text{cm}^{-1}$ ).

En fait, cette façon de s'exprimer, déconcertante de prime abord, traduit un phénomène physique bien précis : le nombre de ventres de l'onde considérée que l'on peut trouver sur une longueur donnée, ici de 1 cm. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que ce que l'on cherche à apprécier dans ce domaine bien particulier que constitue la spectroscopie, c'est avant tout l'écart entre la fréquence excitatrice et la raie mise en évidence.

On notera, de plus, que le nombre d'ondes reste proportionnel à la fréquence, ce qui est parfois bien pratique.

◆ Une unité généralement adoptée également est l'**angström** (Å). Afin de ne pas dérouter les spécialistes de la spectroscopie, elle a été conservée ici. Rappelons cependant que 1 Å =  $10^{-10}$  m (mètres), donc que 1 Å = 0,1 mn (nanomètre), ou encore que 1 Å =  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$  (micromètre).



Fig. 3. — Pour  $p$  photons qui viennent la frapper, la photocathode d'un photomultiplicateur émet en moyenne un électron; après multiplication par la chaîne des dynodes, ce sont  $G$  électrons qui viennent frapper l'anode où ils produisent une impulsion négative dont la forme dépend de la charge utilisée (a). En b, I : allure d'une impulsion d'anode correspondant à un électron émis par la photocathode; pour  $R = 100 \Omega$  et  $C = 30 \text{ pF}$ , l'amplitude crête est de 5 mV, le front négatif dure 5 ns, le front positif 15 ns. En II : impulsion correspondant à un électron parasite collecté après la première dynode; elle ne diffère de la précédente que par son amplitude inférieure à 5 mV.

En c, spectre en amplitude des impulsions d'anode. Courbe I : le spectre dû aux électrons captés par la première dynode (électrons de signal ou de bruit de la photocathode). Courbe II : spectre dû aux électrons non captés par la première dynode (électrons parasites). Courbe III : spectre global obtenu à l'anode. (Lire S et non 5 en abscisses.)

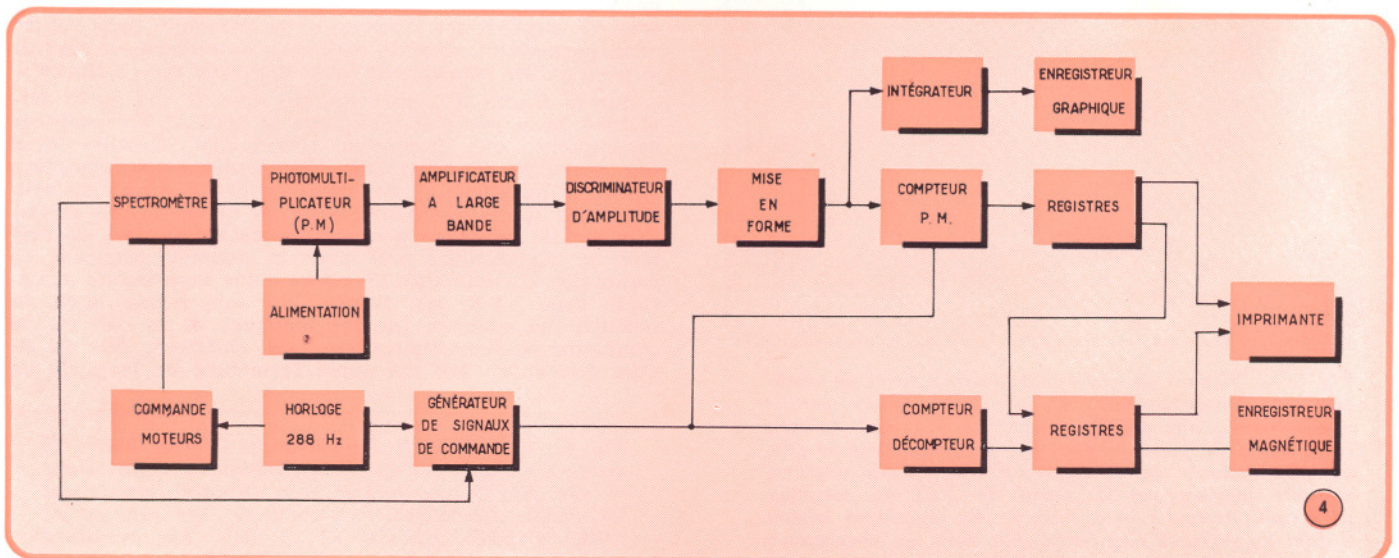
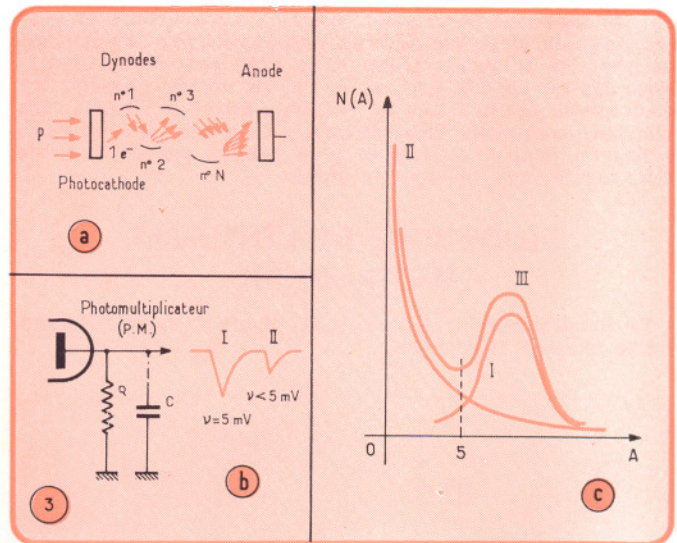


Fig. 4. — Synoptique de l'ensemble électronique. Les impulsions issues du photomultiplicateur sont comptées et enregistrées sur imprimante numérique, bande magnétique ou bande perforée, de même que la position des réseaux du spectromètre à l'instant du comptage.

dère que, pour une charge résistive supérieure à  $50 \Omega$ , les  $G$  électrons fournis par l'anode ne servent, pendant les quelques nanosecondes de leur passage, qu'à charger la capacité  $C$  à une tension crête  $v = q/C = 5 \text{ mV}$  pour  $G = 10^6$ . Le condensateur se décharge alors dans la résistance avec une constante de temps  $RC$ , d'où l'allure de l'impulsion obtenue à l'anode pour  $R = 100 \Omega$  (figure 3 b, onde I).

La largeur de l'impulsion étant de 20 ns, la fréquence maximale serait donc de 50 MHz; mais, en fait, comme le phénomène est erratique, si l'on veut éliminer tout risque de chevauchement, il est conseillé de ne pas dépasser quelques mégahertz.

Nous avons vu que le nombre d'impulsions d'anode est proportionnel au flux incident, c'est cette propriété que nous utiliserons en effectuant directement le comptage de ces impulsions.

Notons que, pour une fréquence supérieure à 50 MHz ou pour un produit  $RC$  plus grand, il y a intégration du signal, et l'on retrouve le fonctionnement analogique du photomultiplicateur.

### Discrimination en amplitude

Supposons qu'un électron de bruit soit capté par la chaîne amplificatrice après la première dynode; l'amplification que va subir cet électron sera inférieure à  $G$ ; il fournira donc une impulsion de tension à l'anode d'amplitude crête inférieure à 5 mV dans le cas qui nous intéresse (fig. 3 b, onde II); il nous sera alors facile d'éliminer cette impulsion de bruit par discrimination d'amplitude, d'où amélioration du rapport signal sur bruit. Le fonctionnement par comptage avec discrimination est d'ailleurs indiqué pour toute autre utilisation à signaux faibles ou noyés dans le bruit.

La figure 3 c donne, pour un temps de comptage fixe, en ordonnée, le nombre  $N$  d'impulsions dont l'amplitude a été égale à  $A$  porté en abscisse; la courbe (I) correspond aux électrons émis par la photocathode (électrons de signal ou de bruit), sa répartition est statistique et l'am-



plitude moyenne correspond à 5 mV. La courbe (II) correspond aux électrons de bruit non captés par la première dynode, les faibles amplitudes y sont nettement favorisées. Enfin, en (III), nous avons la courbe somme des deux précédentes, c'est le spectre obtenu à l'anode. On voit immédiatement l'intérêt qu'il y a à placer le seuil en  $S$ , puisqu'on supprime ainsi la plus grande partie du bruit sans altérer notablement le signal.

## SYNOPTIQUE DE L'ENSEMBLE ÉLECTRONIQUE

Le fonctionnement de l'ensemble de spectroscopie Raman est le suivant (fig. 4) :

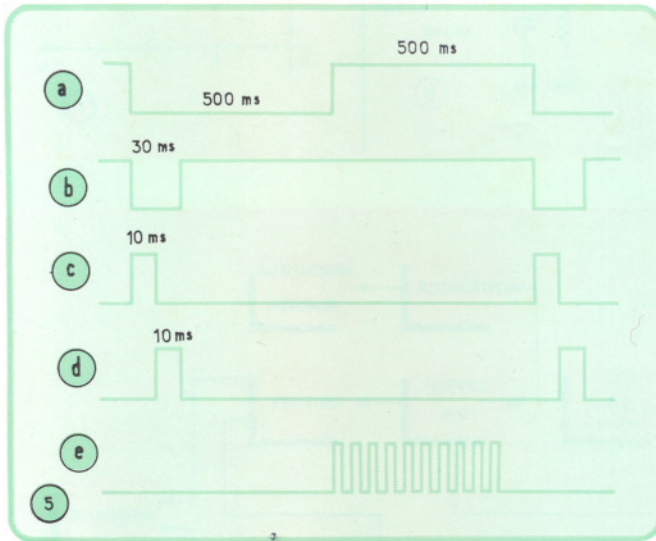


Fig. 5. — Signaux de commande des séquences de comptage et d'enregistrement. En a, signal fourni par le spectromètre ; une période correspond à  $1 \text{ cm}^{-1}$  balayé ; en b, signal de porte de comptage des impulsions du photomultiplicateur ; en c, signal d'écriture des registres mémoire tampon ; en d, signal de RAZ du compteur photomultiplicateur ; en e, train de dix impulsions servant à vider les registres sous forme série dans les enregistreurs sur bande.

— Un générateur de signaux carrés à 288 Hz commande le moteur pas-à-pas d'entraînement des réseaux ; la rotation est telle que l'on balaye  $1 \text{ cm}^{-1}$  par seconde ;

— Les impulsions fournies par le tube photomultiplicateur sont amplifiées puis discriminées en amplitude pour les raisons déjà indiquées ; les impulsions discriminées sont ensuite mises en forme pour attaquer convenablement des circuits de comptage ;

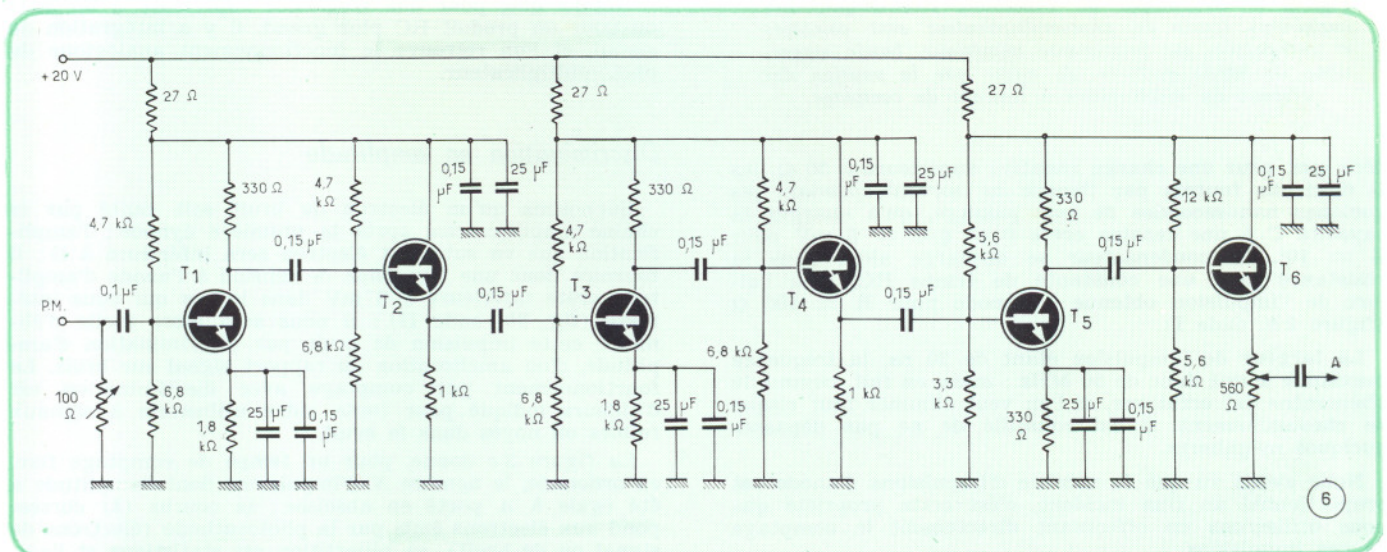
— Une intégration convertit les impulsions calibrées en une tension continue proportionnelle à leur fréquence moyenne et permet l'enregistrement des spectres balayés directement sur enregistreur graphique du type Cima-pot ;

— A chaque  $\text{cm}^{-1}$ , le spectromètre fournit une impulsion que l'on utilise pour déclencher les séquences de comptage et d'enregistrement numérique par l'intermédiaire d'un générateur de signaux de commande ; les signaux fournis par ce générateur sont indiqués figure 5.

Sur cette figure, on trouve successivement : en a : le signal carré fourni par le spectromètre ; sa période est de 1 s ; en b : une porte de comptage permet, pendant 970 ms, aux impulsions mises en forme du photomultiplicateur d'attaquer les circuits de comptage. Le front négatif de cette porte déclenche un compteur décompteur qui compte l'impulsion différenciée correspondante dans un sens de rotation des réseaux, et la décompte dans l'autre sens, permettant ainsi un affichage permanent en  $\text{cm}^{-1}$  de la position des réseaux sur tubes lumineux type « Nixies ».

Sur la figure 5 c, on remarque que 10 ms après fermeture de la porte de comptage et écriture du compteur décompteur, une impulsion commande l'écriture dans des registres série-parallèle des contenus du compteur photomultiplicateur et du compteur décompteur ; on voit, en d, que 10 ms après cette mise en mémoire, une impulsion met le compteur photomultiplicateur à zéro. Ce dernier se trouve alors prêt pour la nouvelle séquence de comptage, et commande l'écriture d'une imprimante numérique type I.E.R. qui frappe, sur une même ligne, la position des réseaux (quatre chiffres) et le contenu du compteur photomultiplicateur (six chiffres). Sur la figure 5 e, enfin, 500 ms après fermeture de la porte de

Fig. 6. — Schéma de l'amplificateur à large bande. Il amène les impulsions du photomultiplicateur à un niveau et une polarité convenables pour attaquer correctement les circuits discriminateurs d'amplitude. Son gain est de 1 000, sa bande passante de 22 MHz. Les transistors utilisés sont des 2N 3663.





comptage, un train de dix impulsions vide le contenu des registres sous forme série, soit vers un enregistreur magnétique, soit vers un perforateur de bande, soit vers les deux simultanément.

La partie électronique de cette réalisation a été scindée en trois sous-ensembles : le premier comprend l'amplificateur à large bande, le discriminateur d'amplitude, la mise en forme et l'intégration ; le second comprend le compteur photomultiplicateur et ses registres ; il a été réalisé entièrement en circuits intégrés ; le troisième sous-ensemble comprend le générateur 288 Hz, la commande des moteurs, le générateur de signaux de commande, le compteur décompteur et ses registres.

## PREMIER SOUS-ENSEMBLE

### L'amplificateur à large bande

Le schéma de cet amplificateur est représenté sur la figure 6. Nous avons vu que la largeur des impulsions à la sortie du photomultiplicateur est de 20 ns avec un temps de montée de 5 ns ; il nous faut un gain de 1000 environ pour amener ces impulsions à l'amplitude de 5 V nécessaire au bon fonctionnement de l'étage discriminateur ; il est difficile, avec un gain de 1000, de conserver un temps de montée de 5 ns ; comme ces impulsions doivent être mises en forme et ramenées à une largeur de 100 ns, une bande passante de 20 MHz s'avère être suffisante pour permettre les performances désirées.

L'amplificateur est réalisé sous forme de trois modules à composants discrets, identiques dans leur prin-

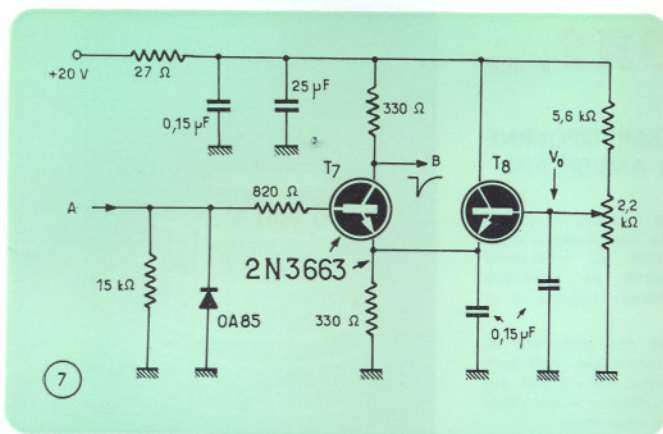


Fig. 7. — Circuit discriminateur d'amplitude. Le transistor  $T_7$ , polarisé sur son émetteur par  $T_8$ , ne laisse passer que les impulsions dont l'amplitude est supérieure à  $V_0$  ; la diode OA 85 restitue la composante continue du signal, non transmise par l'amplificateur.

cipe, et ne différant que par les polarisations continues, pour tenir compte de la polarité et de l'amplitude des signaux qu'ils ont à amplifier. Tous les transistors sont des 2N 3663 dont le produit gain . bande atteint, dans les conditions de fonctionnement optimales, 900 MHz.

Les signaux du tube photomultiplicateur sont amenés par coaxial 50  $\Omega$  adapté à ses deux extrémités sur la base de l'étage d'entrée  $T_1$  monté en émetteur commun ; la résistance de collecteur de 330  $\Omega$  assure un gain en tension de 14 avec une bande passante de 50 MHz à -3 dB.

Le transistor  $T_2$ , monté en émetteur suiveur, a un double rôle : il ramène une impédance élevée sur le collecteur de  $T_1$ , évitant ainsi une perte de gain, mais il permet surtout une attaque en tension de  $T_3$  ; la fréquence de coupure du transistor est alors égale à la fréquence de coupure de

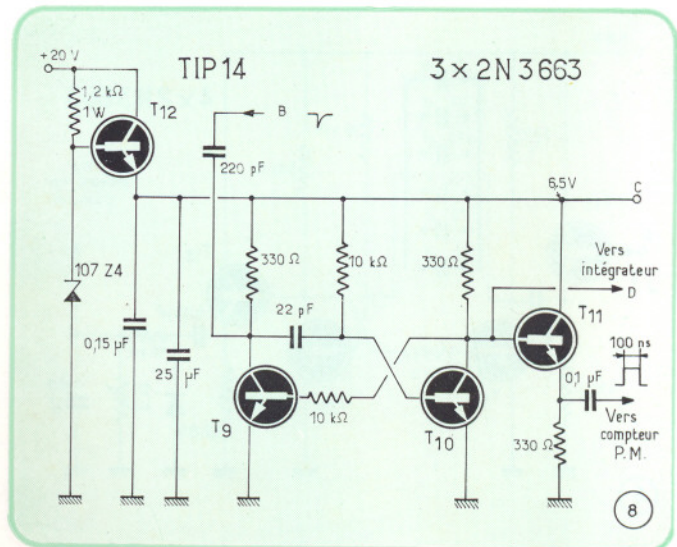


Fig. 8. — Circuit de mise en forme des impulsions discriminées. Les impulsions dirigées vers un compteur et vers un intégrateur ont une amplitude de 5 V, une largeur à mi-hauteur de 100 ns, et des temps de montée ou de descente de 20 ns.

la pente, supérieure à  $f_\beta$ . Avec des 2N 3663 et des résistances de collecteur de 330  $\Omega$ , la bande passante n'est alors limitée que par la capacité parasite du montage (50 MHz dans notre cas). Le diviseur de tension monté dans l'émetteur de  $T_0$  permet d'ajuster le gain aux environs de 1000, la bande passante globale à -3 dB étant égale à 22 MHz.

### La discrimination en amplitude

Le schéma de l'étage assurant cette fonction est représenté sur la figure 7. Les impulsions à la sortie de l'amplificateur sont de polarité positive et ont une amplitude crête de 5 V environ. La base du transistor  $T_8$  est portée à un potentiel continu ajustable  $V_0$  ; à  $V_{BE}$  près, cette tension se retrouve sur les émetteurs réunis des transistors  $T_7$  et  $T_8$  ;  $T_7$  est donc bloqué en permanence et ne se débloque qu'à l'apparition sur sa base d'une impulsion positive d'amplitude supérieure à  $V_0$ . Les impulsions ainsi discriminées apparaissent sur le collecteur de  $T_7$  avec une polarité négative.

Le seuil de discrimination des impulsions est mesuré par rapport à la masse ; or, comme la chaîne amplificatrice ne passe pas la composante continue du signal provenant du photomultiplicateur, les impulsions se symétrisent par rapport au niveau zéro, si bien que seule leur partie positive étant comparée à  $V_0$ , il s'introduit une erreur de discrimination qui croît avec le taux de comptage. La diode OA 85, en restituant la composante continue non transmise, pallie cet inconvénient, et la précision du montage demeure constante quel que soit le taux de comptage utilisé.

### Mise en forme

Les circuits de mise en forme sont représentés sur la figure 8. Les impulsions discriminées obtenues sur le collecteur de  $T_8$  déclenchent par leur front négatif un monostable  $T_9$ - $T_{10}$  de pseudo-période 100 ns ;  $T_{11}$  monté en émetteur suiveur, achemine à basse impédance ces impulsions calibrées vers la chaîne de comptage du photomultiplicateur. Le transistor  $T_{12}$  fournit une tension de 6,5 V à partir de l'alimentation 20 V de l'amplificateur.



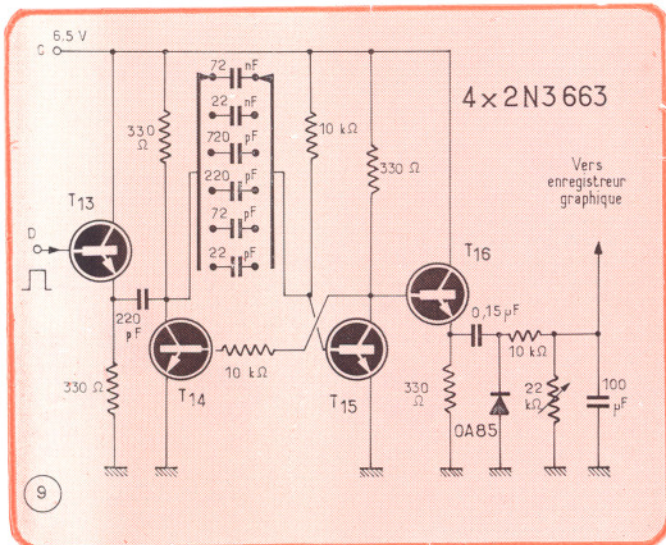


Fig. 9. — Schéma de l'intégrateur. Les impulsions issues du photomultiplicateur, calibrées par un monostable suivant le taux de comptage utilisé, sont intégrées par un circuit RC ; la tension continue obtenue, proportionnelle à la fréquence incidente, commande un enregistreur graphique type Cimapot, de sensibilité de 50 mV à pleine échelle.

### Intégration

Les impulsions mises en forme par  $T_0$  et  $T_{10}$  sont acheminées à basse impédance par  $T_{13}$  vers un monostable  $T_{14}$ ,  $T_{15}$  dont la pseudo-période est ajustée suivant le taux de comptage. Cette pseudo-période est de :

Pseudo-période	Taux de comptage maximal
100 ns	100 000
330 ns	30 000
1 $\mu$ s	10 000
3,3 $\mu$ s	3 000
10 $\mu$ s	1 000
33 $\mu$ s	300

Dans une gamme donnée et pour le taux de comptage maximal, le rapport cyclique des impulsions est de 1 %. Un ensemble RC avec diode OA 85 de récupération fournit une tension continue égale à la valeur moyenne de signaux appliqués, donc variant de zéro volt, pour une fréquence nulle, à 1 % de l'amplitude crête, soit 50 mV pour le taux de comptage maximal. L'enregistreur graphique est un modèle Cimapot utilisé sur sa sensibilité 50 mV.

(A suivre)

A. DUCROS,  
Ingénieur E.F.R.E.

M. OLIVIE,  
Ingénieur E.S.O.

## Quelques informations...

### GENERATEURS STATIQUES A THYRISTORS POUR FOURS A INDUCTION MOYENNE FREQUENCE

Un dispositif onduleur, entièrement équipé de thyristors, et destiné à l'alimentation des fours à induction, a été mis au point par la société **Alstom**. La fréquence du système atteint et dépasse 10 kHz, sans limitation de puissance. Le principe utilisé consiste à entretenir un circuit résonnant réalisé par l'inductance propre du four disposée en série avec un ensemble de capacités fixes. L'appareil remplace avantageusement les groupes convertisseurs rotatifs classiques, grâce à un entretien quasi nul et un rendement excellent. Ce système est également bien adapté au problème de chauffage de pièces « au défilé ». Quelques installations sont déjà en exploitation, et plusieurs en cours de réalisation.

### BUDGET DU CERN

Le budget du Centre Européen de Recherche Nucléaire pour 1969 a été fixé à 218 millions de francs suisses, à 229 millions pour 1970 et 240 millions pour 1971. Ces chiffres représentent des compromis entre les sommes demandées par la direction du C.E.R.N. et la réduction de 18 millions souhaitée par la délégation britannique, et soutenue par celle de la République Fédérale d'Allemagne. C'est la France, soutenue par l'Italie, qui s'est montrée le défenseur le plus opiniâtre du développement des activités du C.E.R.N.

### LE PRIX ENRICO FERMI DECERNE A UN CHERCHEUR AMERICAIN

Le prix **Enrico Fermi**, d'un montant de 25 000 dollars, a été décerné par la Commission américaine de l'Energie Atomique au professeur **John Wheeler**, de l'Université de Princeton (New Jersey) pour ses nombreux apports à la science nucléaire.

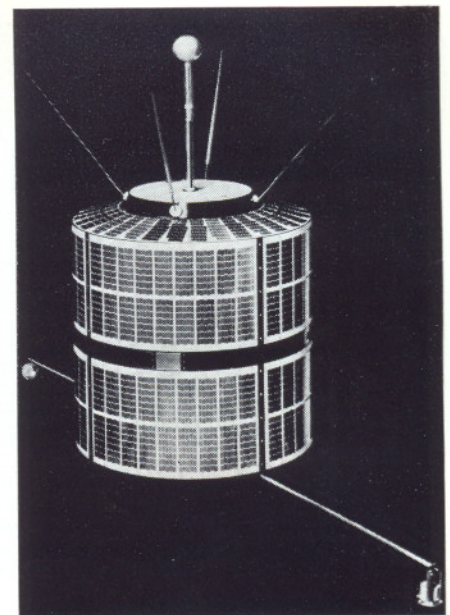
Le professeur Wheeler, un des pionniers du développement de l'énergie atomique, collabora avec **Niels Bohr**, à la rédaction du « Traité sur le processus de la fission nucléaire » qui reste de nos jours un ouvrage de référence.

### LANCEMENT DU SATELLITE EUROPEEN ESRO I

Le satellite ESRO I a été lancé le 3 octobre 1968 à 13 h 50 (heure locale) — 20 h 50 GMT — par une fusée SCOUT à partir du Centre d'essais américain (Western Test Range) de Vandenberg (Californie).

Le Laboratoire Central de Télécommunications (L.C.T.), Maître d'Œuvre du projet, a réalisé à ce titre l'intégration des équipements de bord, tant de sa propre fabrication que de celle des laboratoires scientifiques et de certains sous-traitants.

L.C.T. était assisté de deux coopérants : **Bell Telephone Manufacturing Company** (Anvers) chargé de l'ensemble des alimentations du satellite en énergie électrique et **Contraves AG** (Zurich) responsable de la structure, de l'étude de l'équilibre thermique et de la stabilisation magnétique d'attitude.



Le satellite ESRO I, réalisé pour le compte de l'Organisation Européenne de Recherches Spatiales. Son poids est de 85 kg, pour un diamètre de 76 cm et une hauteur de 93 cm. La source d'énergie électrique utilise 6 990 cellules solaires disposées par panneaux à la périphérie du satellite.

Réalisé pour le compte du Centre Européen de Recherche Spatiale, ESRO I est un satellite de 85 kg dont la charge utile est constituée par huit expériences scientifiques destinées à recueillir des informations sur certains phénomènes physiques de l'ionosphère dans la région polaire de l'hémisphère Nord.

Électronique Industrielle