

L'ONDE ÉLECTRIQUE

46^e ANNÉE - N° 469

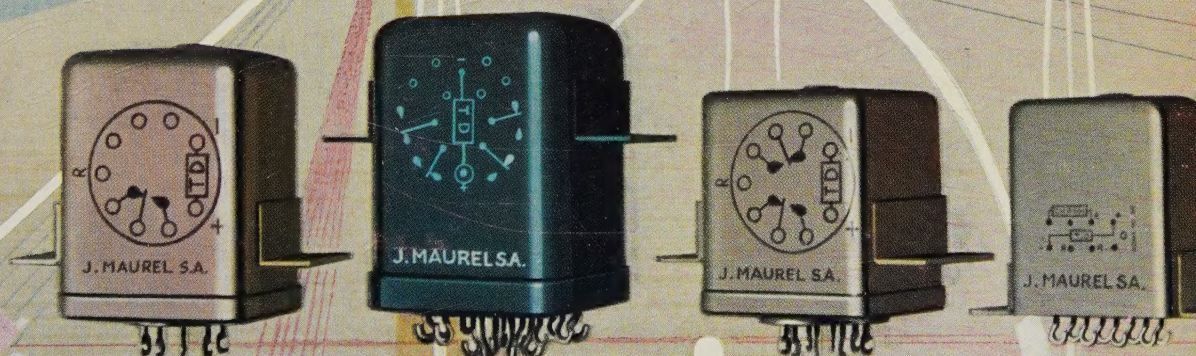
AVRIL 1966

PRIX : 8 F

revue mensuelle de la

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

PUBLIÉE PAR LES ÉDITIONS CHIRON, PARIS



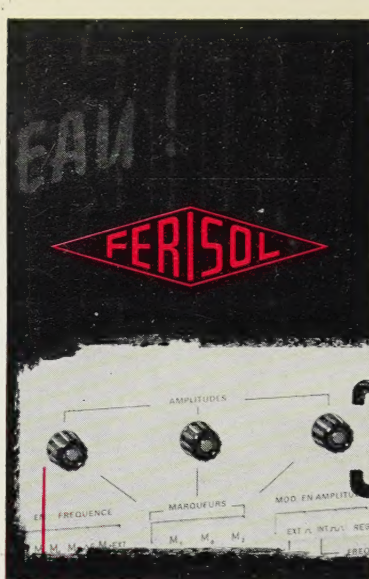
Temporisateurs électroniques
destinés en particulier
aux équipements d'engins spatiaux
J. MAUREL ELECTRONIQUE

Stabilisation des fréquences radioélectriques.
B. DECAUX. — Les quartz étalons, A. GLOWINSKI.
— Etalons atomiques et nucléaires, J. UEDERSFELD, M. OLIVIER. — Comparaisons de fréquences, A. GABRY.

Mécanismes physiques des lasers moléculaires,
L. HENRY, F. LEGAT. — Le laser à CO₂, A. TRUFERT, Ph. VAUTIER. — Laser moléculaire, X. ZIEGLER, Ch. FRAPART. — Lasers ioniques, G. CONVERT. — Lasers à solides fluorescents, O.K. DEUTSCHBEIN, C.C. PAUTRAT. — Lasers à l'arséniure de gallium, J. FERTIN, J.C. BÉDIER, J. LÉBAILLY. — Stabilisation de la fréquence des lasers à gaz, P. LAURÉS.

NOUVEAU !

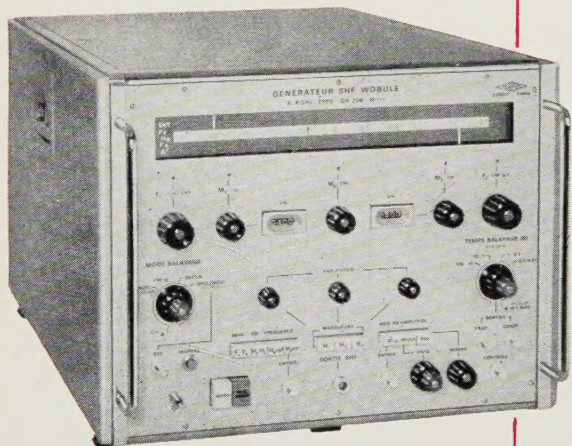
GÉNÉRATEURS HYPERFRÉQUENCES WOBULÈS | GH 200



3 MARQUEURS
($M_1 - M_2 - M_0$)

indépendants, étalonnés en fréquence, mis en service par boutons poussoirs.

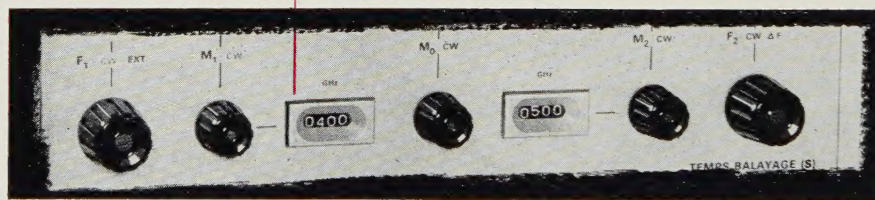
1 à 16 GHz



4 MODES DE BALAYAGE EN FRÉQUENCE :

- 1° - Entre fréquences extrêmes (F_1 et F_2)
- 2° - Entre marqueurs (M_1 et M_2)
- 3° - Autour d'une fréquence centrale ($M_0 \pm \Delta F$)
- 4° - Manuellement

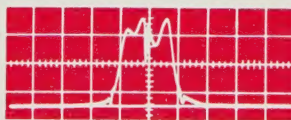
5 FRÉQUENCES PRÉRÉGLÉES
($F_1 - F_2 - M_1 - M_2 - M_0$)



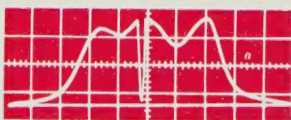
OPTION A
RÉGULATION INTERNE
INCORPORÉE (± 1 dB)

OPTION B
RÉGULATION EXTERNE
($\pm 0,15$ dB)

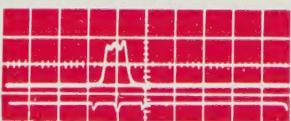
OPTION C
RÉGULATION A DIODES "PIN"
(intérieure ou extérieure)
permettant d'éliminer le
phénomène d'entraînement de
fréquence et de F.M. parasite
lors de la modulation.



Courbe de réponse d'un
filtre avec trois marqueurs :
Balayage entre F_1 et F_2 .



Même courbe mais le
balayage est étalé entre
les marqueurs extérieurs :
Balayage entre marqueurs
 M_1 et M_2 .



Utilisation d'un
oscilloscope bicourbe :
le marquage en F est
repéré sur la 2° trace.

AUTRES CARACTÉRISTIQUES - Gamme de fréquence couverte : de 1 GHz à 16 GHz en quatre appareils • Puissance disponible variable suivant les appareils : au moins égale à 10 mW, peut atteindre 1 W • Modulateur incorporé permettant une modulation en signaux carrés de 800 à 1200 Hz • Modulation extérieure en impulsions • Sortie balayage : "dent de scie" constante ou "dent de scie" proportionnelle à la bande de F choisie • Sortie effacement • Possibilité d'utilisation d'un enregistreur.

DOCUMENTATION ET PRIX FRANCO SUR DEMANDE

ETS GEFFROY ET CIE
INGÉNIEUR - DOCTEUR - CONSTRUCTEUR



Société Anonyme au capital de 5.250.000 F

18, AVENUE PAUL-VAILLANT-COUTURIER
78 - TRAPPES • TÉL. 923 08-00 (8 lig.) • TÉLEX 25.705

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Société Française des Électroniciens et des Radioélectriciens

RÉDACTION

S. F. E. R., 10, avenue Pierre-Larousse, 92 - MALAKOFF
Tél. 253-04-16.

Président du Comité de Rédaction, M. A. FLAMBARD,
Ingénieur Militaire en Chef.

Président du Comité de Lecture, M. E. ROUBINE, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Rédacteur en Chef, M. J. DUSAUTOY, Ing. E. S. E.
Tél. 225-24-19.

*

ÉDITION

ÉDITIONS CHIRON S. A.,
40, rue de Seine, 75 - PARIS 6^e.
Tél. 633-18-93.

Abonnement (1 an, soit 11 numéros), chez l'éditeur :
France 54 F — Étranger 65 F.
C. C. P. PARIS 53-35

Pour les membres de la S. F. E. R.
voir au verso extraits des statuts
et montant des cotisations.

*

PUBLICITÉ

Exclusivité :

M. R. G. DOMENACH,
Tél. 250-88-04 et 05.
(voir dernière page)

*

Sur notre couverture

La Société J. MAUREL ÉLECTRONIQUE, s'est spécialisée, entre autre, dans la mise au point et la fabrication des temporisateurs électroniques destinés aux équipements d'engins spatiaux.

Son but est de mettre sur le marché des appareils de dimensions et de prix très réduits, possédant une grande précision de fonctionnement et une tenue élevée aux chocs et aux vibrations.

Les fabrications actuelles couvrent la gamme de 0,05 à 360 s avec rapports de réglage de 2/1 à 20/1.

La Société J. MAUREL est une filiale de la Société AEM-OP connue pour ses productions de relais électromagnétiques, elle a coopéré avec succès à l'équipement de la fusée « DIAMANT ».

SOCIÉTÉ J. MAUREL ÉLECTRONIQUE
115, avenue Jean-Baptiste-Clément
92-BOULOGNE — Tél. 825-96-20

46^e année

Avril 1966

8 F

N° 469

SOMMAIRE

Stabilisation des fréquences

Progrès récents dans la stabilisation des fréquences radioélectriques	397
B. DECAUX	
Progrès récents des quartz. Les quartz étalons	399
A. GLOWINSKI	
Les étalons atomiques et moléculaires de fréquence	403
J. UEBERSFELD, M. OLIVIER	
Comparaisons de fréquences	407
A. GABRY	

Progrès récents dans les lasers

Mécanisme physique des lasers moléculaires	410
L. HENRY, F. LEGAY	
Le laser à CO ₂	417
A. TRUFFERT, PH. VAUTIER	
Laser moléculaire de grande puissance	423
X. ZIEGLER, CH. FRAPARD	
Les lasers ioniques	428
G. CONVERT	
Lasers à solides fluorescents	434
O.K. DEUTSCHBEIN, C.C. PAUTRAT	
Propriétés des dispositifs électroluminescents.	
Laser à l'arséniure de gallium. Perspectives d'avenir	445
J. FERTIN, J.C. BEDIER, J. LEBAILLY	
Stabilisation de la fréquence des lasers à gaz	455
P. LAURÈS	

Salon International des Composants Électroniques

463

Correspondance

493

Informations : documentation technique et communiqués

498

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président (1966)

M. G. GOUDET, Directeur Général de la C.G.C.T.

Président désigné pour 1967

M. J.J. MATRAS, Ingénieur Général des Télécommunications.

Vice-Présidents

MM. J. FAGOT, Directeur Technique à la C.S.F.
E. ROUBINE, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris (E.S.E.).
J. PICQUENDAR, Directeur du Laboratoire de Recherches Générales, C.F.T.H.

Secrétaire Général

M. R. CABESSA, Directeur des Applications Militaires et Spatiales à la C.A.E.

Secrétaires Généraux Adjointes

MM. B. GAUSSOT, Chef du Service Radioélectricité et Electronique de l'E.S.E.
A. PROFIT, Ingénieur des Télécommunications au CNET.

Trésorier

M. J.M. MOULON, Directeur Général Adjoint de la Société MECI.

Secrétaires

MM. A. SORBA, Chef de Travaux Principal à l'E.S.E.
P. GUICHET, Ingénieur à la C.A.E.
M. FENEYROL, Ingénieur des Télécommunications au CNET.

GROUPES RÉGIONAUX

GRUPE DE BOURGOGNE

Président. — M. J. BOUCHARD, Professeur et Directeur du Département de Physique de la Faculté des Sciences de Dijon.
Vice-Président. — M. J. PEYSSOU, Directeur du Centre R.P.C. de la C.S.F. à Dijon.
Secrétaires. — MM. L. GODEFROY, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Dijon, J.M. GRANGÉ, Ingénieur à la C.S.F.

GRUPE DE BRETAGNE

Président. — M. L.J. LIBOIS, Ingénieur en Chef des Télécommunications, Directeur du Centre de Recherches du C.N.E.T. de Lannion.
Vice-Président. — M. J. MEVEL, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
Secrétaire. — M. J.M. PERSON, Ingénieur des Télécommunications au Centre de Recherches du C.N.E.T. de Lannion.

GRUPE DE L'EST

Président. — M. R. GUILLIEN, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique de Nancy.
Secrétaire. — M. E. GUDEFIN, Maître de Conférences à l'E.N.S.E.M.

GRUPE DE GRENOBLE

Président. — M. J. BENOIT, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de la Section de Haute Fréquence à l'Institut Polytechnique de Grenoble.
Secrétaire. — M. J. MOUSSEIGT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble.

GRUPE DE LYON

Président. — M. A. SARAZIN, Professeur de Physique Nucléaire à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
Secrétaire. — M. R. ARNAL, Maître de Conférences à l'I.N.S.A. de Lyon.

GRUPE DE MARSEILLE

Président. — M. Th. VOGEL, Directeur de Recherches au C.N.R.S.
Secrétaire. — M. J. GIRAUD, Ingénieur des Télécommunications.

GRUPE DU NORD

Président. — M. N. SEGARD, Professeur, Directeur de l'I.S.E.N.
Vice-Présidents. — M. R. CARPENTIER, Chef du Centre de Télévision de la R.T.F. — M. R. GABILLARD, Professeur, Directeur de l'Institut Radiotechnique.
Secrétaire. — M. BOUVET, Secrétaire Général de l'I.S.E.N.

GRUPE DE TOULOUSE-MIDI-PYRÉNÉES

Président. — M. J. LAGASSE, Directeur du Laboratoire et du Département de Génie Électrique de Toulouse,
Vice-Président. — M. F. CAMBOU, Directeur du Centre d'Études Spatiales des Rayonnements de Toulouse.
Secrétaire-Général. — M. E. CASSIGNOL, Maître de Conférences à l'I.N.S.A. de Toulouse.

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Problèmes d'enseignement. Formation et perfectionnement des Ingénieurs et Techniciens	M. J. DEMONET	
2	Études scientifiques générales	M. M. BERNARD	M. J.P. NOBLANC
3	Physique de l'état solide	M. Cl. DUGAS	M. G. PARICARD
4	Tubes électroniques	M. J. LE MEZEC	M. O. CAHEN
5	Composants électroniques	M. F. DUMAT	M. J.-M. HUBERT
6	Propagation des ondes	M. F. DU CASTEL	M. M. VINOKUR
7	Electroacoustique. Enregistrement des sons	M. R. LEHMANN	M. P. RIETY
8	Télécommunications - Radiodiffusion - Télévision	M. J. DELVAUX	M. I. AFANASSIEFF
9	Radiodétection et localisation. Radionavigation	M. D. COULMY	M. A. VIOLET
10	Calculateurs électroniques. Automatismes	M. J. CSECH	M. M. JEULIN
11	Electronique nucléaire et corpusculaire	M. J. POTTIER	M. Ch. GUYOT
12	Electronique biologique et médicale	M. E. ALLARD	M. P. SCHURR

EXTRAITS DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIO ÉLECTRICIENS a pour but :

1° De contribuer à l'avancement de la radioélectricité et de l'électronique théoriques et pratiques ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent.

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion de questions concernant la radioélectricité et tout ce qui s'y rattache.

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, dont certains en qualité de membres bienfaiteurs ou de membres donateurs, et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société, il faut :

1° Adresser au Président une demande écrite appuyée par deux membres, non étudiants, de la Société.

2° Être agréé par le bureau de la Société.

Tout membre titulaire qui, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, aura pris l'engagement de verser, pendant cinq années consécutives, une cotisation égale à dix fois la cotisation annuelle, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, verseront une cotisation égale à cinq fois la cotisation annuelle, seront inscrits en qualité de donateurs.

Tous les membres de la Société, sauf les membres d'honneur, paient une cotisation dont le montant est fixé par une décision de l'Assemblée Générale.

Les membres âgés de moins de 25 ans, en cours d'études, pourront, sur leur demande, bénéficier d'une réduction de 50 % sur leur cotisation. Cette réduction ne leur sera accordée que pendant cinq années au plus.

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique**.

Cette publication leur est adressée gratuitement. Toutefois, les membres résidant à l'étranger devront verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir les frais supplémentaires.

MONTANT DES COTISATIONS

à adresser à la S.F.E.R., C.C.P. Paris 697.38.

Particuliers résidant en France	40 F
Particuliers en cours d'études, résidant en France et âgés de moins de 25 ans	20 F
Particuliers résidant à l'étranger : 40 F + 5 F pour frais postaux	45 F
Particuliers en cours d'études, résidant à l'étranger et âgés de moins de 25 ans : 20 F + 5 F pour frais postaux	25 F
Sociétés ou Collectivités, à leur gré	200 F
	ou 500 F
	ou 1000 F

Changement d'adresse : joindre 1,50 F à toute demande.

*Pour les étrangers dans l'impossibilité de trouver des parrains, le Bureau pourra accorder le parrainage sur titres (diplômes, inscriptions à certaines sociétés, recommandations de personnalités scientifiques non membres de la S.F.E.R., etc.).

** Cette publication est la revue « L'Onde Electrique ».

RÉSUMÉS DES ARTICLES

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA STABILISATION DES FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES, par B. DECAUX, *Chef du Département Fréquences du C.N.E.T.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 397 à 398).

A titre d'introduction aux divers exposés de la demi-journée d'études, l'auteur montre l'importance pratique des très hautes précisions dans la stabilisation des fréquences. Il rappelle les décisions de la Conférence Générale des Poids et Mesures ainsi que les résultats de récentes opérations internationales de comparaison.

PROGRÈS RÉCENTS DES QUARTZ. LES QUARTZ ÉTALONS, par A. GLOWINSKY, *Ingénieur des Télécommunications, Centre National d'Etudes des Télécommunications.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 399 à 402).

On passe en revue les étapes successives de la réalisation des oscillateurs étalons à quartz. De la détermination des dimensions des lames, jusqu'à la fixation et à la fermeture des boîtiers, un certain nombre de paramètres vont influencer sur les performances et le vieillissement des étalons. On obtient maintenant des résultats remarquables, les meilleurs exemplaires présentant une dérive de fréquence relative de 100^{-11} par jour.

Enfin on donne les dernières réalisations dans des domaines un peu différents : la compensation passive de température et les quartz sur ptiel pour filtres.

LES ÉTALONS ATOMIQUES ET MOLÉCULAIRES DE FRÉQUENCE, par J. ÜBERSFELD, *Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. Sous-Directeur de l'Horloge Atomique* et M. OLIVIER, *Chargé de Recherches au C.N.R.S.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 403 à 406).

Cet article fait le point de l'état actuel des recherches concernant les étalons atomiques et moléculaires de fréquence. Après un bref rappel des principes de fonctionnement, on décrit les différents étalons utilisés : étalons passifs à jets atomiques, étalons actifs fonctionnant en masers oscillateurs et cellules à gaz utilisant la technique du pompage optique. On analyse les phénomènes qui affectent les performances de ces étalons de fréquence, ainsi que les méthodes actuelles mises en œuvre pour améliorer leur stabilité.

COMPARAISONS DE FRÉQUENCE, par A. GABRY, *Ingénieur du Département Fréquences du C.N.E.T.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 407 à 409).

Les normes précises faites sur les fréquences-étalons peuvent être classées en trois groupes principaux. Les trois méthodes différentes utilisées sont rapidement esquissées, en montrant les possibilités offertes par chacune d'elles. Il est toujours important de conserver un rapport signal/bruit le meilleur possible. Les mesures à distance utilisent l'intermédiaire des émetteurs de fréquence étalonnée. Chaque type d'émission a un domaine d'application particulier.

MÉCANISME PHYSIQUE DES LASERS MOLÉCULAIRES, par L. HENRY et F. LEGAY, *Laboratoire de Spectroscopie Moléculaire. Faculté des Sciences de Paris et C.N.R.S.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 410 à 416).

Depuis 1964, de nouveaux types de lasers à gaz ont été découverts. Ces lasers, fonctionnant entre les niveaux de vibration des molécules excitées par décharge électrique, peuvent fournir des puissances continues remarquablement élevées. Le rôle considérable joué par les échanges d'énergie vibrationnelle entre les molécules, ainsi que les processus de relaxation vibrationnelle et rotationnelle, est examiné par les auteurs avec quelques détails afin d'expliquer le mécanisme de ces lasers.

LE LASER A CO₂, par A. TRUFFERT et Ph. VAUTIER, *Société Anonyme des Télécommunications.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 417 à 422).

La possibilité d'observer un effet laser sur les niveaux de vibration rotation moléculaire a été prévue théoriquement dès la fin de 1962 par Monsieur le Professeur Barchewitz, de la Faculté des Sciences d'Orsay. C'est sur ses directives que la Société Anonyme de Télécommunications a entrepris avec succès le développement d'un laser à CO₂ de forte puissance.

Le présent article résume les principaux résultats obtenus à ce jour à la SAT et signale aussi certains points intéressants étudiés récemment dans d'autres laboratoires, sans toutefois prétendre faire le point définitif d'une question en évolution rapide.

LASER MOLÉCULAIRE DE GRANDE PUISSANCE, par X. ZIEGLER et Ch. FRAPARD, *Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité, Département Recherches Physiques de Base, Marcoussis.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 423 à 427).

On présente, dans cet article, un laser moléculaire de grande puissance à gaz carbonique. La puissance de sortie est de 280 W à une longueur d'onde de 10,59 μ . Le rendement est supérieur à 10 %.

Cette émission laser est particulièrement puissante si l'on mélange au gaz carbonique de l'azote et de l'hélium. On étudie le rôle de ces gaz ainsi que les caractéristiques de la cavité laser et les divers modes d'excitation du tube. Quelques applications sont envisagées.

LASERS IONIQUES, par G. CONVERT, *C.E.P.E.C., 92-Corbeville, CSF.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 428 à 433).

Les lasers ioniques utilisent des transitions électroniques d'atomes ionisés. Leurs raies se répartissent sur tout le spectre visible et l'ultraviolet proche et les puissances produites sur certaines d'entre-elles sont considérables.

L'auteur indique des mécanismes de leur fonctionnement et décrit sommairement les lasers à argon ionisé qui peuvent fournir, dans le bleu-vert, des puissances continues supérieures à dix watts.

Leur position dans le visible, leur puissance, la qualité de leur émission, ouvrent aux lasers ioniques de vastes domaines d'application en physique, en biologie, etc.

SUMMARIES OF THE PAPERS

PHYSICAL MECHANISM OF MOLECULAR LASERS, by L. HENRY and F. LEGAY, *Laboratoire de Spectroscopie Moléculaire, Faculté des Sciences de Paris et C.N.R.S.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 410 to 416).

New types of gas lasers have been discovered since 1964. These lasers work between the vibration levels of molecules excited by an electrical discharge, and can give a remarkably high continuous power output.

The fundamental vibration energy exchange between molecules and the process of rotational and vibrational relaxation is examined by the authors, to explain the mode of operation of this type of laser.

THE CARBON DIOXIDE LASER, by A. TRUFFERT and Ph. VAUTIER, *Société Anonyme des Télécommunications.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 417 to 422).

The possibility of setting up a laser effect at a molecular rotation level of vibration was theoretically predicted by Professor Barchewitz of the Orsay Faculty of Science at the end of 1962. It is from this original work that the Société Anonyme de Télécommunications has successfully developed a high-power carbon dioxide laser.

This article summarises the present development in a rapidly evolving situation, with particular reference to the principal results so far obtained at S.A.T. Recent progress achieved in other laboratories is also mentioned.

HIGH POWER MOLECULAR LASER, by X. ZIEGLER and Ch. FRAPARD, *Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité, Département Recherches Physiques de Base. Marcoussis.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 423 to 427).

A high power carbon dioxide laser is described in this article. The output power is 280 W at a wavelength of 10.59 μ . The efficiency is greater than 10 %.

The effect on the output power of adding nitrogen and helium to the carbon dioxide is studied. The laser cavity characteristics and various modes of excitation are also investigated. A few possible applications are described.

ION LASERS, by G. CONVERT, *C.E.P.E.C. 92-Corbeville. CSF.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 428 to 433).

The ion lasers use electronic transitions in ionized atoms. Their lines span the entire visible and near U.V. spectra and the power produced on some of them are high.

The author outlines their working mechanisms and describes briefly the argon ion laser which can deliver in the blue green, continuous powers in excess of ten watts.

Their range of wavelengths, their high power, the quality of their emission make of the ion lasers valuable tools in various fields of physics, biology, etc.

RECENT PROGRESS IN RADIO FREQUENCY STABILISATION, by B. DECAUX, *Chef du Département Fréquences du C.N.E.T.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 397 to 398).

The author emphasizes the practical importance of achieving highly accurate stabilisation of frequencies as an introduction to various papers read at the Conference on this subject.

He reviews decisions taken at the General Conference of Weights and Measures and results obtained at recent international comparison exercises.

RECENT PROGRESS IN QUARTZ. STANDARD QUARTZ, by A. GLOWINSKY, *Ingénieur des Télécommunications, Centre National d'Etudes des Télécommunications.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 399 to 402).

Successive stages in the development of standard quartz oscillators are reviewed. The parameters capable of influencing the performance and the ageing of standard oscillators are examined.

Remarkable results are obtained nowadays in the field of stability, the best examples giving a relative frequency drift of the order of 10^{-11} per day.

Recent results using quartz in the field of passive temperature compensation and filter application are also given.

THE ATOMIC AND MOLECULAR FREQUENCY STANDARDS, by J. UEBERSFELD, *Professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Sous-Directeur de l'Horloge Atomique* et M. OLIVIER, *Chargé de Recherches au C.N.R.S.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 403 to 406).

This paper makes the restatement of research present state about atomic and molecular frequency standards. After a short recall of functioning principles, the different used standards are described : passive standards with atomic jets, active standards operating like maser oscillators and gas cells using optic pump. Phenomena affecting these frequency standard performances, so that present methods used to increase their stability, are analysed.

FREQUENCY COMPARISON, by A. GABRY, *Ingénieur au Département Fréquences du C.N.E.T.* L'Onde Electrique, April 1966 (pages 407 to 409).

Precise specifications of frequency standards can be classified into three groups. The three different methods are described showing the advantages of each of them. The importance of a good signal to noise ratio, whatever method is used, is emphasized.

Some particular applications are mentioned, among them distance measurements.

RÉSUMÉS DES ARTICLES (suite)

LASERS A SOLIDES FLUORESCENTS, par O.K. DEUTSCHBEIN, *Ingénieur contractuel*, et C.C. PAUTRAT, *Ingénieur des Télécommunications, Département « Physique, Chimie, Métallurgie » C.N.E.T.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 434 à 444).

On compare les divers types de lasers du point de vue énergétique et, après un bref rappel des relations entre la fluorescence et les conditions de l'effet laser, on décrit en détail les divers matériaux lasers solides fluorescents : rubis, substances dopées aux terres rares. On donne des exemples de réalisations lasers importantes : laser de grande énergie, lasers déclenchés, laser à fonctionnement permanent à température ambiante. Pour terminer, on cite les applications des lasers à solides fluorescents : télécommunications, radar, optique, applications en médecine et biologie, usinage photonique, création de plasma et phénomènes non linéaires.

PROPRIÉTÉS DES DISPOSITIFS ÉLECTRO-LUMINESCENTS — LASER A L'ARSÉNIURE DE GALLIUM. PERSPECTIVES D'AVENIR, par J. FERTIN, *Chef du Service Cristaux et Dispositifs spéciaux*, J.C. BEDIER et J. LEBAILLY, *Ingénieurs, Développement physico-chimique. La Radiotechnique - COPRIM - RTC. Caen.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 445 à 454).

Après un bref rappel des propriétés du phénomène de recombinaison radiative, on examine, dans le cas particulier de l'arséniure de gallium, les caractères propres aux diodes à émission spontanée et à émission induite.

On compare les conditions d'utilisation des deux types de jonctions et, à titre d'exemple, on envisage un certain nombre d'applications dans le domaine optoélectronique.

STABILISATION DE LA FRÉQUENCE DES LASERS A GAZ, par P. LAURÈS, *Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité. Département Recherches Physiques de Base. Marcoussis.* L'Onde Electrique d'avril 1966 (pages 455 à 462).

L'obtention d'une émission laser stable en fréquence suppose la réalisation d'ensembles mécaniques très stables ou l'utilisation de dispositifs de contrôle fondés sur les propriétés particulières de cette émission.

On étudie les réalisations utilisant, soit la variation de puissance de l'émission laser en fonction de la fréquence, soit la variation d'indice au voisinage de la résonance.

Actuellement, ces divers moyens permettent d'envisager une stabilisation en fréquence de l'ordre de 10^{-10} .

SUMMARIES OF THE PAPERS (continued)

PROPERTIES OF GALLIUM ARSENIDE ELECTROLUMINESCENT AND LASERS DEVICES. AN OUTLOOK ON THE FUTURE, by J. FERTIN, *Chef du Service Cristaux et Dispositifs spéciaux*, J.C. BEDIER et J. LEBAILLY, *Ingénieurs, Développement physico-chimique. La Radiotechnique-COPRIM-RTC. Caen. L'Onde Electrique*, April 1966 (pages 445 to 454).

After a brief survey of the radiative recombination properties, one examines, in the particular case of gallium arsenide, the characters specific to spontaneous emission and stimulated emission diodes. Work conditions for both types are compared and examples of utilization in optoelectronics are given.

FLUORESCENT SOLID LASER, by O.K. DEUTSCHBEIN, *Ingénieur contractuel* et C.C. PAUTRAT, *Ingénieur des télécommunications, Département « Physique, Chimie, Métallurgie » C.N.E.T., L'Onde Electrique*, April 1966 (pages 434 to 444).

We compare the different types of lasers with regard to energy ; and after a short survey of the relations between fluorescence and laser conditions, we describe, in details, the different fluorescent solid laser materials : ruby, crystals and glasses doped with rare earths. The most important laser realizations are described : high energy laser, giant pulse laser, continuous wave laser. As a conclusion we cite the applications of fluorescent solid laser materials : telecommunication, optical radar, medical and biologic applications, photonic machining, plasmas and non-linear optics.

FREQUENCY STABILISATION OF GAS LASERS, by P. LAURÈS, *Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité, Département Recherches Physiques de Base. Marcoussis. L'Onde Electrique*, April 1966 (pages 455 to 462).

Frequency stability in a laser depends on high mechanical stability or on the use of a device controlling the output as a function of the output itself.

The article studies various devices based on the relation between the output power the frequency, and response changes around resonance.

It is at the moment possible to obtain a frequency stabilisation of the order of 10^{-10} using these devices.

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA STABILISATION DES FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES*

PAR

B. DECAUX

Chef du Département Fréquences du C.N.E.T.

Il est devenu banal de dire que la fréquence, ou l'intervalle de temps qui est son inverse, est la grandeur physique connue avec le plus de précision. En d'autres circonstances, j'ai eu l'occasion de faire remarquer que cette précision gagne environ une décimale tous les cinq ans. Et tout cela a reçu sa consécration à l'automne dernier lorsque le Comité International des Poids et Mesures, habilité par la Conférence Générale des Poids et Mesures, a désigné la transition entre niveaux hyperfins $F = 4$ $M = 0$ et $F = 3$ $M = 0$ du césium 133, non perturbé, comme étalon à employer temporairement pour les mesures physiques de temps, avec la fréquence : 9 192 631 770 Hz. L'exposé des motifs de cette décision la justifiait par le fait qu'il est possible désormais de reproduire la fréquence de cette transition à $1 \cdot 10^{-11}$ près. Ceci n'est d'ailleurs qu'une étape puisqu'on nous parle déjà de stabilités de 10^{-13} .

Tout cela est bien joli, diront certains, mais quel intérêt cela a-t-il, en dehors de la satisfaction un peu académique de serrer de plus près les phénomènes physiques ? Eh bien ! ce qu'il ne faut pas oublier, c'est que dans ce domaine plus encore que dans d'autres, ce sont en réalité les applications *pratiques* qui talonnent les recherches fondamentales dans la course aux décimales. Vous savez qu'il est de tradition que les étalons de mesures soient dix fois plus précis que les appareils à étalonner. Or, pour les fréquences, les usagers sont tellement exigeants que ce rapport 10 est difficile à tenir. En fait, à part dans les trois ou quatre laboratoires qui, dans le monde, détiennent des étalons à césium primaires, les étalons de laboratoire ne sont guère plus stables que les pilotes de certains émetteurs *en exploitation courante*. On ne

peut plus, maintenant, faire une véritable distinction entre un étalon de fréquence, une horloge d'observatoire et l'oscillateur de base d'un émetteur (de radionavigation par exemple), ou même d'un satellite. Les systèmes de comparaison, même à grande distance, sont d'ailleurs parfaitement au point pour tous ces problèmes.

Une autre remarque : la course à la miniaturisation. Ceux qui ont connu les étalons à quartz d'avant guerre, volumineux et avides de gros courants, ne peuvent cacher leur étonnement devant les petits oscillateurs actuels dont la stabilité dépasse 10^{-9} dans des volumes de quelques centimètres cubes avec une consommation inférieure au watt. Les premiers « atomichrons » d'il y a 7 ou 8 ans pesaient 250 kg ; les plus récents étalons à rubidium du commerce n'en pèsent plus que 6 ou 8. Rien n'empêche plus donc de disposer de générateurs de fréquence ultra-stables aisément transportables, y compris dans les plus petits satellites. Cela a permis de réaliser enfin des applications imaginées depuis longtemps, mais inaccessibles avec des appareillages trop lourds, par exemple la navigation à l'horloge. La miniaturisation s'applique également, si j'ose dire, aux prix de ces appareils ; un étalon à quartz ne coûte guère qu'une trentaine de mille francs, et certains étalons à rubidium, environ le double.

Passons rapidement en revue quelques domaines d'application des fréquences stables. Inutile d'insister sur les applications scientifiques : astronomie, géodésie, expériences relativistes, etc. Voyons la radiodiffusion et la télévision (Dieu sait si cela touche notre vie courante, et presque terre-à-terre !). M. DUMAS nous dira tout à l'heure les exigences de ces techniques et les résultats qu'on y obtient ⁽¹⁾. Les émetteurs utilisés sont devenus, dans certains cas, de véritables étalons

* Conférence prononcée au cours de la demi-journée d'études, commune de la 8^e section de la SFER et de la 5^e section de la SFE, le 25 mai 1965.

(1) Cette conférence sera publiée ultérieurement.

de fréquence. Cela est encore plus vrai pour certains émetteurs télégraphiques de trafic, tels que ceux qui servent à la comparaison internationale des étalons de fréquence. M. GABRY va nous indiquer comment on s'en sert et les précisions qu'ils permettent d'atteindre.

J'ai toujours l'habitude de citer, comme exemple des systèmes exigeant de très hautes stabilités de fréquence, les liaisons téléphoniques à grande distance par câbles coaxiaux. Par le fait que ces liaisons n'utilisent pas de rayonnement, beaucoup de personnes ne se rendent pas compte que c'est tout de même de la haute fréquence. Or dans ce domaine, ce qui importe ce sont les tolérances *absolues* de fréquence à l'arrivée, soit de 1 à 2 Hz, quelles que soient les fréquences porteuses. Actuellement, la limite supérieure est de 4 ou 8 MHz, mais on commence à étudier des systèmes à 50 ou 60 MHz. Comme il y a des cascades d'oscillateurs successifs en cause, on voit que ceux-ci doivent avoir une stabilité importante. Dans l'avenir proche, l'emploi des guides circulaires avec des fréquences de nombreux gigahertz posera des problèmes encore plus ardu.

Nous avons déjà fait allusion à la radionavigation ; c'est peut-être là que les stabilités de fréquence les plus élevées se montrent nécessaires. Aussi les émetteurs sont-ils pilotés par des oscillateurs à quartz de haut luxe ou même, de plus en plus, par des générateurs atomiques. Les réseaux de radionavigation hyperboliques, comme on le sait, comprennent des chaînes d'émissions synchronisées dont on mesure à l'arrivée les différences de phase. Il est évident que le moindre écart de fréquence se traduirait par un balancement des hyperboles et des erreurs de repérage. Tout le monde connaît le DECCA qui fonctionne en ondes entretenues pures sur des fréquences échelonnées autour de 100 kHz. Le LORAN C utilise des impulsions découpées dans une émission à 100 kHz exactement ; on peut apprécier à la réception l'instant de ces impulsions propagées par l'onde de sol, à 0,1 μ s près. Enfin le système OMEGA met en œuvre des stations géantes qui émettent cycliquement sur 10,2 et 13,6 kHz, les récepteurs gardant la mémoire de chacune des phases reçues. Dans ces divers systèmes, la stabilité à l'émission reste de quelques 10^{-11} .

Tout à l'heure j'ai cité la navigation à l'horloge. Vous savez qu'elle consiste à disposer, à bord du véhicule, d'une horloge rigoureusement mise à l'heure au départ avec une horloge restant au sol et pilotant un émetteur d'impulsions. Lorsque le véhicule se trouve à une certaine distance de cet émetteur, il reçoit les impulsions avec un retard qu'il lit sur son horloge et qui lui donne la distance. Là encore il faut des stabilités de quelques 10^{-11} . On a même proposé un système d'alarme anti-collision pour les avions

faisant la queue aux alentours d'un aéroport embouteillé. Tous les avions étant supposés posséder une horloge absolument synchrone des autres et émettant des impulsions, chacun d'eux serait averti d'un danger s'il recevait un signal avec un retard inférieur à une valeur critique.

Mais quittons les vues d'avenir pour revenir aux progrès déjà acquis dans les générateurs de fréquence. Une opinion assez répandue est que les quartz sont périmés et que les étalons atomiques les remplacent. *C'est une erreur* ; au contraire, les étalons atomiques ne peuvent être utilisés sans quartz de haute stabilité. Les progrès sont donc toujours nécessaires ; M. GLOWINSKI nous en parlera dans un instant. Quant aux étalons atomiques, M. UEBERSFELD va nous faire une mise au point sur l'état actuel et les projets immédiats dans ce domaine.

Enfin pour juger des performances de générateurs de fréquence, on doit, bien entendu, les comparer à des étalons. Il faut dire que, lorsqu'il s'agit d'étudier les étalons eux-mêmes, on finit par être bien gêné. A quoi les comparer ? Autrefois c'était bien simple : on les comparait au mouvement des astres dont la mécanique céleste assurait la pérennité. A l'heure actuelle, on s'aperçoit que la mécanique grince un peu, la Terre ne tourne pas bien rond et finalement, c'est elle que l'on doit comparer aux étalons atomiques. En conséquence, lorsque l'on veut déterminer la stabilité des étalons les plus perfectionnés, par exemple les masers à hydrogène, on en est réduit à en construire une paire, à en garder un exemplaire comme référence, et faire les expériences de variations sur le second.

Quoi qu'il en soit, M. GABRY vous exposera certaines méthodes de comparaison soit en local, soit à distance. Je terminerai ce préambule en citant les résultats de deux opérations très récentes de comparaisons d'étalons à l'échelle mondiale. Déjà des comparaisons d'horloges par l'intermédiaire du satellite Telstar avaient permis en 1962 d'atteindre la micro-seconde entre l'Amérique et l'Europe, et le transport d'étalons atomiques avait également frayé le chemin à de nouvelles opérations. Au mois de février dernier, l'emploi du satellite Relay a permis de comparer, par une méthode inspirée des « coups croisés », les horloges des stations terriennes du Japon et de Californie à 0,1 μ s près. A la même époque deux horloges à césium Hewlett-Packard transportées en fonctionnement par avion à travers le monde entier ont donné une erreur de fermeture de 13,2 μ s en 42 jours, c'est-à-dire un écart de fréquence de $3,6 \cdot 10^{-12}$. On a pu également vérifier que des étalons primaires à césium ajustés *a priori par construction*, à Neuchâtel et à Boulder, ne se sont écartés que de 49 μ s sur une période de 270 jours, c'est-à-dire étaient d'accord à $2,1 \cdot 10^{-12}$ près.

PROGRÈS RÉCENTS DES QUARTZ

LES QUARTZ ÉTALONS*

PAR

A. GLOWINSKI

*Ingénieur des Télécommunications
Centre National d'Etudes des Télécommunications*

1. Introduction

Lorsqu'on parle aujourd'hui de stabilisation de fréquence, on pense aux horloges atomiques. Mais si ces étalons ont dépassé les étalons à quartz, ils ne les ont pas remplacés : l'étalon de référence sera atomique, les étalons de travail seront des oscillateurs à quartz. On arrive actuellement à des stabilités remarquables, disons tout de suite, quelque 10^{-11} par jour.

Les étalons courants sont maintenant des quartz 1 MHz, 2,5 MHz, partiel 5, et plus récemment 5 MHz, partiel 5.

2. Considérations générales

Pour obtenir des cristaux stables et présentant un vieillissement très réduit, il faut que le quartz soit perturbé le moins possible par des corps étrangers : on est donc conduit à utiliser du quartz de bonne qualité présentant peu de défauts internes, à nettoyer très soigneusement les cristaux, à déterminer les moyens de fixation les moins perturbateurs, et enfin à enfermer le tout dans un boîtier sous vide poussé. Malheureusement, lorsqu'on atteint les domaines de stabilité actuels, on constate que certains paramètres que l'on pouvait négliger auparavant, interviennent.

Finalement, le coefficient de surtension du résonateur donnera une bonne idée d'ensemble de ce que l'on a réalisé.

Toutes les précautions que nous venons d'indiquer seront encore inutiles si la géométrie du cristal n'est pas convenable. Nous reviendrons sur ce point par la suite.

3. Élaboration d'un résonateur

3.1. CHOIX DU MATÉRIAU

Pour éliminer les défauts internes, on peut sélectionner des cristaux naturels presque parfaits, ou utiliser le quartz de culture de qualité supérieure. Les résultats sont d'ailleurs comparables. WARNER, aux Laboratoires du « Bell System » a obtenu des cristaux très purs par une véritable électrolyse : il chauffe le quartz vers 400 à 520 °C, au-dessous de la température de transition α - β (573 °C), et, en appliquant un champ électrique très élevé, il déplace les impuretés, en majorité ions alcalins et H^+ , dans les régions périphériques que l'on élimine ensuite pour obtenir le quartz purifié. Cette technique n'est pas encore du domaine industriel, en raison d'un coût trop élevé. Signalons un point qui pourrait intéresser les militaires : le quartz ainsi traité est remarquablement stable sous irradiation.

3.2. GÉOMÉTRIE DU RÉSONATEUR

Les résonateurs sont des lames circulaires, de coupe AT, vibrant en cisaillement d'épaisseur, donc c'est cette épaisseur qui est déterminée par la fréquence que l'on désire ; reste à choisir le diamètre. Si on peut utiliser des résonateurs de grand diamètre, il est plus facile de faire un bon quartz, c'est-à-dire que la valeur à adopter sera moins critique. Mais à une époque de miniaturisation, on a besoin de cristaux peu encombrants, et, pour les diamètres plus faibles, il existe des valeurs optimales hors desquelles il deviendra difficile de faire un bon cristal : par exemple 15 mm pour un 5 MHz partiel 5. Une étude est en cours sur cette question et, dans l'avenir, on pourra sans doute diminuer encore les diamètres sans altérer la qualité des résonateurs.

3.3. LES ÉLECTRODES

Un souci constant dans la réalisation des résonateurs est de perturber le quartz au minimum, et de

(*) Conférence prononcée le 25 mai 1965, au cours de la demi-journée d'études de la 8^e section de la SFER et de la 5^e section de la SFE sur la Stabilisation des Fréquences.

mettre le moins possible de corps étrangers en contact avec le résonateur, en particulier, dans la partie active du cristal. Les métallisations classiques sont circulaires et recouvrent la partie centrale du cristal, qui est justement la partie la plus active pour les résonateurs utilisés dans les étalons, répétons-le, coupe AT, cisaillement d'épaisseur.

On peut donc chercher à laisser libre la partie centrale active : on déposera alors des électrodes annulaires.

La surtension augmente effectivement, mais aussi la capacité statique, et le gros inconvénient est un couplage important avec les modes parasites puisque la métallisation est périphérique.

Il existe une autre méthode pour obtenir une surtension élevée en laissant la partie centrale libre de métallisation ; c'est la méthode du champ parallèle indiquée par le Docteur R. BECHMANN (qui est maintenant aux US Army Electronics Laboratories). Les électrodes classiques ou annulaires produisent un champ normal au disque. Dans cette méthode, les électrodes recouvrent sur chaque face un peu moins d'un demi-cercle, laissant une bande non métallisée parallèle à l'axe X, et produisent un champ parallèle au disque. La surtension est très élevée, les parasites sont peu couplés, mais l'inductance est très forte, et le quartz est difficile à utiliser dans un oscillateur.

3.3.1. Les quartz à champ composé

En combinant ces deux types d'électrodes annulaires et semi-circulaires on obtient une excitation par le champ résultant des deux composantes normale et parallèle : c'est le quartz à champ composé, réalisé au Laboratoire d'Étalons à Quartz de l'Observatoire de Paris. On détermine les électrodes de façon à obtenir une résultante suivant l'axe Y du quartz, et non plus l'axe Y' du disque. On atteint ainsi des surtensions très élevées : jusqu'à 10^7 (valeur maximale) pour les 1 MHz, $2,5 \cdot 10^6$ pour les 5 MHz, partiel 5.

Avec des métallisations classiques, les quartz de la Bell, préparés comme nous venons de le voir, atteignent en 1 MHz et 2,5 MHz partiel 5, environ $2,5 \cdot 10^6$ et $3,5 \cdot 10^6$.

3.4. LES SUPPORTS

Les supports ont une importance fondamentale pour la surtension et le vieillissement. Les cristaux utilisés sont des disques circulaires, de coupe AT, vibrant en cisaillement d'épaisseur. Les faces sont, en général, sphériques. Ce genre de résonateur est fixé sur la périphérie en deux ou trois points.

Aux Bell Laboratories, où les trois points sont les plus fréquents, on recherche une très grande précision dans le centrage respectif du quartz et des trois rubans de fixation en nickel, pour éviter toute contrainte dans les supports : l'effet immédiat serait une diminution de la surtension, et l'évolution lente de ces contraintes mécaniques interviendrait de façon très nuisible pour la stabilité à long terme.

On fixe en général le quartz aux supports par des ciments conducteurs spéciaux. Toujours dans un souci de pureté, on utilise le moins possible de ciment : la migration des constituants, aussi bien dans les électrodes déposées sur le cristal que dans le cristal

lui-même, est un facteur d'instabilité, et les contraintes apportées par ce point de fixation diminuent avec sa surface ; il faut tout de même respecter des impératifs de solidité et adopter un compromis.

A l'Observatoire de Paris, M. IANOUCHEVSKY fixe les cristaux en deux points par thermocompression. Au prix de quelques précautions, ce mode de fixation exerce moins de contraintes sur le quartz, et l'argent, métal utilisé dans la soudure, semble être un élément moins néfaste que les ciments classiques.

3.5. LA PROPRIÉTÉ DES CRISTAUX, LES BOÎTIERS ET LEURS INFLUENCES SUR LE VIEILLISSEMENT

A la Bell, on a mis au point une technique de nettoyage très raffinée, pour tous les éléments qui vont constituer le résonateur : étuvage et dégazage préalables des supports, des boîtiers et du quartz.

Chaque constituant subit un cycle de nettoyage et de dégazage. Les métallisations sont faites sous vide poussé. Pour obtenir des vides très propres, les techniciens de la Bell ont éliminé tout pompage à huile, et n'utilisent plus que des appareils à pompage ionique, ce qui donne des métallisations très pures. Le pompage primaire est cryogénique : on élimine ainsi des vibrations, sources d'imprécisions mécaniques.

Après fixation au support, l'ensemble subit encore un cycle de nettoyage, puis c'est la fermeture. A l'heure actuelle, aux Bell Laboratories, on utilise des boîtiers métalliques fermés à froid. Pourquoi la fermeture à froid ? La soudure des boîtiers tout verre exige des températures élevées, et la soudure utilisée pour les boîtiers métalliques contamine ceux-ci.

D'autre part, le comportement du quartz ne sera pas le même dans un boîtier en verre et dans un boîtier métallique.

Les quartz sous verre voient leur fréquence augmenter au cours du temps : on attribue ce phénomène aux propriétés d'adsorption des différents matériaux en présence : l'ampoule de verre va donc adsorber les gaz résiduels (surtout vapeur d'eau et gaz carbonique) et la perte de masse du quartz augmente la fréquence.

En revanche, le métal du boîtier adsorbe moins ces gaz, le quartz va se charger et sa fréquence va diminuer.

La fermeture à froid de boîtiers métalliques est donc plus propre que les fermetures à chaud avec soudure. Mais le plus favorable sera une fermeture à froid, c'est-à-dire, sans soudure, sous très forte pression, combinée avec un étuvage. On peut donc parler de fermeture « à froid », à chaud. Et l'intérêt de la thermocompression se manifeste encore puisqu'elle permet d'étuver à des températures plus élevées qu'avec les ciments classiques.

4. Performances des étalons actuels — vieillissement

Actuellement les productions sont encore réduites, et les résultats statistiques font défaut en ce qui concerne les caractéristiques de vieillissement des différents résonateurs.

Signalons pourtant qu'un pas vient d'être franchi en ce domaine aux laboratoires de l'Armée aux USA, puisqu'on vient d'y mettre en œuvre un ensemble de mesure automatique de vieillissement : 90 résonateurs à quartz sont placés dans des enceintes régulées à $1/100$ °C. Chacun d'eux est incorporé successivement à un oscillateur, et on mesure sa fréquence. On porte sur cartes perforées les données : date de la mesure, numéro du résonateur, fréquence (8 chiffres), et on obtient tous les renseignements statistiques par un ordinateur.

Quels sont les résultats actuels et les performances auxquelles on peut s'attendre : nous avons consulté les mesures de deux laboratoires : le Département « Fréquences » du CNET et l'Observatoire de Paris.

Au département « Fréquences », plusieurs quartz sont en cours de vieillissement :

— Deux quartz à 2,5 MHz, de « Frequency Electronics » : après 120 jours, l'un atteint un taux de 10^{-10} /jour, l'autre, après 60 jours, est à $2 \cdot 10^{-11}$ /jour.

— Un quartz 1 MHz, Hewlett-Packard, est après 300 jours à $7 \cdot 10^{-11}$ /jour.

— Un quartz Ianouchevsky 1 MHz, dont le vieillissement n'a pas été très régulier, est après un an à $2 \cdot 10^{-11}$ /jour.

— Enfin, un quartz Sulzer 2,5 MHz, qui avait très bien commencé, $2 \cdot 10^{-11}$ /jour après un an, et qui a vu son fonctionnement arrêté accidentellement (grève EDF !) pendant quelques heures, est revenu, après un départ à 10^{-9} /jour, à $3 \cdot 10^{-11}$ /jour, 40 jours après l'interruption. Ce phénomène, ainsi qu'un déplacement de la fréquence du quartz, sont dus à l'interruption, mais les mécanismes mis en jeu ne sont pas connus.

Les résultats de la Bell sont du même ordre de grandeur : on nous a montré la courbe de vieillissement d'un des meilleurs quartz 2,5 MHz, qui, après 6 mois, faisait environ 10^{-10} /mois, soit un peu mieux que $1 \cdot 10^{-11}$ /jour.

A l'Observatoire de Paris, on a les résultats suivants :

— Un quartz Sulzer 5 MHz, qui fonctionne continuellement depuis le 12-12-1963, a une accélération de $4 \cdot 10^{-11}$ /jour en février 1965 (soit après environ 420 jours).

— Un quartz « Frequency Electronics » 2,5 MHz, qui fonctionne continuellement depuis le 20-11-64, est en février 1965, soit après 90 jours, environ à $2 \cdot 10^{-11}$ /jour.

— Enfin un quartz James Knight's à 1 MHz, en fonctionnement depuis fin 1961, arrêté quelques jours et remis en route le 4-2-64, est à $2,3 \cdot 10^{-11}$ /jour en février 1965. Ce quartz est nettement un des meilleurs de la production James Knight's.

Les quartz 5 MHz partiel 5, sur lesquels on a encore peu de mesures, donneront des taux de vieillissement sans doute plus faibles, puisque, relativement à l'énergie mise en jeu, la surface perturbée par des actions extérieures est bien plus faible que pour un quartz vibrant sur fondamental : on peut s'en faire une idée en assimilant un cristal sur partiel 5, par

exemple, à la superposition de cinq résonateurs fondamentaux, et seules les deux faces extérieures de deux résonateurs externes sont métallisées, sur les autres faces, les seules contraintes sont celles dues aux frottements internes de la matière.

5. Quelques réalisations récentes

Nous avons particulièrement insisté sur les oscillateurs à quartz de très haute stabilité. Mais à part ces étalons, on fait d'excellents oscillateurs, et nous allons voir rapidement quelques réalisations récentes en ce domaine.

5.1. LA COMPENSATION DE TEMPÉRATURE

En ce qui concerne la stabilité en température, les techniques de compensation donnent de bons résultats, sans augmentation de volume. La compensation par circuit passif à thermistor, est basée sur les variations, en fonction de la température, d'une capacité non linéaire en série avec le quartz. Plusieurs méthodes sont disponibles : on peut utiliser une capacité non linéaire dont la polarisation est commandée par thermistance. Quoi qu'il en soit, entre 17 et 32 MHz, on a déjà obtenu des compensations donnant une dérive de $2 \cdot 10^{-6}$, de -27 °C à $+55$ °C. Ce qui est remarquable, c'est que le résonateur et son circuit de compensation, sont contenus dans un boîtier de format HC/6.

5.2. LES CRISTAUX HAUTE-FRÉQUENCE. L'ÉNERGIE PIÉGÉE

La réalisation la plus intéressante malgré tout, se place dans le domaine des fréquences supérieures à 15 MHz. Ces réalisations sont basées sur la théorie de l'énergie piégée. Voyons rapidement de quoi il s'agit : les résonateurs AT vibrant en cisaillement d'épaisseur, présentent, pour ce mode de vibration, une fréquence de coupure qui correspond à une lame vibrant en demi-onde. Le point intéressant est que la métallisation, créant une surcharge, abaisse cette fréquence de coupure. C'est-à-dire qu'une vibration dont la fréquence se trouve entre les fréquences de coupure de la partie métallisée et de la partie libre, peut se propager sous la métallisation, mais est très rapidement amortie à l'extérieur. Cependant, ces modes sont couplés avec des modes de flexion et de cisaillement qui peuvent se propager dans tout le cristal. En jouant sur les dimensions de l'électrode, on peut arriver à affaiblir très fortement ces modes dissipatifs d'énergie. Le paramètre important est le rapport diamètre de l'électrode/épaisseur du cristal, et le coefficient de surtension est une fonction à peu près périodique de ce rapport, qui présente des valeurs théoriques maximales de 10^8 ! En combinant ce résultat avec une réduction de la surface d'électrode, on arrive à supprimer également les vibrations inharmoniques.

Bref, des cristaux ont été réalisés, qui présentent un spectre très pur, les parasites étant à plus de 40 dB. On voit tout l'intérêt de tels cristaux pour les filtres et les oscillateurs, en particulier pour les cristaux sur partiel vers 60 ou 100 MHz.

Cette théorie trouve une application assez spectaculaire dans le domaine des filtres à quartz, puisqu'on a réalisé tous les résonateurs d'un filtre donné (4 ou 6) sur la même lame de quartz.

6. Conclusion

Ces quelques exemples montrent que, dans le domaine des oscillateurs à quartz, les exigences

augmentent comme dans la plupart des applications de l'électronique : on a besoin de stabilité et de fiabilité accrues (ce dernier point étant encore assez mal étudié dans notre domaine), en même temps que de volumes de plus en plus réduits et de performances mécaniques très élevées, pour les applications spatiales. Les résultats que nous venons de passer en revue sont très encourageants, et on peut raisonnablement penser que les oscillateurs à quartz n'ont pas dit leur dernier mot.

LES ÉTALONS ATOMIQUES ET MOLÉCULAIRES DE FRÉQUENCE *

PAR

J. UEBERSFELD

et

M. OLIVIER

*Professeur. Faculté des Sciences de Paris
Laboratoire de l'Horloge Atomique. Besançon*

*chargé de recherches
C.N.R.S.*

1. Généralités

Les standards de fréquence atomiques et moléculaires ont été développés au cours de la dernière décennie : Ils atteignent un degré de précision tel qu'il surpasse celui des standards astronomiques : Une précision de 10^{-11} est maintenant courante, et une amélioration apparaît encore possible.

Les standards de fréquence atomiques ou moléculaires sont basés sur le fait qu'un rayonnement électromagnétique ne peut échanger de l'énergie avec un atome que si la différence ΔE d'énergie entre deux niveaux quantifiés de l'atome est reliée à la fréquence du rayonnement ν par la relation d'Einstein

$$\Delta E = h \nu$$

Il existe deux catégories d'étalons de fréquence : les uns utilisent des étalons moléculaires passifs, et dans ce cas on asservit en fréquence un oscillateur sur la raie d'absorption moléculaire, les autres font appel à des masers oscillateurs : on peut alors utiliser un oscillateur électronique asservi en phase sur l'oscillateur moléculaire.

Les qualités d'un standard de fréquence peuvent se décrire par son exactitude, sa précision, et sa stabilité à court et long termes.

- L'exactitude est la qualité d'un standard de fréquence qui fournit une fréquence qui coïncide avec la fréquence de la transition moléculaire.

- La précision est relative à la mesure de fréquence proprement dite, elle traduit l'erreur aléatoire d'une mesure de fréquence.

- La stabilité est mesurée par le carré moyen des fluctuations de fréquence, obtenu dans une série de

mesures : sa valeur dépend de la durée de mesure et l'on distingue les fluctuations à court terme et les fluctuations à long terme portant sur plusieurs jours.

Les techniques d'observation firent d'abord appel à l'absorption à la résonance par le gaz, technique qui fut rapidement abandonnée par suite de la grande largeur de raie spectrale due à l'effet Doppler. On n'utilise actuellement que les techniques du jet atomique, le principe du maser ou les méthodes de pompage optique.

2. Étalons passifs à jets atomiques

Les techniques de jets atomiques ont été utilisées avec succès pour l'observation des transitions magnétiques hyperfines du césium et du thallium.

Les standards de fréquence au Cs^{133} , fonctionnant à 9 192 631 770 Hz, ont connu un développement très poussé et ont rapidement atteint une exactitude de 10^{-11} , si bien que la fréquence de la transition atomique du Cs^{133} a pu être choisie pour définir un étalon provisoire de mesure du temps.

Tous les appareils utilisent la méthode des champs oscillants séparés préconisée par Ramsey. Elle permet la réalisation d'un espace d'interaction plus grand, donc une plus grande finesse de raie. L'intégration sur les différentes vitesses des atomes donne une forme de résonance présentant une raie centrale très marquée (fig. 1), dont la largeur varie entre quelques dizaines et quelques centaines de Hz suivant les tubes utilisés. Nous donnerons quelques précisions sur les recherches très poussées qui tendent à donner au standard au Cs une exactitude de l'ordre de 10^{-12} (voire même 10^{-13}).

Le thallium a également été utilisé. Il présente sur le Cs l'avantage d'avoir un spectre Zeeman plus simple, une moins grande dépendance vis-à-vis du champ magnétique, une plus grande intensité du signal. Sa fréquence élevée permet d'obtenir une meilleure précision relative. La raie d'absorption du thallium

(*) Conférence prononcée au cours de la demi journée d'études, commune de la 8^e section de la SFER et de la 5^e section de la SFE, le 25 mai 1965.

est proche de 21 310 833 945 Hz. Les difficultés techniques qui apparaissent dans la mise en œuvre d'un étalon au Tl sont liées à des difficultés de détection du jet qui ont, jusqu'à présent, limité son utilisation.

FIG. 1. — Enregistrement de la raie centrale du type Ramsey d'un standard au césium.



3. Étalons actifs

La technique du maser a été utilisée tout d'abord sur le spectre d'inversion de la molécule d'ammoniac. Un focaliseur électrostatique traversé par le jet de molécule d'ammoniac sépare, par effet Stark, les deux niveaux d'inversion de la raie 3-3 de $N^{14}H_3$. Le faisceau de molécules traverse une cavité micro-

onde où, par émission stimulée, elles émettent des radiations qui permettent d'entretenir une oscillation radiofréquence.

Des améliorations ont été apportées au maser à NH_3 , améliorations portant sur l'emploi d'un double faisceau de molécules (fig. 2) et sur l'utilisation, soit de la raie 3-2 de $N^{14}H_3$, soit de la raie 3-3 de $N^{15}H_3$.

Des systèmes d'accord automatique de la cavité permettent d'éviter l'entraînement en fréquence dû à celle-ci. A l'heure actuelle, les standards de fréquence à l'ammoniac ont une exactitude de 10^{-11} , une précision de 10^{-11} et une stabilité à long terme voisine de 10^{-11} .

Le maser à hydrogène utilise une transition entre les niveaux magnétiques hyperfins de l'état fondamental $2S\ 1/2$ de l'atome d'hydrogène. La fréquence est égale à 1 420 405 751 Hz. L'hydrogène atomique obtenu à partir d'une décharge radiofréquence passe sous forme de jet à travers un sélecteur à champ inhomogène qui focalise les atomes de l'état d'énergie supérieur ($F = 1, m = 0$) sur l'ouverture d'un bulbe de quartz recouvert de téflon, placé à l'intérieur d'une cavité hyperfréquence. Un temps d'interaction très long, de l'ordre de la seconde, est obtenu : les molécules sont stockées dans le bulbe et les collisions contre les parois n'entraînent qu'une faible probabilité de perturbation de l'état excité (fig. 3). La stabilité obtenue est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-12}$, l'exactitude est voisine de 10^{-11} . Des améliorations sont encore possibles.

4. Cellules à gaz

La technique du pompage optique a été appliquée avec succès à une cellule à gaz utilisant du Rb^{87} . La résonance microonde est détectée par variation de l'absorption optique de la lumière de pompage. Un gaz-tampon permet de prolonger la durée de vie du niveau excité. Les standards de fréquence au rubidium ont une excellente stabilité à court terme, de l'ordre de 10^{-11} , mais l'exactitude est affectée par les collisions avec le gaz-tampon, par l'influence de la distribution spectrale et de l'intensité de la lumière de pompage. Elle ne dépasse pas 10^{-11} .

A l'heure actuelle, un certain nombre de standards de fréquence atomiques et moléculaires utilisant des

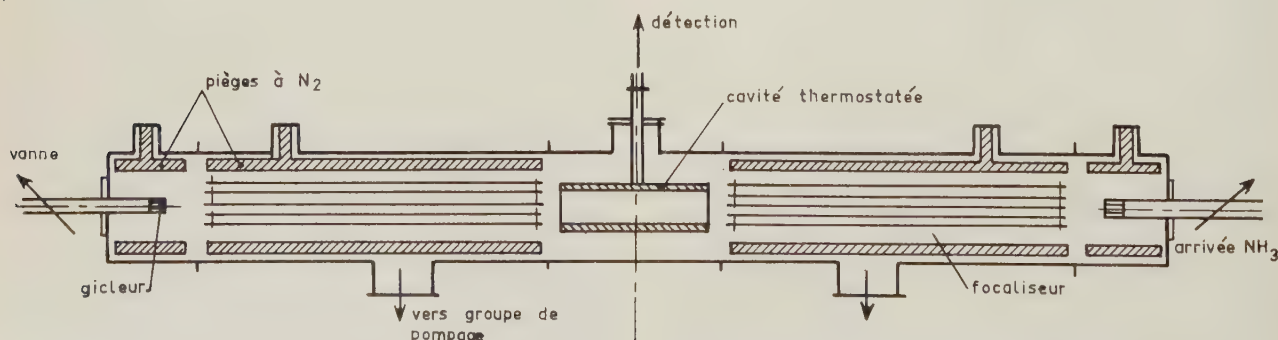


FIG. 2. — Schéma d'un maser à NH_3 à double jet

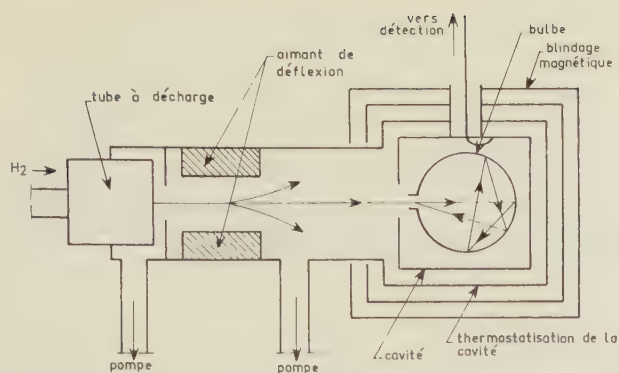


FIG. 3. — Schéma d'un maser à hydrogène

étalons au césium ou des cellules à gaz au rubidium sont disponibles dans le commerce. Un grand effort technique est fait pour améliorer les performances de ces étalons, en même temps qu'un effort de standardisation permet de réduire leur encombrement, leur prix, et améliore la stabilité de ces dispositifs. L'amélioration des performances est obtenue par l'analyse détaillée des phénomènes qui entraînent des fluctuations ou des dérives de fréquence et par la mise en œuvre de dispositifs permettant d'éliminer ces effets. La précision théorique limite des étalons au Cs et du maser à hydrogène n'est pas encore atteinte et une exactitude de l'ordre de 10^{-13} pourrait être obtenue par améliorations techniques de ces étalons.

4.1. TUBES A JETS ATOMIQUES

Considérons tout d'abord les phénomènes affectant la précision des tubes à jets atomiques, tels que jets de césium et de thallium. On peut distinguer :

A) *Les effets directs liés aux phénomènes quantiques :*

Interaction du faisceau moléculaire avec les gaz résiduels lorsque le vide est insuffisant.

Influence de résonances voisines : l'entraînement de fréquence qui en résulte dépend de l'amplitude de ces raies et de leur éloignement.

Effet Bloch-Siegert, qui peut être produit par deux champs oscillant en sens inverse, ou par une composante due à des harmoniques mal filtrés à la sortie d'un ensemble de multiplication lorsque cet ensemble est utilisé pour exciter la raie.

B) *Les effets liés au faisceau et à l'excitation :*

La principale source d'erreur est due à une asymétrie de la résonance. Elle peut être provoquée par une différence de phase entre les champs d'excitation dans les deux régions d'interaction, par des variations spatiales du champ continu, ou par celle du champ microonde (effet Millman).

Cette asymétrie peut donner une fréquence d'asservissement qui ne coïncide pas avec la fréquence de la transition moléculaire. L'asservissement, qui est obtenu par modulation du signal d'excitation, peut alors dépendre, soit de l'indice de modulation, soit du

niveau d'excitation, soit de l'alignement du faisceau. Signalons encore l'entraînement dû à la cavité, proportionnel à $\left(\frac{Q_c}{Q_r}\right)^2$, et qui peut produire un effet de

l'ordre de 10^{-11} , et un effet Doppler, le plus souvent négligeable lorsque la longueur d'interaction est faible devant la longueur d'onde.

Dans les cellules à gaz, des phénomènes semblables aux précédents peuvent affecter la stabilité, mais nous avons, en plus, le problème posé par le « light shift » qui limite sérieusement la stabilité de l'étalon. Des variations faibles de la pression du gaz-tampon peuvent produire une dérive de fréquence. Bien que ces phénomènes puissent être atténués par un choix judicieux du gaz-tampon, ils interdisent l'emploi de cellules à gaz comme étalons primaires.

4.2. MASERS A HYDROGÈNE

Les masers posent des problèmes différents :

L'entraînement en fréquence par la cavité est relativement très important, car il est proportionnel à Q_c/Q_r . Il peut être éliminé par l'utilisation d'un critère d'accord tel que l'effet Zeeman, du moins sur les masers à ammoniac ; on peut utiliser cet effet pour asservir la fréquence du résonateur hyperfréquence sur la fréquence de la raie moléculaire.

La structure complexe de la raie 3-3 de $N^{14}H_3$ entraîne une variation de la fréquence en fonction des paramètres expérimentaux : tension appliquée au sélecteur d'état, débit moléculaire. L'emploi de la raie 3-2 de $N^{14}H_3$ ou de $N^{15}H_3$ qui n'a pas de structure quadripolaire permet d'éliminer cet inconvénient. Un entraînement de fréquence par ondes progressives dans la cavité est éliminé par emploi d'un double jet. A court terme, la stabilité du maser à ammoniac est excellente, il peut délivrer une puissance importante (10^{-9} W) et constitue une excellente source monochromatique hyperfréquence.

Les masers à hydrogène sont également sujets à l'entraînement de fréquence par la cavité. Un contrôle très strict de la température de celle-ci est nécessaire. On peut également rechercher un critère d'accord, qui peut être obtenu par élargissement de la raie en fonction du nombre de molécules dans le jet. La sensibilité du maser aux champs magnétiques nécessite un blindage très soigné, enfin un entraînement en fréquence dû aux collisions contre les parois peut atteindre $2 \cdot 10^{-11}$. La puissance de ce maser est actuellement encore très faible, de l'ordre de 10^{-12} W, ce qui introduit une difficulté d'asservissement en phase de l'oscillateur sur la fréquence de la raie atomique et limite sa stabilité à court terme.

5. Amélioration de la précision

Au cours des deux dernières années, un grand effort a été fait pour améliorer la précision des étalons de fréquence, et particulièrement celle de l'étalon au césium. On cherche à obtenir pour ce dernier une exactitude de l'ordre de 10^{-13} . Les améliorations, surtout d'ordre technique, portent sur les différents éléments de l'étalon (fig. 4) :

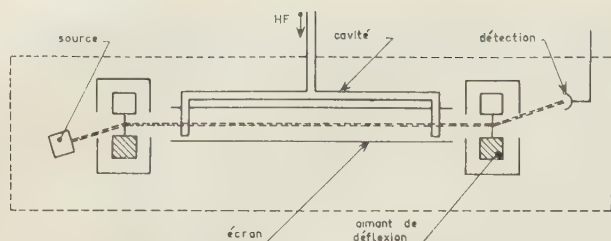


FIG. 4. — Schéma d'un tube au césium

a) Amélioration des méthodes de purification du césium pour augmenter la durée de vie du tube ;

b) Amélioration du système de collimation du faisceau, ce qui permet d'augmenter le rapport signal/bruit sans accroissement du débit. Le système de déflexion est constitué par des aimants hexapolaires.

c) Le champ magnétique continu qui permet de séparer les niveaux Zeeman est réalisé en blindant le tube pour éliminer le champ extérieur, on crée ensuite le champ par des bobines spéciales. L'amélioration portera ici sur une disposition particulière des bobines

permettant d'éviter au maximum les inhomogénéités du champ.

d) La cavité conventionnelle en forme de « U » peut créer de fortes distorsions. On emploiera une cavité dans laquelle le mode TE_{11} est utilisé aussi bien dans la partie coaxiale, obtenue par métallisation d'une paroi de quartz, que dans la région d'interaction. L'emploi de la cavité en quartz métallisée permet de réduire l'entraînement de la cavité.

6. Conclusion

Les premiers résultats obtenus (tube Varian BLR4) montrent une stabilité de fréquence de $5 \cdot 10^{-13}$. Ces résultats donnent à l'étalon au césium un sérieux avantage sur tout autre étalon. Actuellement, seul le maser à hydrogène demeure compétitif, mais les problèmes posés par la cavité de ce dernier demeurent ardues. Le maser à hydrogène a l'avantage d'être un étalon actif, ce qui permet d'éviter les erreurs dues au système d'asservissement. Il est encore trop tôt pour préjuger du choix définitif qui sera effectué entre ces deux étalons.

COMPARAISONS DE FRÉQUENCES

PAR

A. GABRY

Ingénieur au département Fréquences du C.N.E.T.

1. Introduction

Le développement récent d'oscillateurs de haute stabilité a permis d'envisager des mesures de fréquence avec une précision de plus en plus grande. En effet, la précision des mesures de fréquence n'est, en fait, limitée que par la stabilité ultime des oscillateurs. Pour le moment du moins, aucune limite de précision n'est à envisager si ce n'est celle due à l'instabilité propre des oscillateurs, à leur bruit. Sans doute les appareillage effectuant des mesures précises sont-ils plus complexes, mais la miniaturisation des composants a permis de résoudre ce problème au moyen d'appareils de faible encombrement.

Des mesures qui, il y a un peu plus de dix ans, pouvaient être considérées comme difficiles, sont actuellement tombées dans le domaine des mesures pouvant être effectuées par des non spécialistes.

Les compteurs électroniques effectuent d'une manière simple des mesures à $1 \cdot 10^{-8}$ près dans un domaine pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de mégahertz.

Nous nous attacherons plutôt à décrire les méthodes utilisées dans le but de mettre en évidence toute la précision possible dans le cas d'oscillateurs étalon.

En réalité, on peut envisager beaucoup de manières pour effectuer des mesures de fréquence. Nous serons cependant toujours amenés à mettre en comparaison deux fréquences, l'une étant mesurée par rapport à l'autre.

On pourrait considérer trois types de mesure :

- 1) par battements,
- 2) par génération d'harmoniques,
- 3) par observation permanente de la phase.

2. Mesures par battements

Les deux fréquences à comparer sont amenées, par transposition si nécessaire, dans le voisinage

l'une de l'autre de manière à pouvoir donner naissance à un battement basse fréquence dont on mesurera la période. Cette méthode est très commode et donne de bons résultats.

Quelques limitations pratiques s'imposent cependant : il faut que le battement obtenu reste dans certaines limites afin de rendre la mesure viable.

A titre d'exemple, supposons que nous ayons à mesurer deux fréquences voisines de 1 MHz ; si le battement est de 1 Hz, c'est que l'écart entre elles est de $1 \cdot 10^{-6}$. Si on veut mettre en évidence la précision de $1 \cdot 10^{-12}$, il faudra mesurer la période avec un compteur mesurant le temps à $1 \mu s$ près. Si ces fréquences sont plus voisines, comme cela se présente couramment, la durée de battement sera plus longue et la précision de mesure pourra être supérieure. Ainsi, un écart de $1 \cdot 10^8$ conduit à un battement de 100 s ce qui, avec le compteur précédent, aboutirait à une précision de mesure de $10^{-8} \times 10^{-2} \times 10^{-6} = 10^{-16}$ (écart des fréquences $\times$ fréquence du battement $\times$ unité de comptage), aussi, pour conserver la même précision de $1 \cdot 10^{-12}$ par unité de comptage, il suffira que ces dernières soient des centièmes de seconde. On note ainsi une simplification importante de l'appareillage.

Pour des raisons de commodité de mesure, on peut être amené à compter non pas la durée d'un battement, mais de dix battements ou plus. En raisonnant comme ci-dessus, on détermine rapidement, dans chaque cas, la valeur et la précision de la mesure, la seule opération arithmétique à faire étant de prendre l'inverse de la mesure du temps de battement pour obtenir un chiffre représentant l'écart de fréquence.

Si les fréquences à comparer sont plus voisines encore, la durée du battement deviendra bientôt prohibitive. Il est d'un usage courant d'utiliser alors une troisième fréquence suffisamment éloignée, de mesurer les deux fréquences par rapport à cette troisième et d'éliminer par soustraction celle-ci des résultats. On peut, de cette manière, établir un ensemble électronique de mesure répondant à la majorité des

cas couramment rencontrés à propos des étalons de fréquence.

Signalons à ce sujet quelle est la limite pratique de la précision des mesures. Elle dépendra de la qualité de chacune des fréquences mises en comparaison. Il est connu, par exemple, que des oscillateurs utilisant le principe du maser donnent des ondes de très grande pureté.

Si une mesure de bruit est faite entre des oscillateurs de qualités très différentes, on pourra admettre que la mesure représentera le bruit du moins bon oscillateur, ainsi on peut utiliser les masers comme étalons de pureté dans des mesures spectrales de bruit.

Sur de bons quartz utilisés en tant qu'oscillateurs indépendants, ou bien comme oscillateurs synchronisés par une résonance atomique, un aspect de bruit commun permet de constater les résultats suivants :

En fonction de la durée de mesure, la précision ultime est de l'ordre de $1 \cdot 10^{-9}$ pour 1 ms, $1 \cdot 10^{-10}$ pour 10 ms, $1 \cdot 10^{-11}$ pour 100 ms, suivant une loi approximativement linéaire, comme si une sorte de bruit de phase d'amplitude limitée se manifestait sur la fréquence observée. Puis, en augmentant la durée de mesure, cette proportionnalité cesse et, en général, les mesures faites ayant une durée se situant entre quelques secondes et quelques minutes laissent voir une acuité maximale voisine de 1 à plusieurs 10^{-12} . Si on observe dans un temps plus long, la dérive naturelle des quartz apparaît, plus ou moins prononcée, ou même nulle si le quartz est asservi à une résonance atomique.

Notons qu'il convient de faire le maximum pour que l'appareillage de mesure n'introduise lui-même un bruit atteignant l'ordre de grandeur du bruit à mesurer. Un problème se pose quand on utilise un maser, celui-ci n'étant pas, en général, sur une fréquence commode, et sa pureté étant considérée comme pureté de référence, il conviendra de soigner les circuits intermédiaires permettant la comparaison.

3. Mesures effectuées sur harmoniques

Une deuxième méthode consiste à multiplier les fréquences de base jusqu'à des niveaux de fréquence élevés, vers quelques GHz par exemple, soit directement soit par multiplications et soustractions successives de manière à faire apparaître l'écart entre les fréquences, directement accessible dans un dernier mélange. En général, on fait en sorte que l'écart ainsi multiplié soit porté par une fréquence commode dans le but, d'une part, de faire une mesure simple, d'autre part, de pouvoir observer le spectre de bruit.

A titre d'exemple, voyons comment on obtiendra la mesure comparative de deux fréquences voisines de 1 MHz. La fréquence référence sera de 1 MHz et la fréquence à mesurer sera $1 \text{ MHz} + \varepsilon$. Multiplions la référence par 9 et l'inconnue par 10, puis construisons un battement ; celui-ci sera : $10 \text{ MHz} + 10\varepsilon - 9 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz} + 10\varepsilon$. Un tel étage multiplie l'écart par 10. Il suffit d'accumuler successivement le nombre d'étages nécessaires pour obtenir la précision que l'on désire avoir. Par exemple, la mesure de la fréquence finale étant faite au compteur en une

seconde, six étages de multiplication aboutiront à $1 \cdot 10^{-12}$ comme précision maximale par unité de comptage.

Un intérêt de cette méthode est de donner d'emblée l'écart de fréquence ainsi que son sens directement sur l'affichage du compteur. On peut aussi facilement déterminer le spectre de bruit sur la fréquence finale. Celui-ci est relié au bruit des oscillateurs de base par un ensemble de circuits multiplicateurs-mélangeurs, il convient donc de vérifier si un bruit propre aux chaînes de comparaison ne serait pas introduit. Par ailleurs, l'aspect du bruit de phase ou d'amplitude au niveau des oscillateurs peut être très différent de ce qui est constaté en fin de chaîne.

4. Mesures effectuées par observation continue de la phase

Les deux méthodes précédentes laissent la possibilité, pour les deux fréquences, d'avoir un écart important jusqu'à plusieurs fois 10^{-7} , mais si les deux fréquences dont on dispose sont pratiquement identiques, on pourra envisager de faire un enregistrement de leur différence de phase au moyen d'un phasemètre convenable. La courbe de différence de phase pourra être graduée en temps, le temps d'observation permettra de donner le chiffre de l'écart des fréquences.

Voyons un exemple :

Supposons que nous disposions d'horloges à rubidium possédant chacune une sortie sur 5 MHz et qu'on se soit efforcé de les caler toutes les deux sur le temps atomique. Admettons qu'on pense avoir pour chacune d'elle ce temps à $1 \cdot 10^{-10}$ près. Sera-t-il possible de vérifier ces horloges l'une par rapport à l'autre ?

Comparons leurs phases, soit sur 5 MHz, soit par l'intermédiaire d'une transposition suivie d'un enregistrement permanent. S'il se trouvait que leur écart de fréquence soit $1 \cdot 10^{-10}$, quel glissement de phase remarquerions-nous ? La période par rapport à laquelle la comparaison est définie est $\frac{1}{5 \cdot 10^6} =$

$0,2 \mu\text{s}$. Le temps mis pour obtenir un glissement d'une période complète sera : $0,2 \cdot 10^{-6} \times 10^{10} = 0,2 \times 10^4 = 2\,000 \text{ s}$, environ une demi heure.

On voit qu'il est très facile de faire des mesures très précises sur des garde-temps calés chacun au mieux sur une définition donnée du temps. C'est le type de mesures pour lesquelles la précision augmente proportionnellement au temps d'observation. Si cette méthode est très intéressante localement, à l'intérieur d'un laboratoire, elle va nous permettre aussi de faire des comparaisons à l'échelle nationale et même internationale.

5. Mesures à distance par l'observation continue de la phase d'un oscillateur étalon

Supposons que nous recevions une émission étalonée et que nous ayons localement un oscillateur de très bonne qualité nous permettant de faire un enregistrement de la phase de cette émission par rapport à la phase locale, nous mettons en application

la troisième méthode de mesure décrite plus haut. Il conviendrait de distinguer trois cas principaux :

5.1. MESURE SUR LES ONDES TRÈS LONGUES

Supposons l'émission reçue, centrée dans la bande allant de 10 à 30 kHz. Un écart de $1 \cdot 10^{-10}$ provoquera pour 20 kHz, par exemple, un glissement d'une période en $50 \times 10^{-6} \times 10^{10} = 500\,000$ s soit en 6 jours environ, mais si on peut distinguer le dixième de période, un jour sera largement suffisant pour apprécier 1×10^{-10} . En fait, on peut faire mieux encore, ce qui permet d'avancer pour un jour d'observation le chiffre des 10^{-11} , même sur des émetteurs éloignés comme PANAMA (NBA), en prenant soin de choisir chaque jour le moment d'observation pour éliminer, en première approximation, les effets de la propagation.

Par ce moyen, on peut alors connaître, avec une précision voisine de $1 \cdot 10^{-11}$ pour un mois, le rapport des échelles de temps entre différents laboratoires situés à plusieurs milliers de kilomètres les uns des autres et, par suite, comparer les étalons atomiques de base entre eux. Si les appareillages dans les différents lieux fonctionnent sans défaillance, la précision s'accroît comme le temps d'observation, d'une autre manière, l'erreur absolue reste constante. Supposons que, d'une année à l'autre, elle reste inférieure à $10 \mu\text{s}$ sur l'observation des phases, la précision de comparaison moyenne pour l'année pourra être de 1 pour $365 \times 86\,400 \times 10^5 = 3 \cdot 10^{12}$ donc nettement meilleure que $1 \cdot 10^{-12}$. Il est bon d'insister sur le fait que, pour que cette évaluation ait un sens logique, il conviendrait que les étalons de base aient une qualité de cet ordre ; cela est à envisager pour l'avenir. Il suffirait qu'un émetteur stabilisé soit observé constamment de chaque laboratoire et que les enregistrements soient confrontés entre les différents laboratoires.

Rappelons que les mesures quotidiennes donnant le 10^{-10} ou 10^{-11} auraient été impossibles il y a quelques années, non pas par défaut d'appareillage éventuel, mais par le fait que les étalons ne se prêtaient pas à cette mesure par défaut de stabilité intrinsèque, il était bien possible de mesurer une phase, mais la numérotation de la période était impossible d'un jour à l'autre.

Nous avons envisagé d'abord le cas des ondes très longues car, les effets de propagation y sont faibles et assez mesurables pour pouvoir être éliminés, c'est le cas des émissions dont la fréquence est inférieure à 20 kHz.

5.2. MESURE SUR LES ONDES KILOMÉTRIQUES

Si nous recevons une émission kilométrique, pour fixer les idées une onde de 200 kHz, la même précision sera obtenue en 10 fois moins de temps. Les effets de propagation pour des émetteurs lointains seront sans doute beaucoup plus gênants mais il reste à vérifier à partir de quelle distance les mesures deviennent difficiles. Nous avons constaté, depuis la stabilisation du poste de radiodiffusion de DORTMUND, que d'excellentes mesures sont possibles dans la journée, en quelques heures, et que des mesures à $1 \cdot 10^{-11}$ près ne sont pas dépourvues de sens.

Il suffit de faire l'observation statistique et l'enregistrement de la phase pour arriver à cet excellent résultat. S'il était possible de piloter un émetteur semblable par un pilote utilisant une résonance atomique, un grand service serait rendu aux utilisateurs de fréquences étalon sur une vaste portion du territoire. Les utilisateurs, n'ayant pas besoin d'autant de précision, n'auraient aucun problème difficile à résoudre, ni aucune dépense excessive à faire, les appareillages de réception étant extrêmement simples.

5.3. MESURES SUR LES ONDES HECTOMÉTRIQUES ET DÉCAMÉTRIQUES

On peut poursuivre le raisonnement en élevant encore la fréquence de l'émission étalon. S'il est toujours possible de suivre la phase émise (émetteurs locaux), on pourra encore réduire le temps de mesure qui pourra vite être ramené à quelques minutes seulement pour tirer toute l'information de l'onde émise. Il faudra que le niveau de réception permette une écoute confortable éliminant les parasites industriels et les autres émetteurs émettant sur la même fréquence.

Il semble que cela soit une nouvelle destination pour ce genre d'émission, les émissions lointaines étant perturbées par la propagation, les erreurs introduites pouvant atteindre le 10^{-7} à certaines heures de la journée.

6. Conclusion

Nous pouvons conclure que, aussi bien localement qu'à distance, les mesures de fréquence sont possibles avec de grandes précisions et qu'elles pourraient accompagner les progrès accomplis sur les sources de fréquence étalon.

MÉCANISME PHYSIQUE DES LASERS MOLÉCULAIRES *

PAR

L. HENRY

*Laboratoire
de Spectroscopie Moléculaire*

et

F. LEGAY

*CNRS
Faculté des Sciences de Paris*

1. Introduction

Les études sur les lasers ont, depuis 1960, pris une extension considérable. Un grand nombre de lasers fonctionnant sur les transitions électroniques des atomes ou des molécules ont été mis au point, mais le vaste domaine des transitions purement vibrationnelles est resté négligé jusqu'en 1964. Cependant, depuis quelques années, des phénomènes de luminescence infrarouge produits par réactions chimiques [1], par excitation lumineuse [2], ou par transfert d'énergie vibrationnelle [3] ont montré qu'il était possible d'obtenir des molécules dans des états d'excitation vibrationnelle élevée. Au début de 1964, PATEL, par excitation directe de CO_2 puis de CO , a pu obtenir une émission laser vibrationnelle continue de faible intensité (quelques milliwatts) [4]. Peu après, l'utilisation de l'énergie vibrationnelle de l'azote activé était proposée [5] et un laser fonctionnant sur ce principe donnait quelques milliwatts en fin 1964 [6]. En utilisant également de l'azote activé, une puissance de 1 W était atteinte [7] au début de l'année 1965 et un grand nombre de transitions observées entre les niveaux des molécules CO , CO_2 et N_2O .

Depuis, de nombreux travaux ont permis la réalisation de lasers moléculaires de différents types fonctionnant sur des transitions vibrationnelles de plus en plus nombreuses et avec des puissances considérables [8]**.

2. Énergie de vibration-rotation des molécules

Nous donnerons quelques indications essentielles sur la structure des niveaux énergétiques des molécules. L'énergie d'une molécule peut, avec une très

bonne approximation, être considérée comme la somme des énergies de translation, de rotation, de vibration et de l'énergie électronique.

$$E = E_{tr} + E_{rot} + E_{vib} + E_{el}$$

A la différence des trois autres, l'énergie de translation n'est pas quantifiée. Nous ne nous occuperons pas des transitions électroniques. A l'intérieur d'un même niveau électronique, les niveaux de vibration-rotation peuvent s'écrire, exprimés en nombre d'onde (cm^{-1}), dans le cas d'une molécule diatomique [9] :

$$T = \omega (v + 1/2) + B_v J (J + 1)$$

où v est le nombre quantique de vibration, J le nombre quantique de rotation, ω la constante vibrationnelle et B_v la constante rotationnelle. Pour simplifier nous avons pris l'hypothèse de l'oscillateur harmonique. La constante B_v dépend faiblement de v par suite de la variation du moment d'inertie de la molécule suivant l'état de vibration. Chaque niveau de rotation J est $2J+1$ fois dégénéré. Les transitions optiques entre niveaux se font suivant les règles de sélection :

$$v' - v = \pm 1 \quad ; \quad J' - J = \pm 1$$

où les symboles primés désignent les nombres quantiques de l'état supérieur.

La règle de sélection sur le nombre quantique v n'est valable que pour un oscillateur harmonique. Les niveaux de vibration-rotation et les transitions possibles sont montrés schématiquement sur la figure 1. On voit qu'une bande de vibration-rotation est composée d'une branche R constituée par les raies des transitions $J' - J = +1$ et d'une branche P constituée par les raies des transitions $J' - J = -1$.

(**) Depuis que cette Conférence a été prononcée, une puissance d'environ 280 W a été annoncée au Centre de Recherche de la Compagnie Générale d'Electricité avec un laser à $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$, le rendement étant d'environ 10 %, — voir *l'Onde Electrique* de février 1966, page 266.

Un laser de 250 W a été également réalisé au Laboratoire de Spectroscopie Moléculaire de la Faculté des Sciences de Paris.

(*) Conférence prononcée le 15 décembre 1965 au cours de la demi-journée d'études des 2^e et 4^e sections de la SFER sur les " Progrès récents dans les lasers à gaz ".

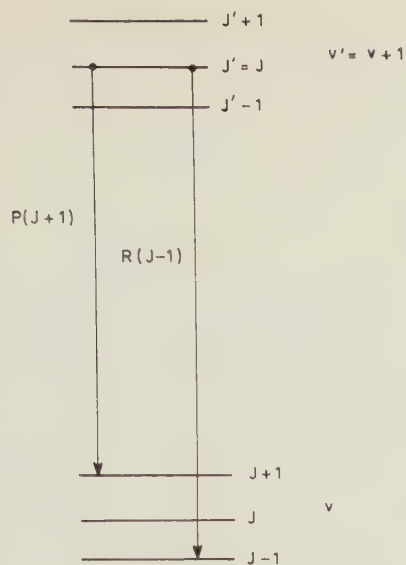


FIG. 1. — Schéma des transitions dans les branches P et R d’une bande de vibration-rotation

Dans le cas des molécules triatomiques linéaires, il existe trois modes de vibration représentés sur la figure 2. Le mode v_2 est doublement dégénéré, c’est-à-dire qu’il correspond, en fait, à deux vibrations de même fréquence. L’énergie des niveaux de vibration-rotation est alors, en première approximation [10] :

$$T = \omega_1 \left(v_1 + \frac{1}{2} \right) + \omega_2 (v_2 + 1) + \omega_3 \left(v_3 + \frac{1}{2} \right)$$
$$+ B_{v_1 v_2 v_3} [J(J+1) - l^2]$$

v_1, v_2, v_3 sont les nombres quantiques vibrationnels de chaque vibration, l est le nombre quantique du moment angulaire associé à la vibration doublement

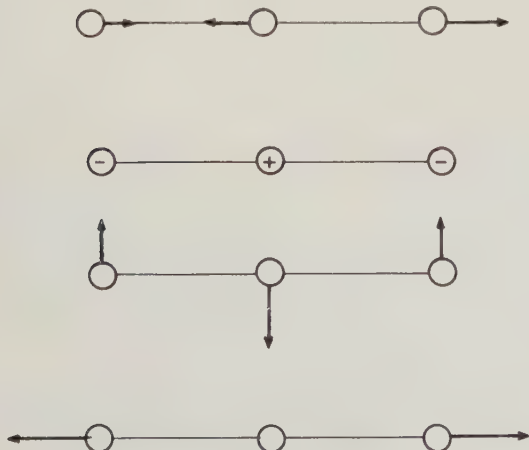


FIG. 2. — Modes de vibration d’une molécule triatomique linéaire

dégénérée v_2 . On montre que l peut prendre les valeurs :

$$l = v_2, v_2 - 2, \dots, 1 \text{ ou } 0$$

Si $l = 0$, on a les mêmes règles de sélection que pour la molécule diatomique et la même structure de bande, indiquée sur la figure 1. Si $l = 1$, on a, en plus des transitions précédentes, la transition permise $J' - J = 0$, ce qui donne naissance à une branche Q . Nous ne nous occuperons pas de ce cas.

Les niveaux de vibration sont désignés par la notation

$$(v_1 v_2^l v_3).$$

3. Durée de vie des niveaux de vibration-rotation

L’obtention d’un effet laser dépend essentiellement de la possibilité de créer et de maintenir des déséquilibres dans un milieu moléculaire qui tend, par suite des interactions entre ses différents éléments, à revenir à l’équilibre thermique. Il nous faut donc examiner quels sont les facteurs qui vont faire évoluer le système vers cet équilibre.

Dans la plupart des cas, on peut définir un temps de relaxation par l’équation :

$$\frac{dE(t)}{dt} = - \frac{E(t) - E(\infty)}{\tau}$$

où $E(t)$ est l’énergie d’un élément du système en interaction avec les autres éléments, $E(\infty)$ étant sa valeur à l’équilibre, au bout d’un temps infini. La décroissance est donc exponentielle et le temps de relaxation est identique à la durée de vie moyenne.

Nous sommes en présence de trois systèmes énergétiques distincts : translation, rotation et vibration.

Trois facteurs interviennent principalement dans le mécanisme des échanges d’énergie : les transitions radiatives, les collisions intermoléculaires et les collisions moléculaires sur les parois.

3.1. TRANSITIONS RADIATIVES

Les durées de vie radiative des niveaux vibrationnels sont connues, elles peuvent en effet être calculées à partir des mesures d’absorption infrarouge [11]. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

	N_2	CO	CO ₂			N ₂ O		
			v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
émission spontanée	∞	$3 \cdot 10^{-2}$	0,6 γ		$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,09	5,1	$3,9 \cdot 10^{-3}$
collisions (1 torr, 300°K)	> 10	> 10	$2,3 \cdot 10^{-3}$			$7,5 \cdot 10^{-4}$		
parois (tube $\varnothing$ 2 cm 400°K)	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$			$3 \cdot 10^{-4}$		

3.2. COLLISIONS INTERMOLECULAIRES

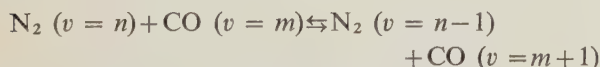
Les collisions intermoléculaires jouent un rôle considérable, même à des pressions faibles. Le temps de relaxation collisionnel est inversement proportionnel à la pression. Dans le cas de la translation, le temps de relaxation d'un groupe de molécules dont les vitesses ont été perturbées est de l'ordre de 10^{-7} s à un torr, à la température ordinaire. Le temps de relaxation de l'énergie de rotation pour se mettre en équilibre avec la translation est de l'ordre de 10^{-6} s à 1 torr. Pour la vibration, les durées de vie sont beaucoup plus longues dans le cas des molécules simples et peuvent atteindre plusieurs secondes [12, 2, 17]. Quelques valeurs sont portées dans le tableau I. Il apparaît que l'énergie de vibration est relativement bien isolée de l'énergie de translation et de rotation. La translation et la rotation se mettent donc très rapidement en équilibre thermique, tandis qu'une excitation vibrationnelle peut, dans certains cas, subsister beaucoup plus longtemps.

Des considérations théoriques [12] ont montré que

a) Le temps de relaxation est d'autant plus grand que le premier niveau vibrationnel est plus élevé. On le vérifie dans le cas de CO où le premier niveau est à 2143 cm^{-1} et dans le cas de CO_2 où le premier niveau est à 667 cm^{-1} .

b) Il existe une règle de sélection vérifiée en première approximation sur l'efficacité des collisions et que l'on peut énoncer ainsi : les transitions provoquées par les collisions sont du type $v' \rightarrow v' - 1$.

Les collisions moléculaires ont un autre rôle extrêmement important : elles assurent le transfert de l'énergie vibrationnelle d'une molécule à l'autre. En effet, des expériences récentes ont montré [3] qu'il était possible de transférer l'énergie vibrationnelle de l'azote excité par décharge électrique aux molécules CO, CO_2 et N_2O par des réactions du type :



Cet échange d'un quantum vibrationnel est possible par suite de la quasi-coïncidence des niveaux vibrationnels de N_2 et de CO

$$(v_{\text{N}_2} = 2331 \text{ cm}^{-1} ; v_{\text{CO}} = 2143 \text{ cm}^{-1}).$$

De même, le transfert se fait aisément sur les niveaux v_3 de N_2O (2224 cm^{-1}) et v_3 de CO_2 (2349 cm^{-1}).

On a pu montrer [12,13] que, en plus de la condition de résonance, il existait, en première approximation, la règle suivante :

$$v'_1 - v_1 = \pm 1$$

$$v'_2 - v_2 = \pm 1$$

Donc les collisions les plus efficaces sont celles où un seul quantum est échangé durant la collision entre les molécules 1 et 2.

L'importance de la condition de résonance est montrée sur la figure 3 où est portée la probabilité d'échange du premier quantum vibrationnel entre deux molécules diatomiques du type CO en fonction de la différence ε de leur fréquence de vibration, calculée d'après la théorie de RAPP [13].

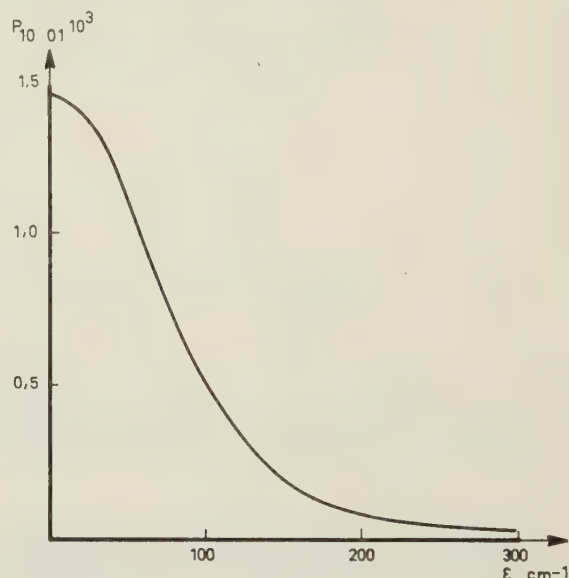


Fig. 3. — Probabilité d'échange d'un quantum entre les premiers niveaux vibrationnels de deux molécules de type CO au cours d'une collision en fonction de la différence d'énergie de ces niveaux.

Les collisions résonnantes ont donc pour effet de redistribuer rapidement l'énergie de vibration sur les niveaux de vibration et de faire tendre le système vers un équilibre de Boltzman vibrationnel. D'après cette même théorie on peut estimer le temps de relaxation de ce processus à environ 10^{-5} s à 1 torr pour l'oxyde de carbone (à une température de translation de 300°K). Ceci n'est qu'un ordre de grandeur et l'on manque de données expérimentales précises sur ce problème.

3.3. COLLISIONS MOLÉCULAIRES SUR LES PAROIS

Les parois peuvent jouer un certain rôle dans la désexcitation des niveaux. Le processus détaillé est mal connu ; cependant, on peut prévoir que, comme dans le cas des chocs intermoléculaires, la désexcitation sera d'autant plus rapide que l'écartement des niveaux est moindre. A très faible pression, le temps de relaxation est proportionnel au rapport du volume de l'enceinte à sa surface intérieure. Le tableau I donne les temps de relaxation de quelques molécules pour un tube de 14 mm de diamètre [18]. Ce sont des valeurs expérimentales relatives à l'ensemble de l'énergie de vibration sans distinction des différents niveaux d'énergie.

A partir d'une certaine pression, lorsque le libre parcours moyen est très inférieur aux dimensions de l'enceinte, les parois jouent un rôle de moins en moins important par suite de la difficulté de diffusion des molécules vers les parois. Cependant, en régime dynamique, le problème devient plus complexe par suite

du brassage du gaz. Si ce brassage est violent, on tend vers les valeurs obtenues à faible pression. Les résultats donnés dans le tableau correspondent à de telles conditions.

4. Mécanismes des lasers moléculaires

4.1. PROCESSUS D'EXCITATION

Un des moyens les plus commodes et les plus efficaces d'excitation vibrationnelle d'un gaz est une décharge électrique. Cette décharge peut être réalisée par un courant haute fréquence sans électrode ou par un courant continu ou à basse fréquence entre électrodes internes. On sait, par exemple, que l'azote pur activé par haute fréquence contient, dans certaines conditions expérimentales, 6 kcal/mole d'énergie vibrationnelle [14]. Le mécanisme de cette excitation est très mal connu, en particulier on ne connaît pas les vitesses de peuplement des différents niveaux. Le fait important est que l'excitation vibrationnelle obtenue est très intense (4 600 °K et plus) et, au contraire, la translation et la rotation sont très peu affectées (400 °K) [3,15].

4.2. INVERSION DE POPULATION

Comme le temps de relaxation de la vibration est faible, il est facile de maintenir par décharge électrique une forte excitation vibrationnelle.

La condition nécessaire pour obtenir un effet laser entre deux niveaux est d'avoir une inversion de population entre ces niveaux. L'amplification (ou l'absorption) d'un faisceau lumineux dans un milieu moléculaire se caractérise par un coefficient α défini par :

$$dI = I \alpha dx \quad (1)$$

où I est l'intensité d'un faisceau tombant sur une tranche du milieu d'épaisseur dx , suivant une incidence normale.

Si α est positif le faisceau est amplifié. Il est absorbé dans le cas contraire.

Le coefficient α , dans le cas d'un rayonnement de fréquence ν (en cm^{-1}) dans un intervalle de fréquence $d\nu$, s'écrit [11] pour les transitions entre deux niveaux i et s (i = niveau inférieur, s = niveau supérieur) :

$$\alpha(\nu) d\nu = \frac{h\nu}{c} (N_s B_{si} - N_i B_{is}) \mathfrak{J}(\nu - \nu_{is}) d\nu \quad (2)$$

où h est la constante de Planck, c la vitesse de la lumière, N_i et N_s le nombre de molécules dans le niveau inférieur et supérieur, par unité de volume, B_{is} et B_{si} respectivement les coefficients d'Einstein d'absorption et d'émission induite, $\mathfrak{J}(\nu - \nu_{is})$ la fonction de distribution des fréquences pour les transitions $s \rightarrow i$ centrées à la fréquence ν_{is} .

Dans le cas où l'élargissement des raies est dû à l'effet Doppler, ce qui est presque toujours le cas pour les pressions inférieures à 10 torrs, on a :

$$\mathfrak{J}(\nu - \nu_{is}) = \left(\frac{Mc^2}{2\pi RT \nu_{is}^2} \right)^{1/2} e^{-\frac{Mc^2(\nu - \nu_{is})^2}{2RT \nu_{is}^2}} \quad (3)$$

où M est la masse moléculaire, R la constante des gaz parfaits et T la température absolue de translation.

D'autre part, on sait que :

$$B_{is} = \frac{g_s}{g_i} B_{si} = \left| \int \psi_i^* \mu \psi_s d\tau \right|^2 \quad (4)$$

où g_s et g_i sont les multiplicités des niveaux s et i respectivement, ψ_s et ψ_i leurs fonctions d'onde, et μ le moment dipolaire de la molécule. L'intégrale, effectuée sur tout l'espace de configuration de la molécule, représente l'élément de matrice du moment dipolaire.

Le coefficient d'amplification maximale se calcule en faisant $\nu = \nu_{is}$ dans l'équation (3). On trouve alors, dans le cas où la rotation est complètement séparée de la vibration :

$$\alpha_M = \frac{8\pi^3}{3h} \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{1/2} |R^{vv'}|^2 S(J) \left(\frac{N_{v'J'}}{g_{v'J'}} - \frac{N_{vJ}}{g_{vJ}} \right) \quad (5)$$

où $|R^{vv'}|^2$ est le carré de l'élément de matrice de l'oscillateur ne tournant pas, $S(J)$ le carré de l'élément de matrice du rotateur rigide, N_{vJ} et $N_{v'J'}$ les populations des niveaux de vibration-rotation.

Comme nous l'avons vu, le temps de relaxation de la rotation est extrêmement court, les niveaux de rotation se mettent donc en équilibre avec la translation et l'on peut définir une température de rotation égale à la température de translation. Les populations des niveaux de rotations sont alors données par une distribution de Boltzmann :

$$N_{vJ} = N_v \frac{(2J+1)e^{-\frac{hc}{kT}J(J+1)B_v}}{\sum_J (2J+1)e^{-\frac{hc}{kT}J(J+1)B_v}} \quad (6)$$

Le terme $2J+1$ provient de la dégénérescence des niveaux de rotation. N_v représente la population vibrationnelle totale du niveau v . On obtient alors, en remplaçant dans l'équation (6) la sommation par une intégrale :

$$\alpha_M = \frac{8\pi^3 c N}{3RT} \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{1/2} |R^{vv'}|^2 S(J) \left[N_{v'} B_{v'J'} e^{-\frac{hc B_{v'J'}(J'+1)}{kT}} - N_v B_{vJ} e^{-\frac{hc B_{vJ}(J+1)}{kT}} \right] \quad (7)$$

où N est le nombre d'Avogadro.

Comme $B_v \simeq B_{v'}$, on peut voir sur cette formule que α_M peut être positif dans le cas de la branche P , même si $N_v > N_{v'}$. En effet, pour la branche P , $J' = J-1$, et l'équation (7) peut s'écrire sous la forme :

$$\alpha_{MP} \simeq f(J) (N_{v'} e^{\frac{2hcBJ}{kT}} - N_v) \quad (8)$$

$f(J)$ étant une fonction positive de J .

Pour la branche R , $J' = J+1$, et l'on obtient :

$$\alpha_{MR} \simeq f(J+1) \left[N_{v'} - N_v e^{\frac{2hcB(J+1)}{kT}} \right] \quad (9)$$

Le coefficient d'amplification sera toujours plus grand dans la branche P que dans la branche R , les lasers moléculaires auront donc une tendance très forte à fonctionner préférentiellement sur les transitions des branches P .

L'équation (8) montre également que, à partir d'une certaine valeur de J , le coefficient d'amplification maximale devient positif dans la branche P , même si l'inversion de population vibrationnelle n'est pas réalisée.

Ceci traduit une inversion de population « partielle » des états vibrationnels. Cette inversion partielle sera d'autant plus facilement réalisée que la température de rotation (et donc de translation) sera plus basse.

Un exemple est donné par le laser réalisé en mélangeant l'oxyde de carbone à l'azote activé [7]. Les niveaux élevés de CO sont excités et plusieurs transitions laser peuvent être observées dans les branches P des bandes de vibration-rotation. Le schéma des niveaux vibrationnels est montré sur la figure 4.

D'autre part, dans le cas des molécules polyatomiques, des processus de relaxation peuvent concourir à réaliser des inversions de populations vibrationnelles même si l'excitation seule est incapable de réaliser cette inversion.

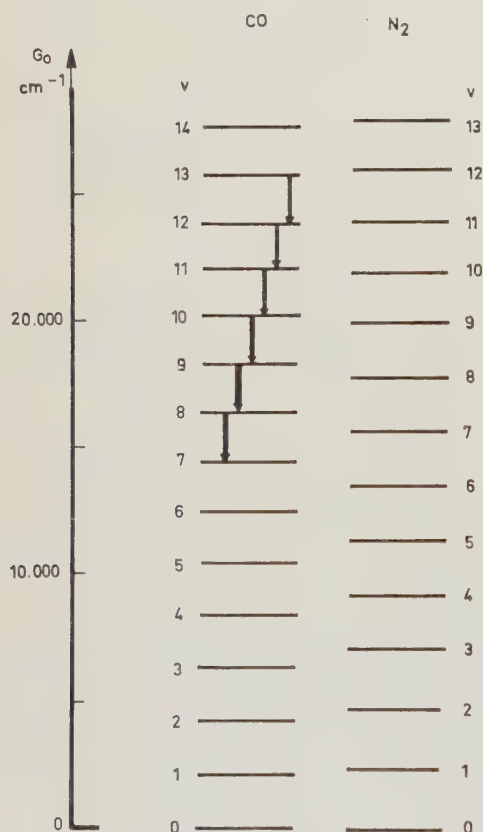


FIG. 4. — Schéma des transitions vibrationnelles observées dans un laser $N_2 - CO$.

En effet, dans le cas de CO_2 par exemple, le dépeuplement par collisions du niveau $0\ 0^0\ 1$ (mode ν_3), de fréquence élevée, se fera plus lentement que le dépeuplement des niveaux $1\ 0^0\ 0$, $0\ 1^0\ 0$, $0\ 2^0\ 0$... (modes ν_1 et ν_2), ces derniers ayant des fréquences beaucoup plus basses.

Il faut remarquer néanmoins que le niveau $0\ 0^0\ 1$ peut se dépeupler par transfert d'énergie vers les niveaux voisins $1\ 1^0\ 0$, $0\ 3^0\ 0$ et $0\ 3^0\ 1$. Cependant la résonance avec ces niveaux est faible et le transfert exige un échange de plusieurs quanta vibrationnels [3]. Ce processus doit donc être difficile. On conçoit alors aisément que l'on peut obtenir une inversion de population importante entre $0\ 0^0\ 1$ et $1\ 0^0\ 0$ ou $0\ 2^0\ 0$. Ce mécanisme est schématisé sur la figure (5)*.

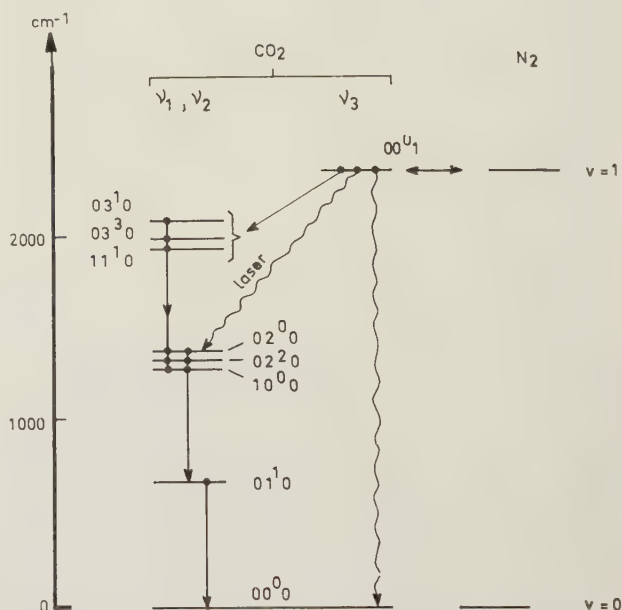


FIG. 5. — Schéma des niveaux intervenant dans le laser $N_2 - CO_2$. Les flèches ondulées représentent les transitions radiatives les plus intenses. Les transitions non radiatives sont représentées par des flèches rectilignes épaisses pour les transitions intenses, minces pour les transitions faibles.

D'autre part, les niveaux ν_1 et ν_2 étant beaucoup plus rapprochés les uns des autres que les niveaux ν_3 , une augmentation donnée de la population de chacun de ces niveaux exige un apport d'énergie vibrationnelle beaucoup plus considérable que dans le cas des niveaux ν_3 . Autrement dit, en supposant que l'on puisse définir une température de vibration, la capacité calorifique des niveaux ν_1 et ν_2 est plus grande que celle des niveaux ν_3 .

Ceci explique, au moins partiellement, qu'un laser fournissant une puissance assez importante ait pu

(*) Dans cette figure nous avons utilisé la nouvelle attribution des niveaux ν_1 et $2\nu_2$ proposée par M. G. AMAT [16]. Cela revient à permuter les désignations traditionnelles de ces niveaux. En outre suivant une suggestion de M. G. AMAT, nous avons groupé l'ensemble des niveaux correspondant aux modes ν_1 et ν_2 , car la très forte résonance de Fermi existant entre ces niveaux ne permet guère de donner un sens physique à leur attribution à l'un ou l'autre de ces modes.

ainsi fonctionner par décharge continue dans du gaz carbonique pur [19].

Si l'on ajoute de l'azote, on peut prévoir une amélioration du fonctionnement : en effet les niveaux de l'azote coïncident avec les niveaux v_3 de CO_2 et ne sont eux-mêmes pratiquement pas désexcités par les collisions. Par contre, par collisions résonnantes, l'énergie de l'azote est transférée sélectivement au niveau v_3 . L'azote constitue donc un réservoir d'énergie vibrationnelle presque directement convertible en rayonnement laser. Si la proportion d'azote est forte par rapport à celle de CO_2 , on rend négligeable l'excitation nuisible par la décharge électrique des niveaux « froids » des modes de vibrations v_1 et v_2 ; de plus, l'azote contribue à la désexcitation de ces niveaux grâce aux chocs N_2-CO_2 .

On peut aussi réaliser l'excitation de l'azote en dehors du tube laser, puis mélanger l'azote ainsi activé au gaz à exciter par transfert vibrationnel, sans qu'il soit nécessaire de faire passer la décharge dans le mélange [7].

Il n'est pas exclu que les collisions sur les parois, comme nous l'avons vu, jouent un certain rôle. Ce rôle n'est cependant pas fondamental dans le mécanisme de fonctionnement et son importance exacte n'est pas bien établie.

4.3. RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

Étant donnée l'insuffisance de nos connaissances sur les mécanismes d'excitation et de relaxation, il est difficile de prévoir avec précision le rendement énergétique des lasers moléculaires.

Une limitation fondamentale provient de la hauteur du niveau d'arrivée de la transition laser. L'énergie de ce niveau est perdue, en effet, au cours de sa désexcitation. Le rendement du processus quantique est alors donné par le rapport $\frac{v_3 - 2v_2}{v_3} = 0,4$ dans le cas de la transition laser $0\ 0\ 1 \rightarrow 0\ 2\ 0$ de CO_2 .

L'efficacité de la conversion de l'énergie électrique en énergie vibrationnelle est mal connue. Cependant des expériences ont montré [3] qu'en faisant traverser par l'azote pur une décharge électrique haute fréquence de 100 W environ, on obtenait un courant d'azote activé de débit 10^{-3} mole/s et contenant 6 kcal/mole d'énergie vibrationnelle. On en déduit une limite inférieure du rendement de cette conversion : 25 %. Ce rendement peut probablement être amélioré.

Au total, il n'est donc pas surprenant que l'on puisse obtenir pour la conversion énergie électrique-énergie laser un rendement de l'ordre de 10 %.

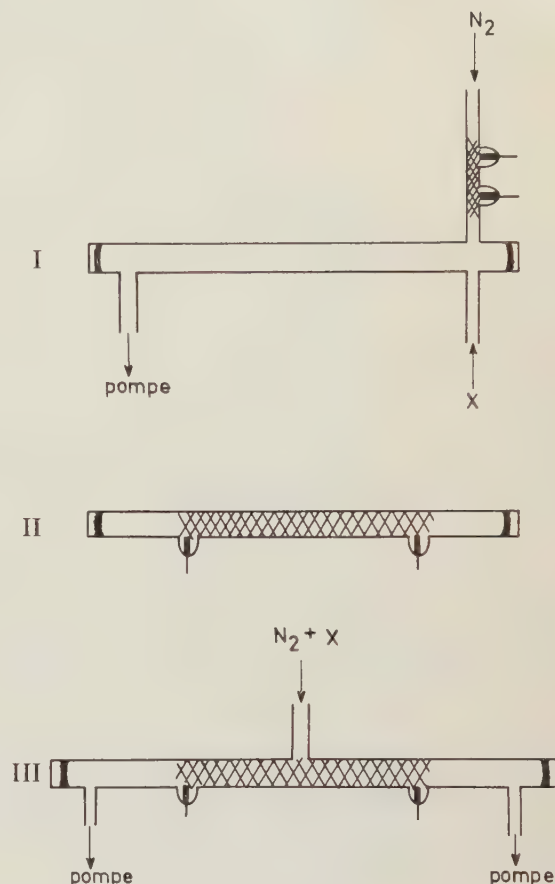
On sait que, dans le cas des lasers électroniques à gaz, le rendement total est beaucoup plus mauvais, inférieur à 1/1000. Le rendement quantique est très faible par suite de la très grande énergie des niveaux d'arrivée des transitions électroniques.

FIG. 6. — Différents types de lasers vibrationnels :

I — à décharge extérieure

II — à décharge intérieure en tube scellé

III — à décharge intérieure en tube ouvert



4.4. DIFFÉRENTS TYPES DE LASERS VIBRATIONNELS

Plusieurs montages peuvent être imaginés et ont effectivement été réalisés par différents auteurs (fig. 6).

4.4.1. Laser à azote activé et décharge extérieure.

L'azote est activé à l'extérieur de la cavité laser, puis mélangé aux gaz CO , CO_2 ou N_2O à l'intérieur de la cavité. L'activation des gaz se faisant par transfert de l'énergie vibrationnelle de l'azote. Ce type de laser a été le premier permettant d'obtenir des puissances importantes.

Une certaine quantité d'oxygène mélangé à l'azote permet une augmentation de la puissance, à la suite d'un processus encore mal connu.

4.4.2. Laser à tube scellé et décharge interne

Le mélange CO_2-N_2 ou $\text{N}_2\text{O}-\text{N}_2$ est excité par décharge dans un tube fermé. Le rendement peut être amélioré puisqu'on utilise l'énergie vibrationnelle dès sa formation. Cependant, dans le cas de CO , la destruction de la molécule dans la décharge empêche l'utilisation d'un tel montage.

4.4.3. Laser à décharge intérieure en tube ouvert

Ce montage combine les avantages des deux autres. L'énergie vibrationnelle est utilisée dès sa formation et, de plus, le milieu actif amplificateur est entraîné rapidement en dehors de la décharge et participe à l'effet laser avant sa complète désexcitation. Ce type de montage donne, jusqu'à présent, le meilleur rendement.

5. Conclusion

Cette discussion semi-quantitative montre que le mécanisme des lasers moléculaires fait intervenir, de façon prépondérante, les processus de collisions moléculaires. Par contre, à la différence des lasers fonctionnant sur les niveaux électroniques, les processus de désexcitation des niveaux par rayonnement ont un rôle négligeable et par suite le phénomène de piègeage des photons qui limite considérablement le rendement de ces lasers n'intervient pas. Les rendements obtenus jusqu'ici ont dépassé 10 % et peuvent sans doute être améliorés jusqu'au voisinage du rendement quantique, seule limitation fondamentale.

Il n'apparaît donc aucune limitation théorique à l'augmentation de la puissance émise. Les seules difficultés sont d'ordre technique : résistance des surfaces métallisées des miroirs à des densités de rayonnement considérables, évacuation de la chaleur, etc.

* * *

Les auteurs sont heureux de pouvoir remercier ici M. le Professeur AMAT de ses fructueuses suggestions ainsi que M. LAURES avec lequel ils ont eu d'intéressantes discussions.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] POLANYI J.C. *J. Quant. Spectros. Radiat. Transfer*, 1963, **3**, 471.
- [2] MILLIKAN R.C. *J. Chem. Physics*, 1963, **38**, 2855.
- [3] LEGAY-SOMMAIRE N. et LEGAY F. *J. Phys.*, 1964, **25**, 917.
LEGAY F. *J. Phys.*, 1964, **25**, 999.
- [4] PATEL C.K.N., FAUST W.L. et McFARLANE R.A. *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1964, **9**, 500.
PATEL C.K.N. et KERL R.J. *Appl. Phys. Lett.*, 1964, **5**, 81.
- [5] LEGAY F. et LEGAY-SOMMAIRE N. *Comptes Rendus*, 1964, **259**, 99.
- [6] PATEL C.K.N. *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **13**, 617.
PATEL C.K.N. *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **6**, 12.
- [7] LEGAY-SOMMAIRE N., HENRY L. et LEGAY F. *Comptes Rendus*, 1965, **260**, 3339.
- [8] BARCHEWITZ P., DORBEC L., FARRENCQ R., TRUFFERT A. et VAUTIER P. *Comptes Rendus*, 1965, **260**, 3583.
Comptes Rendus, 1965, **260**, 4179.
Comptes Rendus, 1965, **260**, 5491.
PATEL C.K.N. *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **7**, 15.
PATEL C.K.N. *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **9**, 246.
MOELLER G. et RIGDEN J.D. *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **7**, 274.
- [9] HERZBERG G. *Molecular Spectra and Molecular Structure I — Spectra of Diatomic Molecules*, Van Nostrand.
- [10] HERZBERG G. *Molecular Spectra and Molecular Structure II — Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules*, Van Nostrand.
- [11] PENNER S.S. *Quantitative Molecular Spectroscopy and gas Emissivities*, Pergamon.
- [12] LANDAU L. et TELLER E. *Physik. Z. Sowjetunion*, 1936, **10**, 34.
HERZFELD K.F. and LITOVITZ T.A. *Absorption and Dispersion of Ultrasonic Waves*, Academic Press.
COTTREL T.L. et Mc COUBREY J.C. *Molecular Energy Transfer in gases*, Butterworths.
TAKAYANAGI K. *Suppl. Progr. Theo. Phys.*, 1963, **25**, 1.
- [13] RAPP D. et ENGLANDER-GOLDEN P. *J. Chem. Phys.*, 1964, **40**, 573.
RAPP D. et ENGLANDER-GOLDEN P. *J. Chem. Phys.*, 1964, **40**, 3120.
- [14] MORGAN J.E. et SCHIFF J.H. *Can. J. Chem.*, 1963, **41**, 903.
- [15] JOECKLE J. et PEYRON M. *Comptes Rendus*, 1965, **261**, 1819.
- [16] AMAT G. et PIMBERT M. *J. Mol. Spectro.*, 1965, **16**, 278.
- [17] MILLIKAN R.C. et WHITE D.R. *J. Chem. Phys.*, 1963, **39**, 98.
WITTEMAN W.J., *Philips Res. Repts., Suppl. n°3*, 1963.
- [18] ABOUAF R. et LEGAY F., à paraître.
- [19] FRAPARD C., LAURES P. et ROULOT M., *Comptes Rendus*, 1966, **262**, B, 45.

LE LASER A CO_2^*

PAR

A. TRUFFERT et Ph. VAUTIER

Société Anonyme de Télécommunications

1. Introduction

La fin de l'année 1965 a été marquée, tant aux Etats-Unis qu'en Angleterre et en France, par l'intérêt de nombreux laboratoires spécialisés pour un nouveau laser à gaz, le laser moléculaire à gaz carbonique. Ce laser se caractérise par un rendement énergétique élevé : 5 à 10 % (peut-être plus dans l'avenir), ce qui permet d'obtenir des puissances importantes en régime continu. Nous assistons ainsi à une véritable course à la puissance de sortie.

Le record était, en novembre 1965, celui de C.K.N. PATEL (Bell Telephone Laboratories) avec 110 W en continu, et 183 W crête en alternatif à 60 Hz. Citons encore RIGDEN et MOELLER (Perkin Elmer Corp.) avec 130 W crête (60 Hz) ; JAVAN (M.I.T.) : 40 W et 30 kW crête en régime déclenché ; et enfin chez RAYTHEON : 90 W.

Rappelons, à titre de comparaison, que le rendement d'un laser à argon ionisé est actuellement de l'ordre de 0,08 % pour 20 W fournis.

On voit que le laser à gaz carbonique est, à puissance de sortie égale, environ cent fois moins exigeant quant à la puissance d'excitation nécessaire et quant à la puissance à évacuer par le système de refroidissement.

2. Rappel des propriétés de la molécule de CO_2

Les niveaux d'énergie mis en jeu ne sont pas des niveaux électroniques comme dans la plupart des lasers à gaz connus jusqu'ici, mais correspondent à des déformations mécaniques de la molécule : vibrations (élongation, torsion) et rotation. Ces niveaux, étudiés depuis longtemps par les méthodes de la spectroscopie moléculaire, sont très bien connus pour la molécule de CO_2 (voir en particulier HERZBERG [1]

et [7]). La figure 1 indique les niveaux mis en jeu ainsi que les transitions optiques permises, en particulier la transition laser $\nu_3 \rightarrow \nu_1$ centrée sur 10,4 μ

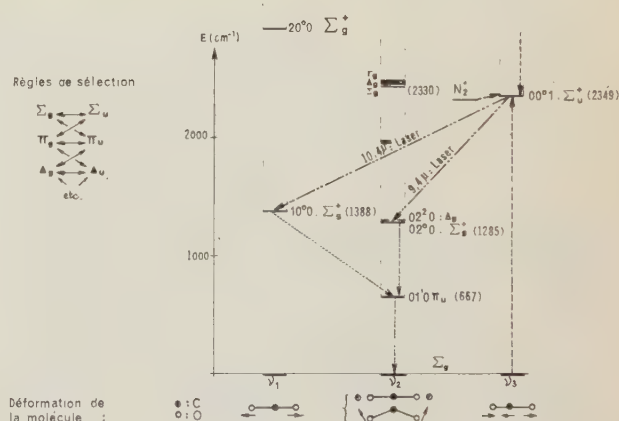


FIG. 1. — Niveaux d'énergie de la molécule de CO_2 .

et $\nu_3 \rightarrow 2 \nu_2$, centrée sur 9,4 μ . En réalité, ces niveaux ont une structure fine, due à la rotation de la molécule, et indiquée figure 2 (*). L'échelle des abscisses y correspond à un nombre de molécules par unité de volume, et l'inversion de population globale qu'on y a indiqué correspond à un cas typique. Les différents niveaux sont caractérisés par un nombre quantique J , l'énergie supplémentaire de rotation étant, en première approximation :

$$E_J = \beta J(J+1) \quad (1)$$

avec $\beta = 7,7 \cdot 10^{-24}$ joule.

On remarquera que les niveaux de J pair (dans l'état supérieur) ou impair (dans l'état inférieur)

* Pour la transition à 9,4 μ . Tout se passe de même pour l'autre transition.

(*) Conférence prononcée le 15 décembre 1965 au cours de la demi-journée d'études des 2^e et 4^e sections de la SFER sur les « Progrès récents dans les lasers à gaz ».

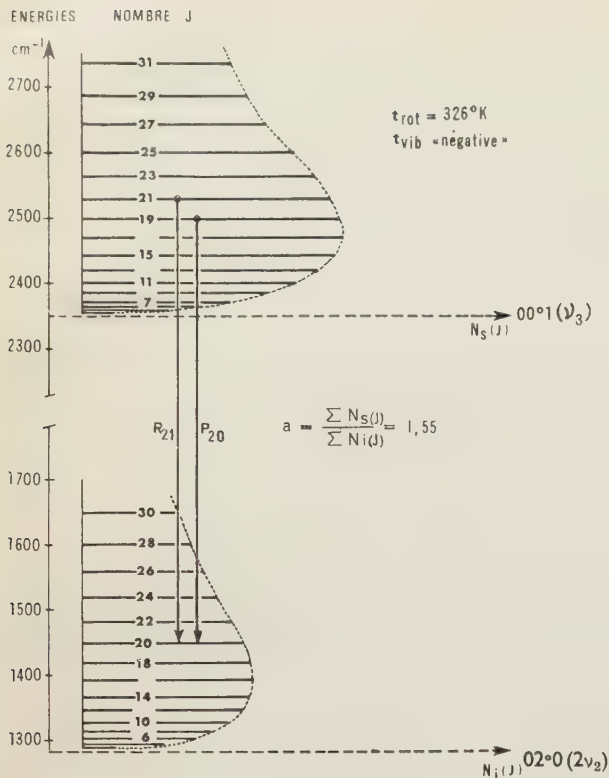


FIG. 2. — Structure fine : niveaux rotationnels.
(noter la définition des transitions)

sont absents : cela est dû au fait que la molécule de CO₂ est linéaire et symétrique [1]. Seules sont permises les transitions telles que :

$\Delta J = \pm 1.$

On notera ainsi, par convention (*) :

P_J la transition $\begin{matrix} J-1 \\ \downarrow \\ J \end{matrix}$ et R_J la transition $\begin{matrix} J \\ \downarrow \\ J-1 \end{matrix}$.

La fréquence du photon émis lors d'une transition P_J (ou R_J) sera ainsi :

$$\left. \begin{aligned} \nu_{P_J} &= \nu_0 + \frac{\beta}{h}(J-1)J - \frac{\beta}{h}J(J+1) = \nu_0 - \frac{2\beta}{h}J \\ \nu_{R_J} &= \nu_0 + \frac{\beta}{h}(J+1)J - \frac{\beta}{h}(J-1)J = \nu_0 + \frac{2\beta}{h}J \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

* D'autres auteurs préfèrent noter :

$$\left. \begin{aligned} P_J : & \begin{matrix} J-1 \\ \downarrow \\ J \end{matrix} \\ R_J : & \begin{matrix} J+1 \\ \downarrow \\ J \end{matrix} \end{aligned} \right\} \text{(HERZBERG et Al.)} \quad \text{ou encore} \quad \left. \begin{aligned} P_J : & \begin{matrix} J \\ \downarrow \\ J+1 \end{matrix} \\ R_J : & \begin{matrix} J \\ \downarrow \\ J-1 \end{matrix} \end{aligned} \right\} \text{(PATEL)}$$

C'est ainsi, sur une trentaine de fréquences différentes distantes de $4 \beta/h = 47$ GHz environ, que le gaz carbonique est susceptible d'amplifier par émission induite et d'osciller (effet laser).

Le tableau 1 rassemble toutes les fréquences laser que nous avons effectivement observées à ce jour.

1. — TABULATION DES FRÉQUENCES LASER

I : 00°1 → 10°0					
P30	934,9 cm ⁻¹	10,695 μ	R13	970,6	10,303 μ
28	936,8	674	15	972,0	288
26	938,7	653	17	973,3	274
24	940,6	632	19	974,7	259
22	942,4	610	21	976,0	245
20	944,2	590	23	977,2	232
18	946,0	570	25	978,5	219
16	947,8	550	27	979,7	207
14	949,5	531	29	981,0	10,194
12	951,2	511			
10	953,0	10,491			

II : 00°1 → 02°0					
P28	1039,6 cm ⁻¹	9,618 μ	R19	1077,4	9,281 μ
26	1041,4	602	21	1078,7	9,270
24	1043,2	585	23	1079,9	9,259
22	1045,0	569	25	1081,2	9,249
20	1046,8	552	27	1082,4	9,238
18	1048,6	536	29	1083,6	9,227
16	1050,4	520			
14	1052,2	503			
12	1054,0	488			
10	1055,8	9,472			

3. Etude de l'amplification

La répartition des populations $N_s(J)$ et $N_i(J)$ dans les niveaux d'ordre J se fait selon une loi de BOLTZMANN. Nous admettrons, pour le moment, que la température absolue T de rotation est la même que la température ordinaire de translation (l'équilibre translation-rotation est rapidement atteint).

On montre alors que, dans ces conditions [3], [7], on peut exprimer l'amplification α (en népers par mètre) sous la forme :

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{P_J} &= KT^{-\frac{3}{2}}JN(ae^{-\frac{E_{J-1}}{KT}} - e^{-\frac{E_J}{KT}}) \\ \alpha_{R_J} &= KT^{-\frac{3}{2}}JN(ae^{-\frac{E_J}{KT}} - e^{-\frac{E_{J-1}}{KT}}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

On a noté N la population totale du niveau inférieur et aN celle du niveau supérieur. K est une

constante qu'on peut déterminer théoriquement ($K = 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2 (0^\circ\text{K})^{3/2}$).

La mesure expérimentale des α par la méthode indiquée figure 3 pour les différents J permet d'avoir

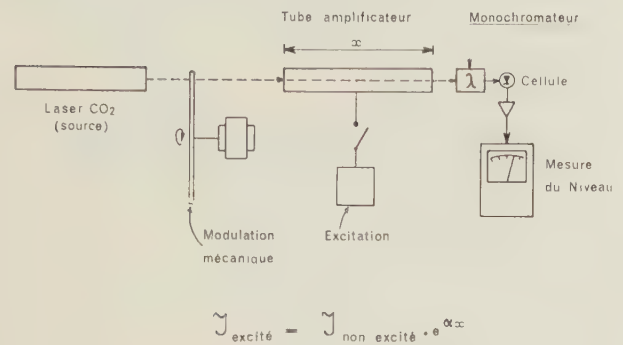


FIG. 3. — Dispositif de mesure des amplifications.

accès au taux d'inversion a par une manipulation des équations (3) [10d].

La figure 4 indique un exemple des résultats que nous avons pu obtenir lors d'une telle expérience.

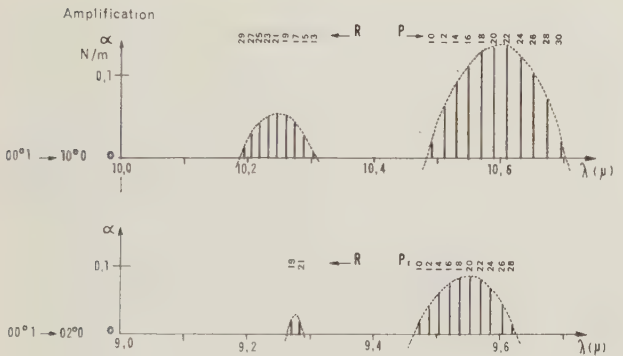


FIG. 4. — Amplifications sur diverses fréquences.

L'amplification ainsi mesurée permet de chiffrer commodément l'« activité » du milieu pour une transition donnée. La figure 5 donne la forme théorique de $\alpha(\nu)$ en fonction de la fréquence pour chaque transition, l'élargissement étant dû à l'effet Doppler.

4. Application du laser

Lorsqu'on associe une cavité résonnante (nommée par les opticiens interféromètre de PEROT-FABRY) à un tube amplificateur rempli de CO₂ actif, on effectue en fait un couplage en retour (réaction positive) pour toutes les fréquences d'accord de la cavité oscillant sur un mode TEM_{xyz} (x, y sont des entiers

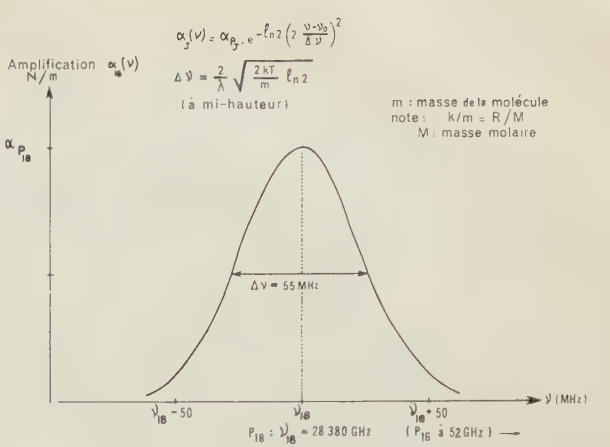


FIG. 5. — Profil DOPPLER théorique d'une transition.

faibles ou mieux, nuls ; z est de l'ordre de $2 \cdot 10^5$ pour une longueur $l = 1 \text{ m}$).

Il pourra donc y avoir un régime d'oscillation permanente dans lequel le gain de boucle, sur un aller-retour, sera unité, c'est-à-dire que l'amplification α_{laser} apportée par le milieu actif compensera exactement les pertes apportées par l'absorption des miroirs, la diffraction et le prélèvement de l'énergie utile. L'amplification aura, en général, une valeur différente des α_{ampl} , mesurés ci-dessus. Nous admettrons que la puissance de sortie est, au moins approximativement, $\sim (\alpha_{\text{ampl}} - \alpha^s)$, α^s représentant un seuil constant.

Quand on aura une bonne coïncidence entre une certaine fréquence d'accord $Z c/2 l$ de la cavité et le maximum d'un α_{PJ} ou α_{RJ} , on observera sur la transition en question une puissance laser importante. Cela peut arriver sur plusieurs transitions simultanément, en fait c'est le cas général, mais il est difficile, sans précautions spéciales, de prévoir a priori quelles transitions seront favorisées.

La figure 6 indique les spectres laser obtenus pour différents réglages de la longueur de la cavité.

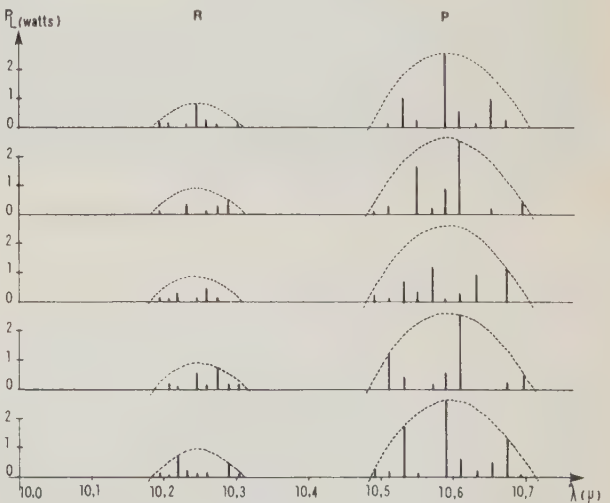


FIG. 6. — Spectres de l'émission laser effectivement obtenus (cf fig. 3).

Si aucune fréquence de la cavité ne tombe à l'intérieur du profil Doppler d'une transition donnée, on n'aura pas d'oscillation laser sur cette transition. Il en sera de même si les α sont insuffisants, ce qui est le cas si J est trop grand ou trop petit.

On voit d'ailleurs sur la figure 6 une corrélation évidente entre l'enveloppe des amplitudes laser et les courbes de la figure 4.

Quand on fait varier régulièrement la longueur de la cavité (par exemple par dilatation thermique, figure 7), les fréquences d'accord successives, distantes de $c/2l$ (150 MHz pour $l = 1$ m), vont explorer le profil Doppler d'une transition donnée. La variation de la puissance de sortie sur cette transition sera donc le reflet de ce profil.

Il est important de remarquer que, pour les longueurs de l'ordre du mètre, il n'y a qu'un seul Z possible à la fois pour chaque transition, si même il y en a un ; cela peut être intéressant pour les applications où la pureté du mode longitudinal est importante.

La mesure indiquée figure 7 apporte une bonne confirmation de la valeur théorique $\Delta\nu = 55$ MHz pour la largeur Doppler de la figure 5.

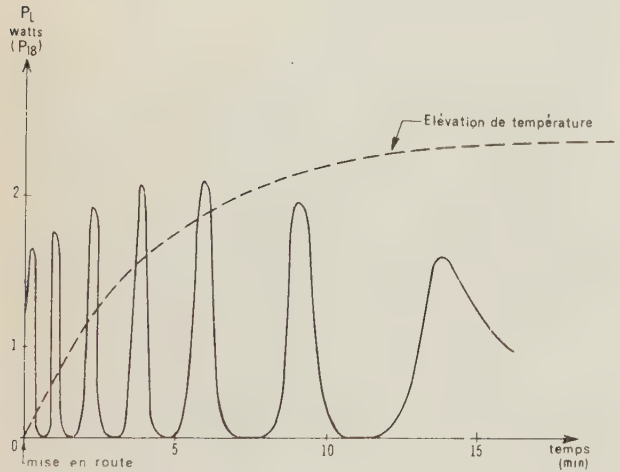


FIG. 7. — Influence de la dilatation de la cavité PEROT-FABRY.

5. Influence de la température

L'échauffement du tube est nuisible au bon fonctionnement du laser, à cause du terme en $T^{-3/2}$ dans la formule (3), la diminution du niveau observé figure 7 traduit ce phénomène. PATEL arrive à multiplier la puissance par un facteur 2 à 3 en descendant de $+40^\circ\text{C}$ à -60°C (par circulation de méthanol réfrigéré) [15]. Une modification du régime de décharge peut masquer cette amélioration.

6. Influence du mode d'excitation

On peut utiliser soit une excitation HF [9], [10] soit une excitation continue [5], [11], [15], [16], soit encore une excitation en impulsions [5], [2], [13].

L'excitation HF avec électrodes longitudinales donne de bons résultats (fig. 8). Nous ne disposons pas d'un générateur assez puissant pour déceler une

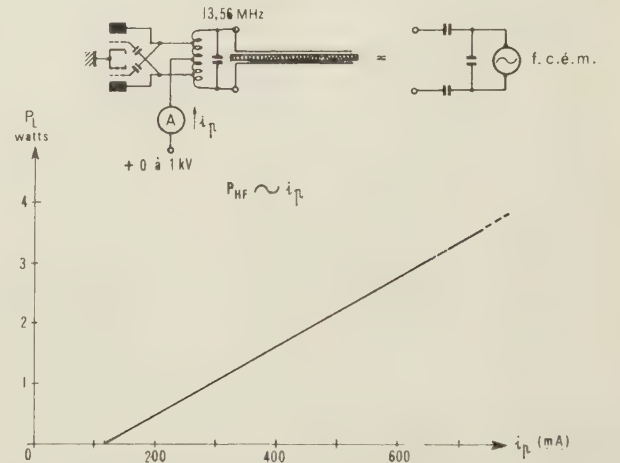


FIG. 8. — Influence de l'excitation (cas de l'excitation H.F.).

saturation autre que thermique. La puissance maximale obtenue à la SAT à ce jour (*) est de 15 W environ pour 350 W HF injectés.

Nous avons aussi essayé avec succès une excitation continue ou à 50 Hz jusqu'à 300 W, la puissance de sortie étant environ 12 W.

Enfin l'excitation en impulsions (10 kV, 1 A) donne des résultats intéressants [13] : pour une puissance moyenne du même ordre que ci-dessus, on obtient des puissances crête de 220 à 827 W, la durée de l'impulsion laser étant environ 500 μs au tiers du maximum.

7. Influence de la pression et de la nature des gaz auxiliaires

Bien que le CO_2 pur soit susceptible d'être utilisé sous une pression de l'ordre de deux torrs, on augmente considérablement le rendement par l'adjonction d'azote. Le peuplement sélectif du niveau ν_3 du CO_2 par l'azote activé [4], est certainement responsable de cette amélioration. On peut même procéder en excitant l'azote extérieurement [6, 9], sans exciter directement le CO_2 , à l'aide d'un dispositif de circulation des gaz. Souvent, on utilise aussi un procédé mixte à deux excitations, l'une interne, l'autre externe. Il nous semble toutefois plus commode de travailler en tube scellé, malgré une légère perte de rendement.

* 15 décembre 1965.

L'adjonction d'oxygène permet, si on utilise déjà de l'azote, une amélioration supplémentaire encore mal expliquée. L'air atmosphérique est tout à fait satisfaisant. La figure 9 précise l'influence des pressions partielles d'air et de CO₂ sur le rendement, dans un cas particulier. (Il est possible qu'un régime d'excitation différent modifie considérablement l'allure de ces courbes).

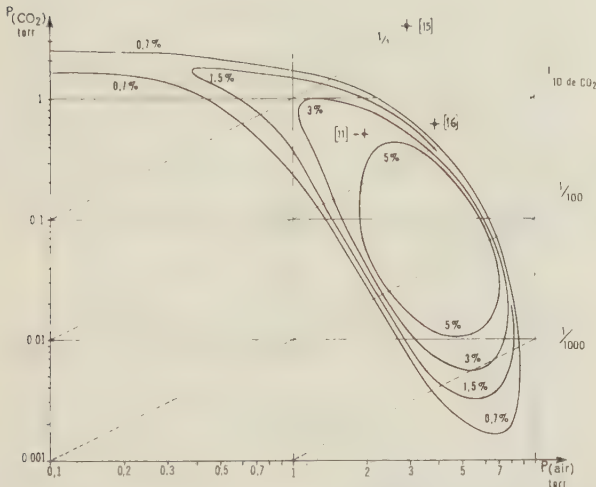


FIG. 9. — Influence des pressions partielles : courbes d'égal rendement (on n'a pas tenu compte de l'adjonction éventuelle d'hélium).

L'adjonction d'hélium au système CO₂-N₂-O₂ ou à CO₂ seul [16] permet justement de travailler à des pressions nettement plus élevées, en rendant la décharge plus aisée à amorcer et à entretenir. Il est possible aussi que l'hélium joue un rôle dans les transferts d'énergie entre les niveaux de rotation.

La présence d'impuretés telles que H₂O n'est pas spécialement nuisible, alors que des corps tels que C₂H₂ et C₂H₄ sont des poisons [12].

L'examen de la figure 9 montre que beaucoup de molécules de CO₂ ne sont pas actives quand la pression partielle de CO₂ dépasse 0,01 torr. Il serait intéressant de préciser ce point, car il semble qu'une meilleure excitation permettrait d'obtenir des puissances encore plus importantes avec des tubes plus petits.

8. Le problème des miroirs

Les cavités utilisées sont soit confocales, soit de préférence d'un type qui favorise une grande dimension du mode fondamental TEM_{00z}, afin de mieux tirer parti du volume de gaz excité [11]. Dans tous les cas, l'extraction de l'énergie se fait pour le moment toujours par diffraction sur les bords d'un trou ou d'un anneau qu'on a ménagé dans la métallisation à l'or du miroir de sortie.

Bien entendu, l'utilisation de couches multidiélectriques, comme dans le visible, est souhaitable, mais

pose, à ces longueurs d'onde, des problèmes technologiques encore délicats.

De toute façon, l'or, avec 2 % de pertes, n'est qu'un pis aller, et l'échauffement considérable des miroirs qui en résulte est toujours gênant. La puissance dissipée dans chaque couche d'or est en effet comparable à la puissance de sortie elle-même, ce qui entraîne une destruction rapide du miroir aux puissances élevées.

En outre, l'extraction de l'énergie par diffraction perturbe la répartition du champ électromagnétique à l'intérieur de la cavité [8] et ne permet pas d'obtenir une aussi bonne directivité que pour un laser à gaz travaillant dans le visible. La présence de modes transverses d'ordre élevé, dus au grand gain du CO₂, vient encore compliquer les choses.

L'utilisation de fenêtres de Brewster, bien que possible [15], présente certains inconvénients : manque de matériaux suffisamment transparents à 10 μ, difficultés pratiques de collage. Aussi préfère-t-on, en général, utiliser des miroirs internes. Le miroir de sortie est naturellement déposé sur un support transparent : germanium ou irtran IV par exemple.

On a avantage à utiliser un tube de silice fondue pour donner une certaine stabilité dimensionnelle à la cavité laser ; dans ce cas il est commode de réaliser, pour le réglage précis de l'orientation relative des miroirs, un système à flexion par vis micrométriques centrales (fig. 10).

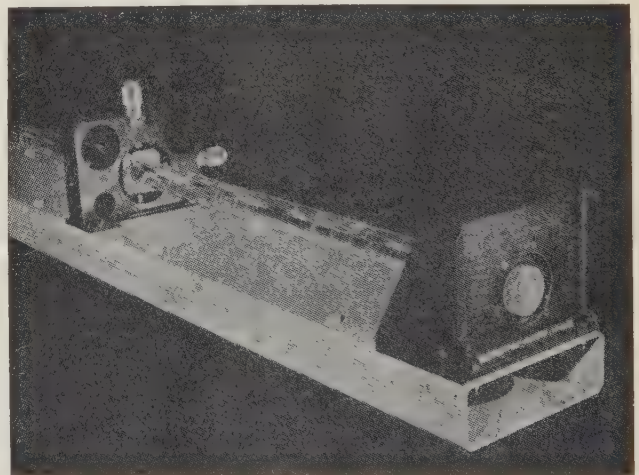


FIG. 10. — Exemple de réalisation : Laser scellé en silice, à miroirs internes et réglage par flexion.

9. Conclusion : Applications

La puissance élevée délivrée dans l'infrarouge par le CO₂ peut être concentrée dans un volume assez faible pour obtenir des densités d'énergie extrêmement importantes. Il devient alors possible de faire apparaître des phénomènes d'absorption à deux photons, qui autrement sont trop improbables pour

être observés. Aussi de nombreux laboratoires travaillent-ils actuellement sur ces questions (par exemple [14]).

On peut, de même, envisager des expériences d'optique non linéaire dans des milieux transparents, dans un domaine spectral, encore à peine exploré.

Signalons, pour mémoire, les applications où c'est l'effet purement thermique qui est utilisé : usinage, microchirurgie, etc. comme avec des lasers classiques.

L'application du laser CO_2 comme source dans un système de télécommunications optiques est séduisante dans la mesure où l'atmosphère est particulièrement transparente à $10\ \mu$. Des essais de propagation, en atmosphère libre, sont dès à présent en cours ; nous envisageons aussi des essais de propagation guidée.

Dans cette application, si on commence à disposer de récepteurs suffisamment sensibles et rapides (Ge/Hg, HgTe CdTe), le problème de la modulation est encore loin d'être aussi bien résolu à $10\ \mu$ que dans le visible.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HERZBERG G. — Molecular Spectra and Molecular Structure, vol. II : Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules (p. 275), Van Nostrand, 1945.
- [2] PATEL C.K.N., FAUST W.L. et MAC FARLANE R.A. — *Bull. Am. Phys. Soc.* 9, 500, 1964.
- [3] PATEL C.K.N. — Interpretation of CO_2 optical maser experiments *Phys. Rev. Lett.* 12, 588, May 1964.
- [4] LEGAY F. et LEGAY-SOMMAIRE N. — Possibilités de réalisation d'un maser optique utilisant l'énergie de vibration des gaz excités par l'azote activé *C.R. Acad. Sc. Paris*, 259, 99, juillet 1964.
- [5] PATEL C.K.N. — Continuous wave Laser Action on Vibrational-Rotational transitions of CO_2 . *Phys. Rev.* 136, 5 A, p. 1187, novembre 1964.
- [6] PATEL C.K.N. — Selective excitation through vibrational energy transfer and optical maser action in N_2-CO_2 *Phys. Rev. Lett.* 13, 21, p. 617, novembre 1964.
- [7] POLANYI J.C. — Vibrational-Rotational Population Inversion. *Appl. Opt.*, Supplement on Chemical Lasers, 1965, p. 109.
- [8] MAC CUMBER D.E. — Eigenmodes of a Symmetric Cylindrical Confocal Laser Resonator and their perturbation by output coupling Apertures. *Bell Syst. tech. Journ.* 54, 2, p. 333, February 1965.
- [9] LEGAY-SOMMAIRE N., HENRY L. et LEGAY F. — Réalisation d'un laser utilisant l'énergie de vibration des gaz excités par l'azote activé. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 260, 3 339, mars 1965.
- [10] BARCHEWITZ P., DORBECH L., FARRENQ F., TRUFFERT A. et VAUTIER P. — Laser continu à CO_2 .
a : *C.R. Acad. Sc. Paris*, 260, 3581, mars 1965.
b : *ibid*, 4179, avril 1965.
c : *ibid*, 5491, mai 1965.
d : *ibid*, 261, 2617, octobre 1965.
- [11] PATEL C.K.N. — C.W. High power N_2-CO_2 laser.
a : *Appl. Phys. Lett.* 7, 1, p. 15, July 1965.
b : Conference on Quantum Electronics, Puerto-Rico July 1965.
- [12] HOWE. — Effect of foreign gases on the CO_2 laser. *Appl. Phys. Lett.* 7, 1, p. 21, July 1965.
- [13] FRAPARD. — High peak power pulsed CO_2 laser. *Phys. Rev. Lett.*, à paraître.
- [14] NGUYEN VAN TRAN. — Génération du 2^e harmonique dans le tellure à partir d'un laser à $10\ \mu$. *C. R. Acad. Sc. Paris*, à paraître.
(ces deux dernières références sont signalées par M. LAURES)
- [15] BRIDGES T.J. et PATEL C.K.N. — High power Brewster Laser at $10,6\ \mu$. *App. Phys. Lett.* 7,9, 1, novembre 1965, p. 244.
- [16] MOELLER G. et RIGDEN J.D. — High power Laser Action in CO_2-He mixtures. *App. Phys. Lett.* 7,10. 15 novembre 1965, p. 274.

LASER MOLÉCULAIRE DE GRANDE PUISSANCE

X. ZIEGLER et Ch. FRAPARD

*Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité
Département Recherches Physiques de Base, Marcoussis (Essonne)*

1. Introduction

Depuis la découverte de l'émission stimulée par A. JAVAN, de très nombreux travaux ont été effectués dans ce domaine. Il existe actuellement plusieurs centaines de raies laser obtenues dans le milieu gazeux, certaines ayant une puissance supérieure au watt en fonctionnement continu. Un grand progrès a été réalisé avec la découverte des lasers moléculaires susceptibles de délivrer de grandes puissances avec des rendements élevés. On vient de réaliser un laser moléculaire fournissant près de 300 W avec un rendement de 10 % alors que le rendement des lasers atomiques ne dépasse pas un pour mille.

En 1961, POLANYI [1] a montré la possibilité d'obtenir l'inversion de population entre niveaux vibrationnellement excités de molécules. En 1964, C.K.N. PATEL [2] a obtenu une dizaine de milliwatts continus avec un laser à gaz carbonique aux alentours de 10 μ . F. LEGAY et N. LEGAY-SOMMAIRE [3] ont mis en évidence la possibilité d'obtenir une meilleure inversion de population sur ce gaz en utilisant de l'azote vibrationnellement excité. Un grand progrès a été effectué lorsque LEGAY et HENRY [4] du laboratoire de Spectroscopie Moléculaire de M. le Professeur AMAT ont construit un laser délivrant une puissance supérieure au watt. Cette réalisation a prouvé qu'il était possible de construire des lasers de grande puissance à gaz et ayant un rendement élevé. D'autres lasers moléculaires ont été découverts, en particulier des lasers à oxyde de carbone et à protoxyde d'azote.

2. Originalité des lasers moléculaires

2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE CES LASERS

Contrairement aux lasers à gaz atomiques, dont les transitions en émissions stimulées se produisent

entre des niveaux électroniques de l'atome, les lasers moléculaires mettent en œuvre des niveaux d'énergie de vibration-rotation dans l'état électronique fondamental. L'onde cohérente, ainsi obtenue est située dans l'infrarouge. POLANYI a proposé d'appeler ce nouveau genre de laser « iraser ».

Une caractéristique importante des lasers est la durée de vie des niveaux utilisés par l'émission. Dans le cas des niveaux vibrationnels, cette durée de vie est supérieure de plusieurs ordres de grandeur à celle des transitions électroniques. Ainsi, les durées de vie des états vibrationnels excités sont de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-3} s contre 10^{-6} à 10^{-8} s pour des états électroniques ; on peut ainsi obtenir des concentrations d'états excités bien supérieures. Il faut également remarquer qu'il existe de nombreuses coïncidences entre niveaux vibrationnels excités de diverses molécules, ce qui peut provoquer des chocs de deuxième espèce particulièrement intéressants pour des enrichissements de population qui seront à la base de la production de l'effet laser.

Si nous appelons E_2 et E_1 les énergies des niveaux supérieur et inférieur d'une transition moléculaire,

le rapport $\frac{E_2 - E_1}{E_2}$ est extrêmement élevé. Ce

rendement quantique théorique est de 0,41 dans le cas du CO_2 pour les transitions de 10,6 μ . De ce fait, les lasers moléculaires permettent d'obtenir des puissances considérables avec des rendements bien supérieurs à ceux des autres lasers à gaz.

2.2. DESCRIPTION D'UN LASER DE PUISSANCE A MÉLANGE CO_2 , N_2 , H_2

Ce laser est représenté schématiquement sur la figure 1. Il est classique dans sa forme. Le milieu amplificateur gazeux se trouve placé entre deux miroirs qui jouent le rôle d'une cavité PÉROT-FABRY. Deux

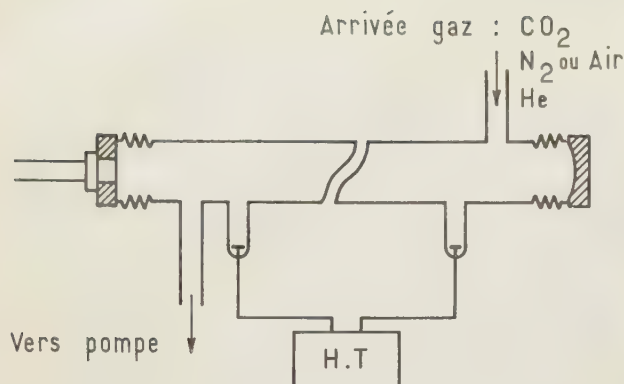


FIG. 1. — Schéma de principe d'un laser à flux de gaz

électrodes internes permettent d'exciter le mélange gazeux.

La figure 2 représente un laser de 90 mm de diamètre et de 3 m de long prévu pour fonctionner en flux gazeux. Le tube est pourvu à une extrémité d'une arrivée de gaz et à l'autre d'une sortie raccordée à une pompe primaire d'un débit de 30 m³/h ; la vitesse d'écoulement dans le tube est de l'ordre de 1 m/s. Le corps du laser est un tube de pyrex raccordé aux extrémités aux dispositifs de réglage des miroirs. Ces derniers sont particulièrement visibles sur la figure 3.

La cavité PÉROT-FABRY utilisée pour ce type de laser est un peu particulière. Les miroirs sont en acier inoxydable, poli et revêtu d'une couche d'or présentant

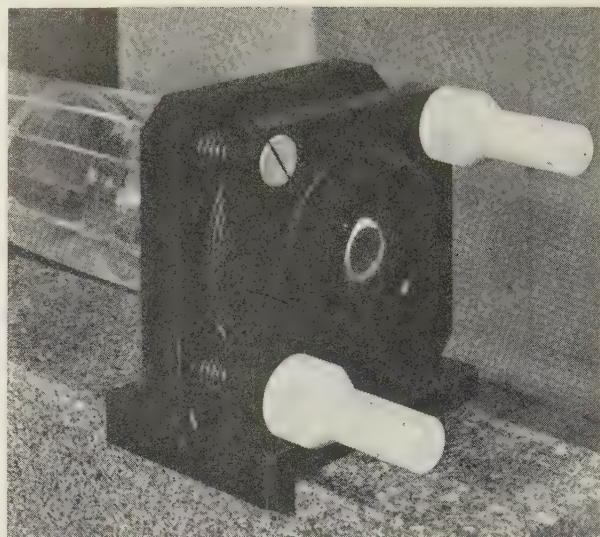


FIG. 3. — Extrémité du laser montrant le détail des réglages du miroir de sortie.

une réflexion de 98 % dans la région des 10 μ . Un des miroirs est concave avec un rayon de courbure de 11 m ; l'autre est plan percé d'un trou de 12 mm de diamètre en son centre pour la sortie du faisceau laser. L'étanchéité est assurée par une fenêtre en chlorure de sodium, matériau transparent dans ce domaine de longueur d'onde.

Réalisé au Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité, ce laser a fourni, à 10,59 μ , une puissance moyenne de 280 W avec une excitation alternative.

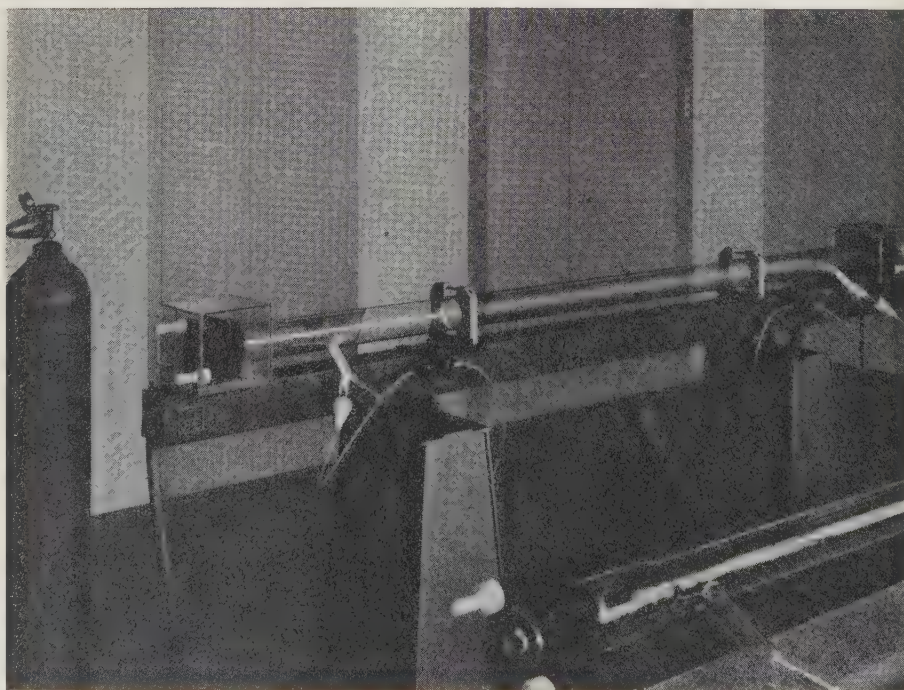


FIG. 2. — Vue d'ensemble du laser à gaz carbonique

3. Principe de fonctionnement du laser à mélange de $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$

La théorie d'un tel laser a été discutée par HENRY et LEGAY dans ce numéro de l'Onde Electrique [5]. Nous allons simplement donner quelques caractéristiques particulières des lasers de puissance ainsi que le rôle joué par les différents gaz dans l'inversion de population.

3.1. LASER A GAZ CARBONIQUE PUR

La molécule de CO_2 possède trois modes de vibration fondamentaux :

- ν_3 2349 cm^{-1} mode antisymétrique de valence,
- ν_1 1385 cm^{-1} mode symétrique de valence,
- ν_2 667 cm^{-1} mode de déformation.

Le schéma (fig. 4) donne le diagramme des niveaux d'énergie de la molécule CO_2 ainsi que les transitions

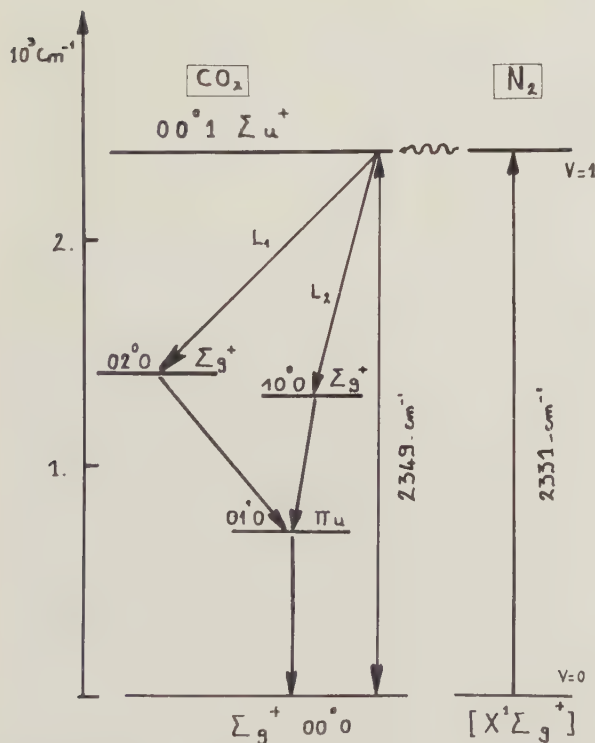


FIG. 4 — Niveaux d'énergie du gaz carbonique et de l'azote intervenant dans l'émission laser.

laser observées, selon la notation [6]. Pour la clarté du dessin, on n'a pas représenté la structure rotationnelle des niveaux de vibration. On observe un grand nombre de raies laser sur les branches *P* et *R* des transitions $\nu_3-2\nu_2$ centrées vers 10,6 μ ainsi qu'entre ν_3 et ν_1 centrées vers 9,4 μ .

Divers calculs ont été effectués sur le gain de ces raies laser [7]. En particulier, on peut indiquer que les transitions de la branche *P* présentent un gain optique donc une possibilité d'émission laser même

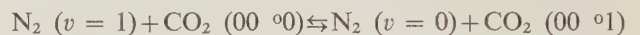
lorsque le rapport des populations vibrationnelles est plus petit que l'unité. Les transitions de la branche *R* ont un gain légèrement plus faible. Le gain présente un maximum pour des *J* de l'ordre de 20.

Le mécanisme provoquant l'inversion de population n'est pas complètement élucidé. Les niveaux vibrationnels sont excités, soit par retombées radiatives des niveaux supérieurs, soit par recombinaisons ions-électrons ou atomes-molécules. Néanmoins, on peut obtenir une émission stimulée en particulier à 10,6 μ (raies de P_{20} à P_{40}) dans du gaz carbonique pur [8] car la durée de vie de l'état ν_3 est supérieure à celle des états ν_1 et $2\nu_2$ ainsi que l'a montré WITTEMAN récemment [9]. Ces durées de vie étant :

$$\tau_{\nu_1} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ s} \quad \tau_{\nu_2} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad \tau_{\nu_3} = 5,7 \text{ s.}$$

3.2. ROLE DE L'AZOTE

F. LEGAY et N. LEGAY-SOMMAIRE [3] ont démontré la possibilité d'enrichir la population du niveau $00^0 1$ à l'aide de l'azote excité ($v = 1$). En effet, le premier niveau vibrationnel excité de l'azote (2 331 cm^{-1}) est à 18 cm^{-1} du niveau vibrationnel excité ν_3 du gaz carbonique (2 349 cm^{-1}). L'énergie de translation due à l'agitation thermique à la température correspond à 210 cm^{-1} ; on doit considérer qu'il y a une résonance étroite entre ces deux niveaux et que des collisions de deuxième espèce, du type :



sont extrêmement probables.

L'azote vibrationnellement excité est très facilement produit dans une décharge. De plus, sa durée de vie est extrêmement grande. Donc des mélanges $\text{N}_2\text{-CO}_2$ vont pouvoir se trouver en déséquilibre thermodynamique très facilement et, en particulier, l'état du gaz carbonique ($00^0 1$) doit se trouver fortement enrichi au détriment des autres niveaux de ce gaz.

3.3. ROLE DE L'AIR

Nous avons souvent, au cours de nos expériences, utilisé directement des mélanges air-gaz carbonique pour réaliser des émissions stimulées. En effet, on peut montrer que les collisions oxygène-gaz carbonique et vapeur d'eau-gaz carbonique favorisent l'inversion de population.

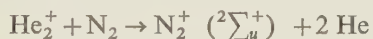
WITTEMAN [10] a étudié l'influence de la vapeur d'eau sur le dépeuplement du niveau $10^0 0$ du gaz carbonique il a montré qu'il existe une bonne coïncidence entre le niveau d'énergie de la vapeur d'eau à 1 596 cm^{-1} et le niveau d'énergie du gaz carbonique à 1 388 cm^{-1} , ce qui peut provoquer un transfert d'énergie par collisions résonnantes et favoriser ainsi l'inversion de population sur la transition à 10 μ du gaz carbonique.

3.4. ROLE DE L'HÉLIUM

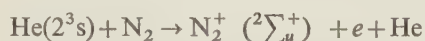
Ce gaz a un effet considérable sur les performances du laser. L'expérience nous a conduit à lui attribuer une double action.

En présence d'hélium, la luminescence de la décharge est confinée au centre du tube. En l'absence de ce gaz, nous supposons que la diffusion du gaz carbonique est suffisamment importante pour que ce gaz se désexcite sur les parois ; l'hélium réduit le coefficient de diffusion du gaz carbonique et atténue ce phénomène. De plus, l'hélium modifie l'impédance de la décharge et permet d'augmenter le courant parcourant le tube.

COLLINS et ROBERTSON [11] ont étudié les échanges d'énergie entre l'hélium métastable et diverses molécules. Pour des pressions d'hélium supérieures à 10 torrs, il se produit la réaction suivante :



L'azote excité retombe sur le niveau $v = 1$. Pour les pressions d'hélium inférieures à 10 torrs, on a la réaction suivante :



qui paraît avoir une probabilité inférieure à la précédente.

Expérimentalement, nous observons deux maxima de puissance laser, l'un relativement faible à basse pression, l'autre beaucoup plus important à pression plus élevée.

3.5. DESCRIPTION DE LA CAVITÉ OPTIQUE

La puissance délivrée par un laser moléculaire est proportionnelle au volume actif de la cavité ; pour le laser de puissance que nous décrivons, nous obtenons environ 30 W/l de milieu actif. Il faut donc réaliser une géométrie de cavité présentant pour le PÉROT FABRY une zone active maximale. L'utilisation de miroirs plans serait intéressante mais la cavité ainsi formée est très difficile à régler et provoque beaucoup d'instabilités de fonctionnement. Pratiquement, nous utilisons un miroir concave de rayon de courbure beaucoup plus grand que la longueur de la cavité ; l'autre miroir est plan ou éventuellement convexe.

Dans l'infrarouge lointain, il est très difficile de réaliser des couches semi-réfléchissantes à cause de la grande épaisseur présentée par ces couches. Nous avons donc adopté un nouveau système de couplage permettant de sortir l'énergie du laser ; il s'agit d'un couplage par trou. Les meilleurs résultats sont obtenus avec un trou circulaire au centre du miroir plan. Nous avons essayé d'autres systèmes de couplage, en particulier des couplages par couronne. La réalisation de tels miroirs est très simple : il suffit, soit de percer le support métallique du miroir avant dorure, soit de mettre un cache pendant cette opération si le miroir est réalisé sur un support transparent à 10μ . Le calcul, permettant de déterminer le diamètre du trou, est difficile à effectuer à cause d'un effet de convergence due au gradient de température présenté par le gaz. En fait, nous avons déterminé le diamètre optimal du trou expérimentalement.

Nous avons réalisé des lasers à miroirs internes. Le fonctionnement d'un laser à miroirs externes ne présentant pas de difficultés à condition de réaliser

des fenêtres sous incidences brewstériennes à l'aide de matériaux n'absorbant pas le $10,6 \mu$, par exemple en utilisant des fenêtres en chlorure de sodium.

3.6. EXCITATION DU MÉLANGE GAZEUX

Les lasers à $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ peuvent être excités, soit en courant continu, soit en impulsions.

3.6.1. Excitation en courant continu ou à 50 Hz

Les conditions pratiques de fonctionnement sont, par exemple, pour le tube de 90 mm de diamètre et de 3 m de longueur, un courant de 250 mA sous une tension continue de 12 kV. Il faut remarquer que la puissance obtenue avec un tube donné présente un maximum aigu en fonction du courant existant dans la décharge.

Il est très commode d'utiliser une alimentation en courant alternatif, celle-ci est constituée d'un transformateur élévateur de tension. L'emploi d'un transformateur à fer saturé facilite l'amorçage de la décharge et limite automatiquement l'intensité en cours de fonctionnement. On obtient ainsi une puissance moyenne et un rendement légèrement supérieurs au fonctionnement en courant continu. Bien entendu, la puissance est modulée à 100 Hz avec une profondeur de modulation pratiquement de 100 %. Le laser décrit dans cet article a fourni 280 W en puissance moyenne, ce qui représente une puissance crête de 560 W, le rendement légèrement supérieur à 10 %.

3.6.2. Excitation en impulsions

Un tube d'une longueur de décharge 1,80 m et 18 mm de diamètre, fournissant 12 W en fonctionnement continu, a été alimenté en impulsions sous des tensions inférieures à 10 kV et des courants crête de l'ordre de l'ampère.

Aucun retard entre le passage du courant et l'émission de lumière cohérente n'a été enregistré.

Nous obtenons des largeurs d'impulsion laser de $500 \mu\text{s}$ avec uniquement du gaz carbonique. Celles-ci peuvent être réduites à $150 \mu\text{s}$ en présence d'hélium. Le passage du courant durant ces expériences durait environ $100 \mu\text{s}$. Les puissances crête obtenues ont été de l'ordre du kilowatt à haute cadence de répétition, la puissance moyenne étant de 9 W. Il est probable que le rapport entre la puissance crête et la puissance continue obtenues pour un même laser est de l'ordre de 100 [12]. Des essais sur des lasers de grande puissance sont en cours d'exécution.

4. Application des lasers moléculaires

Les puissances et les rendements que l'on peut obtenir sont très prometteurs et laissent entrevoir de nombreuses applications. Ces dernières sont schématiquement de deux types, mettant en œuvre, soit l'effet thermique, soit la cohérence et la faible absorption atmosphérique en vue d'applications aux télécommunications.

4.1. EFFET THERMIQUE

Un faisceau laser peut, sans difficulté, être focalisé

pour une surface de $100\ \mu$ de diamètre. Une puissance de 300 W correspond, dans ces conditions, à une densité d'énergie de l'ordre de $10^7\ \text{W/cm}^2$, ce qui permet d'atteindre des températures extrêmement élevées. Il faut donc s'attendre à voir utiliser ces lasers moléculaires dans beaucoup de problèmes de soudure, de fusion de matériaux à haute température. On peut réaliser également des sources émissives de très grande intensité lumineuse utilisables pour la spectroscopie. La possibilité de vaporiser pratiquement n'importe quel matériau peut amener des progrès dans les réalisations de plasma et la spectroscopie de masse.

4.2. APPLICATIONS AUX TÉLÉCOMMUNICATIONS ET RÉSULTATS OBTENUS EN OPTIQUE NON LINÉAIRE

L'atmosphère est transparente dans la bande des $10\ \mu$. En fait, la présence de gaz carbonique dans l'atmosphère introduit une absorption, précisément aux longueurs d'onde produites par ce laser. N. LEGAY-SOMMAIRE et F. LEGAY estiment, en première approximation, que la traversée de l'atmosphère à la verticale introduirait une perte d'environ 70 % de l'énergie du faisceau.

Il est probable que les télécommunications utiliseront des lasers à N_2O qui délivreront des puissances comparables à l'appareil qui a été décrit et dont le rayonnement est moins absorbé par l'atmosphère. Il faut néanmoins remarquer que la détection de ces faisceaux et surtout la modulation sont des problèmes mal résolus à l'heure actuelle et qui font l'objet d'études intensives.

L'existence de lasers puissants vers $10\ \mu$ a permis la production du deuxième harmonique grâce à un cristal de tellure correctement orienté. Cette expérience a été réalisée au Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité [13] en même temps qu'aux laboratoires de la Bell Telephone [14]. Elle permet d'envisager la réalisation d'oscillateurs paramétriques infrarouges. Le tellure est un cristal très intéressant pour ce genre d'expérience car il possède un coefficient de non-linéarité plus de mille fois supérieur à celui du K.D.P. et il est transparent de 5 à $25\ \mu$. La modulation d'un rayonnement à $10,6\ \mu$ peut être envisagée grâce au cristal de sélénium.

5. Conclusions

Le progrès dans le domaine des lasers moléculaires a été très rapide. En effet, en moins d'un an, les puissances obtenues sont passées de 1 W à quelques

centaines de watts et il semble que le mouvement doive continuer. De nombreuses transitions moléculaires donnent l'effet laser et il est à prévoir que beaucoup d'autres gaz fourniront des rayonnements stimulés à grande puissance dans l'infrarouge.

Le rendement extrêmement élevé pour une conversion courant électrique - lumière donne l'espoir de débouchés industriels importants. La puissance de ces lasers paraissant proportionnelle au volume du gaz utilisé, on peut imaginer que les futurs lasers auront des volumes s'exprimant en mètres cubes ; à titre d'indication, les volumes actuels se comptent en décimètres cubes, tandis qu'il y a un an c'étaient des centimètres cubes.

Nous remercions M. HENRY, du Laboratoire de Spectroscopie Moléculaire de M. le Professeur AMAT, et M. LEGAY pour l'aide apportée à cette étude financée en partie par la D.R.M.E. Nous remercions également M. ROULOT et Mme FRACHE qui ont mené heureusement les expériences.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] POLANYI J.C. — *J. Chem. Phys.*, vol. 34, 1961, p. 347.
- [2] PATEL C.K.N., FAUST W.L., MAC FARLANE R.A. — *Bull. Am. Phys. Soc.*, vol. 9, 1964, p. 500.
- [3] LEGAY F. et LEGAY-SOMMAIRE N. — *C.R. Acad. Sc. Paris*, vol. 259, 1964, p. 99.
- [4] LEGAY-SOMMAIRE N., HENRY L. et LEGAY F. — *C.R. Acad. Sc. Paris*, vol. 260, 1965, p. 3339.
- [5] HENRY L. et LEGAY F. — *l'Onde Electrique* Avril 1966 p. 410
- [6] AMAT G. et PIMBERT M. — *J. Mol. Spect.* vol. 16, 1965, p. 278.
- [7] PATEL C.K.N. — *Phys. Rev. Letters*, vol. 12, 1964, p. 588.
- [8] FRAPARD C., LAURÈS P. et ROULOT M. — *C.R. Acad. Sc. Paris*, vol. 262, 1966, p. B 45.
- [9] WITTEMAN W.J. — *Philips Res. Reports*, Suppl. n° 3, 1963.
- [10] WITTEMAN W.J. — *Philips Res. Reports*, A paraître.
- [11] COLLINS C.B. et ROBERTSON W.W. — *Proceedings of the Fourth International Conference on Ionisation Phenomena in Gases* (6^e Conférence, Tome I) North-Holland publishing Company Amsterdam, 1963.
- [12] FRAPARD C., ROULOT M. et ZIEGLER X. — *Phys. Letters*, vol. 20, 1966, p. 384.
- [13] VAN TRAN Nguyen, HANUS J. et KEHL D. — *C.R. Acad. Sc. Paris*, n° 4, 24 janvier 1966, p. 272.
- [14] PATEL C.K.N. — *Phys. Rev. Letters*, vol. 15, 1965, p. 1027.

LES LASERS IONIQUES

PAR

G. CONVERT

*C.E.P.E.C. 92 - Corbeville
C.S.F.*

1. Introduction

Les lasers ioniques utilisent des transitions électroniques d'atomes ou de molécules qui ont déjà perdu un ou plusieurs de leurs électrons. Par leur mécanisme de base, ils sont très voisins des lasers à gaz les plus classiques qui utilisent aussi des transitions électroniques. Leurs particularités de fonctionnement et leurs propriétés en font cependant une classe à part dont l'étude se révèle tout à fait intéressante.

Les lasers ioniques sont d'origine très récente ; mais leur développement a été particulièrement rapide.

Les premiers résultats publiés sur les lasers ioniques datent en effet de 1964 : ils sont dus à W.E. BELL [1], aux Etats-Unis, qui, par des décharges dans de la vapeur de mercure a obtenu des raies verte et orange de l'ion mercure ionisé une fois. W.B. BRIDGES [2], d'autre part BENNETT, KNUTSON, MERCER [3] aux Etats-Unis et, simultanément en France M. ARMAND, Ph. MARTINOT-LAGARDE et l'auteur [4.5] ont obtenus ensuite l'émission de raies vertes et bleues sur l'argon ionisé. Très rapidement, d'autres résultats sont apparus sur l'émission laser dans le visible des différents gaz rares. Enfin, en 1965, le spectre des fréquences produites a été étendu à l'ultra-violet avec les travaux de McFARLANE [6] et BRIDGES [7] aux Etats-Unis, de DANA, LAURÈS, ROCHEROLLES [8] en France.

La liste des ions qui ont produit l'effet laser s'allonge constamment. Outre les gaz rares, elle comprend actuellement l'oxygène, l'azote, le soufre, le chlore, l'iode, le carbone, le phosphore, le zinc, le cadmium. Le nombre des raies ajoutées ainsi au tableau des lasers à gaz dépasse 250.

Plusieurs raisons s'attachent au développement des lasers à gaz. Alors que les transitions sur atomes neutres couvrent surtout l'infrarouge, mais se trouvent dans le visible limitées au rouge et rouge-orange, les transitions sur atomes ionisés, par contre, couvre

complètement le visible et s'étendent à l'ultraviolet proche. Nombre des raies obtenues ont des gains importants, et bien que les rendements demeurent très faibles, il est possible d'obtenir sur certaines d'entre elles des puissances crêtes et moyennes élevées.

2. Les mécanismes mis en jeu

2.1. TRANSITIONS ÉLECTRONIQUES

a) Schématiquement les expériences sur lasers ioniques prennent l'aspect classique des expériences sur lasers à gaz neutres. Elles utilisent un tube à décharge long et fin fermé à ses extrémités sur deux miroirs formant un résonateur de PÉROT-FABRY. Eventuellement une étuve permet de régler la pression des vapeurs.

Les conditions expérimentales peuvent être assez variées, la longueur des tubes allant de quelques mètres à la dizaine de centimètres, les diamètres de quelques centimètres au millimètre. Les décharges mettent en jeu quelques dizaines de kilovolts et la centaine d'ampères dans des expériences en impulsions. Les tensions et courant peuvent être de l'ordre de la centaine de volts et quelques ampères dans le fonctionnement en continu aux régimes les plus faibles. Les pressions s'échelonnent de la dizaine de microns à quelques millimètres de mercure.

b) Ces conditions expérimentales très diverses font prévoir a priori une grande variété dans les transitions mises en jeu. En fait, un très grand nombre d'entre elles rentrent dans un schéma unique. Précisons-le sur l'exemple de l'argon ionisé une fois. (fig. 1). La configuration électronique de l'atome neutre d'argon non excité est :

$$1s^2. 2s^2 p^6 \quad 3s^2 p^6.$$

Il comprend deux électrons de moment orbital nul sur le niveau $n = 1$, deux électrons s et six électrons p , de moment orbital unité, sur le niveau 2 etc...

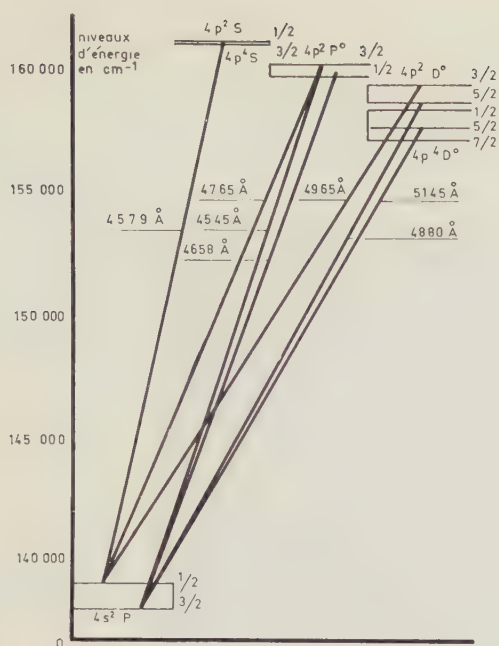


FIG. 1. — Niveaux d'énergie de l'argon ionisé.

S'il est ionisé, la dernière couche de l'atome, dans son état d'énergie le plus bas, comprend seulement cinq électrons (ou un trou). Si l'atome ionisé est excité la dernière couche comprend deux trous et l'un des électrons occupe l'un des états $3d$, $4(s, p, d)$, $5s$ etc., le configuration de l'atome devenant $3s^2 p^4 4s$, $3s^2 p^4 4p$ etc.

A chacune de ces configurations correspond évidemment une suite de niveaux d'énergie différents, par suite du couplage entre électrons. On peut les représenter par leur moment orbital total L : S, P, D de valeur $0, 1, 2, \dots$ leur spin total s , leur moment angulaire total $J = L \pm s$. Ils sont notés $(2s+1)_{LJ}$. Ainsi l'atome neutre est représenté par $3s^2 3p^6 {}^1S_1$ et l'atome ionisé non excité a deux niveaux : $3s^2 3p^5 : {}^2P_{1/2} {}^2P_{3/2}$ etc.

La configuration des autres gaz rares se présente d'une manière analogue. Elle est pour les différents atomes neutres :

Ne	$2s^2$	$2p^6$
Ar	$3s^2$	$3p^6$
Kr	$4s^2$	$4p^6$
Xe	$5s^2$	$5p^6$

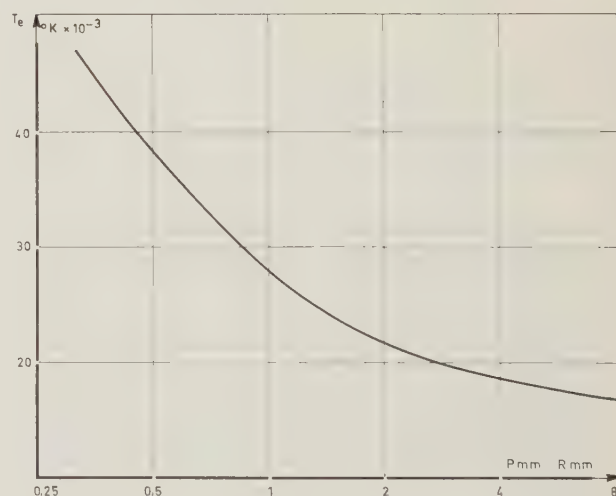
On constate que, sur les lasers ioniques utilisant des gaz autres que les vapeurs métalliques, dans la très grande majorité des cas les transitions mises en jeu dans l'oscillation stimulée en gaz pur font passer un électron excité de la configuration np à la configuration ns ou, à la rigueur, à la configuration $(n-1)d$, c'est le cas par exemple d'une des raies les plus intenses de l'argon ionisé, la raie bleue 4880 Å ($4p^2 D_{5/2} \rightarrow 4s^2 P_{3/2}$) mais c'est aussi le cas de la raie verte 5145 Å ($4p^4 D_{5/2} \rightarrow 4s^2 P_{3/2}$) également très intense qui se produit, au contraire de la précédente, avec change-

ment de spin et serait interdite si le couplage entre électrons était un « couplage $L-S$ » simple.

2.2. MÉCANISME D'INVERSION EN GAZ PUR

Il est possible de donner une explication simple du mécanisme de l'inversion sur les raies $np \rightarrow ns$ ou $np \rightarrow (n-1)d$.

a) Une inversion de population signifie évidemment un déséquilibre thermique. Dans les lasers ioniques, l'origine de l'inversion doit être recherchée dans l'écart qui peut exister entre la température des ions et des atomes neutres, la température de rayonnement ambiant et la température des électrons. Dans une décharge en régime d'arc, sous pression élevée, la température des électrons est peu différente de celle des ions, les chocs entre eux étant extrêmement nombreux. A pression plus faible, par contre, il peut exister un écart d'autant plus important que la pression est plus faible. Ainsi dans une décharge dans l'argon sous une pression de l'ordre du millimètre de mercure, la température des électrons est d'une dizaine de milliers de degrés (fig. 2). La nécessité d'obtenir des écarts de température importants entre les électrons et l'ambiante explique la nécessité d'utiliser des pressions basses : en gaz pur les pressions optimales se situent au-dessous du millimètre de mercure.

FIG. 2. — Température électronique dans une décharge dans l'argon, en fonction du produit pression $\times$ rayon.

b) Le mécanisme d'excitation des atomes par chocs électroniques est extrêmement complexe. Aux vitesses élevées l'approximation de BORN et OPPENHEIMER est applicable : les excitations les plus probables se produisent entre niveaux permis optiquement. La situation est différente lorsque la vitesse des électrons est relativement faible, leur énergie ne dépassant guère, par exemple, l'électron-volt au-dessus du seuil d'excitation. Les excitations par électrons de transitions permises ou non ont alors des probabilités comparables. Dans une décharge, à cause de la rapide décroissance du nombre d'électrons en fonction de leur énergie, qu'indique la distribution de MAXWELL,

c'est la loi de probabilité au voisinage du seuil d'excitation qui fixe l'allure de l'excitation par les électrons chauds. Schématiquement, on peut donc admettre que les niveaux d'énergie comparable, qu'ils correspondent à des transitions permises optiquement ou non, sont excités également dans la décharge.

L'équilibre de la population sur un niveau donné est, en définitive, gouverné par la durée de vie de ce niveau. Or, ces durées de vie sont, comme le montre les calculs, particulièrement courtes sur les états d ou s pour lesquels les émissions spontanées sont très fortes. Ces mécanismes assurent l'inversion de population.

Enfin, l'oscillation laser est rendue possible parce que les transitions entre niveaux p et s ou d sont importantes lorsqu'elles se produisent pour la même valeur de n ou des valeurs immédiatement voisines.

2.3. EXCITATION EN UNE OU DEUX ÉTAPES

Le comportement en impulsion ou en continu des décharges en gaz purs revèlent quelques différences.

a) En impulsions, on utilise généralement des pressions plus faibles. Dans les décharges brusques, les électrons peuvent atteindre des vitesses et des températures très élevées. Un mécanisme direct d'excitation du niveau supérieur de la raie laser à partir de l'atome neutre dans son état non excité est possible et le nombre de particules excitées est proportionnel au courant.

A pression plus élevée, en continu, la température électronique s'établit à des valeurs plus basses, les excitations directes à partir de l'atome neutre sont peu probables, moins probables que les excitations à deux étapes où vont intervenir, par exemple, les atomes ionisés. L'inversion de population est alors proportionnelle au carré du courant.

b) Aux faibles puissances d'émission de lumière, l'émission induite modifie peu le temps de relaxation des niveaux supérieurs et inférieurs et le nombre des photons présents dans la cavité est proportionnel à la différence de population N . La puissance émise, proportionnelle au produit Nn , varie donc comme le carré du courant, ou sa quatrième puissance suivant que le fonctionnement est en impulsion ou en continu. Bien entendu ceci reste qualitatif et la pratique fait apparaître des lois de variations plus compliquées.

c) A des courants de décharge suffisamment élevés, une saturation se manifeste dans la puissance de sortie exprimée en fonction du courant de décharge. Cette saturation s'explique par un accroissement de la population du niveau inférieur. Les chocs électroniques peuplent ce niveau d'une manière non négligeable et, d'autre part, la durée de vie des particules peut y augmenter, par emprisonnement de radiation, si les dimensions transversales de la décharge sont importantes.

Les schémas $np \rightarrow ns$ et $np \rightarrow (n-1) d$ sont valables pour les décharges en gaz purs. Dans des mélanges de gaz, il est possible d'obtenir l'excitation de certains niveaux par collision résonante de seconde espèce. C'est à des collisions entre atomes de néon et atomes d'hélium dans un état métastable qu'est due, dans le laser classique hélium-néon, l'excitation du niveau supérieur de la raie rouge $6\,328\text{ Å}$.

Des mécanismes de ce genre ont été appliqués en France par LAURÈS, DANA et FRAPART [9, 10] à l'excitation d'atomes ionisés.

Par choc sur niveau métastable d'hélium $\text{He}(2s\,S)$, ils ont obtenu l'excitation des niveaux $6s\,^4P_{3/2}$ et $6\,S\,^4P_{5/2}$ du krypton avec émission d'une raie à $4\,695\text{ Å}$ ($6\,S\,^4P_{3/2} \rightarrow 5\,S\,^4D_{7/2}$). Ils ont obtenu également une émission analogue du xénon ($7\,S\,^4P_{3/2} \rightarrow 6\,p\,^4D_{3/2}$) excité par des atomes métastables de néon. Ces raies apparaissent dans le fonctionnement en impulsions dans des régimes de postdécharge avec des pressions relativement élevées d'hélium ou de néon.

3. Les lasers à argon ionisé

3.1. INTÉRÊT DE LEUR ÉTUDE

Ce sont certainement parmi les lasers ioniques, les lasers à argon qui ont donné lieu aux études les plus importantes jusqu'à présent. Il y a plusieurs raisons à cela :

— les raies les plus intenses des lasers à argon se trouvent groupées dans le bleu-vert, région du spectre particulièrement intéressante pour de nombreuses applications ;

— les gains sont élevés et les puissances à fournir pour obtenir le fonctionnement en continu demeurent relativement modérées ;

— enfin, les lasers à argon peuvent fournir des puissances relativement grandes.

3.2. SCHÉMA D'UNE RÉALISATION

Décrivons, à titre d'exemple, une forme simple de réalisation utilisée dans les laboratoires de la CSF.

La partie essentielle du laser est constituée par un tube capillaire de quartz d'un diamètre de l'ordre de $1,5\text{ mm}$, de longueur 20 cm , fermé à ses extrémités sur deux fenêtres également en quartz, scellées à l'incidence brewstérienne. La cathode est une cathode à réserve de grande surface. Sa température de fonctionnement doit être déterminée avec assez de précision. Trop froide, une chute cathodique s'établit et le bombardement ionique entraîne une pulvérisation qui absorbe les gaz. En régime de charge d'espace, au contraire, la chute cathodique est très faible et il n'y a pas de bombardement ionique. La densité de courant fournie par la cathode, dans ces conditions, peut atteindre $3\text{ à }5\text{ A/cm}^2$.

La chute de potentiel cathodique est de l'ordre d'une dizaine de volts. L'anode doit donc dissiper une puissance assez élevée. Elle est refroidie à l'eau.

Les miroirs extérieurs formant la cavité PÉROT-FABRY sont des miroirs à couches diélectriques multiples (cryolithe et sulfure de zinc).

3.3. DISSIPATION THERMIQUE

La puissance à dissiper par unité de longueur du tube peut atteindre plusieurs dizaines de watts. Dans

le fonctionnement en continu, il existe donc un problème de dissipation thermique. Une solution satisfaisante consiste à entourer le tube central de décharge d'une chemise d'eau. Si le tube central est assez mince, la dissipation thermique est satisfaisante jusqu'à des courants de décharge de 10 à 15 A.

comme la quatrième puissance du courant. On n'observe pas de saturation, même à des courants atteignant la douzaine d'ampères dans la géométrie décrite en 3.1. A ces niveaux de puissance appliquée, la puissance totale émise est de l'ordre du watt, dans les cas les plus favorables, puissance qui se ré-

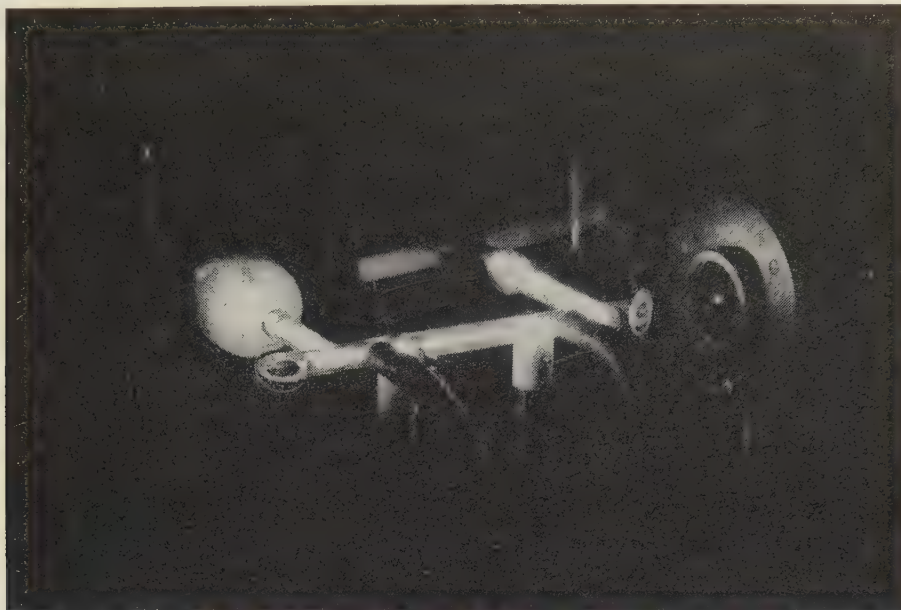


FIG. 3. — Montage expérimental d'un laser à argon ionisé.

Un autre problème se pose : les ions se recombinent sur les parois du tube en libérant pour chacun d'eux une énergie minimale de l'ordre de 16 eV. Cette énergie peut entraîner une décomposition de la paroi de quartz. On observe en effet, pour des régimes de décharge très élevés, un brunissement important de la paroi au bout de quelques dizaines d'heures de fonctionnement.

Pour pallier cet inconvénient, il a été proposé [12] de réaliser l'espace de décharge sous forme d'une succession de petits cylindres de tungstène, susceptibles de supporter des températures élevées. Une technologie de ce genre doit permettre d'atteindre des durées de vie importantes à des niveaux de puissance élevée.

3.4. GAINS

Les raies les plus intenses obtenues par ordre de gains décroissants sont : 4880 Å 5145 Å 4765 Å 4965 Å 4579 Å 5017 Å 4545 Å. Ces raies paraissent dans leur ensemble lorsque la réflectivité des miroirs est forte et le courant suffisamment élevé. Il est possible de limiter l'émission à la première ou aux premières de ces raies en choisissant des miroirs de réflectivité assez faible.

3.5. LA PUISSANCE TOTALE ÉMISE

Comme il a déjà été indiqué, la puissance émise varie, au-delà du courant seuil, approximativement

partit essentiellement entre les raies 4880 Å et 5145 Å. La puissance reste limitée à quelques centaines de milliwatts dans des conditions de décharge moins dangereuses pour la durée de vie du tube.

Les puissances appliquées atteignent plusieurs kilowatts. Les rendements sont donc très faibles et demeurent inférieurs à 10^{-3} . Qualitativement cela s'explique assez bien si l'on tient compte de ce que les niveaux utiles se situent à 35 eV au-dessus du niveau de l'atome d'argon ionisé. Les niveaux d'énergie inférieurs à 35 V sont excités plus intensément. Ils perdent leur énergie soit par émission spontanée, soit par desexcitation sur les parois.

3.6. APPLICATION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE

a. La variation de la puissance émise suivant la quatrième puissance du courant indique l'existence d'un processus à deux étapes. Des atomes ionisés peuvent constituer cette étape intermédiaire. Il doit être possible alors, en limitant la recombinaison des ions sur les parois, d'aboutir à une augmentation du rendement. C'est ce qu'on observe lorsqu'on applique un champ magnétique longitudinal à la décharge. Le champ magnétique joue en fait un double rôle : il limite la diffusion des ions et leur recombinaison sur les parois et provoque une striction de la décharge. L'augmentation de densité des particules chargées qui en résulte permet, à égalité de courant de décharge, d'augmenter le nombre de chocs favorables. D'autre part, la striction se traduit

par une limitation de la puissance à dissiper, à courant donné, sur la paroi du tube. On observe plusieurs effets dont l'explication qualitative est immédiate :

— A égalité de champ appliqué, l'effet sera plus important sur des tubes de plus grand diamètre ;

— En présence de champ magnétique, la saturation se produit à des courants plus faibles. Le champ magnétique de saturation est plus important pour des petits diamètres de tube de décharge ;

— Pour les grands diamètres, le régime de la décharge devient indépendant du diamètre du tube.

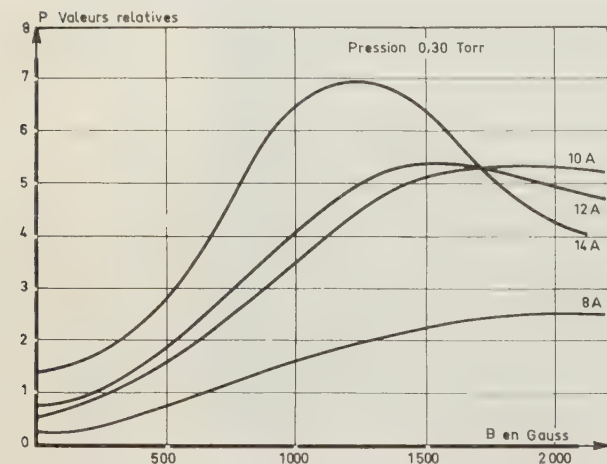


FIG. 4. — Influence du champ magnétique sur la puissance émise par un laser à argon ionisé.

b. Un champ magnétique provoque naturellement un dédoublement Zeeman de la raie. Sur un tube terminé par des fenêtres à incidence brewstérienne on observe un maximum de puissance vers 500-600 G, valeur du champ pour laquelle la séparation Zeeman est un peu inférieure à la largeur de la raie Doppler. En utilisant des miroirs incorporés, on peut à des valeurs optimales sensiblement plus élevées du champ magnétique (2000 G sur un tube de diamètre 1,7 mm), atteindre des puissances plus importantes.

Des décharges de l'ordre du mètre de longueur sur des diamètres de 1,7 mm fournissent des puissances continues de l'ordre d'une quinzaine de watts. Les rendements atteints sont alors de l'ordre de 1‰.

A ces niveaux de puissance, les miroirs, dans leur réalisation habituelle, se détériorent très vite.

4. Propriétés de la lumière émise - Applications

Les rendements de 10^{-3} à 10^{-4} des lasers ioniques les classent très favorablement, comme sources de lumière, en comparaison des sources classiques dont les rendements s'échelonnent de quelques pour cent à plus de dix pour cent. Evidemment l'utilisation des lasers ioniques ne se justifie que dans les applications où leurs propriétés de cohérence sont nécessaires. Mais dans ces applications, deux facteurs leur assurent une place prépondérante : la large répartition de leurs longueurs d'onde sur l'ensemble du spectre visible et sur le proche ultraviolet, la valeur

élevée des puissances qu'ils sont susceptibles de fournir.

4.1. COHÉRENCE SPATIALE

On sait qu'un faisceau lumineux se caractérise par son étendue, produit $S \cdot \Omega$ de sa section par son ouverture, et que cette grandeur se conserve dans la propagation du faisceau, et en particulier dans son passage à travers des instruments d'optique. Convenablement normalisée, l'étendue mesure d'ailleurs le nombre des « modes de propagation du faisceau » $n = 2S\Omega/\pi\lambda^2$ (à la longueur d'onde λ), tels qu'ils sont définis, par exemple, dans la technique des microondes.

Une source incohérente, une lampe à mercure par exemple, se caractérise par un nombre de modes très élevé. Une géométrie convenable des miroirs permet, par contre, de n'obtenir qu'un seul mode de propagation, le mode fondamental, à la sortie d'un laser à gaz. Dans ce mode fondamental, la section du faisceau est équiphase et la répartition de l'énergie y est gaussienne. Son étendue atteint la valeur minimale compatible avec les phénomènes de diffraction.

Un tel faisceau, utilisé au travers d'un instrument d'optique convenable, offre la directivité la plus grande possible.

D'autre part, on peut concentrer toute la puissance transportée par le mode fondamental sur une surface dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde.

Dans des expériences d'interférence, le faisceau lumineux doit être limité à un mode de propagation. On obtient ce résultat habituellement en concentrant la lumière d'une source incohérente sur un écran percé d'un trou dont le diamètre est de l'ordre de la longueur d'onde.

La puissance utile n'est ainsi qu'une fraction extrêmement faible de la puissance totale émise par la source.

Un laser à argon d'une centaine de milliwatts offre ainsi une puissance utile sur un mode unique de 10^5 à 10^6 fois supérieure à celle d'une lampe à mercure de puissance d'alimentation comparable, utilisée sur une largeur de spectre d'une centaine d'angströms.

4.2. COHÉRENCE TEMPORELLE

Un laser fonctionnant sur « mode de propagation » unique peut comprendre plusieurs fréquences. La largeur de raie d'émission spontanée (en l'absence de stimulation) est définie par l'effet Doppler. Les mesures montrent que cette largeur est d'environ 4 500 MHz sur la raie 4 880 Å d'un laser à argon ionisé. Une condition doit être remplie par la longueur d'onde d'émission stimulée lorsque le laser oscille : la distance entre les deux miroirs de Pérot-Fabry, est égale à un nombre entier de demi-longueurs d'onde. Si ces miroirs sont distants l'un de l'autre d'une trentaine de centimètres, on voit que les raies d'oscillations possibles sont écartées d'environ 500 MHz.

Un nombre maximal de dix fréquences d'oscillation peuvent prendre place à l'intérieur de la raie Doppler. Un grand nombre d'entre elles apparaissent si les miroirs ont une réflectivité suffisante. Dans ces conditions, des interférences entre deux parties du faisceau émis par le laser ne seront visibles que si leur différence de marche n'excède pas quelques centimètres.

La surtension d'un Pérot-Fabry peut être sensiblement augmentée pour certaines fréquences en le couplant à un deuxième Pérot-Fabry, par exemple. Tout se passe comme si l'un des miroirs présentait une réflectivité importante sur une bande très étroite. Un dispositif de ce genre permet de limiter l'émission du laser à une seule raie. Les différences de parcours admissibles entre parties du faisceau destinées à interférer peuvent devenir considérablement plus grandes que dans le cas précédent.

Cette différence de parcours reste limitée. Une raie d'émission ne peut être théoriquement infiniment étroite, sa largeur minimale est en effet définie par

$$\Delta f = \frac{4\pi kT(\Delta f_c)^2}{P}$$

où Δf_c est la largeur de bande de la cavité de Pérot-Fabry,

T la valeur absolue de la température d'inversion et

P la puissance émise.

Les largeurs de raies données par cette relation sont très faibles, de l'ordre de quelques cycles.

En fait, de nombreux phénomènes parasites modulent la raie en amplitude et phase et contribuent à l'élargir notablement. Ce sont les fluctuations et oscillations de la décharge, les vibrations mécaniques des supports, etc. Les dilatations thermiques, en particulier, peuvent provoquer des variations lentes très importantes de fréquence et d'amplitude. Un montage des miroirs sur des montures en silice fondue, par exemple, et une stabilisation poussée en température permettent d'aboutir à de bons résultats. Des lasers de ce type, stabilisés au millième de degré, ont été réalisés à la C.S.F. Ils fournissent une puissance de l'ordre de 1 à 10 mW avec une variation de fréquence sur longue durée, bien inférieure à 10 MHz.

4.3. APPLICATION DES LASERS IONIQUES

Ces propriétés des lasers ioniques leur ouvrent des domaines d'application importants.

Ils peuvent se substituer avec avantage aux lampes les plus puissantes dans toute l'instrumentation optique où des faisceaux lumineux fins et des fréquences bien définies sont nécessaires. Les puissances élevées qu'ils produisent sont utiles pour la mise en évidence d'effets non linéaires. En particulier, elles rendent possible l'utilisation industrielle de l'effet Raman à des analyses spectroscopiques.

Les lasers ioniques peuvent rendre de grands services dans le traitement optique des informations (technique des hologrammes).

Les applications des lasers ioniques ne paraissent

pas limitées seulement au domaine de l'optique. D'autres branches de la physique, la chimie, la biologie paraissent devoir tirer profit de leur utilisation.

5. Conclusions

Malgré leur découverte toute récente, les lasers ioniques constituent maintenant une branche très importante et aussi très active des lasers à gaz. Certains d'entre eux ont été développés d'une manière particulièrement rapide et ont trouvé déjà des utilisations intéressantes.

De nouveaux progrès sont prévisibles. Des améliorations technologiques, par exemple, doivent permettre d'étendre le fonctionnement continu à l'ultraviolet proche, ou encore d'atteindre de grande durée de vie aux régimes de puissance les plus élevés.

La qualité des signaux produits actuellement, finesse de raie et stabilité, est excellente. Les limites les plus fondamentales cependant sont encore loin d'être atteintes et des améliorations considérables demeurent possibles.

De nombreux laboratoires travaillent au développement des lasers ioniques. Le champ des applications qui s'offre à eux dans de multiples branches de la Science et des Techniques justifie ces efforts.

RÉFÉRENCES

- [1] BELL W.E. — Visible laser transition in Hg^+ . *Appl. Phys. Letters*, Vol. 4, p. 34, 15 janvier 1964.
- [2] BRIDGES W.B. — Laser oscillation in singly ionized argon in the visible spectrum. *Appl. Phys. Letters*, Vol. 4, p. 128, 1^{er} avril 1964.
- [3] BENNETT W.R., KNUTSOW J.W., MERCER G.N. — Super radiance excitation mechanisms and quasi-c.w. oscillations in the visible Ar^+ laser. *Appl. Phys. Letters*, Vol. 4, p. 180 (15 mai 1964).
- [4] CONVERT G., ARMAND M., MARTINOT-LAGARDE Ph. — Effet laser dans des mélanges mercure-gaz rares. *Comptes Rendus Acad. Sciences*, Vol. 258, p. 3 259, 23 mars 1964.
- [5] CONVERT G., ARMAND M., MARTINOT-LAGARDE Ph. — Transitions laser visibles dans l'argon ionisé. *Comptes Rendus Acad. Sciences*, Vol. 258, p. 4 467 (4 mai 1964).
- [6] MCFARLANE R. — Laser oscillation on visible and ultra violet transitions of singly and multiply ionized oxygen carbon and nitrogen. *Appl. Phys. Letters*, Vol. 5, p. 91, 1^{er} septembre 1964.
- [7] BRIDGES W.B., CHESTER A.N. — Visible and ultra violet oscillation at 118 wavelengths in ionized neon argon krypton, or xenon oxygen and other gases. *Appl. Optics*, Vol. 4, p. 573, mai 1965.
- [8] DANA L., LAURÈS P., ROCHEROLLES R. — Raies laser ultraviolettes dans le néon, l'argon, le xénon. *Comptes Rendus Acad. Sciences*, Vol. 260, p. 481, 11 janvier 1965.
- [9] LAURÈS P., DANA L., FROPARD C. — Nouvelles transitions laser dans le domaine 0,43 - 0,52 μ obtenues à partir du spectre du krypton ionisé. *Comptes-Rendus Acad. Sciences*, Vol. 258, p. 6 363, 29 juin 1964.
- [10] LAURÈS P., DANA L., FROPARD C. — Nouvelles raies laser visibles dans le xénon ionisé. *Comptes Rendus Acad. Sciences*, Vol. 259, p. 745, 27 juillet 1964.
- [11] BRIDGES W.B., CHESTER A.N. — Spectroscopy of ions lasers. *I.E.E.E. Journal of Quantum Electronics*, Vol. 1, n° 2, mai 1965.
- [12] LABUDA E.F., GORDON E.I., MILLER R.C. — Continuous duty argon ion lasers. *I.E.E.E. Journal of Quant. Electr.*, Vol. 1, n° 6, septembre 1965.

LASER A SOLIDES FLUORESCENTS

PAR

O.K. DEUTSCHBEIN
Ingénieur contractuel

et

C.C. PAUTRAT
Ingénieur des Télécommunications

Département « Physique, Chimie, Métallurgie »
C.N.E.T.

Introduction

Si les premiers lasers qui fonctionnèrent en 1960, furent des lasers à solides fluorescents : laser à rubis (MAIMAN) [1] et laser à fluorine dopée uranium ou samarium (SOROKINE et STEVENSON) [2], ils furent bientôt suivis par des lasers d'autres types : laser à gaz (Ne-He) en décembre 1960 (JAVAN) [3], laser à semiconducteur en 1962, enfin, plus récemment, laser dit moléculaire.

Tous ces lasers reposent sur le même phénomène de base : émission induite de rayonnement, provoquée par l'inversion de populations, mais ils diffèrent par des aspects physiques et des phénomènes technologiques.

1. Comparaison du point de vue énergétique

Dans le tableau I, on compare systématiquement le nombre d'atomes actifs ainsi que la puissance de sortie des différents types de lasers, de dimensions usuelles :

1.1. LASERS A GAZ

Les lasers à gaz de type classique (He-Ne) par exemple, sont caractérisés par une très faible densité en atomes actifs et un volume utile petit ; c'est pourquoi le nombre total d'atomes actifs est faible et, en tout état de cause, il ne faut s'attendre qu'à des

TABEAU I

Caractéristiques Types	Concentration en atomes actifs / cm ³	Dimensions (cm) Volume utile (cm ³)	Nombre total d'atomes actifs	Puissance ou Energie de sortie
Gaz (He-Ne)	10 ¹⁶	∅ = 0,3 L = 100 V = 7	7 · 10 ¹⁶	30 mW (300 °K)
Laser à gaz « Moléculaire »	6 · 10 ¹⁶	∅ = 7,5 L = 200 V = 3 000	1,8 · 10 ²⁰	100 W (300 °K)
Semiconducteur (Ga-As) ..	2 · 10 ²²	0,05 × 0,05 × 0,0002 V = 5 · 10 ⁻⁷	10 ¹⁸	12 W (4 °K)
Rubis	1,3 · 10 ¹⁹	∅ = 1,2 L = 30 V = 35	4,5 · 10 ²⁰	1 500 J (relaxé) 6 · 10 ⁹ W (déclenché)
Cristaux Dopés (Nd ⁺⁺⁺)	2 · 10 ²⁰	∅ = 0,3 L = 3 V = 0,21	4 · 10 ¹⁹	2 W (300 °K)
Verres Dopés (Nd ⁺⁺⁺)	2 · 10 ²⁰	∅ = 1,2 L = 60 V = 70	1,4 · 10 ²²	1 000 J (en impulsion) (300 °K)

faibles puissances de sortie. Cependant, ce fait est compensé par la « qualité » de l'émission du point de vue de la monochromaticité, de la stabilité de fréquence et de la directivité : en effet, l'indice de réfraction du milieu est de l'ordre de 1,000003 et par conséquent, les variations de cet indice (dus aux fluctuations de températures ou d'homogénéité du gaz) sont très faibles, ce qui n'est le cas ni dans les lasers solides, ni dans les lasers à semiconducteurs.

1.2. LASERS A GAZ MOLÉCULAIRES

Les lasers à gaz moléculaires, $\text{CO}_2\text{-N}_2$ par exemple ont une concentration en atomes actifs plus élevée et surtout un volume utile supérieur à ceux des lasers à gaz type Ne-He, ce qui permet des puissances de sortie élevées, de l'ordre de la centaine de watts.

1.3. LASERS A SEMICONDUCTEURS

Les lasers à semiconducteurs, GaAs par exemple, sont ceux qui ont la plus grande concentration en atomes actifs, de l'ordre de quelques 10^{22} atomes par cm^3 , mais le faible volume de la zone active, celle-ci étant généralement constituée par une jonction, semble à l'heure actuelle, imposer une limite à leur possibilité sur le plan énergétique. Cette difficulté pourrait peut-être, être éludée par excitation par bombardement électronique, mais ce, au prix d'une complication technologique importante et d'une perte de rendement ; de plus, l'avantage de la conversion directe d'énergie électrique en énergie lumineuse par injection de porteurs disparaît alors.

1.4. LASER A SOLIDES FLUORESCENTS

Les lasers de ce type, par exemple à rubis et cristaux ou verres dopés aux terres rares, sont tout d'abord caractérisés par une concentration élevée en atomes actifs (atteignant 5 % en poids dans le cas des substances dopées au néodyme) ; d'autre part, le volume utile étant important, surtout pour les barreaux de verre, des émissions très énergétiques (1500 J) et très puissantes (6 GW) sont possibles. D'autre part, des cristaux dopés au néodyme sont capables d'un fonctionnement continu relativement intense (1 W) à la température ambiante. Ces lasers seront décrits en détail plus loin.

En fait, cet examen rapide est incomplet, car les performances énergétiques d'un laser, ne dépendent pas seulement du nombre d'atomes actifs, mais encore de la rapidité avec laquelle se déroule le cycle des transitions efficaces lors du fonctionnement. D'autre part, l'énergie de pompage n'étant pas transformée totalement en émission laser, il en reste une fraction à dissiper dans le matériau, ce qui pose une limite, quant à la densité de puissance de pompage et par conséquent de la puissance émise par unité de volume, dans les réalisations pratiques.

2. Fluorescence et conditions de l'effet laser

Il existe un grand nombre de substances fluorescentes et, de ce fait, certaines ont reçu des applica-

tions : phosphores des tubes fluorescents, des tubes cathodiques, des écrans de télévision, peintures lumineuses, certains verres décoratifs. La plupart des détergents sont fluorescents, cette fluorescence étant généralement due à la présence d'anthracène.

Mais ces substances sont-elles susceptibles de devenir amplificatrices (de lumière) et de présenter l'effet laser ? Pour répondre à cette question, rappelons brièvement les principes de l'effet laser.

2.1. CONDITIONS DE L'EFFET LASER

Si une radiation de fréquence ν parcourt une substance susceptible d'absorber ou d'émettre cette même radiation par fluorescence, par transition entre deux niveaux d'énergies E_1 et E_2 ($E_2 > E_1$), telles que :

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

après un parcours d , le rapport entre l'intensité émergente I et l'intensité incidente I_0 est donnée par :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha d} \quad (1)$$

où α est le coefficient d'absorption,

α est relié aux caractéristiques du matériau, par l'équation [4] :

$$\alpha = \frac{2\pi \ln 2 e^2 (n_1 - n_2) f}{\Delta \nu m c} = C^{te} \frac{(n_1 - n_2) f}{\Delta \nu} \quad (2)$$

où $\Delta \nu$ = largeur de la raie de la lumière, émise ou absorbée, en Hz = $\Delta \nu^* \cdot c$.

$\Delta \nu^*$ = largeur de la raie en cm^{-1} .

λ = longueur d'onde en cm.

e = charge de l'électron.

m = masse de l'électron.

c = vitesse de la lumière.

n_1 et n_2 = nombre d'atomes par cm^3 dans les états E_1 et E_2 .

f = force d'oscillateur de la transition $E_1 \rightarrow E_2$.

On voit qu'il n'y aura amplification que si α est négatif, donc $n_2 > n_1$ (inversion de population, cf. § 2.1.1.) et que ce gain sera d'autant plus grand que $(n_2 - n_1)$ et f seront plus élevés et $\Delta \nu$ petite.

Cependant, dans le cas du pompage optique par lampe à éclair, qui ont une durée d'éclair de l'ordre de la milliseconde, il existe une limite supérieure pour f , le produit $f \cdot \tau$ étant constant :

$$f \cdot \tau = \frac{m \cdot c}{8\pi^2 e^2} \frac{g_2}{g_1} \lambda^2 = 1,51 \frac{g_2}{g_1} \lambda^2$$

(g_1 et g_2 étant les poids statistiques des niveaux quantiques E_1 et E_2 et τ la durée de la transition $E_1 \rightarrow E_2$).

Il convient de choisir des substances où la valeur de τ soit supérieure à la durée de l'éclair électronique de pompage, afin d'obtenir une accumulation d'atomes excités et qui possèdent en même temps une largeur de raie faible.

2.1.1. INVERSION DE POPULATION

On rappelle qu'à l'équilibre thermique n_1 et n_2 sont liés par la loi de Boltzmann,

on a :

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{\frac{-E_2-E_1}{kT}}$$

k = constante de Boltzmann = $1,380 \cdot 10^{-23}$ J/ degré
 T = température absolue du système.

Pour obtenir l'effet laser, on doit arriver à la condition $n_2 > n_1$, c'est-à-dire à une inversion de population entre les états E_1 et E_2 .

Pratiquement pour réaliser cette inversion, on procède à une illumination puissante du matériau fluorescent afin de produire par absorption optique d'énergie lumineuse, une modification des diverses populations : c'est ce que l'on appelle le « pompage optique ».

Cependant, il est pratiquement impossible de réaliser la condition supposée $n_2 > n_1$ par pompage optique dans un modèle à deux niveaux, car l'absorption de rayonnement transfère des atomes de l'état $E_1 \rightarrow E_2$, elle diminue donc n_1 et augmente n_2 jusqu'à la limite $n_2 = n_1$ (saturation). A ce moment là, α devient égal à zéro et, de ce fait, il n'y a plus absorption de l'énergie.

2.1.1.1. Laser à trois niveaux

Pour obtenir une inversion de population par pompage optique, on doit utiliser des systèmes à (au moins) trois niveaux. Soit un système de trois niveaux d'énergies E_1 , E_2 et E_3 (fig. 1). Supposons que la transition

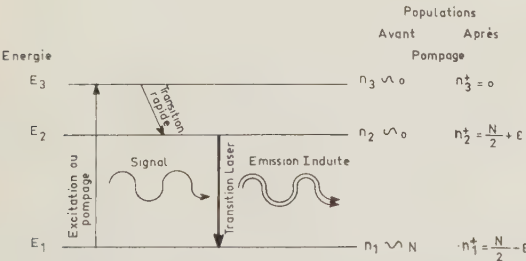


FIG. 1. — Schéma du laser à trois niveaux.

$E_3 \rightarrow E_2$ soit très rapide et que le temps de transition $\tau_{2,1}$ soit grand, c'est-à-dire que le niveau E_2 soit métastable. Si les niveaux sont suffisamment séparés, les populations n_1 , n_2 et n_3 sont, à l'équilibre thermique, les suivantes :

- n_2 et n_3 pratiquement nulles,
- n_1 pratiquement égale au nombre N d'atomes actifs.

Le pompage est effectué avec la fréquence $\nu_{1,3}$; du niveau E_3 les atomes passent à l'état E_2 par la transition $E_3 \rightarrow E_2$. Dans ces conditions, tous les atomes ayant subi une excitation par pompage, se trouvent finalement dans l'état E_2 , et si, plus de la moitié des atomes a subi l'excitation, les populations des

niveaux après pompage (distinguées par les indices n^+) sont :

$$\left. \begin{aligned} n_1^+ &= \frac{N}{2} - \varepsilon \\ n_2^+ &= \frac{N}{2} + \varepsilon \\ n_3^+ &\neq 0 \end{aligned} \right\}$$

Ainsi après pompage suffisant, il y a inversion de population entre les niveaux E_2 et E_1 . Si un rayonnement de la fréquence $\nu_{2,1}$ frappe une telle substance excitée, les photons de ce rayonnement libèrent d'autres photons de la même fréquence par émission induite de la même direction et de la même phase, et le nombre de photons sortants étant plus grand que le nombre de photons incidents, il y a donc possibilité d'amplification de lumière et de génération de lumière cohérente, la substance est devenue active.

Mais les lasers à trois niveaux souffrent du grave défaut « sui generi » de nécessiter, pour obtenir l'inversion de population, un pompage très intense, puisque plus de la moitié des atomes actifs doivent subir l'excitation. C'est pourquoi le laser idéal est un laser à quatre niveaux.

2.1.1.2. Laser à quatre niveaux. Laser idéal

La figure 2 montre, sans trop entrer dans les détails le schéma d'un laser idéal à quatre niveaux, il doit remplir les deux classes de conditions suivantes :

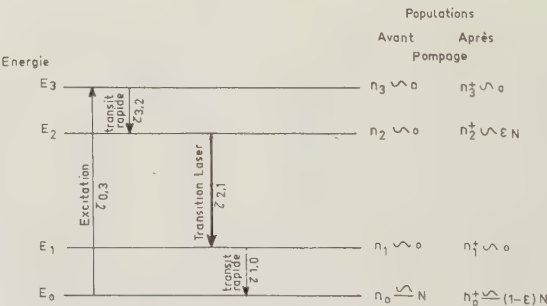


FIG. 2. — Schéma du laser à quatre niveaux

a) une condition sur l'intervalle entre les niveaux d'énergie mis en jeu : le niveau final E_1 de la transition laser doit être suffisamment éloigné du niveau fondamental E_0 , afin qu'il soit pratiquement vide, à la température de fonctionnement, ce qui nécessite pratiquement :

$$E_1 - E_0 \geq 7kT \quad \text{car alors} \quad \frac{N_1}{N_0} \text{ est } < 10^{-3}$$

(si $T = 300$ °K, il faut environ $E_1 - E_0 \geq 1\,500 \text{ cm}^{-1}$) ;

b) une série de conditions relatives aux temps de transition :

$$\tau_{3,2} < \tau_{0,3} \ll \tau_{2,1} < \tau_{2,0} \quad \text{et} \quad \tau_{1,0} \ll \tau_{2,1}.$$

La valeur absolue elle-même de τ_2 , ne doit pas être trop brève, comme nous l'avons expliqué § 2.1, si l'on désire faire fonctionner la substance en régime impulsionnel.

Dans ces conditions, tous les N atomes se trouvent, avant pompage, dans l'état E_0 ($n_0 \simeq N$). L'excitation a lieu par la transition relativement rapide $E_0 \rightarrow E_3$. Du niveau E_3 , les atomes passent à l'aide de la transition $E_3 \rightarrow E_2$ très rapide et non radiative, à l'état E_2 qui est métastable, puisque les temps de transition $\tau_{2,1}$ et $\tau_{2,0}$ sont assez longs. La fraction d'atomes εN ayant subi une excitation par pompage de la fréquence $\nu_{0,3}$ se trouve pratiquement dans l'état E_2 . D'autre part, n_1^+ étant pratiquement égal à zéro, l'inversion de population $n_2^+ > n_1^+$ est atteinte même pour une excitation relativement faible, la substance devenant amplificatrice pour la fréquence $\nu_{2,1}$. Finalement, le temps $\tau_{1,0}$ étant relativement court, même pendant l'amplification, la population n_1^+ reste proche de la valeur zéro, donc la condition $n_2^+ > n_1^+$ reste conservée.

2.1.1.3. Oscillateurs optiques, cavités résonnantes

Si une telle substance se trouve dans un résonateur approprié, on peut, après inversion de la population, obtenir un oscillateur. En raison de la petitesse de la longueur d'onde de la radiation optique, et afin d'avoir un gain par passage suffisant pour combler les diverses pertes, les résonateurs optiques ont des dimensions nettement plus grandes que les longueurs d'ondes du rayonnement.

Pour réduire le nombre de modes et pour favoriser la génération d'oscillations dans une seule direction, ces « cavités » sont généralement constituées par des plaques parfaitement planes, parallèles et réfléchissantes placées directement aux extrémités de la substance active à une distance grande par rapport à leur diamètre. Pour permettre la sortie de la lumière, l'une des plaques doit être partiellement transparente. A cause du parallélisme des deux plaques, seule l'oscillation exactement perpendiculaire à ces plaques est réfléchiée un très grand nombre de fois et ainsi fortement amplifiée. Ce dispositif est analogue à un interféromètre de FABRY-PEROT. Une variante de plus en plus utilisée est constituée soit par un miroir concave et un miroir plan, soit par deux miroirs concaves en regard l'un de l'autre (systèmes confocaux).

3. Matériaux lasers à solides fluorescents

Actuellement, les seules substances à solides fluorescents connues, susceptibles de présenter l'effet laser sont le rubis et les substances dopés aux terres rares et à l'uranium trivalent.

3.1. RUBIS

Le rubis est constitué par du saphir (cristal blanc trigonal — rhomboédrique de Al_2O_3 α) dopé avec environ 0,05 % de chrome en poids. Muni de faces planes et parallèles et excité, il donne lieu à l'effet laser, avec une longueur d'onde de :

6 942 Å à la température ambiante,
et de 6 933,9 Å à 77 °K.

Les configurations électroniques de l'atome chrome et de l'ion Cr^{+++} sont données par le tableau II.

TABLEAU II

Couche	K	L	M	N
Sous-couche	1	2	3	4
	s	s p	s p d	s p d f
Cr ..	2	2 6	2 6 5	1
Cr^{+++}	2	2 6	2 6 3	

L'ion Cr^{+++} possède donc sa couche externe incomplète à trois électrons et deux configurations électroniques sont alors possibles : soit trois vecteurs de spins parallèles (termes quadruplets) soit deux vecteurs de spins parallèles et le troisième anti-parallèle (termes doublets).

La figure 3 représente aussi les niveaux d'énergies de l'ion Cr^{+++} dans l'état libre (à gauche) ainsi que les variations et les dédoublements de ces niveaux sous l'influence d'un champ cristallin de symétrie cubique, d'après les calculs de TANABE et SUGANO [5]. Dans cette figure D_2 est le paramètre du champ cristallin et B la constante obtenue par des intégrales de SLATER.

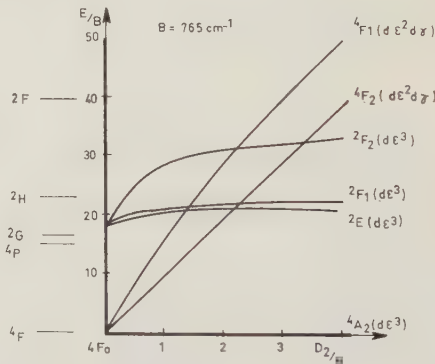


FIG. 3 — Niveaux d'énergie du Cr^{+++} libre et dans un champ cristallin.

A droite sont indiqués les termes de ces niveaux et leurs configurations électroniques. On distingue deux sortes de niveaux ayant des caractéristiques bien différentes : les termes doublets (correspondant à la configuration $d\epsilon^3$) variant peu avec le champ cristallin, tandis que les termes quadruplets (ayant la configuration $d\epsilon^2d$) variant proportionnellement avec ce champ. Par conséquent, les transitions entre le niveau fondamental $4A_2$ et ces termes sont également différentes :

— les transition $4A_2 \rightarrow 4F$, à vecteur de spin constant mais avec variation du vecteur orbital donnent des bandes d'absorption très larges ($\nu^* \simeq 2\,000\text{ cm}^{-1}$ à 20 °C), de force d'oscillateur relativement élevée ($f \simeq 10^{-3}$), $\tau \simeq 2,5 \cdot 10^{-6}\text{ s}$.

- les transitions $^4A_2 \rightarrow ^2F$ (ou 2E), avec variation du vecteur de spin, mais à vecteur orbital constant, donnent des raies fines R_1 et R_2 ($dv^* \simeq 10\text{ cm}^{-1}$ à $300\text{ }^\circ\text{K}$ et $\simeq 0,1\text{ cm}^{-1}$ à $4\text{ }^\circ\text{K}$ [6], de force d'oscillateur beaucoup plus faible ($f \simeq 10^{-6}$).

L'interprétation des raies fines R_1 et R_2 du rubis comme transitions avec variation du vecteur de spin, mais à vecteur orbital constant à déjà été donnée par O. DEUTSCHBEIN en 1932 [7], cependant sans tenir compte de l'influence du champ cristallin qui, en fait, est faible pour ces transitions.

La transition $^4F_2 \rightarrow ^2E$ est purement non radiative, car on n'a pas pu observer une émission correspondante à la différence d'énergie des deux termes. Le rendement quantique de la fluorescence du rubis étant très proche de l'unité (0,7 d'après MAIMAN) [8] il en résulte que le temps de cette transition est beaucoup plus court que celui de la transition $^4A_2 \rightarrow ^4F_2$, c'est-à-dire bien inférieur à la microseconde.

L'existence de ces trois sortes de transitions dans la même substance est très importante pour obtenir l'inversion de population nécessaire pour l'effet laser, comme le montre la figure 4 : le pompage est effectué

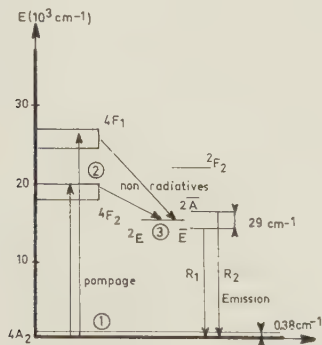


FIG. 4. — Transitions optiques dans le rubis.

par les bandes d'absorption larges et à force d'oscillateur élevée, tandis que l'émission a lieu par une transition à raies fines et de faible force d'oscillateur. De plus, entre les niveaux excités de pompage (4F) et le niveau excité 2E doit avoir lieu une transition non-radiative à coefficient d'Einstein élevé. Le niveau final de la transition laser est pratiquement le niveau fondamental, le dédoublement de ce niveau ($0,38\text{ cm}^{-1}$) étant trop petit pour être utilisable. Le rubis est donc un système à trois niveaux et nécessite, pour obtenir l'effet laser, une relativement grande énergie ; il a, par contre, l'avantage d'être un matériau dur et très résistant aux chocs thermiques, ce qui lui permet d'être le siège d'émissions très énergiques et très puissantes.

Comme on l'a vu ci-dessus, la largeur de raie diminue beaucoup avec la température (5 Å à $300\text{ }^\circ\text{K}$ et $0,05\text{ Å}$ à $50\text{ }^\circ\text{K}$), d'où l'intérêt de travailler à basse température, en particulier quand des performances élevées d'amplification sont requises :

— production de fortes énergies : des énergies de l'ordre de 500 J ont été produites, et on a annoncé la production d'énergies de $1\,500\text{ J}$.

— réalisation d'émission sous forme « d'impulsions géantes », au moyen de laser à « fonctionnement déclenché ». On réalise actuellement des impulsions ayant une puissance crête de $2\text{ à }4 \cdot 10^9\text{ W}$, une durée d'environ dix nanosecondes, l'énergie totale émise étant de l'ordre de 20 J (Des détails sont donnés au § 4.2.4.).

3.2. SUBSTANCES DOPÉES AUX TERRES RARES

Parmi les substances fonctionnant en effet laser, les matériaux optiques (cristaux et verres) dopés aux terres rares représentent un groupe important. Les ions des terres rares possèdent la structure électronique donnée par le tableau III.

TABEAU III

Couche	K	L	M	N	O	P
	1	2	3	4	5	6
Sous-couche	s	s p	s p d	s p d f	s p d	s p d
Terre rare neutre	2	2 6	2 6 10	2 6 10 x	2 6 1 2	
Terre rare ⁺⁺⁺	2	2 6	2 6 10	2 6 10 x	2 6	

Dans la série des terres rares, x varie de 1 pour le cérium jusqu'à 14 pour le lutétium ; on voit que leur couche $4f$, protégée par les couches $5s$ et $5p$ contre les perturbations extérieures, est incomplète, et les raies étroites observées en absorption et en fluorescence correspondent à des transitions à l'intérieur de la couche $4f$. Ces transitions sont interdites pour les ions isolés, mais elles ont lieu dans les cas où les ions sont incorporés dans le réseau d'un solide, en raison des champs électriques de celui-ci. Les forces d'oscillateur sont généralement faibles, de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-10} pour les ions trivalents et elles dépendent fortement de la structure des champs électriques du réseau cristallin.

Depuis les travaux de R. TOMASCHEK, O. DEUTSCHBEIN, et H. GOBRECHT [9], on sait que les raies de fluorescence des terres rares correspondent à des transitions entre les niveaux excités et les différents niveaux du multiplet fondamental. Ces derniers sont situés à quelques milliers de cm^{-1} au-dessus du niveau de base et sont donc, même à la température ambiante, pratiquement inoccupés. On pouvait donc s'attendre à ce que ces matériaux se prêtent bien à la réalisation de lasers à quatre niveaux fonctionnant à la température ambiante avec un seuil d'excitation très bas.

Sur la figure 5 nous avons indiqué, pour chaque ion de terres rares, le terme multiplet fondamental, avec ses niveaux (en gros traits), les autres niveaux (en traits fins), ainsi que les transitions observées en fluorescence (en flèches fines) et les transitions principales laser (en grosses flèches). Comme le montre cette figure, presque toutes les terres rares fonctionnent en effet laser, mais pour la plupart des ions, le niveau final de la transition laser est un niveau situé à quelques centaines de cm^{-1} seulement au-dessus

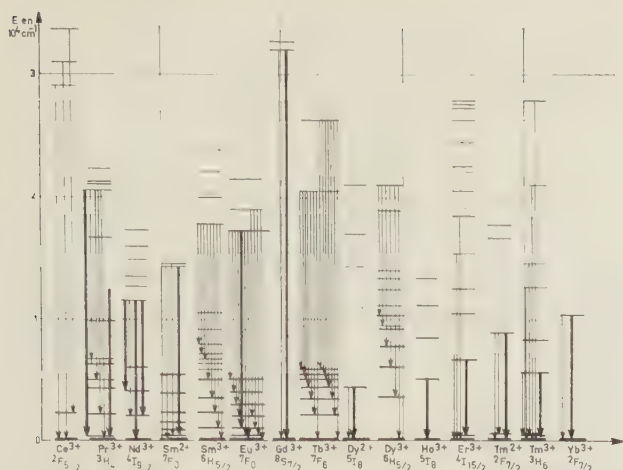


FIG. 5. — Niveaux d'énergie et transitions lasers des divers ions de terres rares.

du niveau fondamental, correspondant à une composante Stark de celui-ci, si bien qu'un système à quatre niveaux n'est réalisé qu'à basse température. Il est surprenant que les transitions vers les niveaux supérieurs du multiplet, pourtant observées en fluorescence, ne donnent pas lieu à un effet laser, bien que ces niveaux soient pratiquement dépeuplés, même à la température ambiante. Cela est probablement dû au fait que la transition $E_1 \rightarrow E_0$ (fig. 2) est trop lente et que, par suite, la population du niveau E_1 devienne rapidement supérieure à celle de E_2 [10]. Indiquons, pour mémoire, que certaines substances dopées avec des terres rares divalentes (Sm^{++} , Dy^{++} , Tm^{++}) fonctionnent avec de bonnes performances, leur spectre de fluorescence est en effet constitué de raies étroites accompagnées de larges bandes d'absorption intenses dans le visible et l'ultraviolet ; mais, par contre, elles ne fonctionnent qu'à basse température, et d'autre part, l'état divalent des terres rares étant instable, les substances perdent rapidement leurs propriétés au cours du fonctionnement et n'ont, de ce fait, trouvé aucune application pratique.

3.2.1. Substances dopées au néodyme trivalent

Uniquement dans le cas du néodyme trivalent (voir fig. 6), le niveau final de la transition laser est le niveau $^4I_{11/2}$ situé à environ $2\,000\text{ cm}^{-1}$ au-dessus du niveau $^4I_{9/2}$. Seules les substances dopées au Nd^{+++} possèdent donc une structure énergétique correspondant à un système à quatre niveaux à la température ambiante. La substance sera particulièrement intéressante si $\tau_{1,0} \ll \tau_{2,1}$, permettant ainsi une évacuation rapide du niveau d'arrivée.

Outre le fait que le Nd permet de réaliser des lasers à quatre niveaux fonctionnant à la température ambiante, il est particulièrement intéressant car son spectre d'absorption est réparti sur le spectre visible et proche infra-rouge, ce qui rend le pompage soit par une lampe à incandescence, soit par une lampe à Xénon, particulièrement favorable. Ainsi la figure 7 donne le spectre d'absorption d'un cristal de WO_4Ca dopé Nd.

3.2.1.1. Cristaux dopés au Nd^{+++}

Ce groupe de substances comprend un certain nombre de monocristaux transparents tels que : CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 , CaWO_4 , SrWO_4 , CaMoO_4 , SrMoO_4 , PbMoO_4 , $\text{Ca}(\text{NbO}_3)_2$, LaF_3 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$, cette liste n'étant pas limitative, tout cristal transparent qu'il est possible de doper avec du néodyme trivalent, pouvant être un matériau laser ; parmi ceux-ci, un qui donne de bons résultats est : CaWO_4 [11], qui est capable de fonctionner en régime continu à la température ambiante avec un seuil de pompage de 420 W, la puissance émise étant de 500 mW. Les monocristaux de tungstate sont généralement réalisés par tirage à partir du bain par la méthode de CZOCHRALSKI. Cependant, le néodyme trivalent de dopage se substituant à des atomes de calcium divalents, une compensation des charges électriques est nécessaire et est effectuée par addition, dans le bain, d'un élément monovalent tel que le sodium ou le lithium.

Des cristaux de WO_4Ca , dopés Nd, réalisés et polis au CNET, présentent un seuil de fonctionnement très bas, de 0,3 à 0,5 J, l'excitation étant réalisée avec un tube à éclair rectiligne. Ces barreaux ont présentés l'effet laser en continu, à température ambiante (voir § 4.3).

Un matériau qui semble encore plus intéressant, mais d'une fabrication difficile est $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, dopé au Nd^{+++} [12], grenat d'aluminium-yttrium, d'abréviation anglaise YAlG ; le seuil de fonctionnement continu de barreaux de quelques centimètres de longueur serait de 90 W et on obtiendrait 2 W de sortie

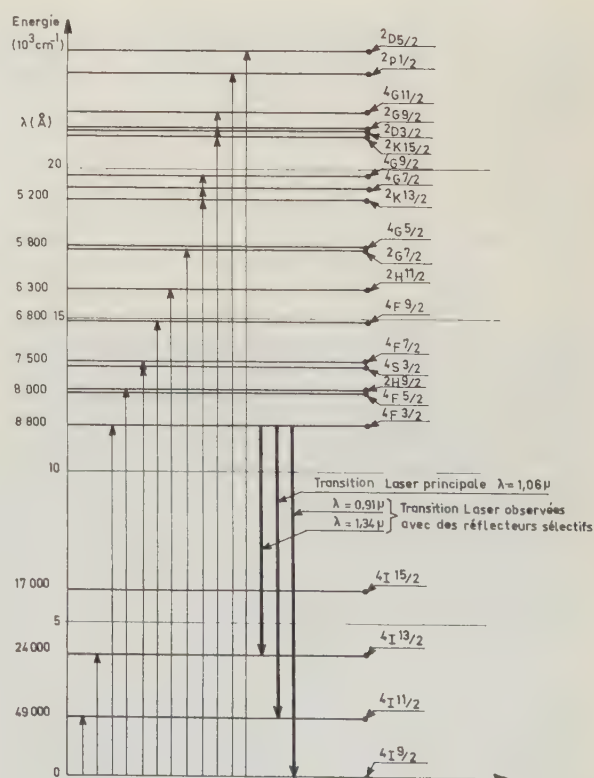


FIG. 6. — Niveaux d'énergie et transitions lasers de l'ion Nd^{+++} isolé

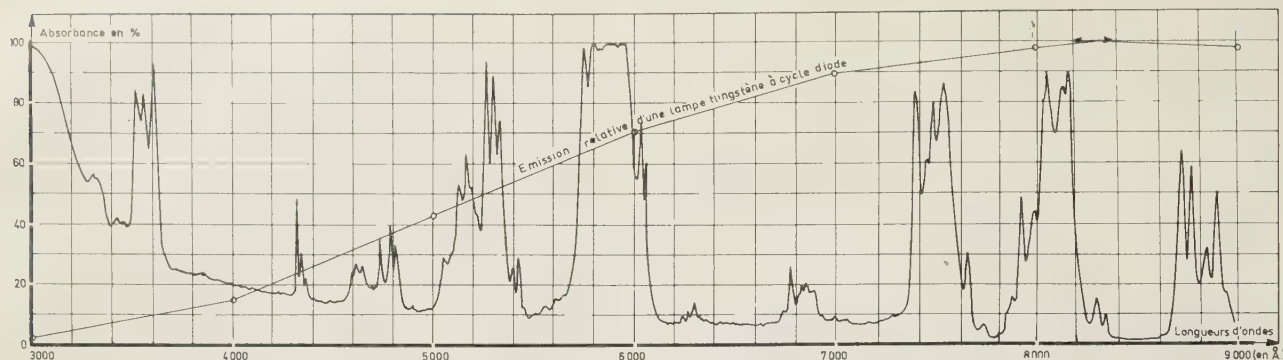


FIG. 7. — Variation de l'absorbance d'un échantillon de cristal de tungstate de calcium dopé au Nd (épaisseur 4,5 mm).

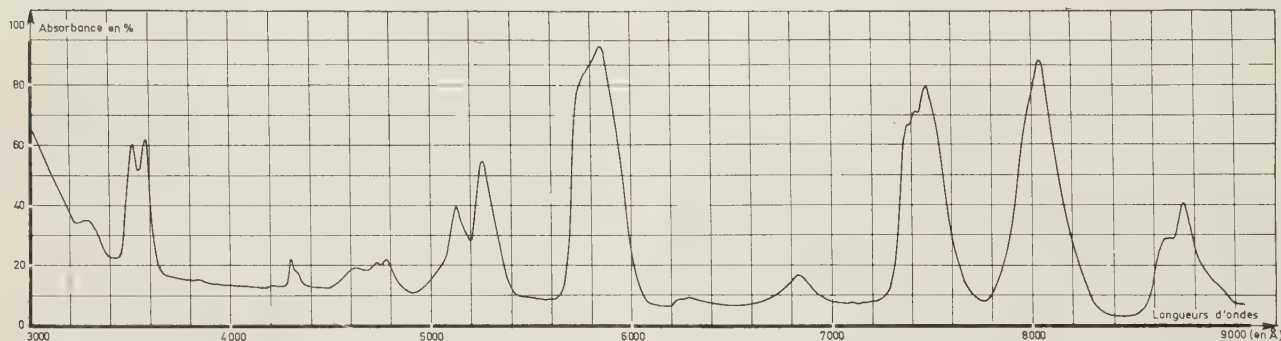


FIG. 8. — Variation de l'absorbance d'un verre phosphate dopé au Nd (épaisseur 4,5 mm).

pour 1 kW de pompage. Le pompage peut même être réalisé directement par l'énergie solaire. A notre connaissance ce matériau n'est pas présentement fabriqué en France.

3.2.1.2. Verres dopés au Nd^{+++}

Les verres ont l'avantage de pouvoir se réaliser en dimension pratiquement illimitée contrairement aux cristaux, mais par contre, leur structure atomique est moins bien définie, et, par conséquent, les spectres d'absorption et de fluorescence de l'ion Nd^{+++} y sont plus flous. Ainsi la figure 8 donne le spectre d'absorption d'un verre phosphate que l'on peut comparer avec celui de la figure 7. En fait, les spectres dépendent beaucoup de la nature du verre et de sa composition et ils sont plus étroits dans les verres aux phosphates que dans les verres aux silicates et aux borates : ainsi à titre d'exemple, la figure 9 donne les variations de structure et de finesse des bandes de fluorescence du Nd à 10 600 Å pour différents verres.

La figure 9a correspond au cas du verre silicate barium crown étudié par SNITZER [13], la figure 9b, à celui d'un verre phosphate préparé au CNET. On voit que les spectres des verres phosphates sont nettement plus étroits (largeur de raie : 159 Å) que ceux des verres silicates (largeur de raie : 260 Å).

Les verres pour lasers peuvent être réalisés avec de très grandes dimensions, soit par les méthodes classiques de l'industrie du verre (ainsi la Société SOVIREL réalise des barreaux ayant des longueurs atteignant 600 mm), soit par une méthode de tirage dérivée de celle décrite par A. David PEARSON et autres [14] ; au Département « PCM » du CNET, nous commençons à appliquer cette méthode et nous avons réalisé des barreaux avec des verres dont la composition a été mise au point au CNET ; cette méthode permet de réaliser des barreaux relativement longs sans nécessiter une grande fonte de verre.

Certains barreaux, coulés au CNET, puis tournés et polis ont fonctionné avec des seuils particulièrement bas : 4 J.

Les barreaux de verres silicates de grandes dimensions, déjà commercialisés, dopés avec une forte concentration en Nd^{+++} (5 %) permettent par la mise en jeu d'un très grand nombre d'atomes actifs, l'obtention d'énergie émise très importante (jusqu'à 1 000 J).

Sous forme de longues fibres optiques, les verres dopés au néodyme, permettent de réaliser des oscillateurs ou amplificateurs aux propriétés particulières, mais dont le développement demeure soumis à l'évolution de la technologie des fibres optiques.

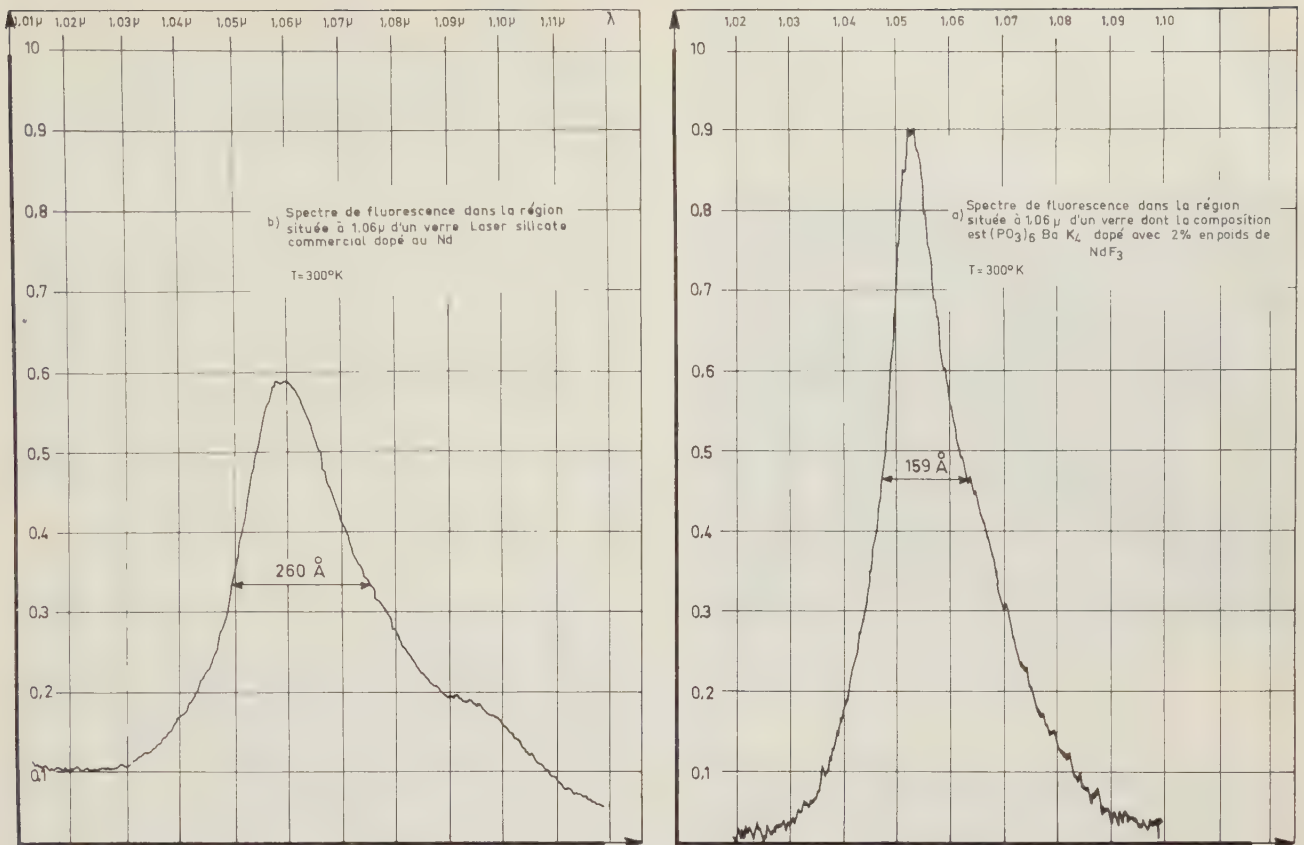


FIG. 9. — Spectres de fluorescence de verres dopés au néodyme.

4. Exemples de réalisations lasers

A titre d'exemple, nous allons décrire :

- une installation permettant des émissions laser de forte énergie,
- les différents principes des lasers « déclenchés » émettant des impulsions très puissantes,
- une installation laser à fonctionnement continu à température ambiante.

4.1. INSTALLATION LASER DE GRANDE ÉNERGIE

Afin d'obtenir des émissions de grandes énergies nous avons réalisé au Département « PCM » du CNET une installation comprenant :

- une source très haute tension (0-11 kV) qui, associée à une batterie de condensateurs, permet d'alimenter des tubes à éclairs électroniques avec des énergies atteignant 20 000 J.
- un dispositif laser comprenant deux tubes à éclairs rectilignes situés sur les lignes focales d'un concentrateur bi-elliptique, sur la ligne focale commune se trouve le barreau de verre laser, sa longueur est de 600 mm, le diamètre variant de 6 à 14 mm.

En raison des grandes énergies mises en jeu, aucun miroir métallique ou diélectrique n'est utilisable, c'est pourquoi le barreau possède une face polie

en prisme droit qui réfléchit les ondes par réflexion totale. Celles-ci, après parcours dans le barreau, subissent, sur l'autre extrémité taillée plane, la réflexion de FRESNEL verre-air (environ 4 %), qui suffit, en raison de la grande longueur du barreau, à entretenir l'oscillation. La figure 10 représente la tête laser ouverte et la figure 11 montre en détail une extrémité. Le seuil est d'environ 250 J pour un barreau de 9 mm de diamètre ; l'énergie émise, mesurée au

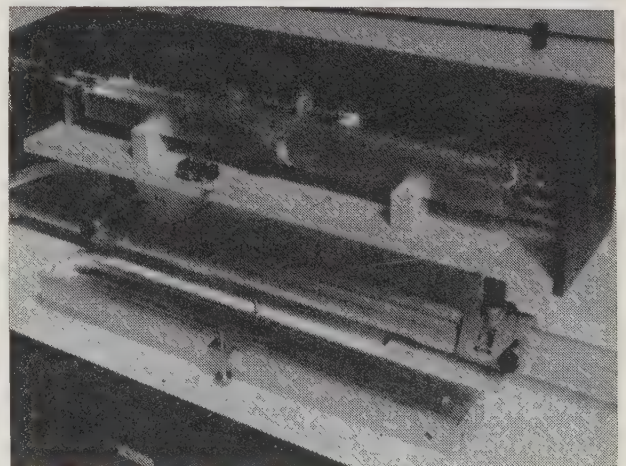


FIG. 10. — Photographie d'une installation laser de grande énergie.

moyen d'un bolomètre, atteignant 200 J pour 8 500 J de pompage, le rendement est d'environ 2,5 %. L'émission durant environ 500 μ s, la puissance moyenne est de l'ordre de 400 kW, soit environ 600 kW/cm².

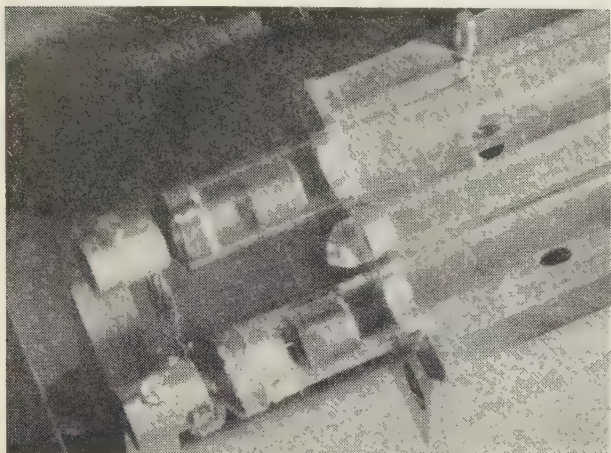


FIG. 11.— Détail d'une installation laser de grande énergie.

En fait, l'énergie de sortie n'est limitée que par la résistance mécanique du barreau de verre, lors de l'émission laser ; les barreaux « meurent » généralement par fracture se produisant à partir d'une inclusion solide ou d'une bulle : la figure 12 montre la section d'un barreau brisé en fonctionnement, la cassure ayant pris naissance à partir d'une bulle.



FIG. 12. — Section d'un barreau laser brisé en fonctionnement.

4.2. LASERS DÉCLENCHÉS

Les lasers décrits ci-dessus sont dits « relaxés », car on laisse l'oscillation lumineuse se produire dès que la cavité est devenue amplificatrice, l'émission dure alors relativement longtemps, environ une milliseconde.

Pour réaliser des impulsions brèves mais très puissantes (quelques nanosecondes) on peut introduire

dans le résonateur Fabry-Perot, un obturateur ou un miroir escamotable afin de fermer la boucle de réaction au moment opportun où l'inversion de population est la plus grande et obtenir ainsi une impulsion géante. Cela peut être réalisé de différentes façons.

4.2.1. Laser à miroir tournant (fig. 13 a)

Le barreau ne comporte qu'un miroir partiellement transparent M_2 , un miroir M_1 tourne rapidement autour d'un axe parallèle au plan de M_2 . Ce n'est que lorsque M_1 est en position parallèle à M_2 que l'oscillation ne peut se produire et ce, sous la forme d'une impulsion unique et très puissante émise à travers M_2 ; en pratique le miroir M_1 est un prisme à 90° et le déclenchement du tube à éclair est commandé automatiquement au moment convenable.

4.2.2. Lasers à cellule de Kerr ou cellule Pockels

Dans ce type de laser, l'effet de déclenchement est obtenu en agissant sur la direction de polarisation de la lumière dans la cavité. En effet, si de la lumière polarisée rectilignement tombe sur un cristal à forte constante électro-optique, cristal de KDP (KH₂PO₄) par exemple, la lumière émergente est polarisée elliptiquement si la direction de polarisation de la lumière incidente est parallèle à l'un ou l'autre des axes cristallographiques X ou Y du cristal. Le degré d'ellipticité est une fonction linéaire du champ électrique appliqué parallèlement à l'axe Z du cristal. Soit V_λ la tension nécessaire pour produire une lumière polarisée circulairement d'une certaine longueur d'onde λ .

Quand la tension convenable V_λ est appliquée au matériau électro-optique, dans la cavité laser, voir figure 13b, la lumière due à l'émission spontanée dans le matériau laser sera polarisée circulairement après un passage à travers le matériau électro-optique. (Si la radiation laser n'était pas polarisée, un polariseur serait alors placé dans la cavité). Après réflexion et un second passage à travers le matériau électro-optique, la lumière émergente est polarisée rectilignement mais à 90° de sa polarisation initiale. L'oscillation laser ne peut donc se produire. Si on supprime la tension V_λ , la polarisation de la lumière n'est pas modifiée en traversant le matériau électro-optique, si bien que l'émission stimulée peut avoir lieu.

Les phases de fonctionnement d'un tel laser seront donc les suivantes :

- application de la tension V_λ à la cellule,
- déclenchement de l'éclair électronique et son énergie, absorbée en partie par le barreau, réalise l'inversion de population,
- suppression de la tension V_λ , l'oscillation laser se produit et l'émission a lieu à travers le miroir partiellement transparent M_2 .

La modulation des faisceaux lasers peut être effectuée sur le même principe, la commande de la cellule Pockels étant réalisée, non par tout ou rien, mais au rythme du signal à transmettre.

4.2.3. Laser à filtre saturable

Certains filtres, solides ou liquides [15], présentent une absorption qui décroît lorsque l'intensité de la lumière incidente croît. Ce phénomène a un temps de réponse très bref ($\sim 10^{-9}$ s). Un tel filtre placé dans une cavité laser (fig. 13c) peut agir comme interrupteur optique. En effet, une fois le tube à éclair amorcé, l'inversion de population se produit progressivement, le filtre empêchant toute oscillation ; mais lorsque l'inversion est maximale une oscillation

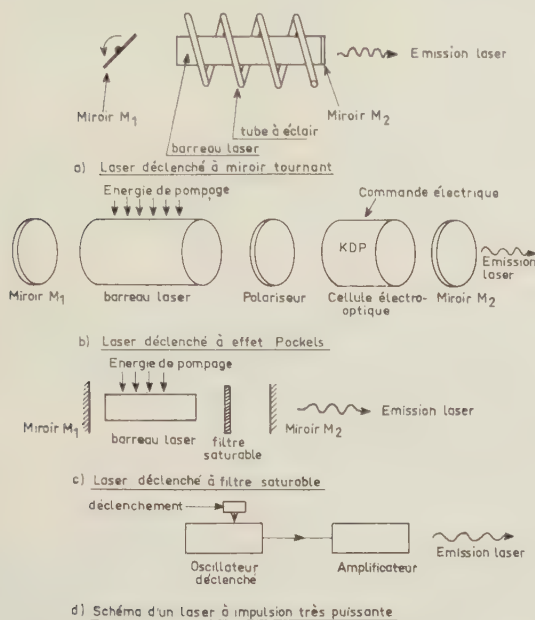


FIG. 13. — Schémas de lasers déclenchés.

lumineuse prend naissance et un phénomène de réaction se produit alors ; l'intensité de la lumière, qui traverse le filtre, augmentant, le rend plus transparent et au bout d'un temps très court l'obturateur constitué par le filtre est à peu près totalement ouvert et l'impulsion géante est émise. Ce système a l'avantage d'être simple et robuste mais, par contre, l'instant de l'émission laser est moins facile à maîtriser qu'avec les lasers à commande électro-optique.

4.2.4. Laser à impulsions très puissantes

Les lasers décrits ci-dessus délivrent des impulsions ayant une durée de l'ordre de 10 ns, une puissance crête de 150 MW l'énergie totale émise étant de 1,5 J.

Si l'on désire obtenir des impulsions plus puissantes ayant une puissance crête de quelques gigawatt, il faut, pour éviter une destruction du système de déclenchement, utiliser un ensemble tel que celui représenté figure 13d, comprenant :

— un oscillateur laser déclenché, comme décrit ci-dessus,

— un amplificateur constitué par un gros barreau et son système de pompage. Le barreau est à faces planes, sans miroir, taillées à l'angle de Brewster pour éviter les pertes par réflexions et éviter les accrochages. L'impulsion émise par l'oscillateur est alors amplifiée,

le gain étant d'environ 23 dB dans les réalisations pratiques.

Des lasers délivrant des impulsions de 6 GW, sont commercialisés aux USA. On utilise un deuxième amplificateur, si on désire des impulsions plus puissantes, mais peu de détails sont publiés sur les performances obtenues.

4.3. LASER A FONCTIONNEMENT CONTINU A TEMPÉRATURE AMBIANTE

Avec des barreaux de tungstate de calcium découpés dans des monocristaux synthétisés au CNET, nous avons réalisé une installation laser à fonctionnement permanent, à température ambiante, ne nécessitant pas de gaz liquéfié pour son refroidissement, mais uniquement de l'eau courante [16].

L'installation pour le fonctionnement continu, comprend essentiellement une cavité elliptique. La lampe de pompage est une lampe à arc de Xenon. La puissance électrique appliquée à la lampe, au seuil de fonctionnement laser, est de 420 W en courant alternatif et de 900 W en courant continu. La puissance émise, pour une puissance électrique de pompage d'un kilowatt, dépasse 0,5 W.

5. Applications des lasers à solides fluorescents

5.1. TÉLÉCOMMUNICATIONS

L'emploi d'un faisceau laser pour les télécommunications est séduisant en raison de la directivité de l'émission et des largeurs de bandes théoriquement possibles, superflues pour les besoins actuels.

En fait, l'étroitesse du faisceau est limitée par les irrégularités de l'atmosphère et la précision des réalisations mécaniques. La propagation atmosphérique serait aussi très perturbée par les pluies et les brumes, à moins d'utiliser des trajets en tuyaux ou une évaporation du brouillard par laser très énergétique. Des expériences de transmission de la parole ou d'images de télévision par faisceaux lasers ont été réalisées avec succès, en particulier au Département « PDT » du CNET, avec un laser à gaz et il n'est pas douteux que ces expériences pourront bientôt être faites avec des lasers à solides fluorescents à fonctionnement permanent.

5.2. LOCALISATION, RADAR OPTIQUE

Les réalisations abondent dans ce domaine. L'élément principal des télémètres laser est généralement un laser déclenché, à rubis ou à verre dopé au néodyme, qui émet une impulsion lumineuse, qui, après réflexion sur la cible, est détectée dans un récepteur. Le délai entre émission et réception de l'impulsion permet de mesurer avec grande précision la distance de la cible, 10 ns correspondant à un trajet (aller-retour) de la lumière de 3 m. La finesse du faisceau permet une bonne mesure angulaire, environ 1 mrd.

Le récepteur comprend un détecteur (cellule photoélectrique rapide ou diode à semiconducteur), un amplificateur et un calculateur électronique qui trans-

forme l'information reçue en distance et position de la cible.

De tels appareils sont déjà utilisés dans de nombreuses applications militaires et spatiales, les performances et les dimensions variant avec le but à atteindre.

5.3. APPLICATION EN MÉDECINE ET BIOLOGIE

En médecine et en biologie, le laser offre des possibilités d'interventions délicates. Les décollements de la rétine sont circonscrits par une sorte de « soudure par points » ; en raison de la rapidité de l'éclair, l'œil du patient n'a pas le temps de bouger ; seule une surface très petite est rendue aveugle, le patient ne pouvant s'en rendre compte.

D'autres expériences ont été effectuées au Centre National de la Transfusion Sanguine de Paris sur l'effet des radiations sur les cellules : les faisceaux laser, convenablement concentrés par une optique de microscope, forment une tache de $2,5 \mu$. Le laser permet donc une microchirurgie par ses qualités de précision et de concentration d'énergie. On fonde de grands espoirs sur une action sélective du rayonnement laser sur les cellules vivantes et cancéreuses.

5.4. USINAGE PHOTONIQUE

L'usinage photonique est obtenu en concentrant le faisceau laser, au moyen d'une lentille, sur la substance à usiner : l'énergie absorbée produit une élévation brusque de température provoquant une évaporation du matériau. C'est un outil très simple et facile à automatiser et à programmer. Le diamètre d de la tache dépend de la divergence Φ du faisceau et de la distance focale f de la lentille :

$$d = f \cdot \Phi.$$

Des trous de dimensions aussi petites que 25μ sont possibles avec un système optique de concentration approprié, type objectif de microscope. La cadence de répétition étant de dix coups par seconde, au mieux à l'heure actuelle.

Le dispositif laser réalisé au CNET (cf. § 4.1.) permet de percer des tôles d'acier de 2 mm d'épaisseur, avec une énergie émise de 100 J et une lentille de focale 4 cm.

5.5. CRÉATION DE PLASMA

L'impulsion émise par un laser déclenché, focalisée par une lentille ou un miroir, permet une concentration énorme d'énergie électromagnétique, correspondant à des champs électriques très intenses.

Ainsi avec une impulsion de 10^9 W, concentrée en une tache de 10μ de diamètre, on obtient une densité d'énergie de 10^{15} W/cm², ce qui, compte tenu de la formule :

$$E_{V/cm} = \sqrt{P_{W/cm^2} 376 \Omega},$$

correspond à un champ électrique de $7 \cdot 10^9$ V/cm, qui est de l'ordre de ceux qui règnent à l'intérieur des molécules. En particulier, si cette concentration a lieu

dans l'air, on assiste au « claquage » de l'air par ionisation.

5.6. PHÉNOMÈNES NON LINÉAIRES

Si l'on envoie des impulsions de lumière, de puissance moindre, de l'ordre de 100 MW, sur des matériaux optiques (cristaux, liquides ou verres) on observe des phénomènes non linéaires, car la polarisation de ces matériaux, linéaire à intensités normales, devient alors non linéaire, en raison des termes supérieurs dans la variation de la polarisation :

$$P = P_0 + \alpha E + \beta E^2 + \gamma E_3 \dots$$

On peut obtenir des harmoniques supérieures de la fréquence incidente et avec de bons rendements (environ 25 % pour la fréquence double) si le matériau est convenablement choisi : KDP, ADP, LiNbO₃, etc.).

Les effets Raman optiques, de mélanges optiques, d'amplification paramétrique optique, d'interaction avec des phonons, etc., ont une grande importance scientifique et technique pour la modulation et l'amplification optique sélective.

6. Conclusion

Comme on l'a vu à l'examen du tableau I (§ 1), les lasers à solides fluorescents se caractérisent par des possibilités énergétiques très grandes et c'est pourquoi les applications décrites ci-dessus ne sont réalisables que grâce aux puissances extrêmement élevées que l'on peut obtenir avec les lasers à solides fluorescents.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MAIMAN T.H. — *Nature* **187**, p. 493, 1960.
- [2] SOROKIN P.P. et STEVENSON M.J. — *IBM Journal. Res. Dev.* **5**, p. 56, 1961.
- [3] JAVAN et autres. — *Phys. Rev. Letters*, **6**, p. 106, 1961.
- [4] SCHAWLOW A.L. — *Solid State Journal*, vol. 2, n° 6, p. 3-11, juin 1961.
- [5] TANABE Y. et SUGANO S. — *J. Phys. Soc. (JAPAN)*, **9**, p. 753-766, 1954.
- [6] SCHAWLOW A.L. — *J. Appl. Phys.*, **33**, p. 395, 1962.
- [7] DEUTSCHBEIN O. — *Zeitschr. Phys.*, **77**, p. 489, 1932.
- [8] MAIMAN T.H. — *Phys. Rev.*, **123**, p. 1151, 1961.
- [9] *Transaction of the Faraday Society*, **35**, p. 148, 1939.
- [10] DEUTSCHBEIN O. et AUZEL F. — Comptes-rendus de la 3^e Conférence Internationale d'électronique quantique. Dunod Paris 1964, vol. 1, p. 851-860.
- [11] JOHNSON L.F. et autres. — *P.I.R.E.*, **50**, p. 213, 1962.
- [12] GEUSIG J.E. et autres. — *Appl. Phys. Letters*, **4**, n° 10, p. 182-184, 15 mai 1964.
- [13] SNITZER. — *Physical Rev. Lett.*, **7**, p. 444, 1962.
- [14] PEARSON A. David, PORTO S.P.S. et NORTHOER W.R. — *Journal of App. Phys.*, **35**, n° 6, p. 1704-1706, juin 1964.
- [15] BRET et GIRES — *Comptes-rendus Acad. Sciences*, **258**, 1964, p. 4702-4705.
- [16] DEUTSCHBEIN O.K., GRIMOUILLE G., PAUTRAT C.C. et PETIT LEDU G. — article proposé au *Journal de Physique*.

PROPRIÉTÉS DES DISPOSITIFS ÉLECTRO LUMINESCENTS

LASER A L'ARSÉNIURE DE GALLIUM

Perspectives d'avenir

PAR

J. FERTIN

Chef du Service Cristaux et Dispositifs spéciaux

J.C. BEDIER et J. LEBAILLY

Ingénieurs

Développement physico-chimique

La Radiotechnique - COPRIM - RTC - Caen

1. Introduction

La découverte de l'effet transistor en 1948 a bouleversé les concepts classiques de l'électronique des circuits. Celle, plus récente, de l'électroluminescence dans les jonctions à semiconducteurs a conduit les électroniciens et les opticiens à faire route commune. De multiples applications apparaissent dès maintenant dans les domaines visible, infrarouge proche et lointain. Parmi les plus connues, la transmission d'information, et les possibilités des dispositifs opto-électroniques soulèvent un intérêt général.

En raison de son comportement intéressant en température [1] et de la valeur élevée de la mobilité électronique, l'arséniure de gallium a suscité très tôt un intérêt prononcé. On peut considérer qu'actuellement la pureté et l'homogénéité du cristal sont satis-

faisantes. En ce qui nous concerne, nos études sur l'arséniure de gallium sont engagées depuis 6 ans. Nous fabriquons des lingots de poids atteignant 350 g (photo 1) et dont la pureté a permis d'obtenir des résultats très intéressants en électroluminescence aussi bien que dans des phénomènes tels que l'effet Gunn.

Après une étude des propriétés de l'émission spontanée et de l'émission induite dans une jonction à l'arséniure de gallium, nous décrirons les caractéristiques des dispositifs réalisés, nous ferons le point de leurs possibilités actuelles et nous tenterons de dégager les perspectives d'avenir.

2. Recombinaison radiative directe et indirecte

Bien que la recombinaison radiative dans les semiconducteurs soit étudiée depuis 1955 [2] [3], on n'a reconnu son intérêt technique qu'à partir de 1960, lorsqu'on a pu mettre en évidence des efficacités quantiques élevées.

Il est bien connu qu'un électron qui passe d'un état d'énergie E_1 à un état d'énergie E_2 inférieure à E_1 peut émettre un photon d'énergie $E_1 - E_2$. Des considérations de mécanique quantique font apparaître que cette transition n'est permise que si elle satisfait un certain nombre de règles de sélection. En termes de semiconducteur, on a affaire non plus à des niveaux mais à des bandes d'énergie auxquelles sont associées des densités d'états. Les principes sont cependant les mêmes et nous allons voir qu'une conséquence des règles de sélection est que certains semiconducteurs sont plus favorables que d'autres à une émission importante de photons.

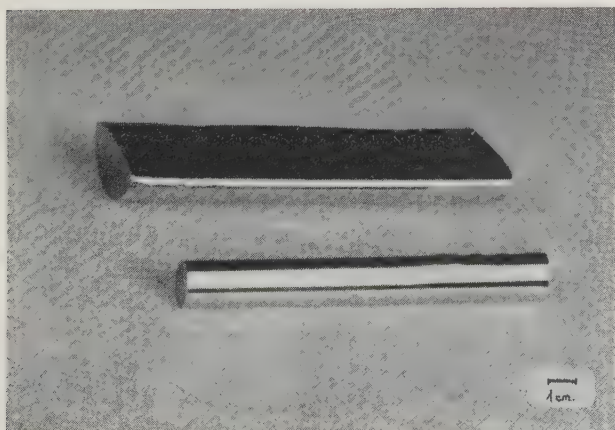


Photo 1. — Lingots monocristallins d'Arséniure de Gallium

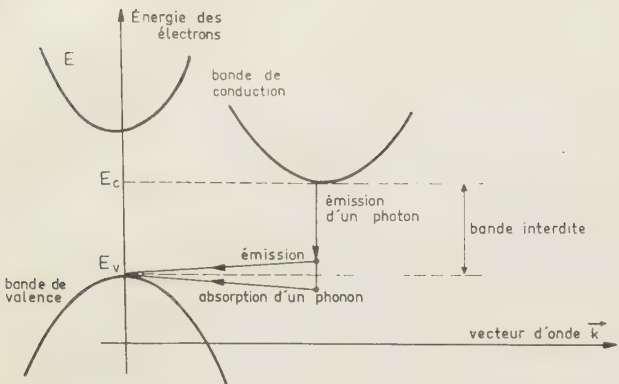


FIG. 1. — Transition indirecte

La figure 1 représente la structure de bande d'un corps tel que le germanium ou le silicium, c'est-à-dire l'énergie en fonction du vecteur d'onde k . Supposons qu'on ait, par un moyen quelconque, réalisé une certaine densité d'électrons dans la bande de conduction et une certaine densité de trous dans la bande de valence. Les électrons de la bande de conduction auront tendance à se recombiner avec les trous de la bande de valence, c'est-à-dire à passer de l'énergie E_c à l'énergie E_v . Mais les règles de sélection imposent non seulement la conservation de l'énergie mais aussi la conservation du vecteur d'onde. La recombinaison ne peut donc s'accompagner de l'émission du seul photon d'énergie $(E_c - E_v)$ car son vecteur d'onde $k = \frac{1}{\hbar} \frac{(E_c - E_v)}{C}$ est très inférieur à la différence des vecteurs d'onde de l'état initial et de l'état final de l'électron. Il faut donc faire intervenir l'émission ou l'absorption d'un phonon, caractérisé par un grand vecteur d'onde et une faible énergie. Ce processus est donc un processus du second ordre : il met en jeu l'émission (ou l'absorption) de deux quanta. Sa probabilité est donc très inférieure à celle d'un processus du premier ordre. Une telle recombinaison est dite indirecte.

Le cas d'un semiconducteur à transition directe est représenté figure 2. Les lois de conservation de l'énergie et du vecteur d'onde sont satisfaites par l'émission du seul photon. La recombinaison est alors

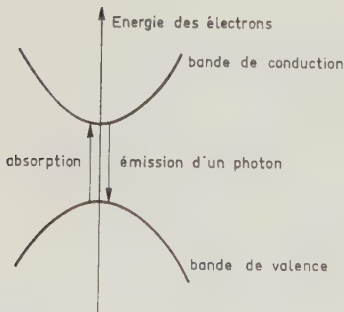


FIG. 2. — Transition directe

beaucoup plus probable. Ce cas est heureusement celui de nombreux composés parmi lesquels les composés III-V du tableau suivant :

	GaAs	InP	GaSb	InAs	InSb
Largeur de la bande interdite, à la température ambiante (eV)	1,4	1,29	0,67	0,28	0,16

C'est également le cas des solutions solides du type $\text{Ga}(\text{As}_x, \text{P}_{1-x})$ ou $(\text{In}_x, \text{Ga}_{1-x})\text{As}$, du moins dans une certaine plage de concentrations, et des corps suivants : Te, CdS, ZnS, ZnSe, ZnTe, PbS, PbSe, PbTe. On dispose donc d'une gamme étendue de matériaux susceptibles de fournir un taux de recombinaison radiative élevé, du visible à l'infrarouge. Parmi eux, l'arséniure de gallium occupe une place privilégiée car la longueur d'onde émise (8 400 Å à 77 °K) se situe dans une fenêtre de l'atmosphère, le cristal peut être obtenu suffisamment pur pour donner lieu à une efficacité quantique élevée, enfin la radiation émise correspond au maximum de sensibilité d'une photodiode au silicium.

Remarquons que les transitions bande à bande ne sont pas les seules possibles. On peut observer, si le matériau est suffisamment dopé, des transitions bande à accepteur, ou même donneur à accepteur. Dans ces cas, les règles de sélection ne s'appliquent plus. Cependant, pour un semiconducteur à structure de bande indirecte, le nombre moyen de photons émis par porteur injecté demeure très inférieur à celui émis par transitions directes, dans les cas les plus fréquents.

3. Electroluminescence par injection

Une émission lumineuse importante implique d'une part une probabilité élevée de transition radiative et d'autre part une grande densité de porteurs susceptibles d'effectuer cette transition. En ce qui concerne le premier point, nous avons vu qu'on a intérêt à utiliser un semiconducteur à transition directe. Pour réaliser la seconde condition, en termes de semiconducteur, il faut peupler d'électrons libres, la bande de conduction et de trous libres la bande de valence.

Bien entendu, cela peut être réalisé par « pompage optique » : c'est la photoluminescence. Il suffit d'irradier le cristal à l'aide d'une source lumineuse d'énergie supérieure à la largeur de la bande interdite du cristal. On libère ainsi des paires électron-trou par absorption, phénomène inverse de l'émission d'un photon.

On peut également exciter le cristal par bombardement d'électrons de quelques dizaines de keV [4].

Mais ces moyens de « pompage » sont encombrants et ne permettent pas des fréquences de modulation élevées.

Le mécanisme utilisé dans les diodes à jonction électroluminescentes est l'injection de porteurs par polarisation de la jonction dans le sens direct. La figure 3 représente le diagramme schématique d'énergie d'une

jonction $P-N$ à l'équilibre et polarisée positivement. Afin d'avoir une concentration élevée de porteurs libres, le matériau est dopé le plus souvent jusqu'à la dégénérescence. C'est le cas de la figure 3.

On voit que lorsque la diode est polarisée à une tension V voisine de la largeur de la bande interdite ($E_c - E_v$), le peuplement simultané de la bande de conduction en électrons et de la bande de valence en trous libres n'est réalisé que dans une région étroite au voisinage de la jonction [5]. La région où se produisent les recombinaisons radiatives est celle où les fonctions d'ondes des électrons et des trous libres se recouvrent (transition représentée par la flèche (1) dans la figure 3). En fait, la région active ne se limite pas forcément à la région de charge d'espace. Aux densités de courant utilisées, le phénomène prépondé-

rant peut être la recombinaison assistée d'un effet tunnel [6] [7]. Ce dernier cas est représenté par la flèche (2) figure 3 et donne lieu à une étendue plus grande de la région active. Il faut noter que, dans ce phénomène, la mobilité des porteurs intervient. Dans l'arséniure de gallium où les électrons sont 10 à 20 fois plus mobiles que les trous, la région utile s'étend donc côté P , sur une distance dont l'ordre de grandeur est le micron.

Remarquons que cette distance ne peut se déduire d'un simple examen optique. Il se produit, en raison de la discontinuité diélectrique au voisinage de la jonction, un effet de guide d'onde qui confine l'énergie dans la cavité électromagnétique de la jonction [8]. A priori il n'est pas évident que l'étendue de la cavité coïncide avec celle de la région de recombinaison. Des mesures récentes de la région émissive nous donnent une étendue de l'ordre de 15μ , à $80^\circ K$, pour une densité de courant de 10^3 A/cm^2 dans le cas d'une diode réalisée par diffusion de zinc (impureté acceptrice) sur un cristal de type N et de concentration de l'ordre de $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

4. La diode électroluminescente

On peut considérer schématiquement que la diode électroluminescente est constituée d'une région active très étroite, comprise entre deux zones mortes, l'une de type N , et l'autre de type P . Le problème de l'utilisation concerne le choix de la direction dans laquelle on recueille l'émission. On a, a priori, le choix entre une direction parallèle au plan de la jonction, c'est-à-dire à la cavité et une direction perpendiculaire, côté N ou côté P . En régime d'émission spontanée, la discontinuité diélectrique au voisinage de la jonction est suffisamment graduelle pour que le confinement de l'énergie soit progressif dans la direction perpendiculaire à la jonction. Alors, si le coefficient d'absorption du matériau est suffisamment faible, une quantité importante de photons sort dans la direction perpendiculaire à la jonction. Les techniques de réalisation des diodes, et en particulier la technique de

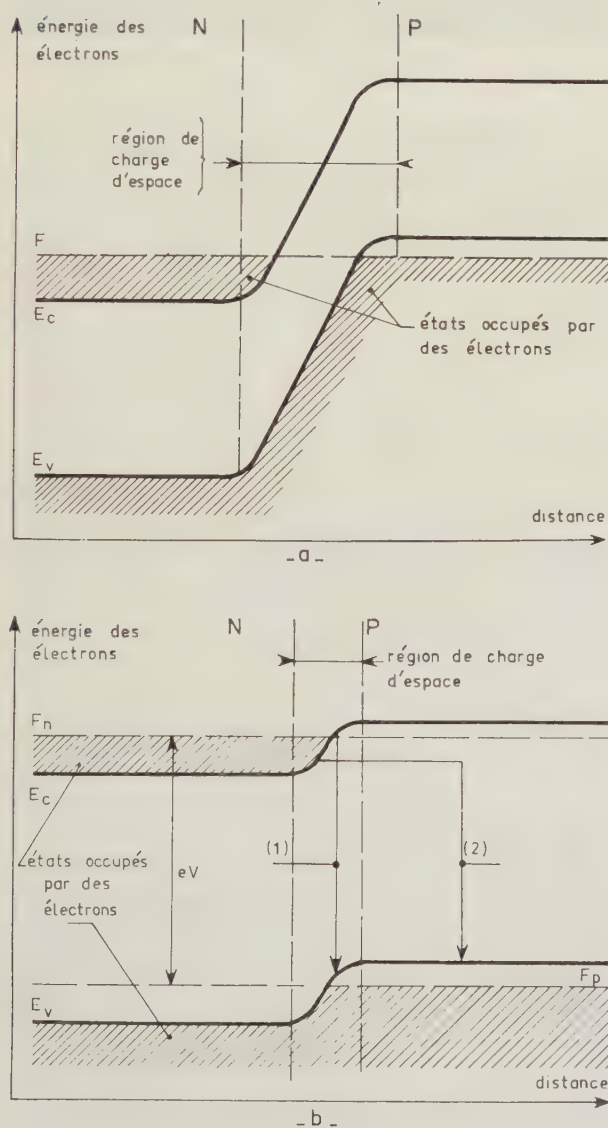


FIG. 3. — Diagramme d'énergie de la jonction $P-N$

a) Polarisation nulle, b) Polarisation V dans le sens direct.

F_n = quasi niveau de Fermi des électrons dans la bande de conduction.

F_p = quasi niveau de Fermi des trous dans la bande de valence.

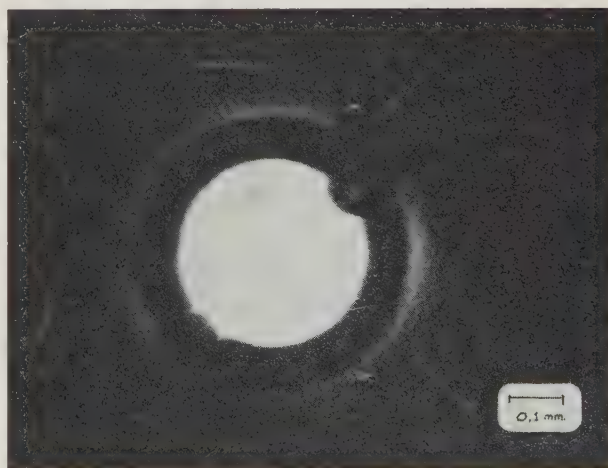


FIG. 4. — Diode électroluminescente F56 CAY en fonctionnement (film Polaroid IR type 413).

diffusion plane que nous avons adoptée, permet de réaliser de tels dispositifs où l'émission est recueillie à travers la couche *N* ou la couche *P*. En général, et pour des raisons de technologie, la concentration en porteurs libres, et par conséquent le coefficient d'absorption, sont beaucoup plus élevés dans la couche diffusée. C'est en fait la valeur du produit du coefficient d'absorption pour la radiation émise par l'épaisseur traversée qui gouverne le choix du côté émissif.

De plus la technique plane permet une très grande variété de formes et de dimensions. Nous réalisons par exemple des diodes de surface émissive de 10^{-2} à 10^{-4} cm². Le tableau suivant donne les caractéristiques typiques de telles sources de rayonnement en régime continu de 10^{-4} cm² de surface.

Température °K	P/I (mW A ⁻¹)	I_{max} (A)	Ren- de- ment (%)	Luminance à 0,5 A (W·cm ⁻² sr ⁻¹)
300	1,5	1	0,2	5
77	15	1	2	20

En régime impulsif, on peut exciter la diode avec des courants d'intensité voisine de 50 A et un facteur de forme inférieur à 10^{-3} . Les résultats précédents ont été obtenus sans adapter les indices à l'interface arsénure de gallium - air. Examinons maintenant l'intérêt qu'il y a de les adapter.

L'indice de réfraction de l'arsénure de gallium est élevé (3,5), l'angle critique de réflexion totale est donc faible (17° environ). Pour pallier cet inconvénient on peut envisager de réaliser une sphère de Weierstrass en arsénure de gallium, mais l'épaisseur de matière que doivent traverser les photons est alors très grande et elle fait perdre le bénéfice de la forme géométrique choisie. Il nous paraît beaucoup plus intéressant de rapporter sur la diode plane déjà faite, une sphère aplanétique d'indice élevé et transparente à la longueur d'onde d'émission des diodes. L'angle de sortie du faisceau passe de 90° pour une jonction nue, à 30° avec un verre en oxyde de germanium et à 24° avec un trisulfure d'arsenic, ce qui permet d'améliorer la puissance utile du dispositif.

5. Mosaïques électroluminescentes

Le rendement des dispositifs électroluminescents est intimement lié aux possibilités de dissipation de la chaleur libérée au voisinage de la jonction ; c'est pourquoi nous avons élaboré un dispositif de type mosaïque qui devrait théoriquement donner un meilleur écoulement thermique et une puissance totale supérieure pour une densité de courant d'alimentation égale.

La technique de jonctions localisées permet d'obtenir aisément la mosaïque. Les premières expériences ont été menées sur des cristaux comportant neuf diodes

de 10^{-3} cm² (géométrie circulaire) distantes de 750 μ (on peut, bien sûr, modifier à volonté le nombre, la dimension et l'écartement des diodes).

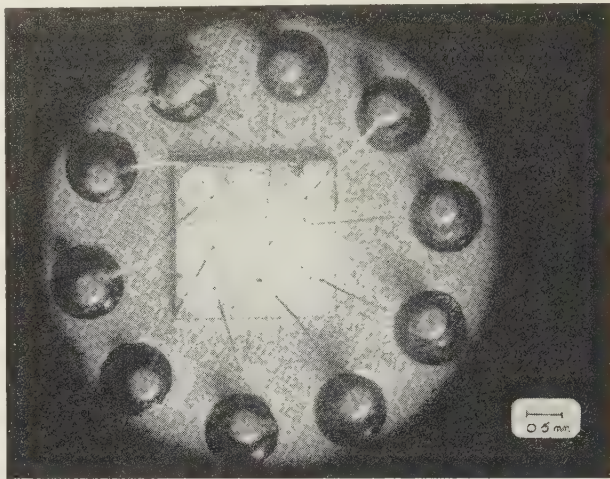


FIG. 5. — Exemple d'une mosaïque soudée sur embase TO5

— La courbe *A* de la figure 6 représente la puissance lumineuse émise, en fonction du courant d'alimentation, lorsqu'une seule diode de la mosaïque est excitée.

— La courbe *B*, la puissance lumineuse de l'ensemble de la mosaïque, en fonction du courant dans

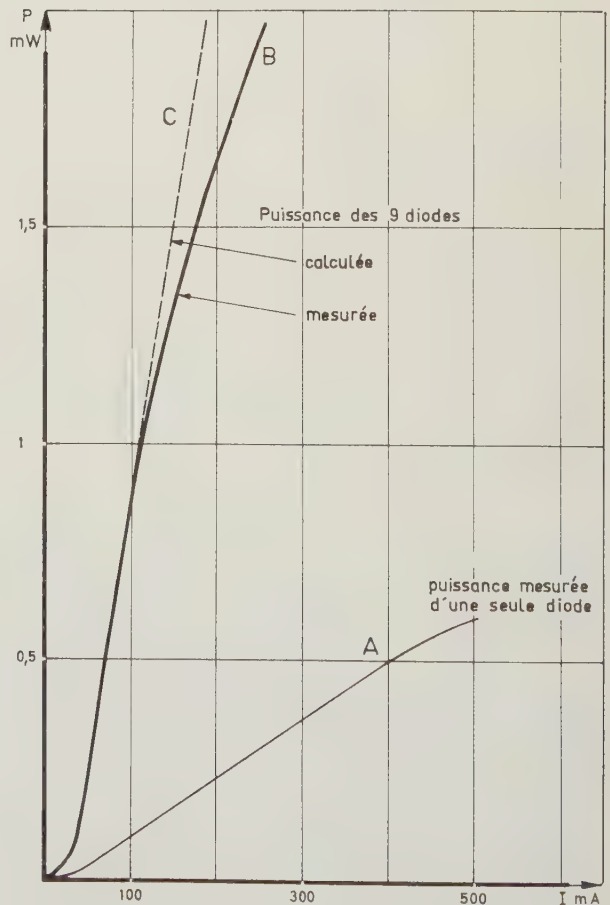


FIG. 6. — Caractéristiques d'une mosaïque comparée à celle d'une diode élémentaire.

chaque diode, lorsque les neuf diodes sont alimentées en parallèle.

— La courbe *C*, la puissance lumineuse théorique qu'on devrait obtenir par addition des puissances de chaque diode. L'écart de la courbe *B* par rapport à celle-ci illustre l'influence de la résistance thermique. A densité de courant élevée, l'émission de la mosaïque est inférieure à la somme des émissions de chaque élément pris séparément, mais supérieure à l'émission d'une diode unique de surface $9 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$.

Des travaux sont en cours pour réduire les dimensions des jonctions et le pas de la mosaïque afin d'améliorer le rendement.

Si ce dispositif ne peut pas encore résoudre les problèmes d'« éclairage » puissant, il laisse cependant entrevoir de nombreuses autres applications.

6. Principe du laser à injection

6.1. CONDITION D'ÉMISSION INDUITE

Nous n'avons considéré jusqu'à présent que le cas de l'émission spontanée. Comme pour les masers traditionnels, on peut atteindre, à partir d'un certain peuplement des niveaux d'énergie, le seuil d'émission induite ; ce seuil étant d'autant plus bas que le coefficient de surtension de la cavité électromagnétique est élevé. Plus précisément, nous allons chercher à partir de quelle densité de porteurs injectés apparaît l'émission induite.

Dans les lasers homogènes traditionnels, on définit l'occupation d'un niveau d'énergie par une quantité d'états occupés. Dans un semiconducteur, on a affaire à des bandes d'énergie définies par des densités d'états ; le nombre d'états électroniques occupés étant le produit de la probabilité d'occupation par la densité d'états. Lorsque les porteurs injectés sont en équilibre entre eux, on peut définir la probabilité d'occupation des électrons dans la bande de conduction et des trous dans la bande de valence par le concept de quasi-niveau de Fermi [9]. Les fonctions de distribution des porteurs sont alors semblables aux fonctions de distribution à l'équilibre. Etablir une condition minimale de densité de porteurs libres revient alors à établir une condition portant sur la position des niveaux de Fermi.

M. BERNARD et G. DURAFFOURG [10] ont montré que cette condition exigeait que l'écartement entre les quasi-niveaux de Fermi des électrons dans la bande de conduction et des trous dans la bande de valence soit supérieur à l'énergie de la radiation émise :

$$F_n - F_p > h\nu. \quad (1)$$

On peut en principe calculer la position des quasi-niveaux de Fermi correspondant à un certain nombre de conditions concernant le cristal. Mais les processus de réalisation de la diode font que le matériau est essentiellement inhomogène au voisinage de la jonction. On doit se contenter d'un calcul approché se basant sur des ordres de grandeur.

6.2. CAVITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Un laser à jonction *P-N* n'est pas autre chose qu'une diode dont la région active constitue une cavité résonnante. Le but principal de cette cavité est de sélectionner certains modes sur lesquels se concentre alors toute l'énergie.

Les frontières de la cavité, parallèles au plan de la jonction, sont dues à une discontinuité diélectrique comme nous l'avons vu dans le cas de l'émission spontanée. Quoique progressives, elles sont cependant bien localisées en raison de la valeur élevée de la densité de porteurs injectés. Les faces de la cavité perpendiculaires au plan de la jonction sont en général réalisées par clivage du cristal. Le coefficient de surtension de la cavité dépend de la valeur de la réflectivité des faces. A incidence normale, la réflectivité d'une face de GaAs clivée placée dans l'air est 30 %.

La géométrie utilisée le plus fréquemment est celle d'un interféromètre de Fabry-Perot [11] (fig. 7).

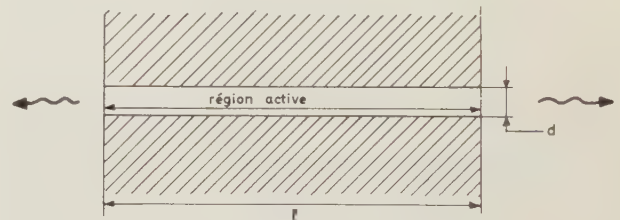


FIG. 7. — Structure schématique du laser

La sélection des modes dans la direction principale du résonateur provient de la condition que la longueur de la cavité *l* doit être égale à un nombre entier de fois une demi-longueur d'onde :

$$l = m \frac{\lambda}{2n},$$

n étant l'indice de réfraction du milieu, λ la longueur d'onde dans l'air.

La séparation entre les modes s'obtient en faisant $\delta m = -1$ pour les valeurs élevées de *m*. On obtient :

$$\frac{l \delta \lambda}{\lambda^2} = \frac{1}{2n \left(1 - \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right)}.$$

Pour l'arséniure de gallium à 77 °K, la longueur d'onde émise est de l'ordre de 8 400 Å. En raison de la petite dimension des résonateurs ($l \approx 10^{-2}$ à 10^{-1} cm), l'écart entre les modes est de plusieurs angströms.

Alors que le spectre d'émission spontanée est relativement large, 100 Å environ dans le cas du GaAs à 77 °K, le spectre d'émission induite est beaucoup mieux défini. A la même température, la largeur

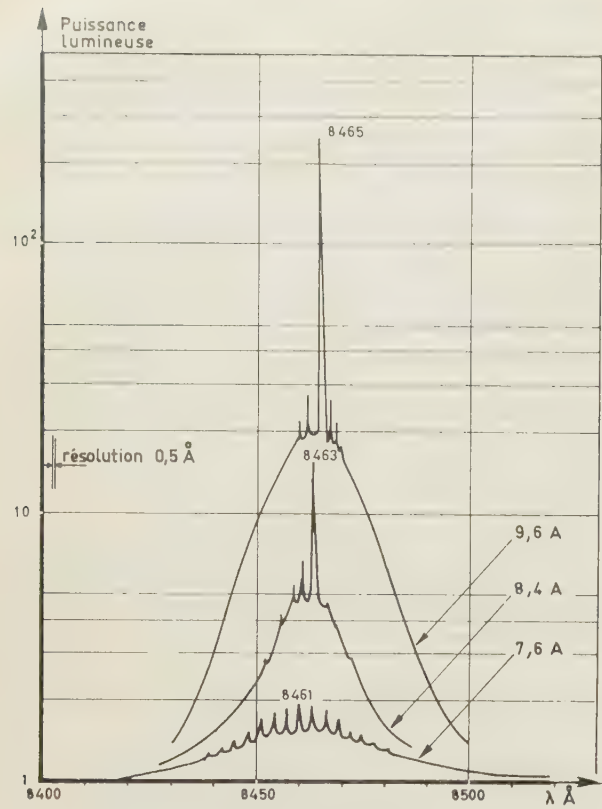


FIG. 8a. — Distribution spectrale de la puissance au seuil et au delà du seuil (80 °K)

d'un mode est de l'ordre de l'angström. La figure 8 a donne un exemple de spectres d'émission au-dessous et au-dessus du seuil laser. Lorsqu'on atteint le seuil on observe la croissance d'un mode sur lequel se concentre l'énergie électromagnétique. Une augmentation de la densité de courant peut entraîner l'apparition d'autres modes. La figure 8 b présente la variation de la puissance utile en fonction du courant traversant la jonction.

6.3. CONDITION D'OSCILLATION

La condition d'oscillation s'obtient en faisant le bilan de l'amplification et des pertes dans la cavité. Au gain dû au phénomène d'induction, s'oppose l'absorption due au phénomène inverse, et les autres types de pertes dues à la transmission et à la diffraction sur les faces de la cavité, aux imperfections géométriques, etc.

Si nous appelons g le gain par unité de longueur, α_0 le coefficient d'absorption en volume et $\Sigma\alpha_l$ la somme des contributions des différentes autres sources de pertes, le seuil d'effet laser est obtenu lorsque le gain par unité de longueur égale la somme des pertes par unité de longueur :

$$g = \alpha_0 + \Sigma\alpha_l.$$

Le gain par unité de longueur est lié de façon simple à la densité de porteurs injectés.

Soient j la densité de courant ; η l'efficacité quantique, c'est-à-dire le nombre moyen de quanta émis par porteur injecté ; e la charge de l'électron, d l'épaisseur de la région active ; $\Delta\nu$ la largeur de la raie d'émission spontanée. Si N est le nombre de quanta dans un mode électromagnétique donné, le gain par unité de longueur est :

$$g = \frac{n}{c} \frac{1}{N} \frac{dN}{dt}.$$

Le nombre de quanta émis spontanément par unité de temps, par unité de volume et par intervalle de fréquence unité est :

$$R = \frac{j}{ed} \frac{1}{\Delta\nu} \eta.$$

Comme on connaît par ailleurs le nombre n_v de modes électromagnétiques par unité de volume et par intervalle de fréquence unité :

$$n_v = \frac{8\pi n^3}{\lambda^2 c},$$

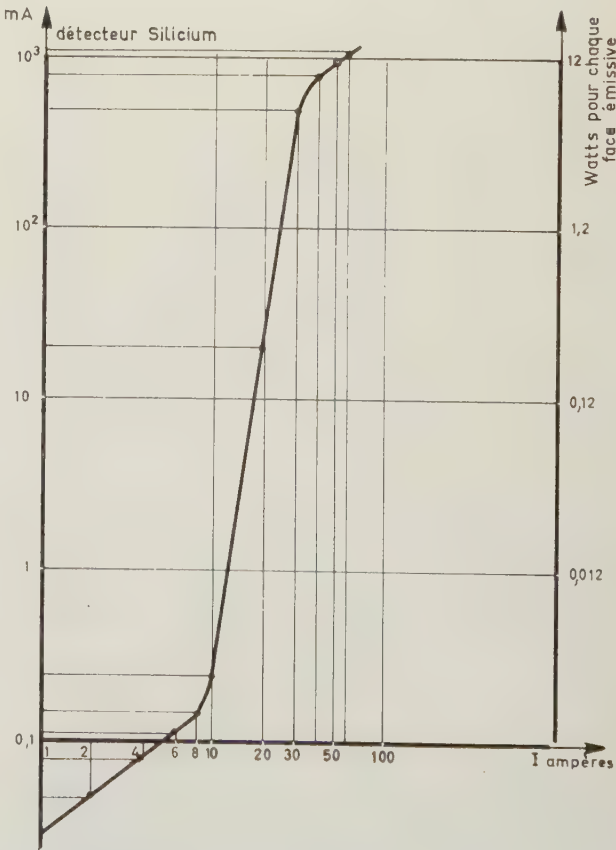


FIG. 8b. — Puissance lumineuse utile en fonction du courant. Mesure à 30 Hz 20 μs.

on en déduit :

$$g = \frac{n}{c} \frac{R}{n_v} = \frac{\lambda^2}{8\pi n^2} \frac{j}{ed} \frac{1}{\Delta v} \eta .$$

De la condition de seuil on déduit la valeur de la densité de courant de seuil :

$$j_{\text{seuil}} = \frac{8\pi en^2 d \Delta v}{\eta \lambda^2} (\alpha_0 + \Sigma \alpha_i) . \quad (2)$$

6.4. DIRECTIVITÉ

La directivité du laser à jonction est déterminée par les dimensions de la région émissive, et limitée par le phénomène de diffraction à l'interface air-arséniure de gallium. Comme l'épaisseur de la région émissive est de l'ordre de 10^{-3} cm, l'angle à mi-intensité dans le plan perpendiculaire à celui de la jonction est de l'ordre de :

$$\theta \approx \frac{\lambda}{d} \approx 10^{-1} \text{ rad} \approx 5 \text{ degrés} .$$

Dans le plan de la jonction, la directivité est meilleure d'un facteur de quelques unités. Elle demeure cependant faible car on constate que l'émission dans la cavité est non homogène mais filamenteuse, la largeur des filaments étant de l'ordre de quelques dizaines de microns.

7. La diode laser

La diode laser est obtenue, le plus souvent, par diffusion de zinc dans de l'arséniure de gallium du type *N*, et découpée par clivage pour donner lieu à une cavité du type Fabry-Perot.

Pour réaliser celle-ci, on diminue la réflectivité des deux faces latérales par sablage ou décapage. Bien entendu, le coefficient de surtension est alors inférieur à celui d'une cavité dont les quatre faces sont réfléchissantes. Par contre la fraction utilisable de la quantité totale d'énergie émise est supérieure.

La relation de BERNARD et DURAFFOURG [10] impose une concentration extrinsèque élevée [12]. Dans le cas pratique, les régions *N* et *P* sont dopées jusqu'à la dégénérescence. On peut voir sur la figure 3 *b* que F_n étant supérieur à E_c et F_p inférieur à E_v , l'inégalité est nécessairement vérifiée.

En fait, le choix de la concentration du matériau de départ résulte d'un compromis entre la nécessité d'un taux d'injection élevé et celle d'un coefficient d'absorption faible. Nous avons constaté expérimentalement que les cristaux dont la concentration en impuretés donatrices est comprise entre $5 \cdot 10^{17}$ et 10^{18} cm^{-3} sont les plus favorables. Il est admis généralement que le coefficient d'absorption correspondant α_0 dans la cavité est de l'ordre d'une dizaine de cm^{-1} .

A cette valeur α_0 s'ajoute, nous l'avons vu, la somme des autres pertes $\Sigma \alpha_i$. Le coefficient de surtension Q

est fonction inverse du coefficient d'absorption résultant $\alpha_0 + \Sigma \alpha_i$ [13].

Les contributions les plus importantes sont les suivantes : diffraction, inhomogénéité, non planéité de la jonction, non parallélisme des faces, réflexion. Les pertes par diffraction sont essentiellement fonction des dimensions des régions émissives. On peut estimer [14] le coefficient d'absorption équivalent à quelques dizaines de cm^{-1} . Les pertes dues à l'inhomogénéité sont difficiles à estimer. Celles dues à la non planéité de la jonction peuvent être considérablement réduites par le choix des conditions de diffusion de zinc. En ce qui concerne les pertes par non parallélisme, la technique de clivage permet de les rendre négligeables. Quant aux pertes par transmission à l'interface cristal-milieu ambiant, elles contribuent d'autant moins que la cavité est longue et la réflectivité des faces élevée. A titre d'exemple, la réflectivité R d'une face clivée d'arséniure de gallium placée dans l'air est de l'ordre de 0,3, ce qui donne pour une cavité de longueur $l = 10^{-1}$ cm un coefficient d'absorption équivalent :

$$\frac{1-R}{L} = 7 \text{ cm}^{-1} .$$

Dans l'expression de la relation de seuil (2), un paramètre essentiel est l'efficacité quantique η . Elle demeure voisine de l'unité jusqu'à la température ambiante car les phénomènes de recombinaison non radiative ou assistée d'un phonon sont souvent négligeables dans cette gamme de température. C'est le coefficient d'absorption α , par contre, qui croît très rapidement avec la température. On conçoit ainsi la diminution importante du rendement quand la température s'élève.

Un second paramètre important est la longueur l de la cavité. Les pertes par réflexion et diffraction sont d'autant plus faibles par rapport aux autres pertes que le laser est plus long [14]. Sur un laser de dimensions $0,4 \times 1$ mm étudié à 77 °K, nous avons mesuré une épaisseur d de la cavité électromagnétique égale à 15 μ . La densité de courant de seuil $j = 2500 \text{ A cm}^{-2}$ correspond à une somme des coefficients d'absorption égale à 38 cm^{-1} .

Nous avons vu que la puissance émise pour une densité de courant donnée, dépend fortement de la température. Pour maintenir la température de la jonction à une valeur voisine de celle du milieu ambiant, il est important d'avoir une jonction proche de l'embase et une embase se comportant comme un radiateur infini. En d'autres termes, la valeur du temps de relaxation thermique doit être maintenue aussi faible que possible [15]. L'utilisation la plus fréquente est donc une utilisation en régime pulsé, la durée et la fréquence de répétition étant fonction des qualités thermiques du dispositif. Par exemple, la diode du type F 58 CAY dans sa technologie actuelle présente une durée maximale d'effet laser de l'ordre de 100 μs et fournit une puissance lumineuse instantanée atteignant plusieurs dizaines de watts (fig. 9).

Le laser à jonction se caractérise donc par sa petite taille et son mode particulier de « pompage ».

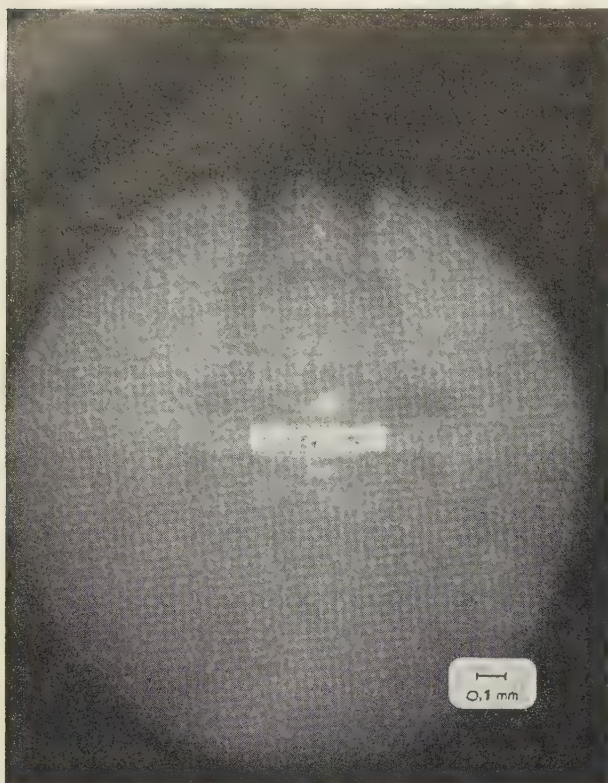


FIG. 9. — Diode laser F58 CAY à l'arséniure de gallium.

Une conséquence de celui-ci est que l'étendue de la région où l'inversion de population est effective est très faible. Du fait que les dimensions de la région émissive sont réduites, la directivité du faisceau est très inférieure à celle des lasers classiques, ainsi que la puissance, bien que l'efficacité quantique ait la propriété remarquable d'être voisine de l'unité aux basses températures. A titre d'exemple, nous avons mesuré à la température de l'azote liquide, sur un laser à l'arséniure de gallium de section $0,4 \times 1$ mm, une puissance émise totale de 40 W pour un courant d'injection de 50 A. Cela correspond à une efficacité quantique externe de 55 % et un rendement global de 12 %. Une puissance lumineuse de plusieurs dizaines de watts est caractéristique des lasers de cette dimension.

8. Applications

8.1. COMPARAISON ENTRE LA DIODE ÉLECTROLUMINESCENTE ET LA DIODE LASER

La diode électroluminescente est utilisée le plus souvent à la température ambiante. L'efficacité quantique externe n'est alors que de quelques pour mille. En outre on ne recueille qu'une fraction limitée de l'émission. Par conséquent, la puissance lumineuse utilisée est beaucoup plus faible que dans le cas des lasers, bien que les densités de courant soient parfois comparables. Nous avons vu qu'une diode de 10^{-4} cm² de surface fournit, à température ambiante et en régime continu, une puissance lumineuse de l'ordre du mW dans l'état actuel de notre technologie et sans couche optique d'adaptation des indices.

L'utilisation la plus fréquente d'une diode électroluminescente est celle d'une source de puissance limitée mais pouvant fonctionner en régime permanent. On a recours au laser lorsqu'on a besoin d'une puissance instantanée élevée, associée à une meilleure directivité. Son utilisation en régime continu demeure pour le moment limitée. On peut utiliser la propriété de faible largeur de spectre de l'émission induite pour le pompage optique de lasers solides. Par contre, on n'utilise pratiquement pas les propriétés de cohérence de la radiation émise.

Dans les deux cas, l'injection directe de porteurs permet une fréquence de modulation élevée. Celle-ci est limitée par la durée de vie de recombinaison radiative. En régime d'émission spontanée, elle est de l'ordre de la nanoseconde. En régime d'émission induite elle est inférieure. On peut donc espérer atteindre un taux de modulation de l'ordre du gigahertz [16].

8.2. DISPOSITIFS OPTOÉLECTRONIQUES

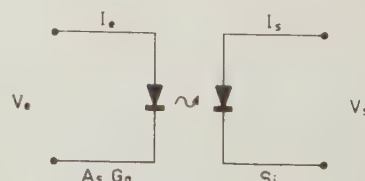
Il s'agit de nouveaux composants électroniques hétérogènes où la lumière sert de support au signal. Leur principal intérêt réside dans l'isolement quasi-parfait que l'on obtient entre l'entrée et la sortie de ces composants et par là une simplification dans les problèmes de connexion et de bruit.

Pour que ces dispositifs soient aisément exploités dans les systèmes électroniques modernes, ils doivent présenter les qualités suivantes :

- grande vitesse de commutation,
- bon rendement de transmission,
- blindage efficace,
- fonctionnement à basse tension,
- encombrement réduit.

Le dispositif élémentaire comprend un émetteur électroluminescent à l'arséniure de gallium associé à un photorécepteur en silicium ; le tout, représenté figure 10, constitue un quadripôle dont l'impédance d'entrée est faible puisque la diode émettrice en AsGa est polarisée en direct, et dont l'impédance de sortie est très grande puisque le récepteur en silicium est polarisé en inverse.

FIG. 10.



A titre d'exemple nous avons obtenu :

- impédance d'entrée $0,1 \Omega$, 500 pF,
- impédance de sortie $10^7 \Omega$, 20 pF,
- gain en courant 10^{-4} sur charge adaptée.

Cet ensemble a été testé à 150 MHz ; mais avec un récepteur photosensible épitaxial, la limite serait de 400 à 500 MHz.

La figure 11 représente les caractéristiques électriques obtenues sur un premier échantillon. Ces caractéristiques et en particulier le gain en courant peuvent encore être améliorés par l'augmentation de la luminance de l'émetteur en AsGa et par l'adaptation optique avec des milieux d'indice plus élevé.

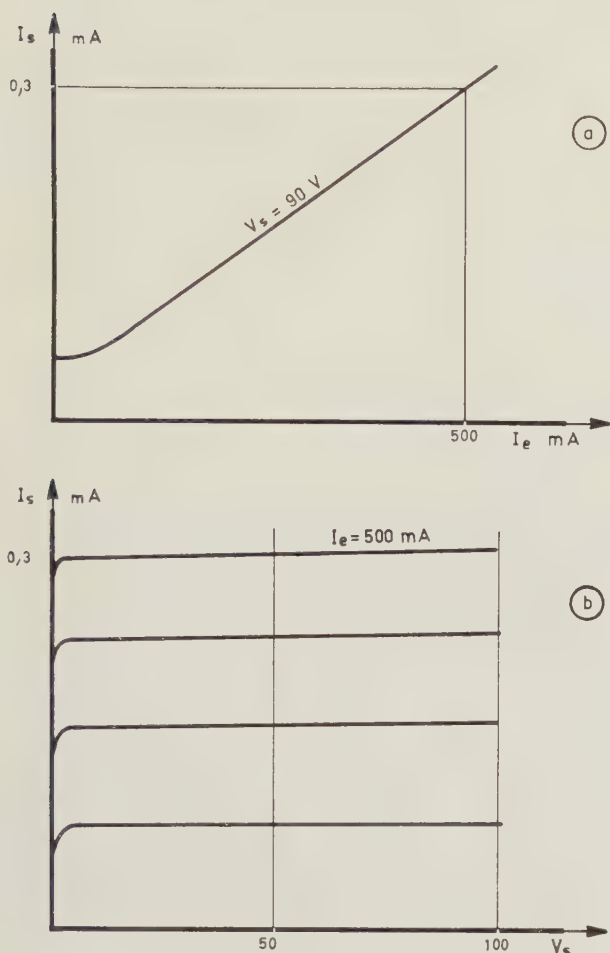


FIG. 11.

D'autre part, le remplacement de la photodiode par un phototransistor compense lui aussi le faible rendement actuel de la diode électroluminescente. Avec un gain en courant de 300 à 400 dans le phototransistor et les améliorations énoncées ci-dessus, le gain en courant du quadripôle sera voisin de l'unité mais les performances en haute fréquence seront plus faibles.

En ajoutant un second émetteur à notre phototransistor décrit précédemment, le réseau de la figure 8b est rendu symétrique par rapport à l'origine, autrement dit, on réalise un découpeur à commande optique et par là à isolement parfait.

Si maintenant nous associons des diodes émissives et des phototransistors en série ou en parallèle selon les figures 12a et 12b, nous pouvons réaliser des fonctions logiques classiques *ET* ou *OU*.

Une autre association de ces quadripôles permet de réaliser un commutateur multivoie ; par exemple toutes les diodes émissives (fig. 13) sont commandées

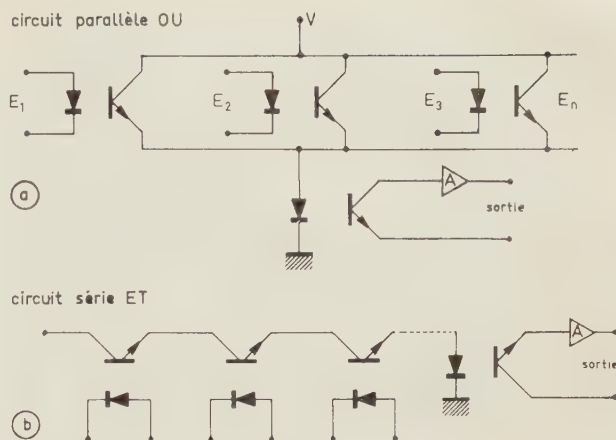


FIG. 12. — Association de diodes émissives, en série ou en parallèle

par un programmeur et chaque phototransistor n'est conducteur que lorsque son émetteur de lumière associé est excité.

Evidemment, de nombreuses autres combinaisons sont possibles et les isollements sont parfaits dans tous les cas. Enfin dans tous ces systèmes optoélectroniques, on remplace les couplages magnétiques ou électriques par des couplages optiques et l'on diminue considérablement les phénomènes parasites transitoires mais, par contre, la puissance de commande est encore élevée.

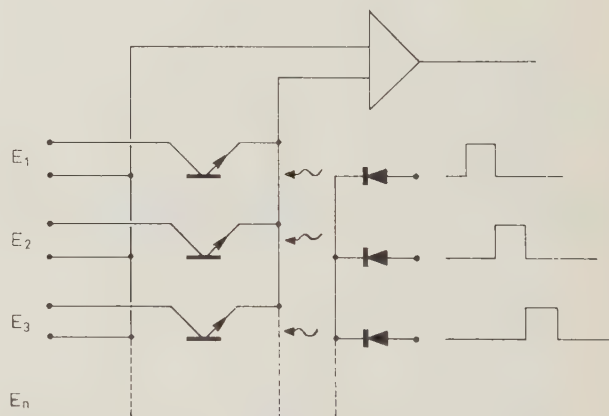


FIG. 13. — Commutateur multivoie optoélectronique

9. Conclusion

Si l'on compare les diodes électroluminescentes aux sources traditionnelles à filament de tungstène on constate que les radiances sont comparables (8 W cm^{-2} pour le Wo à 3000°K), le spectre émis est considérablement plus étroit (de l'ordre de $100 \text{ \AA}$). Cette dernière propriété conduit à une plus forte valeur du rapport signal/bruit dans une liaison. Ces dispositifs présentent en outre les avantages d'un faible encombrement, d'une facilité d'alimentation et d'une fréquence de modulation élevée qui ont permis d'envisager des applications très prometteuses en opto-

électronique et dans la transmission à distance (télé-métrie, télécommunication, guidage d'engins).

Si, dans ce dernier domaine, l'utilisation des diodes actuelles est limitée par la valeur de la puissance utile, les diodes lasers avec leur rendement très supérieur pallient ce défaut. Des progrès dans l'élaboration du cristal et dans la technologie ne manqueront pas d'intervenir, ils permettront d'obtenir l'effet laser avec une meilleure définition, un seuil moins élevé, une température plus accessible, le régime permanent.

Pour conclure, rappelons les perspectives offertes par la gamme de semiconducteurs disponibles et en particulier les solutions solides ternaires du type

Ga ($\text{As}_x, \text{P}_{1-x}$) ou ($\text{Ga}_x, \text{In}_{1-x}$) As qui permettent de choisir, du moins dans une certaine mesure, la longueur d'onde du rayonnement émis.

Nous tenons à remercier les organismes d'Etat, en particulier la D.G.R.S.T. et la D.R.M.E., pour l'aide qu'ils nous ont apportée et pour l'autorisation qu'ils ont bien voulu nous accorder pour la publication de cet article.

Nous remercions également Messieurs E. DEYRIS, J.C. DUBOIS, J. THILLAYS et J.M. LE DUC pour la part active qu'ils ont prise dans la préparation des cristaux, le développement et les mesures de ces dispositifs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FERTIN J. — Les promesses de l'élément gallium-arsenic aux températures extrêmes. *L'Onde Electrique*, 439, 1000 (1963).
- [2] BRAUNSTEIN R. — Radiative transitions in semiconductors. *Phys. Rev.*, 99, 1892 (sept. 1955).
- [3] AIGRAIN P., BENOIT A LA GUILLAUME C. — L'émission infrarouge du germanium. *Le Journal de Physique et le Radium*, 17, 709 (1956).
- [4] COMPTON D.M.J., CHENEY G.T., BRYANT J.F. — Radiation-induced Optical Emission from gallium-arsenide at high Dose Rates. Congrès international de Physique des Semiconducteurs, Paris 1964. Recombinaison radiative dans les semiconducteurs. Dunod.
- [5] HALL R.N. — Coherent Light Emission from P-N Junction. *Solid State Electronics*, 6, 405 (1963).
- [6] PANKOVE J.I. — Tunneling Assisted Photon Emission in Gallium-Arsenide P-N Junctions. *Phys. Rev. Letters*, 9, 283 (oct. 1962).
- [7] RIPPER J.E., LEITE R.C.C. — Tunneling Assisted Radiative Recombination in Ga-As. Diffused Junctions. *Proc. of the I.E.E.E.*, 160 (fév. 1965).
- [8] LEITE R.C.C., YARIV A. — On Mode Confinement in P-N Junctions. *Proc. of the I.E.E.E.*, 1035 (juillet 1963).
- [9] SHOCKLEY W. — Electrons and holes in semiconductors. Van Nostrand (1959).
- [10] BERNARD M., DURAFFOURG G. — Possibilités des lasers à Semiconducteurs. *Le Journal de Phys. et le Radium*, 22, 836 (1961).
- [11] SOROKIN P.P., AXE J.D., LANKARD J.R. — Spectral Characteristics of GaAs lasers Operating in « Fabry-Perot » Modes. *J. of App. Phys.*, 34, 2553 (1963).
- [12] KEYES R.W. — Doping of semiconductors for Injection Lasers. *Proc. of the I.R.E.*, 51, 602 (1963).
- [13] DURAFFOURG G. — Thèse, Paris, 9 juin 1965.
- [14] LASHER G.J. — Threshold relations and diffraction loss for injection lasers. *I.B.M. J. of Res. and Dev.*, 7, 58, (janv. 1963).
- [15] ENGELER W., GARFINKEL M. — Thermal characteristics of GaAs laser junctions under high power pulsed conditions. *Solid State Electronics*, 8, 585 (juillet 1965).
- [16] KONNERTH K., LANZA C. — Delay between current pulse and light emission of a gallium arsenide Injection Laser. *Appl. Phys.* 1 et 4, 120 (avril 1964).

STABILISATION DE LA FRÉQUENCE DES LASERS A GAZ *

PAR

P. LAURES

*Centre de Recherches
de la Compagnie Générale d'Electricité
Département Recherches Physiques de Base
Marcoussis (Essonne)*

1. Introduction

Le but de la stabilisation de fréquence du laser à gaz est de produire un rayonnement monochromatique, à une fréquence connue, à l'intérieur du profil Doppler d'une raie d'émission naturelle. Cette fréquence ne doit pas être influencée par le milieu extérieur et doit pouvoir être obtenue de façon reproductible. Ces conditions sont nécessaires pour obtenir un étalon de fréquence.

Très rapidement après l'apparition du premier maser optique [1], on a pu mesurer la très grande finesse de raie de ces oscillateurs, en étudiant le battement entre deux lasers. De nombreuses études ont été faites, soit pour assurer mécaniquement et thermiquement une bonne stabilité de la cavité PEROT-FABRY, soit pour effectuer un contrôle de sa longueur dans le but de la rendre aussi stable que possible.

Actuellement, les performances obtenues en laboratoire, matérialisées par le rapport $\delta\nu/\nu$ ($\delta\nu$, incertitude sur la fréquence laser ν), sont suffisantes pour la plupart des applications. Les lasers à fréquence stabilisée existants sont tous aussi isolés que possible des vibrations mécaniques et des fluctuations thermiques. La longueur optique de la cavité est, par l'intermédiaire d'un asservissement, constamment ajustée. Les performances ultimes dépendront de la largeur de raie réelle de l'émission laser et des performances des servomécanismes utilisés.

2. Caractéristiques d'une émission laser

2.1. LARGEUR DE RAIE ULTIME

L'émission spontanée produit un élargissement pour chaque oscillation laser [2, 3] donnée par :

$$2\delta = \frac{8\pi h\nu}{P(\Delta\nu_c)^2} \quad (1)$$

où P est la puissance pour le mode considéré,

$h\nu$ est l'énergie d'un quantum de radiation,

$\Delta\nu_c$ est la demi-largeur à mi-hauteur de la résonance de la cavité à la fréquence ν .

Pour un laser de 1 W le long fonctionnant à $1,15\mu$ sur une transition du néon [1], nous avons approximativement :

$$\frac{\Delta\nu_c}{\nu} = 10^{-8} \quad P = 10^{-3} \text{ W} \quad \nu \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{d'où} \quad 2\delta < 10^{-1} \text{ Hz} \quad (2)$$

Cette largeur de raie théorique correspond à une limite quantique ; la limitation en stabilisation devrait donc être de l'ordre de $3 \cdot 10^{-15}$.

En fait, il y a une autre limitation physique qui donne un élargissement supérieur dû aux vibrations thermiques des éléments fixant les miroirs [4,5].

Cet effet donne :

$$\frac{\delta'}{\nu} = \sqrt{\frac{2kT}{YV}} \quad (3)$$

où k est la constante de Boltzmann,

T la température des supports,

Y le module d'Young des supports,

V le volume des supports.

Pour un laser analogue au précédent, on trouve δ' de l'ordre de 3 Hz, donc :

$$\frac{\delta'}{\nu} = 10^{-14} \quad (4)$$

On a constaté expérimentalement [4] que le battement entre deux lasers reste stable à 30 Hz près durant quelques dizaines de millisecondes. Cela

* Conférence prononcée le 15 décembre 1965 au cours de la demi-journée d'études des 2^e et 4^e sections de la SFER sur les progrès récents dans les lasers à gaz.

indique que les fluctuations à courte période sont de l'ordre de 20 Hz pour un laser lorsque toutes les précautions sont prises vis-à-vis des bruits, des vibrations, des variations de température.

Il faut remarquer qu'une fluctuation de 20 Hz correspond à une constance de la séparation des miroirs de l'ordre de 10^{-3} Å pour une longueur de 1 m. Si l'écartement des miroirs est contrôlé par des barres en invar de coefficient de dilatation 10^{-6} par degré, cela donne une stabilité à court terme pour la température de 10^{-7} degré [5].

Ces fluctuations sont très faibles. Il semble, par conséquent, que l'on puisse arriver à une limite de l'ordre de :

$$\frac{\partial \nu}{\nu} = 10^{-13} \quad (5)$$

2.2. MODES D'OSCILLATION D'UNE CAVITÉ LASER

Il est indispensable de n'avoir qu'une seule fréquence laser émise. Les cavités PEROT-FABRY utilisées ont un grand nombre de modes d'oscillation possibles [6]. Les modes axiaux ayant une répartition gaussienne du champ électrique sont les plus facile à isoler car il suffit d'utiliser un tube laser de diamètre bien déterminé [7].

Ces modes axiaux sont séparés en fréquence de :

$$\partial \nu = \frac{c}{2L} \quad (6)$$

pour une cavité de longueur L , c étant la vitesse de la lumière.

Pour obtenir un seul mode axial, on peut donc, soit utiliser un tube court de telle sorte que les modes longitudinaux soient séparés en fréquence d'une distance plus grande que la largeur de la courbe de gain, soit atténuer les autres modes par une cavité laser comprenant plusieurs miroirs.

2.3. LASERS MONOMODES

La longueur d'une cavité PEROT-FABRY classique est proportionnelle à la longueur d'onde et inversement proportionnelle au gain du laser. Dans le cas des lasers hélium-néon, JAVAN [5] a utilisé des distances entre miroirs de 50 cm sur la raie à $1,15 \mu$; BENNETT [8] de 60 cm sur $3,39 \mu$. On a pu réaliser, à $0,6328 \mu$, des lasers de l'ordre de 10 cm [9]. Ils fournissent malheureusement une puissance faible, de l'ordre du milliwatt.

Pour obtenir une émission monofréquence de puissance supérieure, il faut utiliser une sélection de mode, c'est-à-dire employer un filtre extrêmement sélectif en fréquence. Dans le domaine de fréquence envisagé, le seul filtre utilisable est le PEROT-FABRY placé, soit à l'extérieur de la cavité, soit à l'intérieur où son efficacité est beaucoup plus grande. Divers schémas sont alors possibles et sont représentés figure 1. Ils nécessitent tous une boucle de servomé-

canisme pour maintenir une bonne concordance en fréquence entre les deux cavités résonnantes. [10,11].

Le montage 1a a été utilisé par SMITH [10]. Il a permis d'obtenir 15 mW en fonctionnement mono-mode sur $0,6328 \mu$ avec un laser de 1 m de long. Le montage 1b a été utilisé par CONVERT [12] sur un laser argon fonctionnant à $0,4880 \mu$.

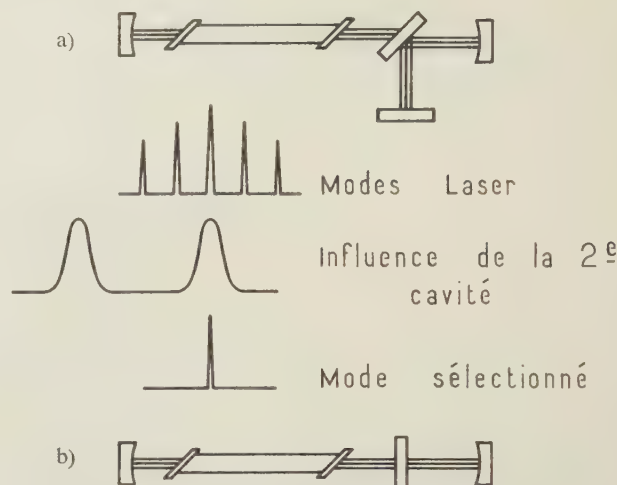


FIG. 1. — Sélection de modes à trois miroirs
1a) par système Michelson
1b) par système axial.

Signalons également une possibilité très intéressante de modulation de la cavité laser par un élément piézoélectrique placé à l'intérieur et à une fréquence très voisine de $c/2L$ [13]. Cette technique de « super mode » est décrite en particulier par LE MEZEC [14] et donne la possibilité d'effectuer une stabilisation originale [15].

Avec les nouveaux lasers à gaz carbonique [16,17, 18], on peut espérer avoir des émissions monomodes à grande puissance. En effet, la faible largeur de la courbe de gain à $10,6 \mu$, 60 MHz environ, permet d'utiliser des cavités d'une longueur supérieure au mètre et d'avoir des puissances supérieures à 10 W en émission monomode.

3. Stabilisation sans modulation de l'émission laser

La solution idéale serait de parvenir à fixer parfaitement la longueur de la cavité. On peut également utiliser une absorption du faisceau laser très sélective en fréquence.

3.1. LASER MÉCANIQUEMENT STABLE

Une stabilité à court terme de 100 MHz, sans système de contrôle, a été obtenue sur un laser $0,6328 \mu$ [19].

Le tube laser utilisé est en quartz, de diamètre 1,2 mm et de longueur utile de 13,5 cm. La distance entre miroirs est de 16,5 cm. Ces miroirs sont supportés par un tube de quartz et le réglage est effectué par

construction à quelques secondes près. Il peut être affiné par compression du quartz : un effort de 2 kg provoque un déplacement de la fréquence laser de 900 MHz.

Un tel laser fournit une puissance supérieure au mW. Il faut noter l'influence du support des miroirs sur la dérive en fréquence lorsque la température varie. Une variation de $0,1^\circ$ provoque une variation de fréquence de 1 200 MHz si les supports sont en aluminium, de 40 MHz s'ils sont en invar, et de 20 MHz seulement s'ils sont en quartz. Une stabilité à court terme supérieure à 100 kHz peut être atteinte si l'on contrôle correctement la température et si l'on élimine les vibrations ambiantes. Il faut noter l'intérêt du quartz par rapport à l'invar : ce dernier matériau donne un effet magnétostrictif dans le champ magnétique terrestre.

3.2. STABILISATION UTILISANT UNE ABSORPTION SÉLECTIVE

On peut réaliser un discriminateur de fréquence très sensible grâce à l'absorption du rayonnement laser dans une cuve contenant le même gaz soumis à un champ magnétique (fig. 2). Une onde polarisée circulaire droite n'a pas la même absorption qu'une onde polarisée circulaire gauche, sauf au centre de la raie Doppler en l'absence de champ magnétique (2b).

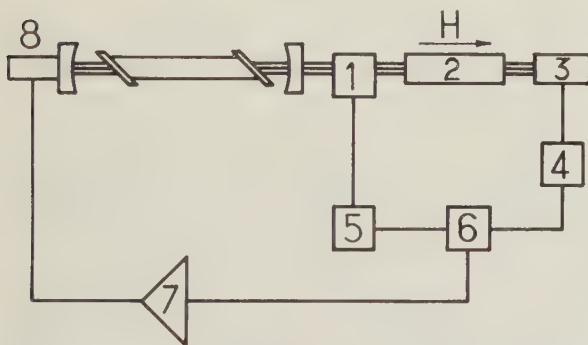


FIG. 2a. — Système de stabilisation utilisant une absorption dans un gaz soumis à un champ magnétique.

- 1 Quart d'onde électro-optique
- 2 Cuve d'absorption
- 3 Détecteur
- 4 Amplificateur accordé
- 5 Modulateur de signaux rectangulaires
- 6 Détecteur synchrone
- 7 Amplificateur
- 8 Céramique piézo-électrique

L'émission laser à $0,6328 \mu$ est envoyée dans une cuve remplie de néon après passage dans un élément polariseur qui est un quart d'onde électro-optique (K.D.P.). On lui applique un signal alternativement positif et négatif qui permet de transformer la polarisation rectiligne du laser successivement en polarisation circulaire droite puis gauche. La cellule placée après la cuve d'absorption enregistre une tension qui constitue le signal d'erreur que l'on applique sur un élément piézoélectrique supportant un des miroirs du laser. On utilise, en fait, une détection synchrone

de façon à obtenir une discrimination de phase qui permettra d'agir dans le bon sens sur l'élément piézoélectrique. On emploie du néon isotopiquement pur pour avoir un profil Doppler symétrique. Ce montage a permis d'obtenir une stabilisation à court terme de $2 \cdot 10^{-9}$.

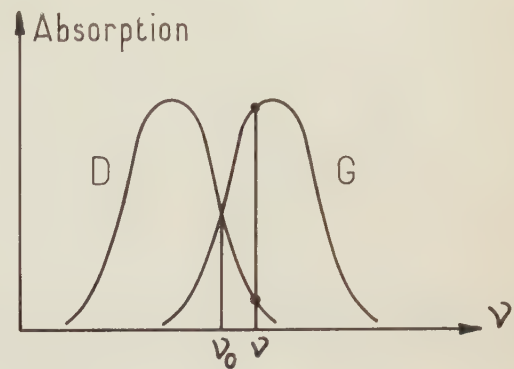


FIG. 2b. — Courbes d'absorption en présence de champ magnétique

Il a été perfectionné par WHITE [21,22] en ajoutant une deuxième boucle de servomécanisme utilisant une cavité PEROT-FABRY qui joue le rôle d'un discriminateur optique passif. Le laser est alors protégé des variations à plus long terme.

Ce type de stabilisation peut être réalisé en utilisant deux cuves d'absorption, chacune remplie d'un isotope particulier du gaz. Cela permet de placer une raie laser de façon reproductible à une fréquence qui n'est plus la fréquence centrale du profil DOPPLER. Il faut, bien entendu, que les raies des deux isotopes soient suffisamment voisines, ce qui est, en particulier, le cas pour le Ne 20 et le Ne 22 sur la raie $1,15 \mu$, distantes de 260 MHz [23].

Dans ce procédé de stabilisation, la cavité laser reste passive. Nous allons maintenant envisager une modulation de la cavité ou de l'excitation du tube.

4. Modulation d'amplitude du rayonnement laser

4.1. EXPÉRIENCE DE ROWLEY ET WILSON

Si l'on module la longueur de la cavité laser, on module l'amplitude de la puissance de sortie comme indiqué sur la figure 3. On constate un changement de phase de 180° du signal modulé lors du passage au sommet de puissance. La fréquence fondamentale du signal passe par un minimum et le premier harmonique par un maximum. Cela n'est valable que très près du seuil d'accrochage, c'est-à-dire pour une puissance laser très faible.

Dans leur expérience, ROWLEY et WILSON [24] montent un miroir sur une armature d'électro-aimant. La bobine de ce dernier est parcourue par un courant continu constamment réajusté pour maintenir constante la longueur de la cavité laser. Un faible courant alternatif à 350 Hz assure la vibration du miroir provoquant une modulation de la puissance de sortie détectée par une photodiode. On obtient ainsi, après

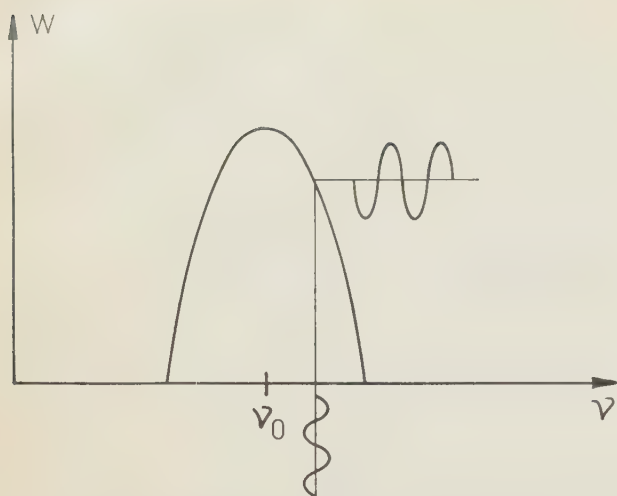


FIG. 3. — Courbe de la puissance de sortie du laser en fonction de la fréquence. Une modulation de fréquence provoque une modulation d'amplitude du signal de sortie.

amplification, comparaison de phase et redressement, un courant que l'on envoie dans la bobine de l'électro-aimant. Le gain de la boucle de contre-réaction ainsi créé détermine l'excursion en fréquence du laser. La stabilité atteinte par ce procédé, le premier à avoir été mis en œuvre, est de $2 \cdot 10^{-8}$ sur la raie $0,6328 \mu$. La longueur d'onde a été mesurée d'une façon précise par comparaison avec la raie orange du krypton 86. (Dans le vide, la raie du néon a pour longueur d'onde $6\,329,9141 \text{ \AA}$).

Il faut remarquer que cette méthode implique, pour l'émission laser, un profil d'intensité de forme parabolique ; cela n'est vrai qu'au seuil d'excitation. Pour des puissances plus importantes, la forme de ce profil est très différente.

4.2. VARIATION DE L'ÉNERGIE LASER EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE

La théorie du laser à gaz a été faite par LAMB [25]. En particulier, la puissance de sortie d'un laser en fonction de la fréquence s'écrit de la façon suivante [23] :

$$W(x) = W_0 \frac{1 - F(x)e^{x^2}}{1 - F(0)} \frac{1 + a^2 x^2}{1 + b^2 x^2} \quad (7)$$

$$\text{où } x = \frac{\nu - \nu_0}{\Delta \nu}, \quad (8)$$

ν_0 est le centre du profil DOPPLER,

$$\Delta \nu = \frac{1}{\sqrt{\ln 2}} \Delta \nu_D,$$

$\Delta \nu_D$ est la demi-largeur du profil DOPPLER,

$$a = \frac{\Delta \nu}{\gamma} \text{ où } \gamma \text{ est la durée de vie de l'état excité,}$$

b est une quantité dépendant de a ainsi que des caractéristiques de la décharge.

$F(x)$ varie très peu dans le domaine de fréquence considéré. C'est, en effet, le rapport N_{osc}/N qui définit la situation par rapport au seuil d'oscillation. Ce facteur est sensible au désalignement du tube.

La figure 4 montre qu'un creux peut se produire au centre de la courbe de puissance. (Lamb dip). C'est le cas si :

$$F(0) < 1 + \frac{1}{a^2 - b^2} \quad (9)$$

c'est-à-dire dans des conditions de puissance plus élevée.

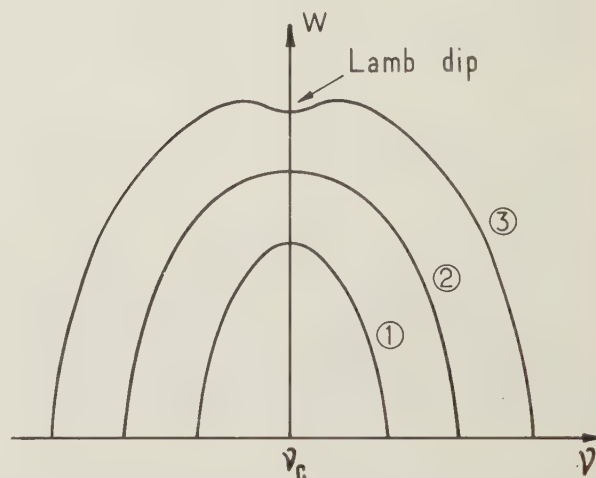


FIG. 4. — Variation de la puissance de sortie du laser en fonction de la fréquence pour des conditions de fonctionnement différentes. (Lamb dip sur la courbe 3).

De telles courbes de puissance ont été mesurées sur des lasers monomodes ; pour qu'elles soient symétriques, il faut utiliser un gaz isotopiquement pur [26].

Le « Lamb dip » trouve son explication dans le fonctionnement même du laser : si la cavité résonnante impose une fréquence ν différente de la fréquence centrale ν_0 du profil DOPPLER, les atomes contribuant à l'émission laser sont animés d'une vitesse v , telle que la fréquence émise soit ν et non ν_0 . La fréquence ν_0 correspond à une vitesse nulle.

Par raison de symétrie, les atomes de vitesse $-v$ contribuent également à l'émission laser. Si l'on représente les répartitions d'atomes non pas en vitesse mais en fréquence, on obtient bien entendu le profil DOPPLER. L'émission laser creuse dans ce profil deux trous symétriques par rapport à ν_0 . Le « Lamb dip » est provoqué par le rapprochement des trous qui arrivent à avoir une partie commune si ν est suffisamment voisin de ν_0 .

4.3. PRINCIPE DE STABILISATION FONDÉ SUR L'EXISTENCE DU « LAMB DIP »

La modulation selon l'axe principal OZ de la longueur de la cavité oscillante donne les résultats suivants :

— une modulation suivant l'axe vertical OY pour la position des miroirs,

— une modulation de la puissance de sortie à la fréquence f . Ce signal n'est plus sinusoïdal : il contient des fréquences $2f$, $3f$ etc.

— si l'on se place juste au dessus de la condition d'apparition du « Lamb dip », l'amplitude de ces harmoniques donne, grâce à une détection synchrone, un signal permettant de placer la fréquence du laser au minimum central de la courbe de puissance.

On montre qu'on peut corriger l'écart angulaire des miroirs à l'aide d'un signal d'erreur dépendant de l'amplitude de la composante fondamentale. Le premier harmonique (fréquence $2f$) sert à corriger le courant d'alimentation ; on se place ainsi à un niveau correct de puissance, très légèrement au dessus de la condition d'apparition du « Lamb dip ». On ajuste la longueur optique de la cavité à l'aide du deuxième harmonique ($3f$). SHIMODA et JAVAN [23] ont utilisé ces propriétés dans les expériences décrites ci-après.

4.3.1. DESCRIPTION DU MONTAGE

On maintient les miroirs par quatre barres en invar de 50 cm de long, équipées de trois enroulements pour effectuer le contrôle de leur longueur par effet magnétostrictif. Ce montage qui permet d'agir suivant trois axes perpendiculaires passant au centre du laser a été proposé par BENNETT [27]. L'existence de trois enroulements permet d'envoyer le même courant en valeur absolue sur chaque barre et d'avoir ainsi un échauffement homogène. Le tube est excité par une décharge HF au moyen d'électrodes externes.

On module à 71 Hz sur l'axe OZ, axe du tube laser. Cette fréquence relativement basse a été choisie pour éviter des déphasages ou des phénomènes d'hystérésis. Le photomultiplicateur recevant le signal est suivi de trois amplificateurs sélectifs qui séparent les composantes f , $2f$, $3f$.

Par l'intermédiaire de servomoteurs de potentiomètres, on contrôle le courant envoyé dans les enroulements, de telle sorte que l'amplitude du signal fondamental corrige la déviation angulaire des miroirs, l'amplitude du deuxième harmonique, la longueur de la cavité. Le premier harmonique par l'intermédiaire d'un démodulateur synchrone et d'un amplificateur corrige le courant de l'alimentation laser.

4.3.2. STABILISATION OBTENUE

Les temps de réponse des circuits sont de l'ordre de la seconde. Les caractéristiques des servomécanismes donnent une limite de stabilité due à l'appareillage de :

$$\frac{\delta\nu}{\nu} = 7 \cdot 10^{-11}$$

Il faut remarquer que le photomultiplicateur donne un très faible courant car il est peu sensible de $1,15 \mu$

et la puissance laser ne dépasse pas quelques microwatts dans cette expérience.

La meilleure stabilité obtenue a été de $6 \cdot 10^{-10}$ sur de longues périodes de temps. Elle a été mesurée grâce à deux lasers stabilisés indépendamment, l'un rempli de Néon 20, l'autre de Néon 22. Les deux lasers modulés à la même fréquence sont stabilisés au centre de leur raie DOPPLER. Leur battement est voisin de 260 MHz ; les fluctuations autour de cette fréquence correspondent à un profil gaussien de largeur 347 kHz pour 400 mesures. Cela correspond à une stabilité moyenne de $9 \cdot 10^{-10}$ qui a pu être légèrement améliorée pour un laser particulier jusqu'à $6 \cdot 10^{-10}$.

4.3.3. REMARQUES

Le laser est ainsi stabilisé au centre du « Lamb dip ». A cause de certaines dissymétries de raies, il est à environ 2 MHz du centre du profil DOPPLER. Pour réaliser un étalon de fréquence reproductible, il faut donc préciser avec soin les pressions des gaz employés, les impuretés tolérables, la géométrie de la cavité.

Ce laser stabilisé est modulé en fréquence à 71 Hz avec une excursion de 10 MHz environ, ce qui peut provoquer quelques difficultés d'utilisation. On peut espérer améliorer les performances de ce type de stabilisation avec des lasers à $0,6328 \mu$. Les détecteurs sont beaucoup plus sensibles que dans l'infrarouge, le niveau de puissance correspondant au seuil d'apparition du « Lamb dip » est plus élevé.

5. Stabilisation obtenue grâce à une modulation de fréquence

Il est possible de maintenir entre deux lasers indépendants une différence de fréquence fixe f_i . Il suffit, en effet, de mélanger les deux émissions sur un photodétecteur et d'envoyer le signal sur un discriminateur MF, centré sur f_i . Le courant de sortie commande, après amplification, un élément piézoélectrique supportant le miroir d'un des lasers.

Il s'agit là de l'utilisation d'un laser en oscillateur local. BENNETT a employé le schéma ci-dessus : il a construit un discriminateur optique, sensible au déplacement en fréquence de l'émission laser provoqué par la dispersion anormale lors d'une variation de gain du milieu amplificateur [28].

5.1. CONSÉQUENCES DE LA DISPERSION ANORMALE

L'émission laser se produit à une fréquence ν très voisine de la fréquence ν_c de la cavité PEROT-FABRY. Le profil DOPPLER de la raie centrée sur ν_0 impose un certain entraînement que l'on peut écrire de la façon suivante :

$$\frac{Q_c + Q_0}{\nu} = \frac{Q_c}{\nu_c} + \frac{Q_0}{\nu_0} \quad (10)$$

Q_c est le facteur de surtension de la cavité,
 Q_0 celui correspondant au profil DOPPLER.

5.3. PERFECTIONNEMENTS ENVISAGÉS A CETTE MÉTHODE DE STABILISATION

La figure 7 représente un schéma de principe possible. On distingue les deux boucles d'asservissement qui permettent, l'une de régler le laser hétérodyne, l'autre d'assurer la correction de la longueur du laser. Dans les deux cas, pour éviter la saturation des amplificateurs et pour permettre de compenser les dérives thermiques, on utilise une boucle secondaire d'asservissement.

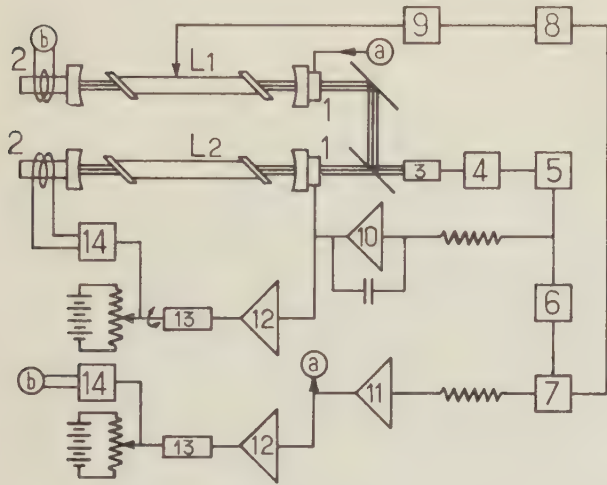


Fig. 7. — Système de stabilisation à quatre boucles de servomécanisme

- 1 Céramique piézoélectrique
- 2 Transducteur électrodynamique
- 3 Photodétecteur
- 4 Amplificateur accordé sur f_i
- 5 Discriminateur accordé sur f_i
- 6 Amplificateur sélectif accordé sur f_m
- 7 Détecteur synchrone
- 8 Générateur basse fréquence délivrant f_m
- 9 Modulateur du gain du laser
- 10 Amplificateur opérationnel monté en intégrateur à réponse lente
- 11 Amplificateur opérationnel monté en intégrateur à réponse rapide
- 12 Amplificateur de puissance
- 13 Moteur à courant continu
- 14 Amplificateur de puissance commandant les transducteurs.

En effet, on corrige la longueur optique à la fois par des éléments piézoélectriques sensibles (400 V correspondant à un déplacement de 1μ) et par des transducteurs électrodynamiques exerçant une pression axiale sur un miroir (le déplacement pouvant être de 10 à 15μ). Le circuit commandant les éléments piézoélectriques est attaqué par des amplificateurs montés en intégrateurs ; il constitue une boucle à fort gain et à réponse rapide. Au contraire, le deuxième circuit est à faible gain, à réponse plus lente. Il a une plage d'action beaucoup plus importante. On n'a pas représenté sur la figure 7 les réseaux correcteurs destinés à assurer la stabilité du système. On utilisera des lasers de structures très stables (montage en

quartz) dans une enceinte isolée acoustiquement et placés sur une table antivibratoire.

Les lasers à gaz carbonique fonctionnant à $10,59 \mu$ peuvent être stabilisés par cette méthode. Les grandes longueurs de tube possibles, en gardant un rayonnement monomode, obligent à des corrections de longueur pouvant dépasser 10μ . L'utilisation de deux boucles en parallèle, l'une corrigeant les variations lentes et de grande amplitude, l'autre les variations rapides dans une plage étroite, paraît intéressante dans ce cas.

Cette méthode peut être généralisée en employant une stabilisation de fréquence par modulation d'amplitude permettant de placer le laser dans une zone de fréquence où une discrimination à forte pente pourra être réalisée dans un faible domaine de fréquence.

6. Conclusion

Les diverses méthodes de stabilisation de fréquence qui ont été successivement envisagées ont permis des précisions supérieures à 10^{-9} et atteignent pratiquement 10^{-10} . Ces performances ne concurrencent pas, pour l'instant, les étalons de fréquence utilisant une absorption atomique dont la stabilité est de l'ordre 10^{-12} . On peut cependant estimer qu'il est possible d'atteindre une précision de l'ordre de 10^{-13} avec des lasers à gaz, à cause de la très faible largeur de raie de ces oscillateurs. Pour cela, une connaissance beaucoup plus complète de la théorie de l'émission stimulée en milieux gazeux est nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JAVAN A., BENNETT W.R., HERRIOTT D.R. et J.R. — *Phys. Rev. Letters* vol. 6, 1961, p. 106.
- [2] SCHAWLOW A.L. et TOWNES C.H. — *Phys. Rev.* vol. 112 1958, p. 1940.
- [3] TOWNES C.H. — *Advances in Quantum Electronics*, édité par Singer J.R., (Columbia University Press, New York 1961), p. 3.
- [4] JASEJA T.S., JAVAN A., TOWNES C.H. — *Phys. Rev. Letters*, vol. 10, 1963, p. 165.
- [5] JASEJA T.S., JAVAN A., MURRAY J., TOWNES C.H. — *Phys. Rev.*, vol. 133, p. A 1221.
- [6] FOX A.G., TINGYE LI. — *Bell System Technical Journal*, vol. 40, 1961, p. 453.
- [7] BOYD G.D., GORDON J.P. — *Bell System Technical Journal*, vol. 40, 1961, p. 399.
- [8] BENNETT W.R., JACOBS S.F., LATOURETTE et RABINOWITZ P. — *Appl. Phys. Letters*, vol. 5, 1964, p. 56.
- [9] GORDON E.I., WHITE A.D. — *Proc. of the IEEE*, 1964, p. 206.
- [10] SMITH P.W. — *IEEE Journal of Quantum Electronics* Q.E. 1, 1965, p. 343.
- [11] KLEINMAN D.A. et KISLIUK P.P. — *Bell System Technical Journal*, vol. 41, 1962, p. 453.
- [12] CONVERT G. — (CSF) Communication privée.
- [13] HARRIS S.E. et MAC DUFF O.P. — *Appl. Phys. Letters*, vol. 5, 1964, p. 205.
- [14] LE MEZEC M. — (Article à paraître dans *l'Onde Electrique*).
- [15] HARRIS S.E., KENNETH OSHMAN M., MAC MURTRY B.J. et AMMANN E.O. — *Appl. Phys. Letters*, vol. 7, 1965, p. 185.

- [16] HENRY L. et LEGAY F. — *l'Onde Electrique*, avril 1966, p. 410.
 - [17] TRUFFERT A. — *l'Onde Electrique*, avril 1966, p.
 - [18] ZIEGLER X. et FRAPARD C. — *l'Onde Electrique*, avril 1966, p. 423.
 - [19] COLLINSON J.A. — *Bell System technical Journal*, vol. 44, 1965, p. 1511.
 - [20] WHITE A.D., GORDON E.I. et LABUDA E.F. — *Appl. Phys. Letters*, vol. 5, 1964, p. 97.
 - [21] WHITE A.D. — *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Q.E. 1, 1965, p. 322.
 - [22] WHITE A.D. — *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Q.E. 1, 1965, p. 349.
 - [23] KOICHI SHIMODA et ALI JAVAN. — *Journal of Appl. Phys.*, vol. 36, 1965, p. 718.
 - [24] ROWLEY W.R.C. et WILSON D.C. — *Nature*, vol. 200, 23 novembre 1963, p. 745.
 - [25] LAMB W.E. — *Phys. Rev.* vol. 134, 1964, p. A 1429.
 - [26] SZOKE A. et JAVAN A. — *Phys. Rev. Letters*, vol. 10, 1963, p. 521.
 - [27] BENNETT Jr. W.R., KINDLMANN P.J. — *Review of Scientific Instruments*, vol. 33, 1962, p. 601.
 - [28] BENNETT Jr. W.R. — *Quantum Electronics III*, Editeurs P. Grivet et N. Bloembergen, Columbia University Press, New-York, 1964.
 - [29] COOK M.S. — *Phys. Review*, vol. 135, 1964, p. A 568.
 - [30] RABINOWITZ P., LATOURRETTE J.T., GOULD G. — *Proc. of the IEEE*, vol. 51, 1963, p. 857.
-

SALON INTERNATIONAL DES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Le 9^e Salon International des Composants Électroniques s'est tenu à Paris, au Parc des Expositions de la Porte de Versailles, du 3 au 8 février 1966. Cette manifestation dont le renom mondial est dorénavant bien établi a connu, plus encore que l'an dernier, un brillant succès. (142 000 visiteurs dont 16 % d'étrangers, contre 125 000 l'an dernier). Tout le mérite de ce succès revient aux organisateurs : les syndicats des fabricants de composants et d'appareils groupés au sein de la Fédération Nationale des Industries Électroniques.

Aux côtés du Salon des Composants se tenait cette année, comme l'an passé, le Salon International de l'Électroacoustique. A mentionner également les Journées Techniques organisées dans le cadre du Salon et au cours desquelles une quarantaine de Conférences ont été prononcées par des Ingénieurs et des Chercheurs des Sociétés exposantes.

Si la surface moyenne disponible pour chaque stand a dû être légèrement réduite par rapport au Salon 1965, le nombre total d'exposants (979 pour les deux salons) s'est accru de 7 %. Le caractère international du Salon est confirmé par le nombre des exposants étrangers qui représentent environ la moitié du total des exposants. Les pays dont la représentation a été la plus importante sont, dans l'ordre : États-Unis (169), Allemagne Fédérale (103), Grande-Bretagne (82), Japon (27), Suisse (14).

Faire le point des diverses tendances, dégager les perspec-

tives offertes, c'est là un des buts de cette manifestation. Le point de la situation, comme le souligna M. DANZIN dans sa présentation du Salon à la presse, peut être résumé ainsi : « La recherche de la maîtrise par l'électronicien des composants qui conféreront à ses machines sensibilité et fidélité, mémoire et capacité de calcul, c'est-à-dire intelligence et dans une certaine mesure conscience, a pris le pas, depuis peu, sur les recherches axées sur les dispositifs générateurs et amplificateurs de fréquences de plus en plus élevées. Trois tendances sont en facteur commun à tous les efforts actuels de recherche de développement : *fiabilité, réduction des dimensions, faible prix* ».

Comme les années précédentes, nous présentons ici un compte rendu sommaire de cette manifestation. Seuls les matériels présentant un caractère de nouveauté ont été retenus.

En lisant ces pages, vous retrouverez, nous l'espérons, les trois tendances annoncées ; nous-mêmes les avons ressenties plus encore que l'an dernier, en parcourant pour vous ces Salons.

Dans le domaine des composants traditionnels, nous avons constaté peu de nouveautés, tout au plus des extensions de gamme de fabrications déjà connues et un effort dans certaines réalisations pour en accroître la fiabilité.

RÉSISTANCES ET POTENTIOMÈTRES

● ALLEN BRADLEY a présenté une nouvelle résistance au carbone aggloméré pouvant être utilisée dans des circuits où la stabilité n'est pas primordiale : type *BB resistor*, 1/8 W à 70 °C utilisable de -55 à +85 °C longueur 3,7 mm, diamètre 1,6 mm.

● BOURNS a exposé une gamme étendue de trimmers, bobines pour les basses valeurs ohmiques (jusqu'à 10 kΩ) et à couche de carbone pour les valeurs de 5 kΩ à 5 MΩ ; deux nouveaux trimmers, l'un de faibles dimensions 6,3 × 6,3 × 3,4 mm de 10 Ω à 20 kΩ avec vis de commande tangentielle, l'autre dérivé du modèle 3250, est fabriqué en version industrielle sous la référence 3257 (0,25 W -65 à +105 °C) de conception identique mais limité en température et puissance nominale et de protection climatique sommaire.

● Chez CONTELEC, distribué en France par INTER-COMPOSANTS, on a noté un nouveau potentiomètre trimmer rectiligne à résolution infinie type 050 et le potentiomètre type T84 de puissance nominale 0,75 W pour circuit imprimé, en valeur nominale de 10 Ω à 25 kΩ, qui, présenté au précé-

Contelec : potentiomètre
type T 84



dent salon, est entré dans une phase concrète de fabrication.

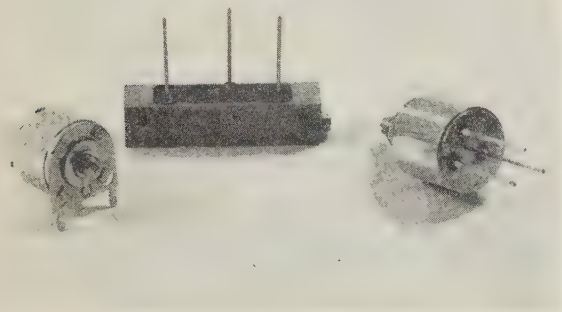
● La série RBH de LCC-EURISTA prolonge le domaine des résistances à couche de carbone d'usage courant jusqu'à 155 °C.

Ainsi la *RBH 003* (long = 10 mm $\varnothing$ = 3,5 mm) peut dissiper 0,2 W à 125 °C et la *RBH 001* peut dissiper encore 0,1 W à 125 °C ; gamme de valeurs de 1 Ω à 1 M Ω .

● Les potentiomètres *FERRANTI* à pellicule de carbone, peuvent atteindre une conformité linéaire de 0,1 % ; le système frotteur à faible pression assure un couple de rotation réduit et la résistance de contact est faible, de l'ordre de 1 % de la valeur nominale (gamme de valeur 1 k Ω à 300 k Ω).

● Le département *LEGPA* de la *SOCIÉTÉ D'INSTRUMENTATION SCHLUMBERGER* présente en outre, un potentiomètre type *M65* garanti à résolution infinie en 1 ou 10 tours, de valeurs nominales 1 à 5 000 Ω

● *OHMIC* présente la version étanche du potentiomètre *RV6* 1/2 W à piste moulée et le type *G*, sorties par fils avec berceau de fixation sur circuits imprimés, ainsi qu'un potentiomètre rectiligne à piste moulée type *MR* 1/4 W réglable par vis 25 tours en variation linéaire (gamme de valeurs 10 Ω à 1 M Ω).



Ohmic — potentiomètres à piste moulée types MR et RV 6

● Les résistances miniatures à couche métallique *TREL* (*Trégor Electronique*) présentées par la *SAT* sont maintenant en début de fabrication à l'usine de Lannion ; elles sont fournies en quatre puissances nominales à 70 °C : 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W et 1 W en version enrobée type *TM*, ou version moulée type *TMM*, et en trois coefficients nominaux de température 100, 50 et 25 10⁻⁶ par °C.

● *RADIAC* présente dans le domaine des résistances à couche métallique un modèle *RCP 1* conforme à celui de la spécification *CCTU* 04-06, résistances à couche de forte dissipation, et un type *BMS* à haute stabilité en cinq puissances nominales, chacune en trois coefficients nominaux de température. On note dans les résistances à couche de carbone, une réalisation pour courant pulsé grâce à l'emploi d'une pellicule plus résistante et une augmentation du pas de spirallage.

● *RESISTA* expose sous la référence *S4* une résistance à

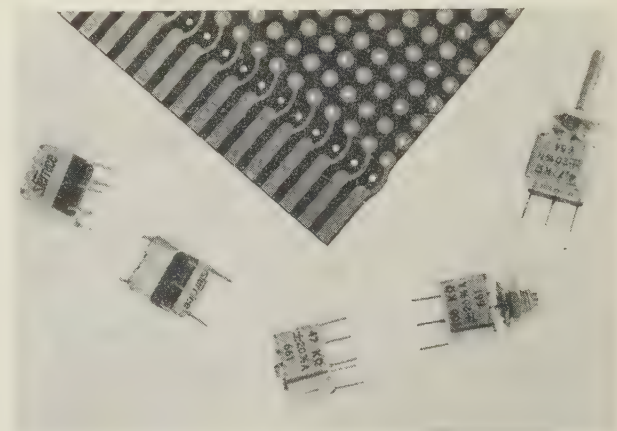


Resista — Résistance à couche de carbone type S 4

couche de carbone d'usage courant, spécialement conçue pour l'insertion sur circuits imprimés ; la forme conique des connexions assure à la fois une mise en place et un blocage de la pièce avant soudure : valeur de 10 Ω à 1 M Ω et 0,3 W à 70 °C.

● *ROSENTHAL-RIG* offre une gamme étendue de résistances à couche de carbone avec ou sans embouts, axiales ou radiales, tropicalisées ou non tropicalisées parmi lesquelles les types *HSD* et *RN* présentent de très faibles dérives à l'essai d'endurance de 5 000 heures.

● *SFERNICE* présente sous la référence *P12*, un pontentiomètre étanche dont la caractéristique principale est une dissipation importante (2 W) sous un encombrement réduit (12,5 x 12,5 x 10,5 mm) ; grâce à l'emploi d'une piste métal-céramique la température peut atteindre 200 °C ; il est exécuté en variation linéaire de 470 Ω à 220 k Ω et différentes versions sont proposées.



Sfernice — différentes versions du potentiomètre P 12

On a noté aussi en cours de développement, suite à un marché d'études de la *SEFT* un potentiomètre étanche *P8* de puissance nominale 0,25 W et dont les valeurs ohmiques sont comprises entre 100 Ω et 50 k Ω . La version en boîtier *T05* est encore à l'étude. Enfin on a remarqué des résistances à haute stabilité type *DHS*, résistances isolées répondant à la caractéristique *D* en trois puissances nominales 0,25 W, 0,5 W et 0,75 W de la norme *MIL R 10 509*.

● *SOVCOR* présente sa gamme particulièrement intéressante de résistances à couche d'oxydes métalliques déposés sur bâtonnet de verre, soit résistances d'usage courant, soit à haute stabilité, soit de forte dissipation répondant aux spécifications *CCTU* en vigueur et dont de nombreux modèles sont homologués.

● Distribués par *TECHNIQUE ET PRODUITS* les potentiomètres trimmers *SPECTROL* ont attiré notre attention de par leur grande diversité de réalisation (modèles rectangulaires, carrés à axe de commande tangentiel, modèle transistor en boîtier *T05*, modèle « bouton ») parmi lesquels on a noté une réalisation en berceau pour circuits imprimés où la vis de commande se trouve être parallèle au plan du circuit imprimé (modèle 85).

ÉLÉMENTS RÉSISTANTS NON LINÉAIRES (thermistances, varistances...)

● *SIEMENS* présente une nouvelle thermistance type perle *K29* sous verre, de faibles dimensions (1,2 x 2,2 mm), particulièrement adaptées aux montages dans les sondes de température.

● La *Société AVOCA* présente des photorésistances *SEGOR* au sulfure et au sélénure de cadmium, les divers modèles sont fabriqués à partir de quatre matériaux de base. Parmi les nombreuses applications, on peut citer la photométrie, les photochoppers, les compteurs rapides, l'utilisation en rayonnement infrarouge.

● CICE a porté son effort sur la stabilité de certaines thermistances permettant une utilisation en thermométrie grâce à un coefficient de température à tolérances serrées ; deux nouvelles thermistances sont présentées, l'une couvrant les températures de -20 à $+150$ °C (R à 20 °C = 400 k Ω et R à 150 °C = 570 Ω) et l'autre couvrant les températures de $+25$ °C à $+230$ °C.

● Le CARBONE LORRAINE présente des thermistances à bas coefficient de température, permettant des mesures de températures en milieu cryogénique en matériau « GO » (valeurs à 25 °C comprises entre 10 et 40 Ω pour atteindre 10 k Ω et 100 k Ω à -250 °C) et en matériau « G1 » (valeurs à 25 °C de 50 à 600 Ω passant à 10 et 100 k Ω à -150 °C) ; toutefois ces éléments restent sensibles aux chocs thermiques répétés. Dans la fabrication des varistances, il a été noté une extension vers les hautes tensions jusqu'à 10 kV avec la varistance VF 53.

● LTT présente toujours les silistances (résistances au silicium) à fort coefficient de température positif ($0,75$ %/°C), utilisables de -40 à $+170$ °C et particulièrement adaptées à la compensation des caractéristiques des semiconducteurs en fonction de la température ; résistances nominales de 10 à $1\,000$ Ω en tolérances 20 et 10 %.

CONDENSATEURS ÉLECTROLYTIQUES

Les diverses finitions présentées pour les condensateurs au tantale sec sont de plus en plus nombreuses.

● En particulier, AIR-TRONIC expose des modèles en boîtiers moulés cylindriques, en boîtiers moulés modulaires, en boîtiers moulés rectangulaires, en boîtiers métalliques. Dans ce dernier modèle une série point vert type ATV est dite à très haute fiabilité (taux de défauts 1×10^{-8} unité/heure). L'un des critères de fiabilité est lié à une très faible valeur du courant de fuite (1×10^{-9} A/ μ F/V).

Une série point rouge type ATR dite à haute fiabilité dont le courant de fuite peut atteindre des valeurs 10 fois plus élevées que la série précédente.

● Chez COGECO, les condensateurs électrolytiques conformes au modèle CO21 de la spécification CCTU 02-10, gamme de valeurs de $1,6$ μ F à 500 μ F suivant des tensions de 10 à 63 V viennent de recevoir l'homologation CCTU.

● En dehors des fabrications connues, on a noté chez DUCATI une nouvelle série de condensateurs électrolytiques à l'aluminium subminiatures MINIAXYLYT identique d'aspect extérieur à la série DUMINEL, mais dont les connexions internes sont soudées et non plus simplement serties, représentant ainsi une amélioration de la stabilité dans une utilisation sous faibles courants ; la série PRINTOLYT est la version correspondante pour circuits imprimés : tensions nominales, 3 à 100 V et de 1 à 250 μ F suivant la tension nominale.

● Afin d'obtenir des condensateurs électrolytiques miniatures de longue durée de vie, ITT STANDARD utilise, pour le type Z 6175, des armatures d'aluminium non gravées : cette conception et la limitation adoptée en température (de -40 à $+70$ °C) semblent être en effet les critères d'une bonne fiabilité. Elle est obtenue néanmoins au détriment du rapport capacité/volume, puisque la capacité maximale réalisable dans le même boîtier et pour la même tension nominale de 4 V n'est que de 68 μ F au lieu de 500 μ F dans le cas d'anode et cathode gravées.

● Nous avons noté chez MALLORY une nouvelle série de condensateurs au tantale solide, non encapsulés, pouvant être directement montés sur microcircuits et protégés ultérieurement ; d'autre part la gamme de température des condensateurs électrolytiques MTA est portée de -30 °C à $+85$ °C, à la suite d'essais à 85 °C où aucun défaut n'est apparu pour un million de pièces $\times$ heures.

● SECO-NOVEA présente un condensateur électrochimique PROSEC 85 dont la réalisation a fait l'objet de certaines améliorations en particulier en ce qui concerne le mode de fixation des languettes de sorties qui sont de forte section et qui ne sont plus seulement agrafées mais soudées. Par ailleurs grâce à l'emploi d'un nouvel imprégnant demi-sec, SECO-NOVEA développe deux réalisations, d'une part la série T434 en petits boîtiers métalliques classiques de $2,2$ μ F

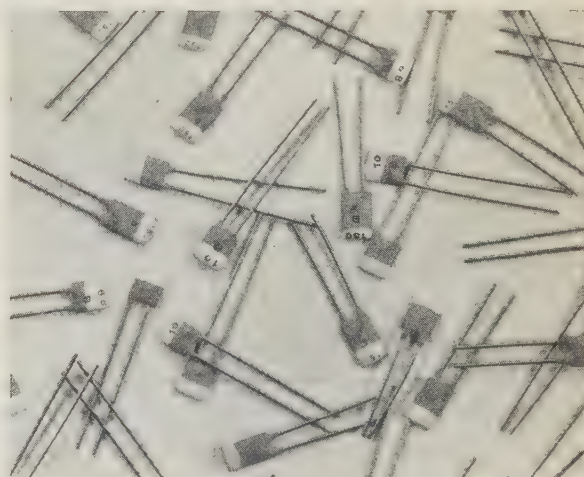
à 680 μ F (tensions de 10 à 100 V) et d'autre part la série PROSEC 100 en boîtiers cylindriques de grandes dimensions (identiques au PROSEC 85) à sorties par vis, dont la tenue en température annoncée est excellente, mais dont la fiabilité ne peut être encore chiffrée.

● Sous l'appellation FELSIC, SIC-SAFECO regroupe les deux fabrications FELSIC 70 et FELSIC 85, le modèle est conforme au modèle CCTU CO11 dont la plage de température est fixée à -25 °C + 85 °C, ceci permet l'utilisation d'un électrolyte plus stable dans le temps ; la gamme des valeurs est portée à $130\,000$ μ F en tension nominale $6,3$ V.

● Dans le domaine des condensateurs électrolytiques, TCC a porté son effort sur l'amélioration du raccordement des connexions soudées à froid, sur l'emploi de matériau à degré de pureté élevé et sur un contrôle plus serré permettant ainsi une amélioration de la fiabilité de ce type de composant.

CONDENSATEURS A DIÉLECTRIQUE VERRE, MICA ET CÉRAMIQUE

● COPRIM présente pour usage industriel un condensateur céramique de $5\,600$ pF 250 V 50 Hz de déparasitage pour tubes luminescents et des nouveaux condensateurs plaquettes miniatures en tension nominale de 40 V pour montage sur circuits imprimés ou pas de $2,54$ mm ; la série C332 est à coefficient de température non défini (découplage) et la série C333 en 4 valeurs nominales de coefficient de température défini.



Coprim — condensateurs céramiques C 332 et C 333

● La gamme des condensateurs CERFEUIL, condensateurs plaquettes à diélectrique céramique de LCC-STÉAFIX, est étendue à la tension de service 200 V ; la nouvelle technologie de ce condensateur avait été décrite dans notre compte rendu du salon 1965. Un nouveau condensateur basé sur la technique spéciale de la couche d'arrêt permet d'atteindre 1 μ F/ 12 V ou $0,47$ μ F/ 30 V en un disque de diamètre 19 mm.

● Les condensateurs au mica, fabrication PRECIS, modèles CA105 - CA110 - CA115 - CA10 - CA15 - CA17 peuvent être réalisés sous presse par transfert, ceci devrait entraîner une amélioration de la qualité.

● SOVCOR présente ses condensateurs à diélectrique verre, les deux plus petits modèles CY10 et CY15, maintenant fabriqués en France ont reçu l'homologation CCTU. La stabilité dans le temps, annoncée pour ce type de condensateurs, est remarquable.

● MCB-ALTER ajoute à sa gamme de condensateurs au mica, une série CA100 parallélépipédique et une série C1 enrobée, pour circuits imprimés.

● Remarquée chez Pi, la technologie des condensateurs au mica boutons a évolué dans le but d'en accroître la fiabilité en supprimant tous contacts internes defectueux.

● Les gammes des condensateurs au mica de STEAFIX-LCC MU7 et 10, modèle moulé sous résine epoxy, connexions parallèles pour circuits imprimés, catégorie climatique 435, sont aussi fabriqués en tension nominale 300 V (MUH); l'ensemble de la série peut être réalisé en tolérance 1 % à partir de 100 pF et en classe 3 (0 à $+70 \cdot 10^{-6}$ par °C).

CONDENSATEURS AU PAPIER ET A FILMS PLASTIQUES

● A côté du modèle CPM11 mylar métallisé 160 V, qui répond aux exigences de la classe A (aucune autocalcitratisation tolérée à l'essai de 2 000 heures), COGECO a développé une extension de la gamme vers les tensions élevées 250 V et vers les tensions les plus basses 63 et 40 Vcc.

Dans le domaine des condensateurs à films plastiques, on a remarqué, entre autres, l'utilisation du polycarbonate comme diélectrique, dans de faibles épaisseurs (jusqu'à deux microns) permettant d'obtenir des tensions nominales de 25 ou 40 V et des capacités importantes sous un volume relativement faible.

● EFCO présente, parallèlement à ses condensateurs traditionnels au papier métallisé, une gamme de réalisations en mylar métallisé et polycarbonate métallisé types MMD, MM4R, MM50 et types FMS, FM4R, en tensions, de 40 à 630 V.

● Exposant pour la première fois au Salon, FIALE présente une gamme intéressante de condensateurs au polycarbonate et au mylar métallisé; les types K intéressent les condensateurs au polycarbonate métallisé :

type K1 série professionnelle finition « epoxy » étanche de 40 à 630 V pour des capacités allant de 4 700 pF à 33 μ F (40 V);

le type K3 complète en petites valeurs (100 à 2 200 pF) le type précédent;

le type K5 est la version pour circuits imprimés;

les types M1 et M5 correspondent, dans les mêmes finitions, aux condensateurs au mylar métallisé.

La fabrication est enfin complétée par une série de condensateurs au téflon métallisé (emploi jusqu'à 200 °C) avec boîtier métallique et perles de verre.

● La Société GAM présente des réalisations similaires où l'on peut noter des condensateurs au polycarbonate métallisé en tension nominale de 40 V (0,22 à 22 μ F) série CR et CP, et des condensateurs au mylar métallisé série MKA-MKB (à sorties axiales ou pour circuits imprimés), catégorie climatique 435 et qui se veulent conformes à la spécification CCTU 02-14 classe A (aucune autorégénération tolérée) et en classe B (jusqu'à 4,7 μ F en 63 V).

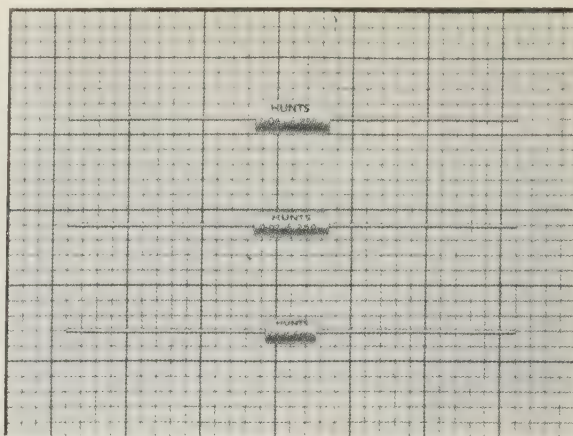
● Les CONDENSATEURS FRIBOURG exposent une fabrication utilisant aussi de nombreux diélectriques films et papier mais l'accent est mis sur un nouveau condensateur, le CARMET, au polycarbonate métallisé, de forme cylindrique ou plate à sorties axiales et en tensions nominales 25, 63 et 160 V.

● Il a été remarqué chez HUNTS une nouvelle série de condensateurs à la laque de polycarbonate métallisé aluminium en tension nominale de 63 V, limitée toutefois en température à 70 °C (type ML30). Egalement remarqué chez HUNTS une série de condensateurs subminiatures au mylar métallisé M310; la métallisation en créneaux permet de réduire l'encombrement de ces condensateurs jusqu'à des valeurs nominales de 47 000 pF par rapport à une métallisation continue; cette série est intéressante pour les tensions élevées de 250 et 400 V (tensions nominales pour lesquelles ces condensateurs sont fabriqués) car, pour des tensions plus faibles, le gain en volume est négligeable, compte tenue de l'emploi actuel pour ces basses tensions de films de quelques microns d'épaisseur.

● ITT annonce une nouvelle gamme de condensateurs au polycarbonate avec utilisation d'un film diélectrique de 3,5 microns. Un soin particulier est apporté à la réalisation des connexions, éprouvées par des essais en impulsions (360×10^6 impulsions à 23 °C sans détérioration).

plage de température : -55 à ± 85 °C,

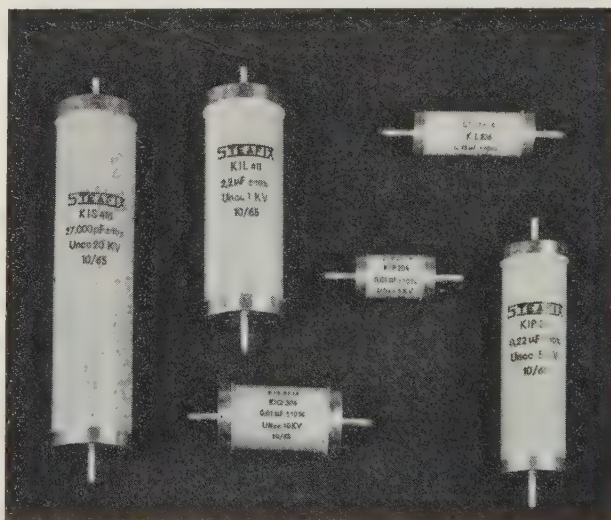
valeurs nominales : 0,047 μ F à 2,2 μ F tolérance 20 %,



Hunts — condensateurs au mylar métallisé M 310

tensions nominales : 63 V en courant continu, 45 V à 50 Hz, 40 V à 400 Hz.

● KLIATCHKO présente une gamme de condensateurs au mylar à armatures (MYC et MYME) et de polycarbonate à armatures (PYC et PYME) dans deux réalisations en boîtiers cylindriques ou plats pour circuits imprimés, tension nominale 100 V de 1 000 pF à 1 μ F (limité à 0,1 μ F pour les boîtiers plats).



LCC Steafix — condensateurs de puissance au polycarbonate KI

● L'amélioration de l'enrobage des condensateurs au mylar métallisé IA 200 permet à LCC-STÉAFIX de garantir 56 jours de chaleur humide.

Compte tenu des faibles pertes du diélectrique polycarbonate, son utilisation dans la fabrication de condensateurs de puissance se trouve concrétisée chez LCC-STÉAFIX par une gamme de capacité de 0,01 à 4,7 μ F sous des tensions de 1 à 25 kV.

● Grâce à l'utilisation d'un film polycarbonate métallisé de quelques microns, PRECIS présente une série de condensateurs en tension nominale 40 V en boîtiers moulés parallélépipédiques pour circuits imprimés qui complètent la série existante en tensions 63 à 400 V.

● UNION CARBIDE présente un nouveau condensateur utilisant le polyparaxylène comme diélectrique, appelé KEMET

FLAT-KAR. Il possède un coefficient de température négatif de l'ordre de 250×10^{-6} par °C sensiblement constant de -55 à $+125$ °C. La tangente de l'angle de pertes est inférieure à 10×10^{-4} à 1 kHz ; il est fabriqué dans une gamme de 1 000 pF à 0,1 μ F en tension nominale 50 V.

● **SIC-SAFCO** expose des condensateurs au papier métallisé, identiques au type déjà connu **PAM**, mais en boîtiers cylindriques **PCM** et une nouvelle série de condensateurs au mylar métallisé **PLASTISIC ME**.

● Au stand **SIEMENS** on a noté une série de condensateurs **MKL** (25 V), constitués par un mince vernis diélectrique. Les capacités nominales sont comprises entre 0,47 et 10 μ F. La capacité spécifique du modèle 10 μ F est ainsi passée de 2,3 μ F/cm² sous 63 V à 4,4 μ F/cm² sous 25 V.

Les condensateurs « **PM tgd** » sont des condensateurs qui allient les avantages du condensateur au papier métallisé, aux propriétés favorables des films à faibles pertes ; leurs caractéristiques sont les suivantes :

$\tan \delta$: de 5×10^{-4} à 30×10^{-4} jusqu'à 10 kHz,
Résistance d'isolement : 100 000 M Ω / μ F,
Courants réactifs admissibles : jusqu'à 30 A,
Réalisation : boîtier métallique avec passages céramique,
Tensions nominales : 250, 400 et 630 V,
Capacités : de 0,1 à 10 μ F,
Tolérances : 1, 2, 5 et 10 %,
Plage de température : -55 à $+100$ °C.

● Remarqué enfin chez **SPRAGUE** un condensateur métallisé miniature **MET FILME** ainsi que des études de fiabilité sur certains composants déjà commercialisés, permettant de garantir des taux de fiabilité intéressants.

CONDENSATEURS VARIABLES ET AJUSTABLES

● **AIR TRONIC** présente une gamme étendue de condensateurs ajustables à air dont les facteurs de surtension sont supérieurs à 1 000 (à 100 MHz) et pour les modèles **3900**, supérieurs à 1200 pour une capacité maximale de 20 pF.

● **COPRIM** présente une gamme de nouveaux trimmers miniatures type bouton à diélectrique solide, des céramiques ajustables miniatures **C004 JA** et des trimmers à air **C005AA**, caractérisés par le fait que le rotor et le stator sont isolés du point de fixation.

● La gamme des condensateurs ajustables **JFD** à diélectrique verre est étendue jusqu'à 300 pF en modèle **NMCD** ; en outre un condensateur variable multiple de très haute précision est réalisé à partir d'éléments tubulaires spéciaux ; la courbe de variation peut être linéaire en capacité, linéaire en fréquence ou suivre d'autres lois ($C_{\max} = 3\,000$ pF).

MATÉRIAUX ET CIRCUITS MAGNÉTIQUES

● Dans le domaine des circuits en ferrite pour basse fréquence et fréquences radioélectriques, on note peu de nouveautés par rapport au dernier salon. Pour la réalisation des bobines d'inductance de haute qualité et des transformateurs accordés, les circuits en forme de pots à deux coquilles répondent parfaitement aux exigences actuelles des utilisateurs. Les fabricants français (**LTT**, **COFELEC**, **COPRIM**) et étrangers (**SIEMENS**), présentent la gamme plus ou moins complète des pots normalisés dans la série internationale en matériaux de perméabilité intrinsèque, allant de 75 à 2 500.

Les diamètres de ces pots s'échelonnent de 9 mm (**COFELEC**, **COPRIM** et **SIEMENS**) à 42 mm (**COPRIM**, **SIEMENS**).

La société **SIEMENS** présente des pots de plus petit ou plus grand diamètre qui n'ont pas fait encore l'objet d'une normalisation internationale : 5,8 mm et 80 mm respectivement.

● Pour la réalisation des transformateurs à large bande, plusieurs formes de circuits sont proposées :

1° Les pots de la série internationale sans entrefer (**COFELEC**, **COPRIM**, **LTT**, **SIEMENS**).

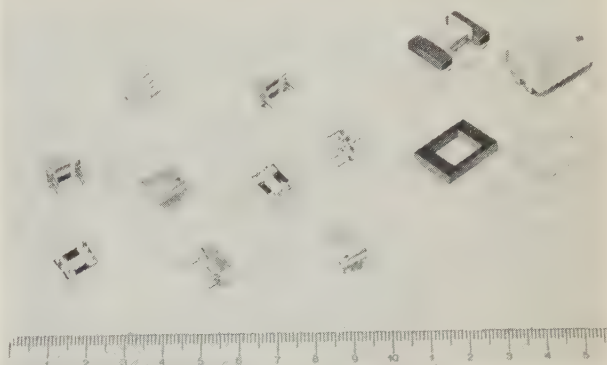
Chez **LTT**, le matériau utilisé est un fermalite 2003 de forte perméabilité. La rectification poussée des surfaces en contact des deux coquilles permet d'atteindre des valeurs élevées d'inductance spécifique (le pot **FP 22** $\times$ 13 a une

inductance spécifique nominale supérieure ou égale à 5 600 nH/spire).

Des circuits analogues sont présentés par **SIEMENS** en matériau **SIFERRIT N30** ($\mu_i = 3\,500$). Cette société propose également un matériau de perméabilité très élevée ($\mu_i = 10\,000$) pour la réalisation des transformateurs miniatures et des transformateurs d'impulsions.

2° Les noyaux en croix (**COFELEC**, **COPRIM**).

3° Les circuits en H (**COPRIM**) pour les transformateurs d'impulsions. Ils sont réalisés en matériau **3E2** et sont de 3 types : **H7**, **H10**, **H20**. Les dimensions extérieures du circuit **H7** sont $9,8 \times 7,3 \times 4,2$ mm. L'utilisation de carcasses à connexions permet un gain en encombrement très appréciable.



Circuit en H de la COPRIM

Cette tendance à la miniaturisation des circuits et habillages est d'ailleurs générale ; elle se retrouve en particulier chez **LTT** qui présente une carcasse à connexions pour pots de la série internationale : la suppression de l'embase dans les habillages conventionnels réduit l'encombrement en hauteur sans modifier l'encombrement en surface.

● Dans le domaine des profils en alliage magnétique, on ne note aucune nouveauté dans la forme des circuits réalisés. **IMPHY** et **VACUUMSCHMELZE** (**RFA**) présentent à nouveau des profils collés et des tores coupés en anhyser et en mumetal. **VACUUMSCHMELZE** propose un alliage Fe-Si à texture cubique, le **Trafoperm W** qui possède une forte perméabilité et une induction à saturation élevée avec faibles pertes par courants de Foucault. Il complète la série des alliages Ni-Fe et Co-Fe à courbe d'hystérésis rectangulaire.

TUBES ÉLECTRONIQUES

● Dans la série des tubes « **GRAND PUBLIC** », on retrouve cette année chez la plupart des fabricants les tubes d'accompagnement pour la télévision en couleur qui étaient en préparation l'année dernière : les triodes **ED500**, **PD500**, **ED501** pour régulation de la très haute tension, la pentode de puissance **EL505** (et **PL505**) pour le balayage 90°, la diode de récupération d'énergie **EY500** (et **PY500**), la diode **GY501** de redressement T.H.T. (27,5 kV - 1,7 mA).

Au stand de **LA RADIOTECHNIQUE**, l'intérêt du public s'est surtout porté sur le tube cathodique rectangulaire, déviation 90°, **A6311X** pour télévision en couleurs dont un exemplaire était en démonstration (mires et diapositives) et un second, coupé pour montrer l'ensemble complexe des trois canons électroniques et le masque perforé.

MAZDA présente un tube similaire sous la désignation **25AP22A**, ainsi que pour la télévision en noir et blanc un nouveau tube-image autoprotégé de 40 cm **16CLP4** pour récepteur portable, une pentode **6DR6-A** pour balayage lignes et une diode **DY802** pour redressement T.H.T.

● Dans le domaine **PROFESSIONNEL**, la variété est telle qu'on ne peut tout citer.

Les thyatrones à cathode froide récemment sortis à **LA RADIOTECHNIQUE** sont plus fiables, **ZC1040** par exemple, et ont l'avantage supplémentaire de donner une

information lumineuse, *ZC1031* pour circuits logiques et *ZC1050* pour relais et enseignes lumineuses dynamiques. En outre, ce fabricant lance sur le marché la diode à gaz *ZA1005* pour la commande de thyristor. Le fabricant expose également une gamme importante de photomultiplicateurs.

Au stand de la CSF, nous avons remarqué des nouvelles tétrodes en céramique *F6080* (100 kW) et *8501* (5 kW, à sorties coaxiales pour émetteur TV bande IV), les tubes cathodiques *F8066* à grille, 100 MHz, rectangulaire 100×60, et *F8068* à mémoire, vision directe et effacement sélectif, le tube convertisseur de balayage radar/télévision *TMA409* (*F8083*).

Chez THOMSON, à côté des puissants « *Vapotrons* » à structure coaxiale, on peut voir des tubes d'analyse et de transformation d'image dont certains sont encore en développement : l'*ESICON* (*THX506*), combinaison d'un multiplicateur d'électrons avec un vidicon ce qui procure une grande sensibilité, des tubes obturateurs et déflecteurs d'image (*THX423*), des amplificateurs d'image à faces d'entrée et de sortie à fibres optiques et à grandissement variable électroniquement (« *Zoom électronique* »).

Enfin, parmi les nouveautés étrangères, citons :

Chez ITT, le tube cathodique à écran rémanent *AS1721A* qui possède une fréquence d'effacement supérieure à celle du modèle antérieur ;

Chez M-O-WALVE/G.E.C., le tube cathodique à écran rectangulaire et double trace avec post-accélération à maille *1300P* et le tube de projection de 6 cm *LD706*.

HYPERFRÉQUENCES

L'évolution constatée lors du dernier Salon des Composants se poursuit par la généralisation, chez les différents constructeurs, des dispositifs à état solide. Cette évolution est accentuée par la miniaturisation due à l'utilisation de composants et dispositifs en ligne triplaque ou en coaxial miniature utilisant la fiche miniature du type *OSM*.

Les gains en poids et encombrement sont assez spectaculaires pour les composants hyperfréquences et entraîneront une compacité remarquable des dispositifs. L'aspect « miniaturisation » est donc, dans le domaine hyperfréquence, le caractère le plus marquant de ce salon des composants électroniques.

1°) COMPOSANTS PASSIFS

De très nombreux constructeurs étrangers présentent des composants connecteurs, coupleurs, détecteurs, charges adaptées, atténuateurs, circulateurs...) en fiche miniature du type *OSM*.

En plus, des constructeurs ayant déjà pris place sur ce marché depuis assez longtemps, à savoir : OMNI SPECTRA (AURIENNA), NARDA (SALIES), MELABS (TECHNIQUE ET PRODUITS) etc., nous avons remarqué l'apparition dans ce domaine de SAGE (SEUROLEC).

Nous avons constaté avec plaisir que OTTAWA ET RADIAL avec sa fiche *RIM* (fiches, prises, embases, adaptateurs, commutateurs) se lancent également sur le marché du composant coaxial miniature.

Les composants en fiche standard classique ne sont pas abandonnés pour autant. Nous avons, en particulier, remarqué les filtres accordables et les dispositifs de mesure de coefficient de réflexion (*rho-tector*) de TELONIC (EQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES), les diviseurs et atténuateurs à barillet de RADIAL, les déphaseurs à échelon et les circulateurs pour ligne triplaque de WESTERN MICROWAVE LABORATORIES (AURIENNA)...

2°) DIODES ET DISPOSITIFS A ÉTAT SOLIDE

Dans le domaine des diodes hyperfréquences, l'évolution est surtout caractérisée par :

— l'amélioration des performances électriques et mécaniques des diodes classiques,

— la miniaturisation des diodes classiques,

— le développement des diodes spéciales récentes (diodes *PIN*, diodes à recouvrement, diodes oscillatrices...).

Nous signalerons plus particulièrement :

Chez SYLVANIA (RTF) les diodes tunnels au germanium à structure massive à grande robustesse et stabilité, le développement de détecteurs et mélangeurs miniatures pour ligne triplaque et l'apparition des step recovery diodes et des diodes oscillatrices *MOD*.

Chez MICRO-OPTICS (CEREL), les diodes *PIN*, step recovery, varactors de hautes performances et les mélangeurs miniatures pour ligne triplaque.

Chez VARIAN (THOMSON VARIAN), l'apparition de varactors, step recovery, et diodes *PIN*.

Les constructeurs français participent à cette évolution :

Nous avons remarqué le développement de diodes de modulation *PIN* et du mélangeur *IN263* chez LTT, les varactors, modulateurs et snap-off de SESCO, les mélangeurs miniatures, varactors et diodes tunnel de LA RADIOTECHNIQUE, et l'annonce chez CSF des diodes Read.

Les dispositifs à état solide se généralisent chez les constructeurs :

On trouve maintenant des sources à semiconducteurs chez presque tous les constructeurs. Nous signalerons en particulier les « Solistrons » de WESTERN MICROWAVE LABORATORIES, accordables électroniquement et les nouvelles sources à état solide de CSF.

De même les amplificateurs paramétriques sont au catalogue de nombreux fabricants étrangers et même français. FERRANTI et ALCATEL, sont les nouveaux venus en ce domaine.

Nous avons particulièrement remarqué un amplificateur paramétrique à très large bande, refroidi à l'hélium liquide, pour liaisons de télécommunication par satellites, de MICRO-WAVE PHYSICS CORPORATION (RTF).

Les amplificateurs à diode tunnel font également l'objet d'un très large développement : MELABS (TECHNIQUE ET PRODUITS), MICROWAVE ASSOCIATES (JIVÉCO), etc.

3°) TUBES HYPERFRÉQUENCES

Le ralentissement des recherches dans le domaine des tubes hyperfréquences est assez sensible. Les nouveautés présentées sont donc assez rares. Notons cependant : dans le domaine des tubes de puissance, l'apparition de nouvelles triodes et tétrodes à enveloppe céramique chez THOMSON, le développement de nouveaux types de klystrons amplificateurs chez THOMSON-VARIAN et le carcinotron piloté « carpitron » de CSF ; dans le domaine des moyennes puissances, le développement des magnétrons à accord électronique (VTM) chez EIMAC, ainsi que celui de *TOP* transparents, les *TOP* faible bruit de ITT et la nouvelle série des carcinotrons O centimétriques de CSF ; dans le domaine des ondes millimétriques, les klystrons 140 GHz de VARIAN et HYPERLEC.

4°) ENSEMBLES ET SOUS-ENSEMBLES HYPERFRÉQUENCES

Assez peu de nouveautés dans le domaine des appareils de mesure (récepteurs, analyseurs de spectres, ponts bolométriques...). De nombreux constructeurs ont, à leur catalogue, des analyseurs de spectre à très large bande à carcinotron.

Nous avons remarqué l'analyseur de spectre « récepteur panoramique » de MICRO-WAVE PHYSICS CORPORATION (RTF), récepteur à détection directe précédée d'un filtre étroit à balayage électronique qui, au prix d'une sensibilité moindre, débarrasse l'utilisateur des problèmes de fréquence-image et de réinjection d'oscillateur local.

On constate, de même, la généralisation des ponts bolométriques à tête compensée en température et l'apparition de dispositifs de stabilisation de fréquence permettant le verrouillage de la fréquence de divers types de générateurs hyperfréquences (POLARD, FEL, DYMEC, SCHOMANDL, etc.).

Signalons enfin l'appareil de précision de mesure des pertes d'insertion de DE MORNAY BONARDI (MEGEX).

CIRCUITS LOGIQUES

Nous avons remarqué, parmi les fabricants de circuits logiques, un nouveau constructeur : la Société ALCATEL qui a présenté des circuits à couche mince métallique.

La Société KRONE (RFA, représentée par POUYET) propose des blocs circuits miniaturisés digitaux : multivibrateur

bistable B M 11, étage de puissance 1 N 13, porte ET à quatre entrées et porte OU à trois entrées.

SCHNEIDER RADIO TÉLÉVISION réalise un convertisseur analogique digital différentiel utilisant la modulation de durée et qui a fait l'objet d'un article dans l'*Onde Electrique* de nov. 65, pp. 1326 à 1331.

SIEMENS (RFA, représenté par SIEMENS SAF) présente de nouveaux modèles miniatures comprenant huit types ; convertisseur d'impulsion, bascule monostable, transformateur d'impédance, inverseur de phase, bascule bistable Z, double inverseur de phase, double transformateur d'impédance, bascule bistable S R, double interrupteur de puissance.

SOREMEC-CEHESS propose un ensemble de simulation pour tester et contrôler les circuits intégrés, étudier et simuler des fonctions électroniques complexes.

CONNECTEURS ET CABLES COAXIAUX

AMPHENOL BORG Electronics (RFA) présente une fiche coaxiale démontable avec raccordement serti en quatre points sur le conducteur central : d'où un système homogène fil-contact pratiquement sans vide.

Les connecteurs coaxiaux subminiatures de BELLING/LEE (G.-B. représenté par la COMPAGNIE CONTINENTALE ET GARNIER) sont du modèle 17, à deux types de verrouillage : à visser et « push pull » ; l'impédance est de 50 Ω , l'isolant en téflon, le corps et le contact sont dorés ; le diamètre maximal du câble est de 2,7 mm. Les adaptateurs coaxiaux BNC, compatibles avec les connecteurs du modèle 15 ont le corps moulé en polystyrène ; isolant téflon, contacts argentés, bornes nickelées. La résistance d'isolement est supérieure à 20. 10⁹ M Ω .

LEMO (Suisse, représenté par VIBRO-METER-FRANCE) propose des connecteurs coaxiaux étanches des tailles 1 et 3 avec corps et contacts en alliage spécial, isolant téflon ou diélectrique de haute qualité, élastomère siliconé.

PRECICABLE-BOUR présente un câble coaxial sous tube aluminium DM 108 à diélectrique polyéthylène plein, impédance caractéristique 50 Ω à 200 MHz et à capacité linéique 102 pF à 1 000 MHz. Le câble coaxial sous tube cuivre CT 49 a un diélectrique TFE, son impédance caractéristique est de 50 Ω à 200 MHz et sa capacité linéique de 95 pF à 1 000 MHz.

SAE propose des fiches coaxiales argentées ou cadmiées mâles et femelles des séries 710 A ou C, 712 A ou C et 744 et 746.

FILS ET CABLES

BELLING/LEE (G.-B. représenté par la COMPAGNIE CONTINENTALE ET GARNIER) propose un câble-ruban (ruban isolant flexible et plat portant plusieurs conducteurs parallèles de forme lanière en feuille de cuivre). Les conducteurs peuvent être exposés à la surface du ruban ou recouverts d'une couche isolante. Il sert à l'interconnexion des circuits imprimés.

FERRANTI (G.-B. représenté par CERAM) présente un outil de câblage par enroulement pour connexions ordinaires ou connexions miniatures.

FILOTEX expose un conducteur électrique, le « Microfil FX » qui est un fil de bobinage miniature isolé au verre, utilisable entre -225 °C et 500 °C, le diamètre minimal de l'âme est de 1 micron, le diamètre extérieur minimal 10 microns.

LEJEUNE fabrique pour la protection des câbles le Rilgaine qui est un tubulaire tressé de crins monofilaments polyamide 11 Rilsan dont le diamètre intérieur est de 50 mm.

PANDUIT CORP (U.S.A., représenté par ETRI) propose une gamme complète de serre-câbles et d'attaches avec auto-verrouillage Pan-Rings permettant d'accélérer le pré-câblage des torons et s'adaptant à toutes les formes.

PERENA fabrique un câble à haute efficacité d'écran à quatre éléments de 0,08 mm² isolés chacun sous écran EHE câblés autour d'un toron de continuité en Cu E, sous gaine PCV grise, diamètre extérieur 5,6 mm, capacité 100 pF/m.

PRECICABLE BOUR propose une gaine élastoplastique, la « Precithane » possédant les qualités mécaniques des élastomères ainsi qu'une extrême souplesse et adhérence à

chaud. La gaine polychloroprène « Preciprene » vulcanisée à plus basse température et permet de protéger des câbles coaxiaux.

RAYCHEM Corp. (USA, représenté par TECHNIQUE ET PRODUITS) présente un manchon autosoudeur Thermofit pour réaliser la mise à la masse des câbles blindés ; en matière plastique irradiée thermocontractable, il permet d'obtenir un gain de poids et de place ainsi qu'une grande robustesse et une faible résistance ohmique.

CABLAGE IMPRIMÉ

1° Supports

ALSTHOM-ISOLANTS présente ses stratifiés homologués CCT (CCTU 1401), TEXTOPAC 32.111 (stratifié phénoplaste à base de papier, poinçonnable à froid) et le TEXTOPAC 32.671 (stratifié verre époxy, poinçonnable à froid).

La nouvelle série ALTENAL 14.041 est une spécialité ALSTHOM-ISOLANTS pour l'enrobage et le surmoulage de tous appareils. La résine Altenal 14040 est spécialement adaptée à l'imprégnation et à l'enrobage simultanés des composants électroniques et des pièces électriques demandant une excellente autoextinguibilité.

DROUET propose ses ISOPRINTS. L'Isoprint avec métaux « résistants » qui est un stratifié en verre époxy recouvert d'un feuillard pour circuit imprimé permettant la soudure par électrorésistance ; l'Isoprint MC 70 et le préimprégné PMC 70 pour circuits multicouches avec forte cohésion interlaminaire ; l'Isoprint souple CT 80 qui est une feuille de téréphtalate de polyéthylène contrecollée sur une ou deux faces avec un feuillard mince de cuivre électrolytique et permet de réaliser des circuits et câblages imprimés souples.

FORMICA (G.B. représenté par la SOCIÉTÉ ANONYME FORMICA) présente des circuits multicouches d'une grande variété dont l'épaisseur varie de 0,05 mm à 0,75 mm réalisés en feuilles et bandes adhésives sous polymérisées.

NELCO (USA représenté par COMERSO) propose le Nelco 4200 répondant aux normes MIL P 13949 C. C'est un stratifié cuivré verre époxy de très faible épaisseur ayant un degré de flexibilité élevé.

PMD CHEMICALS (G.-B.), représenté par WESTMINSTER FOREIGN BANK) fabrique une nouvelle gamme de laques photosensibles à caractère positif (insolation destructive) répondant aux besoins des fabricants de circuits imprimés, micro-circuits et semiconducteurs.

SCHJELDAHL (USA, représenté par OLIBOL) présente un nouveau matériau : le MILCLAD. Ce matériau peut être produit en très grandes longueurs. Il est souple ; constitué par un support de Mylar ou de Téflon, recouvert sur une ou deux faces de cuivre, aluminium, nickel ou de métaux spéciaux. Il est utilisé pour réaliser des multiconducteurs, des circuits imprimés ou des circuits multicouches susceptibles de fonctionner à toutes les fréquences. Recouvert de métal sur une face, ce matériau permet impression et gravure en continu.

L'USINE DIELECTRIQUE DE DELLE F.I.M. présente des stratifiés en verre epoxy G 10 et G 11 conformes à la norme MIL. P. 18177 C à base de tissus de verre et de résine epoxy fabriqués sous forme de planches. Elle réalise des circuits imprimés à trous métallisés qui, malgré leur prix de revient plus élevé, tendent à remplacer les circuits imprimés classiques en raison de leur très grande fiabilité et de leur aptitude au soudage.

2° Connecteurs

AMP INTERNATIONAL (USA représenté par AMP DE FRANCE) propose le connecteur AMP Modu pour circuits imprimés : le contact mâle est une simple broche rectangulaire, le contact femelle comporte deux lames flexibles ; les contacts peuvent être montés parallèlement ou perpendiculairement à la carte : le pas est de 3,96 mm en attente de dimensions plus petites à l'étude ; les liaisons peuvent être établies par termi-point, soudure ou sertissage. Le connecteur pour circuit imprimé Amp-Méca subminiature au pas de 1,27 mm est présenté avec 152 ou 160 contacts.

AMPHENOL BORG ELECTRONICS (R.F.A.) présente un connecteur pour circuit imprimé démontable série C 93 et ASR avec contacts à souder ou à sertir avec possibilité de double sertissage sur un même contact.

FERRANTI (G.-B. représenté par CERAM) montre un connecteur pour circuit imprimé de 8 à 40 contacts au pas de 3,81 mm pouvant supporter des courants d'un ampère. Un autre modèle peut supporter des intensités de trois ampères par contact.

LUMBERG K.G. (R.F.A. représenté par RENAUDOT) expose un connecteur pour circuit imprimé, extensible et au pas de 5 mm.

METALLO propose un connecteur au pas de 5,08 formé d'éléments juxtaposables de 5 à 7 contacts permettant 20 connexions. Un autre modèle au pas de 3,96 est à nombre de contacts variables.

METOX expose un connecteur au pas de 2,54 (3 à 23 contacts) avec possibilité de réunion de deux connecteurs pour en obtenir un unique de 46 contacts.

SIEMENS (R.F.A. représenté par SIEMENS SAF) montre un connecteur pour circuit imprimé (suivant norme DIN 41617) conçu suivant le principe d'enfichage indirect et réalisé avec 13, 21 ou 31 broches.

Le connecteur pour circuits imprimés de SOURIAU est au pas de 1,27 référence 8610, à enfichage par broches et douilles, raccordement par contacts à souder, à sertir ou à enrouler, de 13 à 51 contacts. Un connecteur au pas de 2,54 possède de 17 à 47 contacts simple face.

ULTRA-COMPONENTS (G.-B. représenté par la COMPAGNIE DE MATÉRIEL ET D'EQUIPEMENTS TECHNIQUES) propose pour circuit imprimé un connecteur subminiature encartable renforcé en diallyl-phthalate, type G D 1-30, suivant spécification MIL. M.19833 de 30 à 64 contacts ou de 60 à 128 contacts au pas de 1,27 mm. La partie mâle du circuit imprimé qui pénètre dans le connecteur semble devoir être traitée afin d'assurer un bon contact.

U.M.D. propose un connecteur au pas de 3,96 mm pour carte d'épaisseur 1,6 mm, le corps isolant est moulé en diallyl-phthalate et le contact lyre est en laiton ressort. Un relais de câblage coaxial pour câblage imprimé série RC permet de raccorder directement sur une plaque de câblage imprimé un câble coaxial subminiature à diélectrique polytétrafluoréthylène de préférence.

ORGANES DE RACCORDEMENT

A) Connecteurs

Les connecteurs miniatures de raccordement BAC sont fournis en neuf calibres. Le nombre de contacts est porté à 103 dans un connecteur possédant 840 combinaisons possibles pour le verrouillage.

CARR FASTENER Company Ltd (G.-B. représenté par l'AMBASSADE DE GRANDE-BRETAGNE) présente un connecteur de raccordement subminiature en moulage de diallylphthalate à charge de verre, à fiches et contacts plaqués or, possédant de 9 à 50 contacts.

FERRANTI (G.-B. représenté par CERAM) propose un connecteur de 35 à 50 pôles.

Les connecteurs JAEGER, série standard hermétique permettent les traversées de cloison; le nombre de contacts mâles varie de 3 à 12 contacts assemblés par verre fritté entre broches et corps; ces connecteurs satisfont à la spécification MIL C 5015. Les connecteurs multicontacts sont divisés en quatre séries: standard, rapide, étanche et miniature.

McMURDO Instrument Co Ltd (G.-B. représenté par HENRI LABOSSE) propose des connecteurs Redette miniatures de 16 à 52 pôles pour courant maximal de 3 A sous 700 V.

Les connecteurs PREH-WERKE (R.F.A. représenté par A. JÄHNICHEN & C^o) sont droits ou coudés avec 2 à 5 pôles mâles et femelles.

SOCAPEX présente un connecteur Bendix d'importation série BTM et BTMA.

Le connecteur 87 SOURIAU présente la plus forte densité de contacts (15 au centimètre carré: section calculée hors tout); les contacts dorés sont démontables, à souder ou à sertir, isolant diallylphthalate renforcé par des fibres de verre suivant la spécification MIL C 19833, de 7 à 61 con-

tacts espacés de deux millimètres (voir *Onde Electrique* de novembre 1965 p. 1357).

POUYET propose des réglettes de raccordement d'une capacité de 10 paires à 2×15 paires avec plots pouvant être du type vis-vis, vis-soudure ou clip-femelle.

TRELEX expose des réglettes type US 110 avec entr'axe 11,1 mm, en matière P₃₁, à liaisons vis-vis ou vis-soudure et des réglettes type US 950 à entr'axe 9,5 mm en matière P 31 à liaison soudure-soudure ou faston-faston droit ou cambré à 45°.

B) Commutateurs

A.P.R. présente des inverseurs miniatures unipolaires et bipolaires de 2 à 3 positions: séries 11.130, 11.140, 12.140 et 12.140 K, à très faible résistance de contact, satisfaisant aux spécifications CCTU 08.04 et MIL.S. 3950 A, SCL 6305 et MIL.S. 8834.

A.R.E. expose un commutateur à plots série 600-8 A en bakélite, à contacts par balais frotteurs sur plots de laiton et à faible résistance ohmique; il possède vingt directions maximum.

La clé miniature BECUWE et Fils de la série 5000 est en acier inoxydable, à lames fendues, à double contact auto-nettoyant et à combinaisons multiples.

JETRO montre ses commutateurs rotatifs miniatures S 18 à encombrement très faible, d'un type moulé et fermé, avec possibilité d'ajuster le temps de commutation.

LABINAL propose un commutateur à présélection pour l'entrée digitale des valeurs numériques dans la technique des réglages; position de chaque unité indiquée par le chiffre correspondant: des blocs commutateurs compacts peuvent être constitués avec autant d'unités que le nombre désiré contient de chiffres. La valeur est alors affichée pour lecture.

RAFI France expose un nouveau commutateur pour courant faible, avec 8 contacts de travail ou repos, et possibilité de verrouillage magnétique.

Le commutateur rotatif de précision de SCHLUMBERGER, série M64, est constitué par un circuit imprimé avec curseur en or, sorties électriques par bornes et fils souples ou circuit imprimé et connecteur enfichable jusqu'à 50 points. Un potentiomètre linéaire ou fonctionnel peut être associé aux éléments du commutateur et commandé par le même axe.

Les interrupteurs DJET de SECME sont à trois positions, unipolaires ou bipolaires avec présentation standard chromée. La fiche élastique OZ a un diamètre de deux millimètres dans les séries 302, 312, 802 et 822.

C) Voyants lumineux

AMELEC expose un voyant lumineux fluorescent au néon ou à incandescence type VL 121 à VL 125.

ARNOULD présente des voyants de signalisation modèles 831 et 841 étanches et à grande luminosité de face et de profil. Ses voyants subminiatures sont à incandescence ou au néon pour tableaux ou circuits imprimés; séries PFG, SFG, PFE et SFE.

DYNA propose des voyants de diamètre 7,5 mm équipés de lampes type « micromidget » pouvant être montées avec trois types de têtes; du type professionnel, à tête occultable et à tête standard. Un voyant microminiature de diamètre 4,85 mm est commandé par un transistor amplificateur, l'ampoule étant montée en charge de collecteur.

RUSSENBERGER propose un porte-fusible miniature avec voyant lumineux, insensible aux chocs et vibrations grâce à son système à baïonnette; deux joints néoprène assurent l'étanchéité de l'appareil. La lampe témoin subminiature L54 est à corps et cabochon en nylon, cabochons ronds ou carrés et gravure faite au pantographe ou par marquage à chaud.

WIDMAIER (R.F.A. représenté par SIEMELEC) propose des boutons poussoirs lumineux pour montage par la base (type 201) ou pour montage frontal et par la base (type 301). Les réglettes de 2 à 17 boutons poussoirs sont avec différentes solutions possibles: interdiction d'enclencher deux boutons poussoirs ou avec électro-aimant de blocage ou de déblocage.

SEMICONDUCTEURS

Dans le domaine des semiconducteurs, on ne rencontre que peu de nouveautés en ce qui concerne du moins les technologies utilisées. Seul le germanium bénéficie des techniques d'épitaixie, ce qui fournit des composants à fréquence de coupure élevée, utilisés, pour la plupart, dans les préamplificateurs UHF (91 AFY de la RADIOTECHNIQUE, 2M3783 de MOTOROLA et surtout l'AF239 de SIEMENS spécifié à 860 MHz).

Les transistors bénéficient des améliorations toujours apportées à la technologie *Planar*; en particulier la précision des techniques de masquage permet maintenant de dépasser les 1 000 MHz de fréquence de coupure avec le BFY 90 de la RADIOTECHNIQUE utilisable pour l'amplification haute fréquence et les 2N3633 de TRANSITRON ou



Siemens — Redresseurs silicium à forte puissance

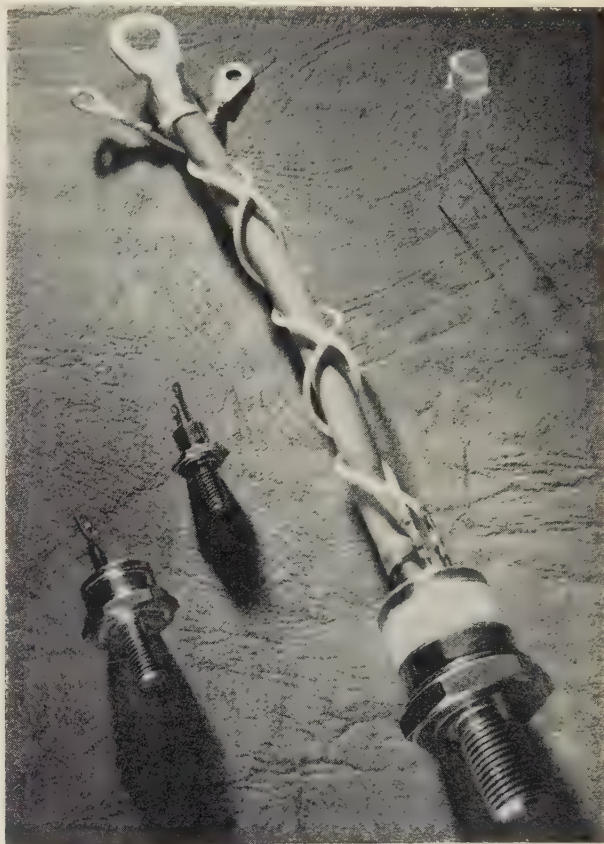
2N3959 et 60 de MOTOROLA spécialement conçus pour les circuits de commutation ultra rapides ($f_T > 1\,300$ MHz). Ces éléments doivent permettre d'atteindre des temps de propagation voisins de la nanoseconde pour des circuits logiques non saturés : ainsi les performances atteintes par les 2N918, 2N2369 ou 2N709 se trouvent notablement améliorées.

Parmi les éléments pour l'amplification VHF, on note un transistor capable de délivrer 50 W à 150 MHz chez ITT représenté par SICOPEL et un 3 W à 400 MHz de NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION représenté par FRANCE NUCLÉAIRE ÉLECTRONIQUE.

La gamme des transistors à forte tension de claquage permet d'utiliser le secteur redressé comme source d'alimentation : le MJ2252 de MOTOROLA est spécifié à 300 V et le DT6106 de LUCAS (distribué par YOUNG ELECTRONIC) permet d'atteindre les 500 V.

En ce qui concerne le redressement à forte puissance, les éléments les plus remarquables sont présentés par la Compagnie des Freins et Signaux WESTINGHOUSE (450 A jusqu'à

1 200 V) et notamment le C500X1 de la GENERAL ELECTRIC capable de travailler jusqu'à 1 200 ampères et 1 800 V. Dignes d'intérêt sont également les éléments de redressement jusqu'à 40 ampères dont le temps de commutation n'excède pas 0,2 microseconde : ceux-ci sont disponibles chez de nombreux fournisseurs (SILEC, TEXAS, SESCO, ITT, etc.). Les thyristors à double gachette existent maintenant jusqu'à 10 ampères et 1 000 V (WESTINGHOUSE).



I.T.T. — Thyristors 70 ampères 400 volts

Pour le conditionnement, l'enrobage en résine époxy poursuit son développement notamment chez GENERAL ELECTRIC et MOTOROLA (thyristors C106 pour appareils ménagers), mais ces composants se trouvent maintenant concurrencés au point de vue prix par les éléments à conditionnement classique (boîtier T018 surtout). Ainsi le 117 BSY de la RADIOTECHNIQUE et les SFT 713 et 714 de COSEM sont les plus en vue. Parallèlement à ces dispositifs, il convient de noter le catalogue complet de FAIRCHILD (série industrielle).

Les sources de lumière solides au phosphore de gallium sont présentées par FERRANTI (distributeur CERAM). On note particulièrement les séries XP20 permettant d'obtenir des impulsions très fines.

Les éléments les plus rapides figurent au stand HEWLETT PACKARD (diodes Shotky à temps de commutation de 50 picosecondes et photo diodes à temps de réponse inférieur à la nanoseconde).

LA MICROÉLECTRONIQUE

Par rapport aux précédents salons, la microélectronique accuse un développement sensible chez les fabricants tant français qu'étrangers.

A chacune des deux familles de fonctions : logiques et analogiques correspond généralement un type de technologie. Les circuits intégrés à semiconducteurs restent essentiellement voués aux fonctions logiques, les circuits en couches minces, plus spécifiques des fonctions analogiques, s'intéressent néanmoins beaucoup aux circuits digitaux.

Alors que des tentatives de normalisation apparaissent dans le domaine des circuits intégrés : normalisation fonctionnelle, normalisation dimensionnelle, qui seules peuvent accélérer le développement de ces techniques, la plupart des fabricants de circuits hybrides à base de couches minces (les éléments actifs et certains éléments passifs restent rapportés) ont plutôt tendance à travailler sur demande (pour des raisons d'ordre technique et commercial évidentes).

A. Circuits en couche mince

Parmi les fonctions linéaires, signalons toutefois les amplificateurs différentiels et les amplificateurs à très large bande (0 - 30 et 100 MHz) chez SIGNETICS, AMELCO, WESTINGHOUSE, FAIRCHILD, SESCO, RTC. Les technologies mises en œuvre dans la réalisation des couches minces vont de :

— la sérigraphie sur substrat verre ou céramique (lignes à retard, lignes d'affaiblissement) chez LCC, STÉAFIX, SOVCOR, LA MICROÉLECTRONIQUE.

— au dépôt de tantale par pulvérisation cathodique sur substrat verre pyrex, céramique ou oxyde métallique (alumine, oxyde de béryllium) chez RTC, LCC, STÉAFIX, LTT, ALCATEL.

— et au dépôt sous vide de couches de NiCr et de SiO (RTC - SESCO - LA MICROÉLECTRONIQUE).

Parmi les nouveaux venus sur ce marché, signalons ALCATEL et LTT.

B. Circuits intégrés

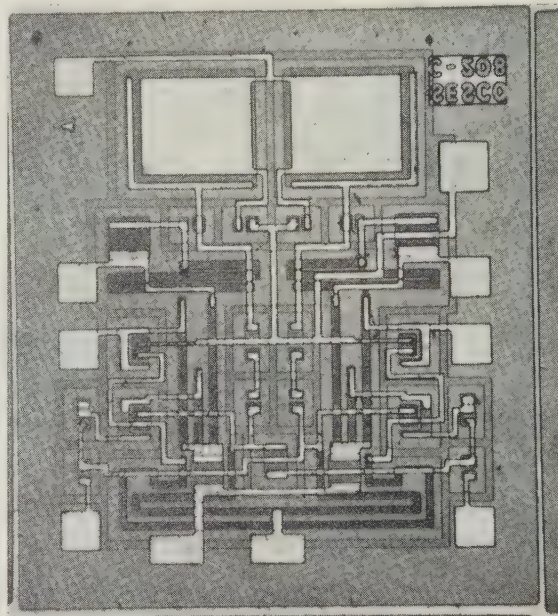
La tendance en microélectronique intégrée est très nettement orientée d'une part vers les circuits rapides à faible puissance, d'autre part vers les circuits pour applications industrielles. Ainsi le marché jusqu'ici orienté surtout vers les applications militaires s'ouvre vers le vaste domaine d'utilisation dans des gammes de température restreintes ($0^{\circ} + 75^{\circ}\text{C}$ surtout). Cette dernière tendance se manifeste surtout par les modifications de conditionnement des circuits : les boîtiers utilisés par SYLVANIA ou FAIRCHILD et celui de TEXAS sont remarquables ; ils sont particulièrement bien adaptés à l'implantation directe sur circuit imprimé et à la soudure à l'étain, ils devraient, par suite, faciliter notablement les opérations de montage, de dépannage et de maintenance.

Dans le cadre des circuits logiques les plus rapides, FAIRCHILD présente des éléments à transistors complémentaires capables de fonctionner jusqu'à 30 MHz (CT μ L950). SYLVANIA (représenté par la RTF) avec sa série SUHL II à transistors saturés, propose des temps de retard voisins de 6 nanosecondes permettant également de compter des signaux au-delà de 30 MHz. FERRANTI, pour sa part, avec la série

Micronor II atteint les mêmes vitesses. Chez RCA, on remarque la série ECCSL dont le temps moyen de propagation est inférieur à 4 nanosecondes. Dans la gamme à faible consommation, le même constructeur propose une logique rapide à 4 nanosecondes pour 3 mW de dissipation. De son côté TEXAS annonce pour la fin de l'année une logique non saturée, capable de travailler avec des retards voisins de la nanoseconde.

Chacun des constructeurs propose ses productions dans des gammes de température variées ($-55^{\circ}\text{C} + 125^{\circ}\text{C}$, $0^{\circ} + 75^{\circ}\text{C}$ et même $+15^{\circ} + 55^{\circ}\text{C}$).

Remarqués sont aussi les types de logique — pour la plupart DTL — proposés par les constructeurs français qui visent aussi bien la clientèle militaire qu'industrielle (série SFC chez COSEM, OMY chez RADIOTECHNIQUE, B4 chez SESCO).



Sesco — Microphotographie d'une bascule DTL 43 B 4 (fréquence de récurrence supérieure à 10 MHz).

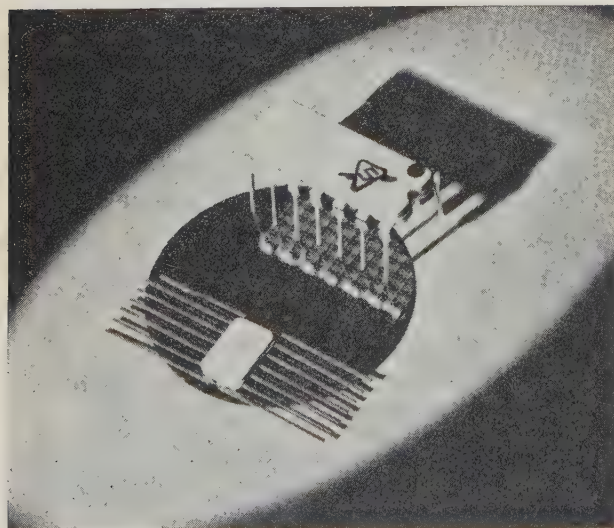
Dans le domaine des circuits linéaires, en plus du catalogue *Microlin* toujours proposé par FERRANTI et encore enrichi par des circuits établis sur demande client, on note l'apparition de plusieurs amplificateurs de lecture de mémoire à tores en technique monolithique ainsi le μ A711 de FAIRCHILD et le SA10 de SYLVANIA dont les temps de réponse sont voisins de 50 nanosecondes.

Divers amplificateurs comparateurs existent également tel le μ A709 de FAIRCHILD proposé en gamme industrielle ou le MC1531 de MOTOROLA. Tous ces circuits sont conçus pour être directement raccordés aux circuits logiques fournis par chacun des constructeurs.

Les domaines à fort niveau d'intégration sont représentés par la GME (représentée par MESURE & CONTRÔLE ÉLECTRONIQUES) avec un registre à décalage à 100 éléments binaires. GENERAL INSTRUMENT propose également en technique MOS un registre à 91 cellules binaires. Tous ces circuits nécessitent des boîtiers spéciaux, tel le boîtier à 22 passages de TRANSITRON renfermant deux étages complets de compteurs binaires en logique DTL et à technologie classique.

RELAIS ELECTROMAGNÉTIQUES

La recherche de la miniaturisation s'accompagne, chez les fabricants, d'un souci de la réduction du prix de revient, la compétition étant très serrée pour ce matériel, d'une technologie classique, mais qui reste le complément de circuits électroniques dans de nombreuses utilisations.



Sylvania — Module plat et module « enfichable » de logique type SUHL 11.

Des perfectionnements sont sans cesse apportés aux relais « classiques » mais les relais à contacts sous ampoule scellée affirment leur position lorsque des problèmes de commutation rapide, de fiabilité et de longue durée de vie sont primordiaux.

ACRM (C.D.C.) — exposait une gamme complète des relais « Tout ou Rien », allant des relais subminiatures aux relais à fort pouvoir de coupure. Parmi les éléments les plus représentatifs de cette production, on peut citer : les relais *SM* et *708*, subminiatures, en boîtier hermétique, les relais *YA505* (homologués CCTU) et les relais *MP21* et *22*, miniatures pour automatismes.

AEM — qui présentait, sous licence BABCOK, une gamme très étendue de relais dans une série *BR* dont le plus représentatif reste le relais *BR10*, de faible poids (4 g) coupant jusqu'à 1 A sous 30 V et de dimensions remarquablement réduites ($5,8 \times 10,2 \times 12,7$). Cette série (soudable sur circuit imprimé ou embrochable sur conjoncteur) est particulièrement soignée comme fabrication.

AMEC — présentait le relais *SO* déjà très connu mais équipé maintenant d'un contact inverseur, c'est un des plus petits relais existant (2 g) bobine jusqu'à 24 V continu, sensibilité 250 mW pouvoir de coupure 6 W sous 110 V.



Relais AMEC, type SO

Par ailleurs, AMEC propose un nouveau relais, le *MW* à contacts mouillés au mercure livrable en différentes présentations avec un maximum de 4 inverseurs pour un encombrement de ($\varnothing 25 \times 68$ mm) et d'une sensibilité de 200 mW. Le relais *MS* d'encombrement $24 \times 23 \times 34$ mm à 4 contacts inverseurs pour 1 A, 150 V non inductif et qui a reçu des applications en télévision, est fabriqué maintenant en version hermétique.

CSF — présentait une gamme étendue de relais du plus minuscule type *P* à intéressantes caractéristiques, jusqu'au relais *YA708* dont le pouvoir de coupure, maintenant doublé, passe de 2 à 4 ampères tout en continuant à satisfaire aux spécifications CCTU.

ECE — présentait sa gamme de relais hermétiques : série *900* à 1 et 2 RT d'un poids de 4 g, série 2 à 4 pôles inverseurs de 1 A à 15 A. En outre, ECE développe une série de nouveaux modèles de relais temporisés, fixes ou ajustables, de 50 millisecondes à 1 minute et de 1 à 5 minutes.

HI-G Inc. (USA) — présentait sa gamme habituelle de relais hermétiques dans laquelle on doit distinguer un relais micro miniature à 4 pôles en courant continu, mesurant $22 \times 20 \times 21$ mm pour 2 A sous 32 V, répondant aux normes militaires et réalisé en six versions de bobinage différentes.

LABEL-LORSA — présentait ses séries *100* et *200* de petits relais hermétiques à 2 inverseurs, les premiers ayant une puissance de coupure de 3 A charge résistive, 1 A charge inductive, les seconds 2 A charge résistive, consommation normale 1 W répondant aux normes *MIL5757D* et *CCTU07-01*. Ses séries *150* et *151*, respectivement à 1 et 2 inverseurs, de consommations nominales 40 et 10 mW.

MORS — possède une technique éprouvée dans la fabrication des relais industriels. Comme récente création, il convient de signaler son relais *2001* actionnant 4 inverseurs et qui possède des caractéristiques très intéressantes pour ce genre de matériel.

SEEM — présentait outre sa série habituelle, un relais à contacts sous ampoule scellée, micro-miniature référencé

MMHY1T de dimensions $7 \times 7 \times 15,3$ à un contact de travail, bloc soudable sur circuit imprimé, fonctionnant sous 24 V, pouvoir de coupure 10 V ou 10 mA, contacts rhodium-or. En préparation le même modèle avec un contact inverseur.

STPI — Le plus petit de ses relais reste le type *308* à *1RT* pesant 3 g et coupant 1 A sous 30 V cc avec des dimensions de $15,5 \times 10,2 \times 5,2$. S'y ajoute toute une gamme de relais hermétiques offrant un choix très varié aux utilisateurs.

TECHNIQUE ET PRODUITS — présentait un relais photo-électrique qui, bien que n'étant pas un relais électro-mécanique classique, mérite d'être signalé : possédant une source lumineuse alimentée par 4 V alt. ou continu, 100 mA, peut commuter 12 V alt. 0,75 A, par le réfléchissement de sa source sur une surface placée à proximité, avec un temps de réponse pouvant descendre jusqu'à 1 micro-seconde.

TECHNIQUE D'AUTOMATISMES — Agent exclusif de SCHALTBAU (Munich) présentait divers types de relais miniatures sensibles répondant aux exigences « Aéronautique », dans les séries *KM*, *EM* et *MM* à 1 ou 2 inverseurs.

UGON — présentait un relais subminiature polarisé appelé UGON 8 dont les caractéristiques sont les suivantes : Volume : $1,3 \text{ cm}^3$. Sensibilité : 5 mW. Pouvoir de coupure : 15 W. Son poids est de 4 g, sa fabrication s'ajoutera en 1966 à la gamme courante des relais de cette marque.

APPAREILS DE MESURES

● ABBEY ELECTRONICS, représenté par MESUREUR, expose un appareil d'étalonnage universel type *MC 10*. Cet appareil permet les étalonnages des tensions et intensités continues et alternatives, ainsi que les étalonnages des résistances.

- Gammes : 0 à 1 099 V par échelons de 1 mV
0 à 1,099 A par échelons de 1 μ A
0 à 1,1 M Ω par échelon de 1 Ω

— Précision absolue : $\pm 0,2$ % de la lecture.

● Sur le stand AGELEC, nous avons remarqué un oscilloscope bicourbe type 1050 utilisant un tube de 130 mm à double canon. Cet appareil est muni de préamplificateurs à courant continu à très haute sensibilité. Il permet de nombreuses combinaisons telles que :

Examen d'un signal avec balayage normal et simultanément avec balayage étalé (jusqu'à 10 fois).

Utilisation en oscilloscope XY à haute sensibilité en commutant une voie verticale sur les plaques horizontales.

En voici les caractéristiques principales :

Amplificateurs V_1 et V_2 , sensibilité : 100 μ V par cm, bande passante : 0 à 150 kHz (1 MHz à partir de 1 mV par cm).

Amplificateur horizontal, sensibilité : 100 mV par cm, bande passante : 0 à 1 MHz.

Base de temps relaxée, déclenchée ou monocourse de 3 μ s par cm à 30 s par cm.

Loupe électronique 2,5 et 10.

● AIRMEC représenté par ANTARES a exposé, entre autres :

Un galvanomètre électronique type *391* à zéro central qui présente la possibilité d'avoir une échelle logarithmique de 0 à 1 V pour les mesures de zéro.

Sensibilité 100 μ V pleine échelle ou 100 nA

Sensibilité réduite 2,5 mV pleine échelle ou 1 μ A.

Un phasemètre HF type *284* pour gamme de fréquences 50 kHz à 100 MHz

Précision : 50 kHz à 5 MHz : $\pm 2^\circ$

5 MHz à 25 MHz : $\pm 3^\circ$

25 MHz à 100 MHz : $\pm 5^\circ$

Sensibilité : 1 à 300 mV

La lecture est directe sur un cadran d'appareil de mesure pour les angles compris de 0 à 10° et de 170° à 180° et sur un cadran calibré en degrés pour les angles compris entre 10 et 170° .

Différence maximale entre les deux signaux :

50 kHz à 5 MHz : 50 dB
 5 MHz à 25 MHz : 40 dB
 25 MHz à 50 MHz : 30 dB
 50 MHz à 100 MHz : 20 dB

Un *oscillateur de puissance* dans la gamme 50 kHz à 100 MHz type 304.

Précision de la fréquence $\pm 1\%$
 Tension de sortie réglable de 40 μ V à 5 V sur 50 Ω
 Distorsion : 26 dB pour le 2^e et le 3^e harmoniques.

● Sur le stand ALFORD représenté par AURIEMA, une *ligne de mesure* dans la gamme 2,5 à 18 GHz a retenu notre attention ; le TOS résiduel de la ligne seule, c'est-à-dire sans adaptateurs coaxiaux, est de :

1,004 jusqu'à 3 GHz
 1,006 jusqu'à 6 GHz
 1,010 jusqu'à 11 GHz
 1,025 jusqu'à 18 GHz

le taux résiduel maximal avec un adaptateur coaxial à 16,5 GHz est de 1,07.

● Chez AIRBORNE représenté par FENWICK, nous avons remarqué un *oscillateur de puissance* fonctionnant entre 200 à 3 000 MHz en 4 gammes.

Puissance de sortie sur 50 Ω :

— Gamme 1 200 à 600 MHz — 50 W
 — Gamme 2 330 à 1 000 MHz — 50 W
 — Gamme 3a 910 à 2 000 MHz — 25 W
 — Gamme 3b 2 000 à 2 750 MHz — 10 W
 — Gamme 4 2 750 à 3 000 MHz — 5 W

Modulation interne en signaux carrés à 400 Hz et à 1 000 Hz, taux de modulation 100 %.

Modulation externe en sinusoïdale et signaux carrés (20 %), de 120 Hz à 150 kHz.

Modulation externe en impulsion (100 %) de 0,5 μ s à 10 μ s, temps de montée 0,1 μ s, temps de descente 1 μ s.

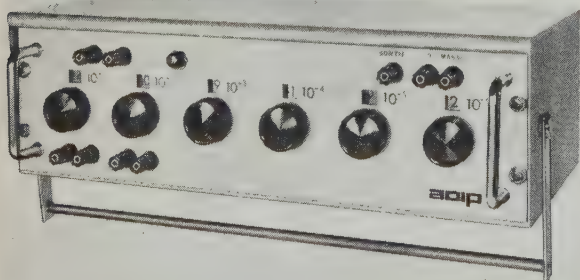
● Sur le stand ALCATEL, à signaler un *amplificateur à courant continu* pour signaux faibles :

Gain réglable de 200 à 2 000
 Stabilité : 10^{-3}
 Bande passante : 30 kHz
 Bruit : 5 μ V sur 30 kHz de bande passante
 Dérive en température : 1 μ V/C
 Impédance d'entrée : 100 M Ω
 Impédance de sortie : 1/10 Ω pour 10 V et 10 mA.

● A.O.I.P. expose plusieurs appareils intéressants parmi lesquels nous avons noté :

Un *autotransformateur variable de précision* ou diviseur Varley à transformateur type DVT à 6 décades :

Tension maximale : 100 V à 50 Hz — 250 V à 1 000 Hz
 Gamme de fréquence : 50 Hz à 20 kHz
 Impédance d'entrée : de l'ordre de 1 M Ω à 1 000 Hz
 Impédance de sortie : de l'ordre de 1 Ω



Diviseur AOIP type DVT

Possibilité d'isoler les tensions d'entrée et de sortie.

Définition : 1×10^{-6}

Pour une résistance de charge de 1 M Ω et de 50 Hz à 5 000 Hz :
 Précision en rapport 4×10^{-6} et linéarité 2×10^{-6}

Un *voltmètre numérique type VNT 4 T* à fonctions multiples par tiroirs embrochables.

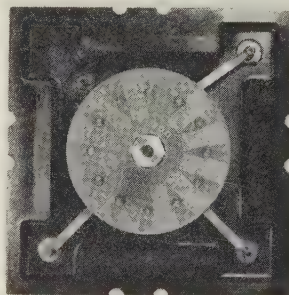
Mesure des tensions continues de 100 μ V à 1 V.

— Sensibilité : 100 μ V
 — Pouvoir de résolution : 50 μ V
 — Quatre décades complètes : 9 999 valeurs possibles
 — Commutation manuelle de gamme
 — Impédance d'entrée : 100 k Ω
 — Temps de conversion : 100 ms
 — Influence de la température : $\pm 5 \times 10^{-4}$ pour 15° de variation par rapport à la température normale.

Différents tiroirs peuvent être fournis sur demande :

— Adaptateur d'impédance d'entrée 10 M Ω
 — Changement d'étendue de mesure : 10 V — 100 V — 1 000 V
 — Commutation de gamme et de polarité automatique
 — Ohmmètre de 1 k Ω à 10 M Ω
 — Convertisseur AC/DC

Des *boîtes de résistances ASSO PRECI* en circuit imprimé (brevet AOIP) pour des valeurs de 0,1 Ω , 1 Ω et 10 Ω avec précision 0,2 %, utilisables jusqu'à 100 kHz.



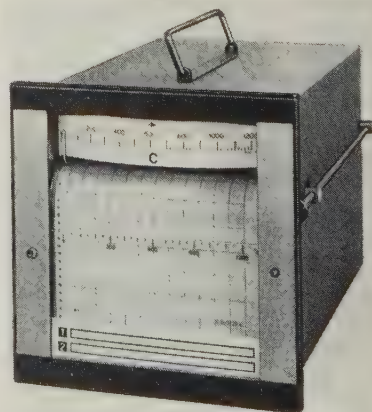
Résistance
 ASSO Précis
 de AOIP

● BRION-LEROUX, de son côté, a exposé un *enregistreur à pointer type 192 D* de 1 à 6 courbes.

Calibres directs depuis 10 mV ou 50 μ A

Calibres depuis 1 mV ou 10 μ A en association avec des amplificateurs galvanométriques.

Le département transducteur et électronique de ce constructeur présente toute une gamme de *convertisseurs statiques* dont les puissances sont échelonnées entre 20 et 1 000 VA.



Enregistreur
 à pointes,
 type 192 D
 Brion-Leroux

● BRUEL ET KJAER, spécialistes des appareils de mesure de vibrations, ont exposé :

Un *générateur programmé type 1040*, destiné à la commande des excitateurs de vibrations en sinusoïdal, ou bande étroite

de bruit, avec balayage et régulation automatiques dans la gamme 5 Hz à 10 kHz.

Un *mesureur de vibrations type 2501*, qui permet la programmation du générateur 1040 avec mesure et régulation des paramètres accélération, gradient d'accélération, vitesse, amplitude, ainsi que la mesure de la densité d'accélération avec utilisation d'un filtre extérieur.

Un *préamplificateur type 2622* à 2 voies, fréquence limite inférieure 2 Hz.

Un *préamplificateur miniature type 2623* de sensibilité très réduite aux vibrations. Pour réduire l'influence des câbles de liaison, il peut être vissé directement sur la prise de l'accéléromètre.

- Impédance d'entrée : 2 000 M Ω
- Impédance de sortie : 40 Ω
- Gain de tension : 1
- Gamme de fréquence : 0,5 à 500 000 Hz
- Bruit ramené à l'entrée : 15 μ V pour 1 000 pF à l'entrée.
- Tension de sortie maximale : 20 V crête à crête
- Dimensions : longueur 45 mm, diamètre 14 mm, poids 20,6 g.

Un *préamplificateur type 2616*

- Impédance d'entrée : 1 200 M Ω et 10 pF
- Gamme de fréquence : 0,5 à 500 000 Hz
- Dynamique : 96,5 dB
- Amplification : +2 à -20 dB
- Tension de sortie maximale : 2,8 V crête à crête.

Un *accéléromètre miniature type 4316* de masse totale : 2 g.

- Sensibilité : 4 mV/G ou 1,2 p/c.
- Capacité avec câble : 300 pF
- Fréquence limite inférieure : 0,5 Hz

Un *accéléromètre triaxial type 4320*, pesant 35 g et comportant trois sorties proportionnelles aux accélérations dans trois directions perpendiculaires entre elles.

- Sensibilité : 20 mV/G
- Capacité : 1 000 pF
- Possibilité de refroidissement pour température d'utilisation jusqu'à 1 000°, fonctionne jusqu'à 250° sans refroidissement
- Fréquence de résonance : 35 Hz

On verra la photographie de ces quatre derniers appareils dans l'*Onde Electrique* de mars 1966, p. 381.

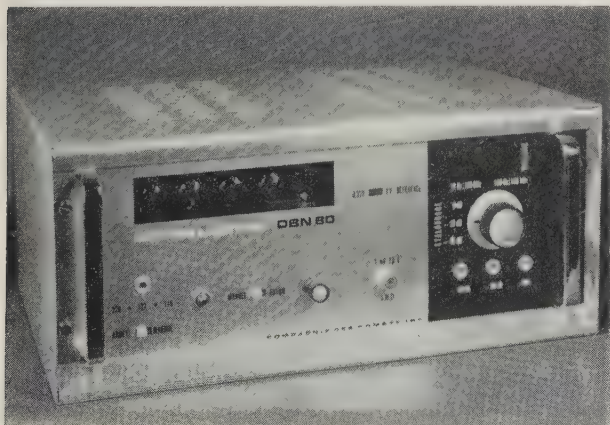
● Au Stand de LA COMPAGNIE DES COMPTEURS, nous avons particulièrement remarqué :

Des *enregistreurs* de très faible encombrement *type EPR 3* (dimension de la face avant 192x192 mm). Ils comprennent des appareils des types ferrodynamique, magnétoélectrique et magnétoélectrique à redresseur : ampèremètres, voltmètres, wattmètres et varmètres, phasemètres et fréquencemètres. Ils se font en deux modèles :

Le *type EPR 31* à un seul élément de mesure,

Le *type EPR 32* à deux éléments distincts.

L'enregistrement peut être prévu à l'encre (plume réservoir ou plume siphon) ou par voie électrique sur papier métallisé.



Décibelmètre numérique CdC, type DBN 80

Un *décibelmètre numérique* type DBN 80 effectue la mesure digitale des tensions alternatives directement en décibels par rapport à une référence. Il a comme caractéristiques :

- Gamme de fréquences : 10 Hz à 100 kHz
- Gamme de mesures : 1 mV à 10 V
- Référence 0 dB : 1 V ou 0,775 V (1 mW dans 600 Ω) commutables
- Précision de la lecture : $\pm 0,1$ dB
- Impédance d'entrée : 5 M Ω
- Temps de conversion de mesure : 10 ms
- Temps de récurrence de la lecture : en automatique, réglable de 0,1 à 5 s ; en manuel, à volonté.

Un *convertisseur analogique numérique* destiné à la transformation rapide et précise d'un signal dont le gradient de tension en fonction du temps peut être relativement élevé.

Trois modes de fonctionnement sont prévus : rapide, très rapide, codage synchrone, tous commutables manuellement ou automatiquement. Dans ce dernier cas, le mode de fonctionnement est sélectionné par l'organe d'utilisation.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Tension d'entrée ± 10 V.
- Impédance d'entrée : 5 000 Ω .
- Sortie des informations : elles sont stockées dans un registre dont la capacité est de 10 bits + 1 bit de signe.
- Précision $\pm 0,1$ % à ± 1 % suivant le mode de fonctionnement.
- Temps de conversion 30 μ s et 15 μ s suivant le mode de fonctionnement.
- Température de fonctionnement 10 °C à +50 °C.

Un *visualisateur* ou élément de sortie pour ordinateur. Cet appareil constitué par un récepteur de télévision permet l'affichage d'informations fournies sous forme de caractères alpha-numériques ou de courbes quelconques.

Ce visualisateur peut donc être utilisé directement avec un ordinateur PB 250 de la SETI, la mémoire de celui-ci étant composée de lignes à retard à microtorsion. Avec un ordinateur à mémoire à ferrite, il faut adjoindre au visualisateur un boîtier de circuits électroniques.

● CENTRAD a présenté :

Un *générateur de signaux type 362* entièrement transistorisé qui délivre une onde sinusoïdale, des signaux carrés, et des dents de scie.

- Fréquence : 10 Hz à 100 kHz en 4 gammes
- Précision : 3 %
- Distorsion harmonique : 1 %
- Temps de montée des créneaux 0,4 μ s
- Sortie symétrique 2x5 V crête à crête en créneaux et dents de scie ou 2x5 V efficaces en sinusoïdal.



Générateur de signaux CENTRAD, type 362

Un *oscilloscope type 175* avec tube de 10 cm ou tube de 7 cm.

- Sensibilité : 10 mV/cm à 20 V/cm en 12 positions étalonnées

- Bande passante : 0 à 6 MHz jusqu'à 50 V/cm
0 à 2 MHz jusqu'à 10 mV/cm
- Base de temps : déclenchée et étalonnée de 0,2 μ s à 0,5 s/cm
- Expansion horizontale de 1 à 10.
- Déclenchement intérieur ou extérieur. Choix de la polarité et du seuil de déclenchement.
- Positions spéciales : automatique et télévision.
- Calibrateur à sortie continue ou rectangulaire à fronts raides.
- Tube cathodique post-accélééré (3,5 kV) à fond plat.

● Au Stand de la C.G.E., notre attention a été attirée par un *milliwattmètre lumineux* type WG 100 destiné à la mesure directe ou à l'enregistrement de la puissance lumineuse émise par un laser à gaz hélium-néon, fonctionnant à la longueur d'onde de 6 328 Å.

L'appareil peut être également utilisé à toute longueur d'onde comprise entre 4 000 Å et 10 500 Å en multipliant l'indication donnée par un facteur de correction.

- Puissance mesurée : 0,3, 1, 3, 10, 30, et 100 mW.

● Au Stand CHAUVIN ET ARNOUX, nous avons vu :

Un *voltmètre numérique* type DS 40 entièrement transistorisé pour tensions continues, à affichage par 4 chiffres en ligne et changement de gammes et de polarités par commutateur.

- Calibres : 0 à 1,999 V par échelons de 1 mV
0 à 19,99 V par échelons de 10 mV
0 à 199,9 V par échelons de 100 mV
0 à 1 000 V par échelons de 1 V.
- Résistance d'entrée : 1 M Ω sur la gamme 0 à 1,999 V
10 M Ω sur les trois autres gammes.
- Limite d'erreur : $\pm 0,1$ % de la lecture ± 1 unité du dernier chiffre. Influence de la température : 0,01 % par °C.
- Influence du réseau : 0,01 % par volt.
- Tension alternative superposée : limite admissible sur le calibre 1,999 V, avec filtre : 15 mV, sans filtre : 350 mV.
- Temps de réponse : 0,1 s.

● Sur le Stand CRC, nous avons remarqué :

Un *petit générateur basse fréquence* type GBT 515 transistorisé qui délivre des signaux sinusoïdaux et rectangulaires, en cinq gammes de fréquence allant de 5 Hz à 500 kHz ; la stabilité de la fréquence est de 10^{-4} pour une variation secteur de ± 10 %.

Caractéristiques du signal sinusoïdal :

- Amplitude maximale : 10 V sur 600 Ω
- Atténuateur décimal : 1/10 — 1/100
- Atténuateur progressif repéré de 1 à 10
- Variation du niveau en fonction de la fréquence : 1 dB dans chaque sous-gamme.

Caractéristiques du signal rectangulaire :

- Amplitude maximale : 7 V à vide — 5 V sur 600 Ω — 1,2 V sur 50 Ω
- Polarité positive
- Temps de montée : 50 ns
- Temps de descente : 60 ns



Multimètre numérique CRC, type MN 191

Un *multimètre numérique* type MN/191 à 3 digits et 2 000 points de lecture qui permet :

- la mesure des tensions continues en 4 gammes : 1 V — 10 V — 100 V et 1 000 V pleine échelle, avec une précision : ± 1 % ± 1 digit. L'impédance d'entrée est de 10 M Ω .
- la mesure des intensités continues en 7 gammes : 1 μ A — 10 μ A — 100 μ A — 1 mA — 10 mA — 100 mA et 1 A pleine échelle, avec une précision : ± 1 % ± 1 digit.
- la mesure des résistances en 4 gammes : 1 k Ω — 10 k Ω — 100 k Ω et 1 M Ω pleine échelle, avec une précision ± 1 % et ± 3 % dans la gamme 1 M Ω .

● DANA, représenté par RADIO-TÉLÉVISION FRANÇAISE présente :

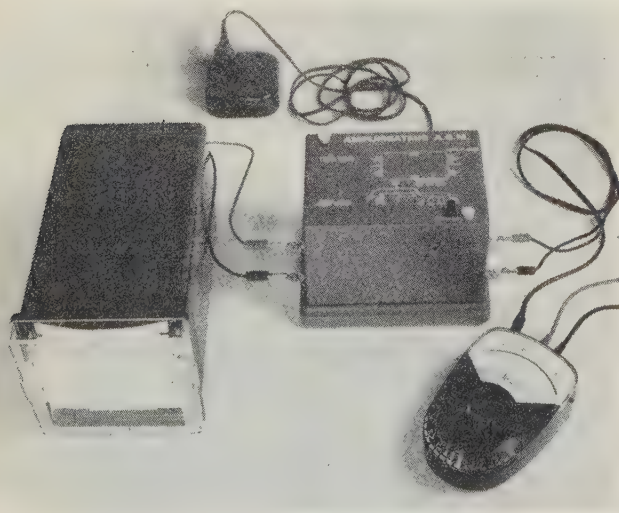
Un *voltmètre digital* type 5 400 à 5 digits, à tiroirs enfichables et à 10 999 points de lecture, à polarité automatique et changement de gammes par commutateur.

Tiroir tension continue :

- 3 gammes : 0 à 10,999 — 0 à 109,99 — 0 à 1 099,9
- Précision : $\pm 0,01$ % de la lecture et $\pm 0,01$ % de la pleine échelle
- Temps de lecture : 250 ms
- Impédance d'entrée : 1 000 M Ω sur l'échelle 10 V et 10 M Ω sur les autres gammes.

Tiroir multimètre :

- 5 gammes en tension continue — 0 à 109,99 mV — 0 à 1,0999 V — 0 à 10,999 V — 0 à 109,99 mV et 0 à 1 099,9 V.
- Précision : $\pm 0,01$ % de la lecture et 0,01 % de la pleine échelle sur 10, 100 et 1 000 V et 0,02 % de la pleine échelle sur 109 mV et 1,09 V
- Temps de lecture : 250 ms
- Impédance d'entrée : 10 M Ω sur 100 et 1 000 V
100 M Ω sur 0,1 V et 1 V
1 000 M Ω sur 10 V
- 3 gammes en tension alternatives : 0 à 10, 999 — 0 à 109,99 — 0 à 1 099,9 V



Amplificateur galvanométrique Chauvin Arnoux

Des *amplificateurs galvanométriques* de mesures pour courant continu dans lesquels une tension très faible à l'entrée est traduite à la sortie par un courant rigoureusement proportionnel sans aucune dérive et très largement indépendant de la résistance du circuit de sortie.

Il existe deux modèles standards :

- Tension d'entrée : ± 5 mV et 0 à 10 mV
- Courant de sortie : ± 5 mA et 0 à 10 mA

Une nouvelle version du MONOC : le MONOC J qui, associé à un amplificateur AGM, permet d'alimenter un enregistreur ou de réaliser un enregistreur multicalibres.

- Tension maximale sur l'échelle : 1 099,9 V
500 V entre 50 Hz et 10 kHz
150 V entre 50 Hz et 100 kHz
- Précision : 0,1 % entre 50 Hz et 10 kHz
0,25 % entre 10 kHz et 50 kHz
1 % entre 50 kHz et 100 kHz
- Temps de lecture : 250 ms
- Impédance d'entrée : 1 MΩ

Mesures en ohmmètre :

- 0 à 10 MΩ en 5 gammes
- Précision : 0,01 % de la lecture
0,03 % sur la gamme 1 MΩ
0,07 % sur la gamme 10 MΩ

● E.H. RESEARCH, représenté par R.T.I., présente une nouvelle gamme de *générateurs d'impulsions*, parmi lesquels le type 139 B, à double impulsion, entièrement transistorisé.

Fréquence de récurrence : 10 Hz à 50 MHz

Temps de montée : 6 ns à 3 ms

Largeur et retard : 10 ns à 10 ms

Amplitude de sortie : ± 30 mV à ± 10 V sur 50 Ω



Générateur d'impulsions E.H. Research, type 139 B

Nouveau également, le générateur *modèle 1 121*. De temps de montée inférieur à 2 ns et d'amplitude de sortie positive ou négative de 50 V sur 50 Ω, destiné à être associé à l'unité de commande *modèle 1 421*.

Les caractéristiques de cette dernière sont :

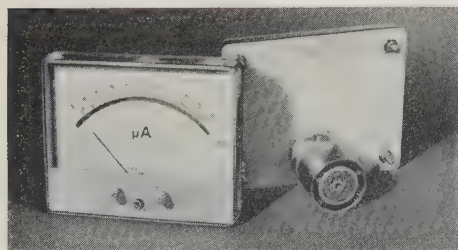
Fréquence de répétition : 1 kHz à 1 MHz

Largeur et retard : 10 ns à 1 μs

L'ensemble peut être programmé en amplitude, largeur et retard.

● EXAPRÉCIS expose une grande variété d'*indicateurs de tableaux*, équipés d'un galvanomètre blindé de faible encombrement, insensible aux chocs et vibrations.

Nous avons particulièrement remarqué le relais galvanométrique à seuil optique et l'indicateur à fonction de commande optique, permettant de commander directement des relais de puissance.



Indicateur de tableau Exaprecis

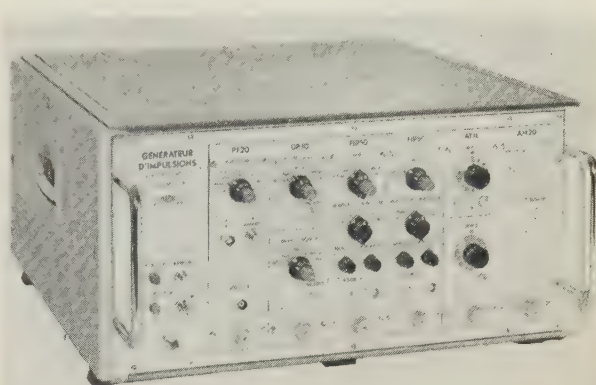
● Au stand FERISOL, parmi les nouveautés présentées, nous avons remarqué plus particulièrement :

Le *générateur d'impulsions* P 640, à modules interchangeables, entièrement transistorisé.

Ce générateur permet d'obtenir des impulsions dont les paramètres (fréquence de répétition, largeur, temps de montée, amplitude, déphasage) sont variables séparément, en fonction des modules utilisés.

Un module pilote PF 20, engendre quatre impulsions d'amplitudes et durées identiques, dont trois sont destinées au pilotage des modules formeurs d'impulsions et la quatrième au déclenchement d'appareils externes.

Fréquence de récurrence variable de 10 Hz à 10 MHz



Générateurs d'impulsions Férisol, type P 640

Deux impulsions synchrones : une positive, une négative.

Forme des impulsions : rectangulaires avec les modules FIR 30 et FIR 40 comportant un circuit déphaseur incorporé, réglable (rectangle, triangle ou trapèze) avec le module FIR 50. Dans ce dernier cas, le FIR 50 est déclenché par l'intermédiaire d'un module déphaseur DP 10.

Les différents modules peuvent également être déclenchés par un programmeur.

Largeur d'impulsions : de 10 ns à 200 μs (FIR 30), de 50 ns à 1 ms (FIR 40 et 50).

Temps de montée et descente : 5 ns (FIR 30), 10 ns (FIR 40), réglable de 10 ns à 1 ms (FIR 50).

L'amplitude est fixe sur le FIR 30 (5 V) et sur le FIR 50 (10 V), elle est réglable de 2,5 à 5,5 V, avec réglage indépendant sur les deux impulsions, sur le FIR 40.

L'impédance de sortie est de 50 Ω sur tous les modules.

Le bâti P 640 peut recevoir :

— Des modules atténuateurs de 0 à 12 dB et 0 à 129 dB.

— Un module additionneur-mélangeur (AM 20), délivrant sur une seule voie les impulsions qui lui parviennent de quatre voies différentes (deux entrées positives, deux négatives). Lorsque les impulsions injectées sont synchrones, l'impulsion de sortie représente leur somme analogique.

Également nouveau, le *générateur HF* modèle L 400 (photo page suivante), couvrant la gamme de 50 kHz à 70 MHz.

Niveau de sortie constant, ajustable entre 0 et 3 V sur 50 Ω.

Calibrateur à quartz (100 kHz et 1 MHz) de précision 1.10^{-5} .

Modulation interne en amplitude à 400 ou 1 000 Hz, en externe : 0 à 20 kHz. Taux de modulation variable de 0 à 100 %.

Toutes les tensions d'alimentation, y compris celle du filament du tube oscillateur sont régulées par un dispositif électronique.

Le *générateur AM/FM* type LF 201, de 2 MHz à 480 MHz, avec dispositif de désaccord par commutation permettant de décaler la fréquence porteuse aux fréquences ± 10 , ± 30 , ± 100 , et ± 300 kHz.

Modulation FM interne à 300 — 1 000 — 1 600 et 2 400 Hz, 60 — 108 — 252 — 300 et 552 kHz.

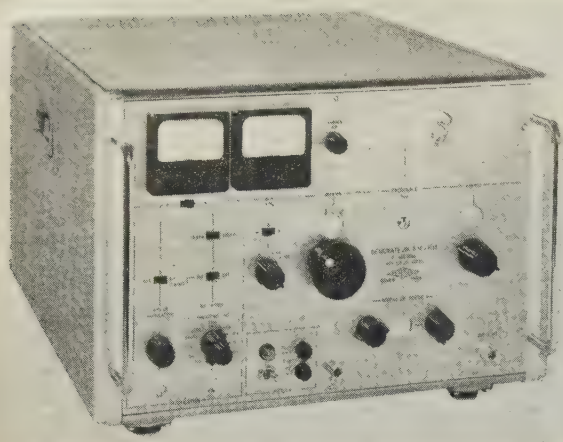
Excursion en deux gammes : 0 à 75 kHz et 0 à 300 kHz.

Modulation AM : 1 kHz en interne, 30 Hz à 30 kHz en externe. Taux réglable de 0 à 50 %.

Niveau de sortie : réglable de 0 dBm à -129 dBm, il est constant de $\pm 0,5$ dB sur toute l'étendue de la gamme.

Remarqué également, l'*excursionmètre* type EX 100.

Entièrement transistorisé, de dimensions réduites, cet appareil est destiné à la maintenance des émetteurs à modulation de fréquence jusqu'à 1 MHz d'excursion, dans la gamme 20 à 120 MHz, et jusqu'à 4 GHz avec oscillateur extérieur.



Générateurs AM/FM Férisol, type LF 201

● Chez les constructeurs représentés par la Société F.R.E.I. nous avons remarqué :

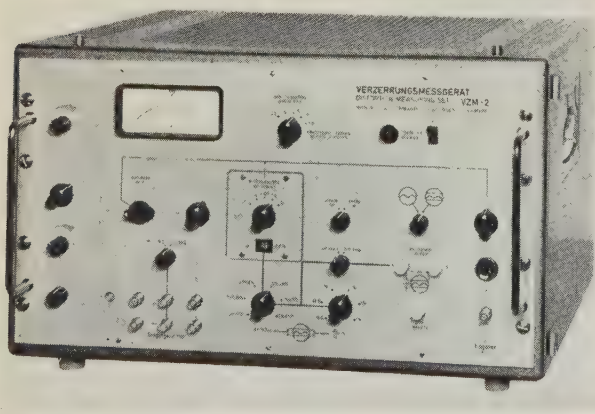
— Au stand WANDEL-GOLTERMANN :

Un nouveau *distorsiomètre*, le modèle VZM 2, destiné aux mesures sur systèmes à faisceaux hertziens à grand nombre de voies (jusqu'à 2 700 voies).

Cet appareil est particularisé par l'emploi de fréquences de mesure élevées.

Équipé d'oscillateurs à quartz enfichables, on peut disposer de huit fréquences de mesure, entre 0,5 et 12 MHz.

Il fournit une fréquence de balayage en dents de scie de 1,6 kHz ou trapézoïdale de 800 Hz.



Distorsiomètre Wandel Goltermann, type VEM 2

La valeur maximale de mesure de phase est de 28,6 °.

Les distorsions de phase et d'affaiblissement sont mesurées de 0,2 à 50 %, l'unité étant le radian.

— Chez PEEKEL :

Une série d'*oscillateurs portables* TBF, BF et MF parmi lesquels nous citerons l'oscillateur modèle 32 A.

Il couvre la gamme 3 Hz à 38 kHz avec une précision de $\pm 0,5$ %.

Le taux de distorsion est inférieur à 0,5 %.

Tension de sortie : 10 V ou 25 V (sur 10 000 Ω).

Un *indicateur automatique digital* pour mesures de contraintes, à deux gammes de mesure : $\pm 10\,000$ et $\pm 100\,000$ microstrains, avec une précision de 0,01 %.

L'exploration manuelle ou automatique en pas à pas, peut porter sur 1 000 points de lecture.

● La société GERTSCH (SINGER Cy), représentée par SERIEL, présente comme nouveauté, le *générateur-fréquence-mètre* modèle SSG 1.

Cet appareil peut être utilisé soit en générateur, soit en fréquencesmètre avec une précision de $\pm 0,00001$ %.

Les fréquences (émises ou mesurées) sont lues directement sur un indicateur digital à 8 digits.

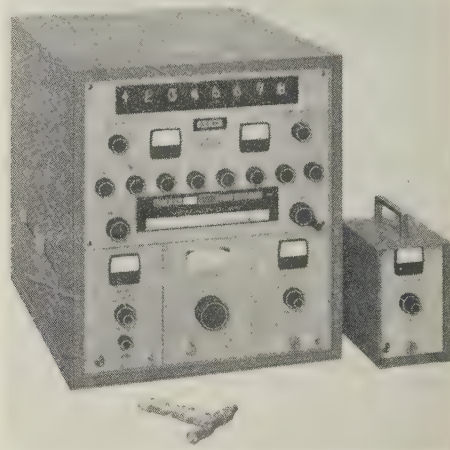
La gamme du générateur de 5 Hz à 500 MHz, peut être couverte par bonds de 1 Hz jusqu'à 50 MHz et de 10 Hz au-dessus de 50 MHz.

Le niveau de sortie est réglable de façon continue par atténuateur de précision entre 0 et -130 dBm (sur 50 Ω) de 10 kHz à 500 MHz et de 0 à 2 V RMS (sur 600 Ω) de 5 Hz à 10 kHz.

Un niveau de sortie plus élevé peut être obtenu si nécessaire, mais hors calibration de l'indicateur.

La mesure de fréquence (par battement zéro) s'effectue en direct de 10 kHz à 1 GHz. Elle peut être étendue jusqu'à 10 GHz par utilisation d'un générateur d'harmoniques et d'un mélangeur extérieur, en conservant la même précision de mesure.

La constitution interne de cet ensemble, notamment la tourrelle de commutation de gammes, et l'accessibilité des différents sous-ensembles constitutifs sont à souligner.



Générateur Fréquencesmètre Gertsch, modèle SSG. 1

● HEWLETT-PACKARD présente, cette année, de nombreuses nouveautés parmi lesquelles nous citerons :

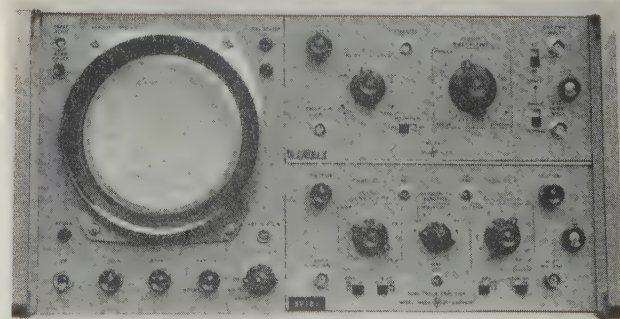
L'*oscilloscope à mémoire* type 141 A, utilisable en oscilloscope conventionnel, à mémoire, ou à persistance variable.

Il peut recevoir tous les tiroirs de la série 1 400 (double-trace, amplificateur différentiel, réflectomètre, etc.).

Il est équipé d'un tube à mémoire à post-accelération de 7,5 kV, type P 31, au phosphore aluminé, à écran plat.

Le graticule interne (10×10 cm) gradué en cm² avec subdivisions de 2 en 2 mm supprime toute erreur de parallaxe.

La persistance normale est d'environ 0,1 s, ou continuellement variable de moins de 0,2 s à plus d'une minute. La durée de mémoire peut atteindre plus d'une heure, à intensité réduite.



Oscilloscope à mémoire Hewlett Packard, type 141 A

La vitesse d'écriture est d'au moins 20 cm/ms en normal, et supérieure à 1 cm/ μ s en mode maximal. L'effacement s'effectue en 1/10 de seconde environ.

Cet oscilloscope est particulièrement adapté à l'examen de phénomènes lents ou de signaux à représentation unique.

Un nouveau tiroir modèle 1416 A pour les oscilloscopes 140 A et 141 A, destiné aux mesures en hyperfréquences vobulées : enregistrement des courbes de réponse, mesures d'atténuations et de coefficients de réflexion.

Directement étalonné en dB, la précision d'affichage est de 0,05 dB par rapport à la référence d'entrée d'un détecteur à cristal.

Les voltmètres 400 E et 400 EL pour tensions alternatives de 1 mV à 300 V entre 10 Hz et 10 MHz.

Le 400 E possède une échelle de tensions linéaires (0 à 1 et 0 à 3) celle du 400 EL est logarithmique (0,3 à 1 et 0,8 à 3).

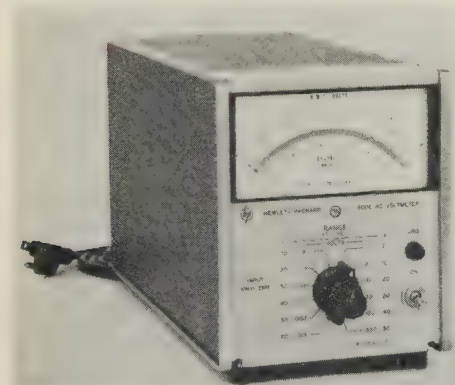
Résistance d'entrée : 10 M Ω sur toutes les gammes. Précision 1 %.

Échelle en décibels de -10 à +2 dB. Celle du 400 EL est linéaire et permet des lectures directes en dBm de -70 à +52, sans avoir à effectuer de conversions.

Sur chaque modèle, deux sorties disponibles :

— Une sortie alternative 0,15 V (sur 50 Ω) pour déviation pleine échelle, permettant d'utiliser l'appareil comme amplificateur alternatif à large bande.

— Une sortie 1 V continue (sur 1 000 Ω) pour déviation pleine échelle permettant la commande d'un enregistreur galvanométrique ou d'un voltmètre numérique.



Voltmètre Hewlett Packard, type 400 E

Le voltmètre numérique 3439 A qui est une version économique du 3440 A dont il a la présentation et la précision, utilise les mêmes tiroirs (3441 A à 3445 A).

La sortie codée et le déclenchement extérieur ont été supprimés, et la vitesse d'échantillonnage est fixe, entre 2 et 3 s.

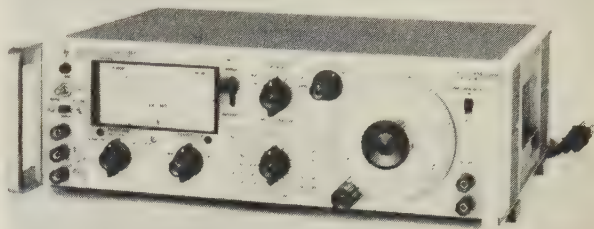
Nous noterons que le nouveau tiroir 3445 A permet d'effectuer sur ces deux types de voltmètres, des mesures de tensions alternatives de 10 V à 1 000 V.

Version économique également, le voltmètre numérique 3459 A, dérivé du 3460 A, conserve une précision de 0,008 % et une réjection de 155 à 160 dB.

Ses caractéristiques principales sont :

- sélection de gammes automatiques,
- décades réversibles pour l'intégration autour du zéro,
- digit indicateur de dépassement de gamme (20%).

Le distorsiomètre 334 A à détecteur de zéro automatique,



Distorsiomètre Hewlett Packard, type 334 A

détectant des variations de fréquence de $\pm 1\%$, permet de lire avec précision la distorsion, tout en procédant à des réglages du circuit mesuré, sans avoir à repositionner le zéro.

Il peut mesurer jusqu'à 0,3 V efficaces pour des fondamentales de 5 Hz à 600 kHz et permet de connaître les harmoniques jusqu'à 3 MHz.

Un détecteur incorporé permet les mesures de distorsion des enveloppes de modulation, sur des porteuses allant jusqu'à 65 MHz.

L'amplificateur différentiel 8875 A (de la SANBORN Division) permettant d'obtenir un gain de 1 à 1 000, de 0 à 75 kHz.

Impédance d'entrée : 10 M Ω — Tension de sortie : ± 10 V.

La sortie est protégée contre les courts-circuits et un dispositif limite le courant de sortie à environ 0,15 A.

Entièrement transistorisé, ses dimensions réduites permettent d'incorporer jusqu'à dix amplificateurs dans un rack standard 19".

Cet appareil est particulièrement adapté à l'amplification de tensions à très bas niveau (thermo-couples, jauges de contrainte, capteurs de vibrations).

L'oscillateur VHF modèle 3200 B couvrant en 6 gammes la bande de 10 à 500 MHz, et 500 à 1 000 MHz avec addition d'un doubleur de fréquence modèle 13515 A.

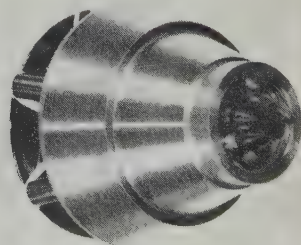
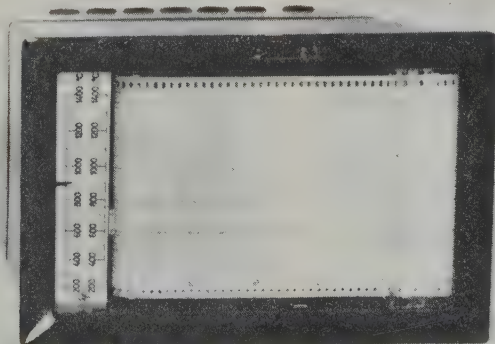
Précision en fréquence : $\pm 2\%$.

Puissance de sortie > 150 mW jusqu'à 260 MHz, > 25 mW de 260 à 500 MHz. Avec doubleur, elle est de 4 mW de 500 à 1 000 MHz.

Impédance de sortie : 50 Ω .

Il peut être modulé extérieurement en amplitude ou en impulsions.

Enregistreur Hewlett Packard à six voies, type 7190 C et élément enregistreur



Sans être une nouveauté, le *générateur UHF* modèle 608 E, 10 à 480 MHz, est une version améliorée des modèles bien connus 608 C et D.

Ses caractéristiques générales sont sensiblement identiques à celles des types C et D, mais nous noterons que le niveau de sortie est maintenu constant à toutes fréquences et l'adjonction d'une sortie auxiliaire de valeur fixe 180 mV destinée à la commande d'un fréquemètre-compteur.

Un *enregistreur 6 voies* modèle 7 190 C (photo page précédente) entièrement transistorisé, à défilement continu. Équipé de six cartouches d'encre, chaque élément enregistreur est commandé par électro-aimant.

Gamme de tension : 5 mV à 250 V

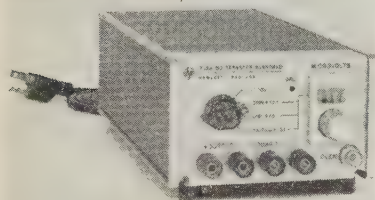
Gamme de courant : 0,25 à 5 A

Gamme de température : 100 à 1 600 °C, par utilisation de différents tiroirs.

Il peut être équipé d'accessoires permettant des mesures de contrôle et des enregistrements visuels.

A noter, la *source étalon 1 V* à courant continu modèle 735 A, délivrant avec une résolution de $1 \mu\text{V}$ des tensions de 0 à 1 000 μV ou une valeur quelconque comprise entre 1,018 et 1,020 V.

Insensible aux variations de température, ses caractéristiques restent inchangées en cas de court circuit accidentel.



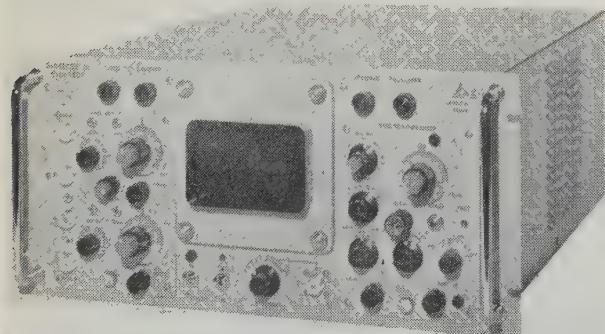
Source étalon
1 V CC
Hewlett Packard
modèle 735 A.

● Parmi les nombreux *équipements d'enregistrement* présentés par I.E.R. (Impression, enregistrement des résultats), nous citerons notamment l'enregistreur à bande magnétique deux pistes LOCKHEED 459, pour satellite spatial, d'un poids de 2,8 kg, sa consommation est de 1 W maximum sous 12 ou 24 V.

La longueur de bande de 100 m permet 100 mn d'enregistrement.

● КАТЛ présente, en dehors des appareils confirmés, des appareils de commercialisation récente, exposés sous forme de prototype au cours du Salon 1964 et parmi lesquels l'*Oscilloscope transistorisé type 307* et ses tiroirs interchangeables :

3 101 H : base de temps simple ; 3 103 H : amplificateur horizontal $200 \mu\text{V}/\text{cm}$; 3 104 V : amplificateur vertical $50 \mu\text{V}/\text{cm}$; 3 105 V : amplificateur vertical 2 voies $1 \text{mV}/\text{cm}$.



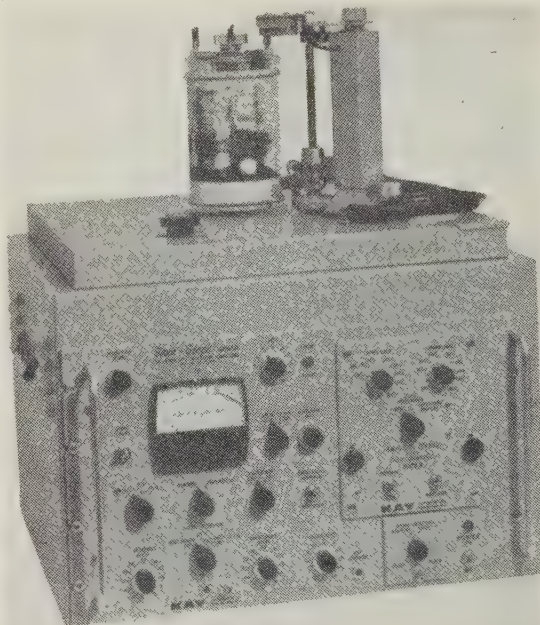
Katji — oscilloscope transistorisé type 307

Ces tiroirs BF seront suivis dans le courant de l'année par des tiroirs de performances dans des gammes plus rapides.

● KAY ELECTRONIC Cy présente un *spectrographe « Sonagraph type 6061 »* entièrement transistorisé, donnant un enregistrement visuel des sons dans les fréquences audibles et permettant d'obtenir trois analyses différentes des phénomènes enregistrés ; courbes représentant les fréquences en fonction du temps, l'amplitude étant donnée approximativement par le noircissement relatif du papier ; courbes des amplitudes relatives par rapport à la fréquence à chaque temps sélectionné ; courbes d'amplitudes en fonction du temps.

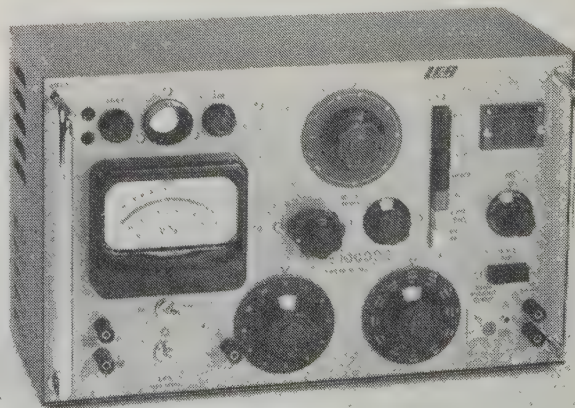
Ses caractéristiques principales sont :

Réponse en fréquences à 85 à 8 000 Hz : $\pm 2\text{dB}$; largeur de bande des filtres d'analyse : 45 et 300 Hz ; temps d'enregistrement : 2,4 s ; temps d'analyse : 70 s ; dimensions du sonagramme : $10,2 \times 30,5 \text{ cm}$; alimentation : $117 \text{ V} \pm 10\%$, 180 W ; poids de l'appareil : 43 kg ; dimensions : $63,5 \times 51 \times 47 \text{ cm}$.



Kay Electronic — « Sonagraph 6061 »

● LEA, LABORATOIRE ELECTRO-ACOUSTIQUE, présente un *qualiscope distorsiomètre-décibelmètre-millivoltmètre type E.H.D 40* ; cet appareil universel de précision réunit en un seul les



LEA — qualiscope EHD 40

dispositifs de mesure des qualités principales d'un circuit : distorsion non linéaire en % ; tension en mV ; niveau de la tension en dB ; niveau du bruit.

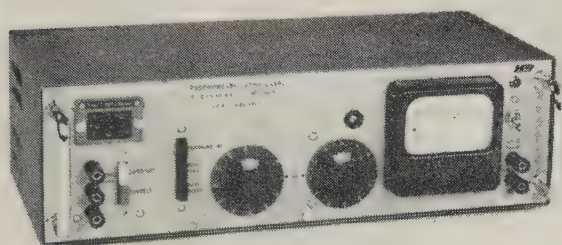
Fonctionnement en distorsiomètre : fréquences fondamentales 10 Hz à 100 kHz ; fréquences harmoniques 20 Hz à 250 kHz ; sensibilité 0,1 % de la déviation totale.

Mesure des tensions : de 2 Hz à 400 kHz ; de 100 μ V à 300 V

Entrée haute impédance 500 k Ω . Entrée sur transformateur 5 000 Ω . Instrument quadratique et éclairé. Tube cathodique incorporé. Transistors au silicium. Circuits imprimés embrochés.

— Un *psophomètre* destiné à la mesure absolue du niveau de bruit de fond pour deux domaines d'utilisation différents : Radiodiffusion, type EVB 40R ou RS, Téléphonie, type EVB 40T ou TS.

Caractéristiques principales : sensibilité : -105 dB à +15 dB ; Entrée : transformateur symétrique ; affaiblisseurs par bonds de 10 et 1 dB ; filtres interchangeables ; très faible bruit de fond propre ; transistors au Silicium ; version spéciale RS ou TS à préamplificateur de 20 dB incorporé.



LEA — psophomètre EVB 40 RS

• LEMOUZY, présente différents appareils nouveaux, dont les suivants :

— Un *transistormètre* (continu) de précision à circuit tripôle et à consommation nulle, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Très haute résistance d'entrée, de l'ordre de $10^{14}\Omega$ en fonction V, permettant d'opérer des mesures aux bornes de circuits de résistance interne voisine de $10^{12}\Omega$. Résistance apparente d'entrée nulle en fonction I (jusqu'à 1 mA) ne perturbant pas le circuit. Haute sensibilité permettant des mesures jusqu'à 10^{-11} A. Faible résistance d'entrée du système, comprise entre 0,15 Ω pour 1A et 15 Ω pour 10mA, donnant accès à une consommation minimale. Mesures statiques ou dynamiques des divers paramètres de transistors PNP et NPN : V_{source} , V_{E-B} , V_{E-C} , E_{B-C} , I_C , I_{C-E-O} , I_{C-B-O} , I_{C-S} . Gain β en fonction de la tension appliquée, de la polarisation et des charges E_{B-C} . Possibilité de comparaison et d'appariage rapide de deux transistors grâce à la présence de deux supports à verrouillage instantané et d'un inverseur.

Calibre V : 0,15, 0,3, 1, 3, 10 et 30 V. Calibres I : 10^{-9} à 1 A pleine échelle. Polarisation réglable : 1 μ A à 4 mA. Source réglable incorporée : 0 à 30 V, 0 à 1 A. Protection électronique jusqu'à 1 A. Galvanomètre de 137 mm : classe 1 avec miroir. Alimentation, secteur : 115-220 V ; 50 VA. Dimensions : 400 $\times$ 250 $\times$ 220 ; poids : 15 kg.

— Un *transistormètre* (continu) de précision à circuit tripôle et consommation nulle de caractéristiques analogues, dont les suivantes :

Calibre V : 0,1, 1, 10, 150 V ; Calibres I : 10^{-3} à pleine échelle. Polarisation réglable : 0 à 5 V. Source incorporée : 1, 3, 6, 9, 12 et 18 V. Dimensions : 400 $\times$ 250 $\times$ 200 ; poids : 7 kg.

— Un *ultra-mégohmmètre* 0,5 M Ω à $10^{17}\Omega$, type UM17, permettant la mesure de résistances, résistivités, isolants, isollements capacitifs, courants de fuite.

Sensibilités : $10^{13}\Omega$ sous 1 V, $10^{14}\Omega$ sous 10 V, $10^{15}\Omega$ sous 100 V au centre de l'échelle, et $10^{17}\Omega$ en fin d'échelle. Tensions

de mesure : 1, 10, 50, 100, 250 et 500 V (1 à 5 kV extérieurs) Galvanomètre de 165, classe 1 à deux échelles : M Ω et μ A. Précision : 2 % jusqu'à $10^{12}\Omega$, 3 % à $10^{14}\Omega$, 3 à 10 % à $10^{15}\Omega$.

Particularités : exempt de constante de temps et de fluctuation d'aiguille sur isollements capacitifs, mesure à distance par câble blindé, possibilité de mesure avec un pôle de l'isolement à la terre ou par perte de charge.

Alimentation secteur : réglée : 115-240 V, et pile 1 V-500 V (durée 12 mois), Appareil robuste, de manipulation aisée, insensible aux surcharges.

Dimensions : 400 $\times$ 300 $\times$ 300 ; poids : 17 kg.

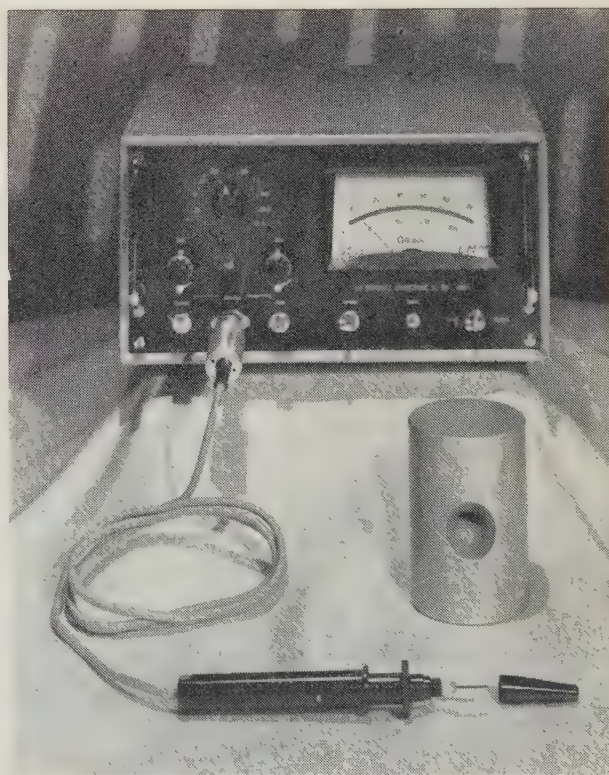
— Un *amplificateur d'intensité* pico-ampéremètre PA15, permettant la mesure de courants faibles sur circuits à résistance élevée 1 000 Ω à $10^{12}\Omega$ selon le calibre.

Particularités : résistance d'entrée nulle ; exempt de constante de temps sur circuits capacitifs ou lors de mesure à distance par câble blindé. Sensibilité appréciable : 10^{-15} A par division ; Gain en intensité : 10^9 (à 10^{-12} A). Galvanomètre de 165, classe 0,5 à échelle linéaire ; Alimentation : 115-240 V, 50 Hz, stabilisée. Dimensions : 400 $\times$ 250 $\times$ 200 ; poids : 16 kg.

Cet appareil est d'une robustesse à l'épreuve de toutes surcharges.

• LMM (LE MATÉRIEL MAGNÉTIQUE) présente deux types de gaussmètre à effet Hall :

— Un *Gaussmètre* GL50-400 permettant la mesure des champs magnétiques par lecture directe en 10 gammes de mesure. Les caractéristiques principales de ce modèle de grande sensibilité donnant accès aux mesures de champs continus et alternatifs sont les suivantes :



Le Matériel Magnétique — gaussmètre GL 50-400

Gammes de mesure : 0-1 ; 0-10 ; 0-100 ; 0-1 000 ; 0-10 000 G ; 0-3 ; 0-30 ; 0-300 ; 0-3 000 ; 0-30 000 G.

Précision : 1 %, de 0-10 000 G ; 1,5 %, de 10 000-30 000 G, avec courbe d'étalonnage.

Alimentation : 127-220 V, 50 Hz, stabilisation interne. Dimensions : 300 $\times$ 310 $\times$ 170 mm ; poids : 8 kg.

Ce modèle peut être utilisé sans aimant étalon pour les mesures courantes et équipé d'un dispositif de mesures de gradients

de champs. Une gamme complète d'aimants étalons est recommandée pour les mesures très précises (100-20 000 G pour sondes transversales, 100-1 000 G pour sondes axiales).

— Un *gaussmètre portatif GP 100* du type « contrôleur universel » fonctionnant sur pile ou secteur. Gammas de mesure : 0-5 000, 0-10 000, 0-20 000, 0-30 000 G. Précision : $\pm 2\%$ de 0-10 000 G. $\pm 3\%$ de 10 000-30 000 G avec courbe d'étalonnage.

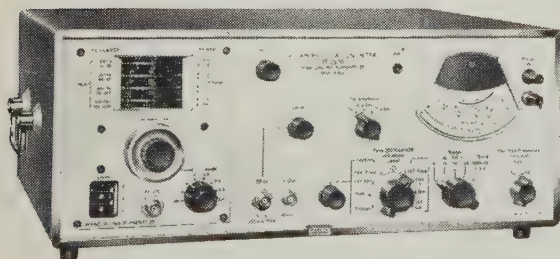
Tarage : déterminé par l'affichage d'une valeur de 5 000 G correspondant au champ magnétique de l'aimant étalon livré avec l'appareil. Courant de commande : affichage sur le voltmètre de mesure. Alimentation : deux possibilités : secteur et piles, secteur et accus cadmium-nickel.

Dimensions : 145×155×225. Poids : 5 kg avec piles, porte sonde et aimant étalon.

Cet appareil peut être fourni équipé d'une prise permettant la mesure oscillographique des champs alternatifs d'une fréquence inférieure à 100 Hz.

● MARCONI INSTRUMENTS expose pour la première fois à Paris : le nouveau *millivoltmètre électronique HF type TF 2603*, entièrement transistorisé, permettant d'effectuer des mesures de tensions de 300 μ V à 3 V dans la gamme des fréquences de 50 kHz à 1 500 MHz.

La sonde de mesure n'a que 12,7 mm de diamètre et 95 mm de long. Elle contient une paire de diodes au germanium à reconversion rapide, fonctionnant en double alternance ; la réponse est proche de la valeur efficace réelle pour des tensions d'entrée inférieures à 30 mV et des valeurs de crête à crête dans la région de 0,5 à 3 V. Le montage en double alternance minimise les erreurs dans les mesures de tensions de signal dont la forme d'onde est complexe.



Marconi Instruments — Modulomètre FM/AM, type TF 2300

— Le *modulomètre FM/AM, type TF 2300* entièrement transistorisé, conçu pour procurer la plus large gamme possible de dispositifs de mesures. Gamme des fréquences porteuses : 4 à 1 000 MHz. Quatre échelles d'excursion de 5 à 150 kHz sont prévues, l'échelle de modulation de fréquence allant de 30 Hz à 15 kHz. Cette dernière peut être limitée à 15 kHz par une commande du tableau pour les mesures en basse fréquence. Deux gammes de mesure de profondeur de modulation d'amplitude sont prévues, de 0-30 % et de 0-100 % pour des fréquences fondamentales de 30 Hz à 15 kHz. L'échelle de modulation de fréquence atteint 50 kHz pour les mesures de distorsion.

On dispose d'une sortie de signal démodulé au niveau de 1 mW à 600 Ω pour la déviation totale du modulomètre, pour les signaux FM et AM. Un filtre de désaccentuation étalonné à 50 μ s ou 75 μ s peut être branché sur le circuit de sortie du signal démodulé pour la mesure d'émetteurs à pré-accentuation.

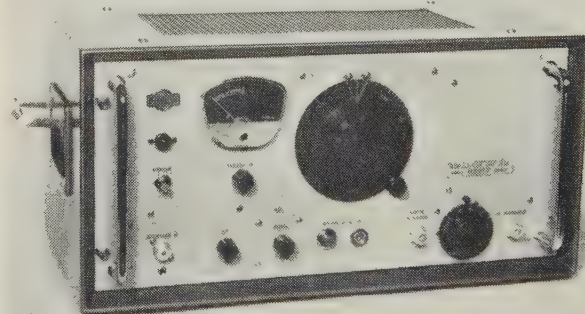
L'oscillateur local offre la possibilité de piloter la fréquence par un quartz afin d'éliminer le bruit de l'oscillateur local et de permettre l'essai rapide en série sur 3 fréquences porteuses préréglées. Cet appareil fonctionne sur tensions secteur normales ou sur une alimentation positive à la masse de 24 V nominaux en continu.

● METRIX, parmi les modèles nouveaux présentés, on peut citer :

— Une *mire universelle multistandard 266 A* : Il s'agit d'une mire électronique bistandard, 625 ou 819 lignes, conçue dans le but de donner aux techniciens la possibilité de vérifier et régler avec précision les récepteurs de télévision de standards européens et français. Ce dispositif délivre des tensions VHF (bandes I à III) et UHF (bandes IV et V) modulées positivement ou négativement suivant le standard de la vidéo fréquence. Les barres horizontales et verticales ajustables en nombres sont obtenues à partir de signaux rectangulaires très stables ; leur temps de montée extrêmement court donne sur l'écran d'un téléviseur l'image d'un quadrillage aux contours nets et aux contrastes prononcés. Ainsi peut être vérifiée la linéarité des balayages vertical et horizontal. Le contrôle de la bande passante est assuré au moyen d'un oscillateur de définition délivrant une tension sinusoïdale variable de façon continue de 3,5-10 MHz. La partie « son » donne à cette mire la possibilité de contrôler les récepteurs TV modulés en AM ou en FM et les récepteurs radio FM par adjonction d'une barrette spéciale.

Cet appareil robuste, transportable (dimensions 407×225×217, poids 11 kg), d'utilisation simple et rapide, est pour l'utilisateur un instrument qui allie souplesse d'emploi et sécurité de fonctionnement.

— Un *wobulateur UHF 241 A* associé à un oscilloscope et à un générateur de marquage, qui constitue un banc traceur de courbe. Il permet de relever la courbe de réponse amplitude fréquence de tous circuits actifs ou passifs travaillant dans la gamme de 470 à 870 MHz. Cet appareil donne ainsi la possibilité de régler les amplificateurs UHF, de relever la courbe globale d'un récepteur TV (bandes IV et V) depuis l'antenne jusqu'à la détection image et de mesurer le taux d'ondes stationnaires des antennes, coaxiaux et autres circuits en utilisant, en supplément, un pont adapté HC×35 A et un amplificateur BF HC×52 A.



Métrix — Wobulateur UHF 241 A

A cet effet, le Wobulateur 241 A délivre à partir d'un oscillateur à ligne de Lecher une tension UHF modulée en fréquence, constamment repérée sur un cadran circulaire gradué en MHz.

La modulation de fréquence est obtenue par un condensateur vibrant dont la suspension est constituée par un parallélépipède en lame de bronze ressort. Ce système a l'avantage de donner un déplacement linéaire, tout en procurant une grande robustesse à l'ensemble.

L'appareil dispose d'une sortie UHF supplémentaire permettant un marquage de la courbe observée. Il peut être livré en plusieurs versions, en fonction de l'impédance de sortie désirée.

Dimensions (en coffret de table) : 518×261×320. Poids 17,5 kg.

— Un *Générateur, AM 919 A* délivrant une tension HF modulée en amplitude de 50 kHz à 50 MHz en sept sous-gammes dont une étalée de 400 à 500 kHz.

Le niveau de sortie réglable de 100 mV à 1 μ V est régulé, ce qui évite de retoucher la commande de niveau en fonction de la valeur de la fréquence et permet le tracé rapide et sûr d'une courbe de réponse.



Métrix — Générateur AM 919 A

Tension de sortie : réglable progressivement de 1 μ V à 0,1 V sur charge de 75 Ω . Précision de la tension maximale : $\pm 10\%$. Alimentation : 115, 127, 160, 220, 250 V, 50 Hz. Consommation : 60 VA. Dimensions (en coffret de table) : 495 $\times$ 250 $\times$ 310. Poids (en coffret de table) : 17,5 kg.

• MUIRHEAD (JACQUES PÉRÉS FILS) présente, en particulier, les fabrications nouvelles suivantes :

— *L'analyseur K 134 A*. Cet appareil est un instrument portatif capable d'analyser la plupart des vibrations, bruits et formes d'ondes électriques dans la gamme des fréquences comprises entre 3 Hz et 31,6 kHz. Il se prête idéalement aux analyses « à pied d'œuvre » car il renferme des piles internes interchangeables susceptibles d'être employées lorsqu'on ne dispose pas d'une alimentation secteur.

— *Le comparateur de fréquences K 146 A*, permettant de vérifier les fréquences d'oscillateur avec une précision de $\pm 0,005\%$ en comparant sans interruption une fréquence de cristal interne à la fréquence d'oscillateur. Le comparateur permet d'utiliser comme source de fréquence précise n'importe quel oscillateur ayant une stabilité de fréquence raisonnable, et il est surtout utile lorsqu'on s'en sert avec un oscillateur à décades d'une haute précision différentielle.

— *L'Oscillateur à décades K 126 A*, entièrement transistorisé, dont la gamme des fréquences est comprise entre 1 Hz et 222 kHz. La précision en est de $\pm 0,2\%$ ou $\pm 0,1$ Hz (la valeur la plus élevée étant retenue) sur la gamme de 1 Hz à 11,11 kHz et de $\pm 0,4\%$ de 10 kHz à 222 kHz.

Les modèles *K 126 A* et *K 146 A* peuvent former un ensemble unique monté sur bâti.

• NORMA (PROMESUR) parmi les instruments de précision exposés, l'on peut citer plus particulièrement les *normamètres* de la série 685, lesquels sont des multicontrôleurs à cadre mobile, à suspension par bande tendue et aiguille en verre.

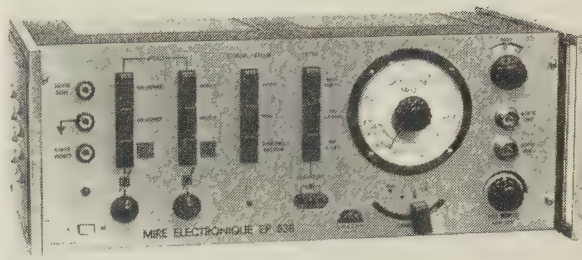
Les différentes versions de normamètres sont les suivantes : Type 685 S : pour les courants forts ; type 685 E : pour l'électronique ; type 685 T : pour les transistors.

Les mesures auxquelles les normamètres donnent accès sont des mesures d'intensités continues, alternatives, tensions continues, alternatives, de fréquences, de résistances, et de capacités.

• OPELEC UNAOHM, on peut citer, parmi les appareils nouveaux exposés :

— Une *mire électronique* entièrement transistorisée type EP 638, appareil universel permettant le réglage TV en UHF et VHF sur tous les canaux français et étrangers et celui des récepteurs radio FM.

— Un *wobulateur marqueur VHF-UHF* type EP 681, permettant d'effectuer toutes les opérations d'alignement et de mise au point des téléviseurs et des récepteurs FM. Cet appareil couvre toute la bande de fréquences VHF et UHF utilisée pour la télévision : 4 à 230 MHz et 440 à 880 MHz. Ces plages de fréquence sont obtenues par le battement de deux oscillateurs dont l'un est à fréquence fixe et l'autre à fréquence réglable.



Opélec — Mire électronique EP 638

L'oscillateur à fréquence fixe est modulé en fréquence avec une déviation de 30 MHz au moyen d'un inducteur à perméabilité variable. La tension de sortie est réglable par l'intermédiaire d'un atténuateur résistif à impédance constante de 75 Ω . Le marqueur est constitué d'un oscillateur de haute stabilité dont la fréquence peut être variable dans la gamme de 4 à 230 MHz. L'oscillateur peut être modulé par un autre oscillateur ayant une fréquence de 11,15 MHz stabilisée par un quartz. Les pips marqueurs viennent se superposer en BF sur la courbe en examen. Avec ce système, on obtient des « pips » bien visibles, dont l'amplitude est indépendante de la position de la courbe.

• P.A.R. (PRINCETON APPLIED RESEARCH) présente deux appareils nouveaux :

— Un *extracteur de forme d'onde type TDH 9*, qui utilise la technique très efficace de détermination d'un signal moyen tout en offrant les vitesses de balayage les plus rapides que l'on puisse obtenir dans un équipement de traitement d'information de ce type.

Des balayages d'une durée de 100 μ s avec résolution, d'1 μ s sont possibles. L'extracteur de forme d'onde peut être utilisé pour une très grande variété de mesures et d'études telles que : cardiologie, séismologie, océanographie, spectroscopie, étude de vibrations.

— Un *Intégrateur type CW 1*, destiné à récupérer soit des signaux répétitifs complets, soit des portions différentielles de signaux noyés dans un bruit de fond. La moyenne de la portion échantillonnée du signal d'entrée est réalisée par une intégration et peut être enregistrée. La valeur moyenne du bruit de fond s'approche donc asymptotiquement de la valeur moyenne de cette portion du signal avec une suppression égale du bruit de fond correspondant. Le modèle *CW 1* peut être utilisé pour une très large variété d'applications telles que : résonances nucléaires pulsées, lasers, expériences biologiques etc. Cet appareil est très précieux pour toutes applications où le bruit de fond empêche la récupération d'un signal répétitif.

• PHILIPS INDUSTRIE expose une production très diversifiée, dont les éléments nouveaux suivants méritent une attention particulière :

— Les *Oscilloscopes PM 3238* : TBF double faisceau, entrées différentielles 50 V/cm ; *PM 3330* : 70 MHz à tiroirs ; tiroirs à gain élevé ; tiroir double trace ; base de temps retardée. *PM 3410* : double trace 1 000 MHz à échantillonnage ; tiroir *PM 3419 A* double trace « SAMPLING » ; tiroir *PM 3419 B* base de temps « SAMPLING ». *PM 3220* : oscilloscope 10 MHz pour besoins généraux de laboratoire et d'atelier, écran $\phi 13$, sensibilité continue à 10 MHz : 10 mV/cm et 1 mV/cm en bande réduite.

— *Millivoltmètres et Contrôleurs électroniques* : Millivoltmètre *PM 2430* à alimentation autonome, tensions continues, 1 mV à 300 V ; tensions alternatives jusqu'à 800 MHz avec sonde *PM 9200* ; entrées flottantes. Millivoltmètre *PM 2451* vidéo fréquence à alimentation universelle batteries/secteur, 10 Hz à 7 MHz, entrée flottante. Contrôleur universel *PM 2401* à alimentation autonome ; échelles communes alternatif et continu ; tensions 100 mV à 700 V (30 kV avec sonde THT) ; courant 10 nA à 10 A, résistance 0,5 Ω à 50 M Ω , entrées flottantes

— **Voltmètres digitaux PM 2433** : sensibilité 100 V; 4 digits; procédé échantillonnage; dispositif à mémoire diminuant la fatigue visuelle; stabilité 0,1 % pendant 1 000 h.

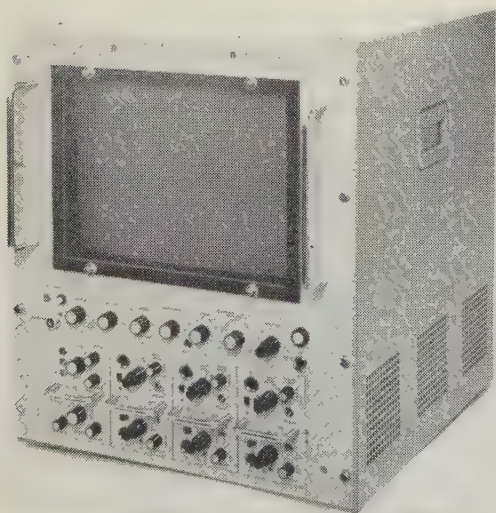
— **Générateur BF PM 5101** : alimentation autonome; signaux rectangulaires et sinusoidaux 1 Hz à 100 kHz; générateur BF de précision **PM 5140** : 20 Hz à 200 kHz; signaux sinusoidaux et rectangulaires; sorties 1 V, 1000 Ω , 10 V, 600 Ω symétrique et asymétrique.

● **POLARAD ELECTRONIC INSTRUMENTS** présente deux types d'analyseurs de spectre :

Analyseur de spectre Modèles 2936 et 2936 A : gamme de fréquences 10 Hz à 40 MHz.

Analyseurs de spectre Modèle 2992 A : gamme de fréquences 10 MHz à 91 GHz; appareil dont la stabilité est obtenue par l'utilisation de techniques de blocage de phase, et dont le calibrage permet la représentation linéaire ou logarithmique des impulsions.

● **PRANA** expose plusieurs appareils nouveaux dont un **oscilloscope BF** grand écran multitracés à modulation de brillance, **type SGM 43**, qui permet d'afficher simultanément sur un écran de 22, 43 ou 53 cm plusieurs signaux électriques dont la fréquence est comprise entre 0 et 10 kHz. Une base de temps interne déplace horizontalement le faisceau électronique d'un tube à déviation magnétique (axe des x) tandis qu'un système particulier de balayage est utilisé pour obtenir l'affichage simultané de plusieurs signaux (axe des y).



Prana — Oscilloscope BF, type SGM 43

● **PRÉCILEC** : présente un assez grand nombre d'appareils dont les appareils de mesure suivants :

Un **déphaseur de précision type OM 21** transistorisé, délivrant un signal alternatif constant dont on peut ajuster le déphasage avec une précision de 15' sur 360° sans discontinuité. Gamme de fréquence : 50 à 15 000 Hz.

Un **voltmètre discriminateur type OM 20** transistorisé, destiné aux applications suivantes : Mesure des valeurs d'une tension alternative comprise entre 300 μ V (déviations totales) et 315 V; précision : 1 % + 20 μ V; gamme de fréquence : 50 Hz à 15 kHz. Fonctionnement en discriminateur : mesures des tensions totales, fondamentales, en phases, en quadrature. Fonctionnement sélectif : taux d'harmonique de 1 000 % sans effet sur la mesure. Déphaseur : référence de phase réglable sans discontinuité sur 300°.

● **RADIOPHON** représente en France plusieurs sociétés américaines fabriquant des appareils de mesure, parmi lesquelles :

● **ESTERLINE ANGUS** présente pour la première fois en France des **enregistreurs potentiométriques** :

Type E 1101 S très rapide : monovoie; sensibilités : 1 mV à 100 V pour la pleine échelle subdivisée en 11 gammes. Temps de réponse : 0,2 s pour la pleine échelle. Précision : 0,4 % sur toutes les gammes.

Type E 1102 S ultra-rapide : 2 voies; sensibilités : 1 mV à 100 V pour la pleine échelle subdivisée en 11 calibres intermédiaires. Précision : 0,5 % sur toutes les gammes. Temps de réponse : 1/8^e de s pour la pleine échelle. Affaiblissement 1 % à 4 Hz.

Type E 1101 E : monovoie; sensibilité depuis 1 mV. Précision : 0,25 % de la gamme. Temps de réponse : 0,5, 1, 4 ou 20 s. Appareil transistorisé.

Type E 1102 E : double voie avec recouvrement des traces. Sensibilité : depuis 1 mV. Précision : 0,25 % de la gamme. Temps de réponse : 0,5, 1, 4 ou 20 s. Appareil transistorisé.

Type 1124 E, multivoie 2, 4, 6, 8, 10, 12 ou 24 directions. Sensibilité : depuis 1 mV. Précision : 0,25 % de la gamme. Temps de réponse : 1,4 ou 20 s. Appareil transistorisé.

Type S 601 S ultra-rapide monovoie. Sensibilité 1 mV à 100 V pour la pleine échelle subdivisée en 11 calibres intermédiaires. Temps de réponse : 1/8^e de s; précision : 0,5 % pour la pleine échelle sur toutes les gammes. Appareil transistorisé.

— Un **enregistreur galvanométrique de température, type A 601 C**, monovoie; précision 1%. Temps de réponse : 0,5 ms pour la pleine échelle. Vitesse de déroulement du papier par moteur synchrone ou système d'horlogerie. Cet appareil peut être équipé de différentes gammes de températures avec sondes médicales plastiques, à air, etc.

— Un **enregistreur oscillographique type 0293** : 3 voies, enregistrement simultané, réponse en fréquence du continu à 125 Hz à 3 dB. Sensibilités : 5 mV à 5 V par division en 10 calibres. Amplitude du signal : 30 mm maximum.

— Un **enregistreur d'événements, type A 620 X** : 2 à 20 pistes; enregistrement par encre ou papier métallisé. Temps de réponse des électro-aimants : 10 ms. Alimentation 2 à 250 V en courant continu ou alternatif. Déroulement du papier par moteur synchrone ou système d'horlogerie, vitesses multiples.

● **GENERAL RADIO COMPANY** présente de nombreux appareils nouveaux dont les suivants :

— Un **Pont automatique** pour la mesure des capacités, **type 1680 A** permettant l'affichage visuel de la grandeur et de l'angle de perte en chiffre lumineux ainsi que celui de la virgule et celui de l'unité choisie. Il suffit de placer la capacité sur le pont d'où un gain de temps considérable et une grande facilité pour les mesures de séries. Les résultats sont présentés sous forme de signaux enregistrables sur machine imprimante.

— Une **horloge transistorisée à affichage numérique type 1123 A** destinée à l'étalonnage des sources de fréquence et de temps. Cet appareil indique l'heure précise par affichage numérique et sous forme de signaux BCD 1, 2, 4, 2, et délivre des tops à 100, 10, 1 kHz ainsi qu'à 100, 10, 1 et 0,1 Hz. Il permet de faire des comparaisons de temps entre des sources de fréquences étalons et les transmissions de signaux horaires avec une précision de ± 20 ns.

— Un **fréquence-mètre à affichage numérique type 1153 A**, transistorisé, dont la fréquence maximale de comptage est de 10 MHz.

— Un **traceur automatique de TOS, type 1640 A**. Les ondes stationnaires qui prennent naissance dans la ligne coaxiale de précision 900 LB fermée sur une impédance inconnue sont tracées sur papier à l'aide du nouvel enregistreur **1521 SL**. La gamme des TOS mesurables varie de façon continue entre 1,008 et 1,20 pour la pleine échelle. Si l'on s'intéresse également au déphasage introduit par l'élément à mesurer, on peut connaître avec précision les positions des minima ou des maxima par rapport au plan de référence de la ligne. Gamme de fréquence utilisable : 300 MHz à 9 GHz. La précision obtenue est 10 fois supérieure à celles que l'on obtenait jusqu'alors.

● **KEITHLEY INSTRUMENTS** présente pour la première fois en France :

— Un **nanovoltmètre détecteur de zéro type 147** dont les caractéristiques principales sont les suivantes : sensibilités : 30 nV à 100 mV (pleine échelle) en 16 gammes; très faible temps

de réponse ; insensibilité aux surcharges ; alimentation autonome par accumulateur cadmium-nickel.

— Un *électromètre potentiométrique* de très haute précision *type 630* de précision (0,01 %) dont la gamme de mesure est de 30 μ V à 500 V.

— Un *voltmètre potentiométrique* continu alternatif de très haute précision, *type 661*. Précision en continu : 0,01 %. Précision en alternatif : 0,05 %. Gamme de mesure : 10 μ V, 500 V. Bande passante : 10 Hz, 80 kHz.

— Un *microvoltmètre-picoampèremètre type 153* de caractéristiques : en voltmètre : sensibilité 5 μ V à 100 V (pleine échelle) ; Précision : 1 à 3 % ; en ampèremètre : gammes 510⁻¹² à 0,1 A (pleine échelle).

● FAIRCHILD INSTRUMENTATION présente de nombreux appareils nouveaux dont les suivants :

— *Oscilloscopes* : *type 766 HF*. Oscilloscope transistorisé permettant toutes les utilisations de 0 à 110 MHz par l'intermédiaire de ses 23 tiroirs interchangeables en X comme en Y. *Type 777* : Oscilloscope transistorisé, bi-faisceau, 0 à 100 MHz, 23 tiroirs interchangeables. *Type 708 A BF* : Oscilloscope bi-faisceau à très forte sensibilité : 10 μ V/cm. *Type 737 A* : Indicateur grand écran X, Y, Z, avec tube cathodique à déflexion électrostatique.

— *Bétamètre HF type 75 15 S* : appareil entièrement transistorisé, qui donne accès soit à la mesure en valeur numérique, soit au contrôle automatique par classification du paramètre HFE. Gamme de fréquence : 30 MHz à 150 MHz ; HFE : 0 à 39,5 dB.

Décision automatique « GO/NO GO » : prédétermination automatique par commutateur numérique.

— *Équipement pour mesure de circuits intégrés, type 400* permettant d'effectuer des tests sur des circuits intégrés en boîtier plat, boîtiers TO5 et TO 18. Les résultats sont affichés sur voltmètre numérique *type 7 100*, sur oscilloscope, ou sur dispositif « GO/NO GO ».

— *Équipement pour mesure et contrôle automatiques de circuits intégrés, type 4 000 M* : ce dispositif, compatible avec tous les circuits intégrés existants est nanti d'une programmation par disque magnétique (720 tests en mémoire). L'affichage des mesures est à lecture numérique, avec décision automatique « GO/NO GO ». Il est possible d'effectuer 60 tests par seconde et 20 tests par séquence. La collecte et le traitement de l'information sont réalisés sur machine imprimante IBM 735 ou 026 ou 526 ou sur machines imprimantes INVAC, TALLY, FRIDEN ou DURA MACHINE.

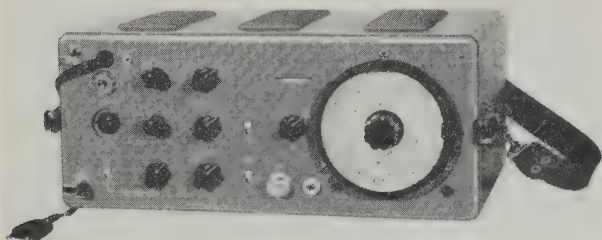
● QUARTZ et SILICE présente une *alimentation* du photomultiplicateur de leur scintibloc, de dimensions réduites.

Cette alimentation complète les avantages apportés par le faible encombrement des scintiblocs.

Elle comprend essentiellement, un convertisseur de tension fonctionnant à 3,5 kHz, stabilisé par un tube à effet corona, utilisé comme référence de tension.

La stabilité est de $\pm 2.10^{-4}$ pour des variations de température de 0 à 50 °C.

● RADIO CONTRÔLE expose un nouveau *mesureur transistorisé type MET* sur pile 9 V. Il fonctionne en mégohmmètre de 0 à 50 M Ω sous 500 V et en ohmmètre de 0 à 50 V.

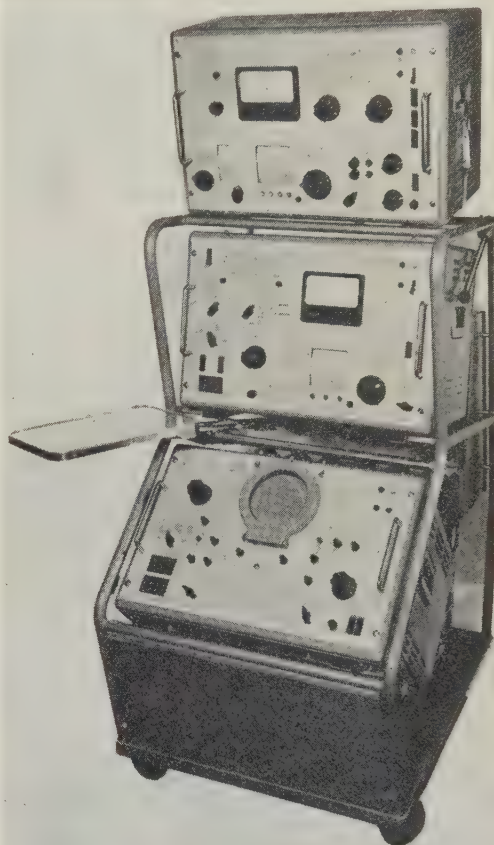


Radio Contrôle — Mire portable, type MP5

Au même stand, nous avons remarqué la *mire portable MP 5* qui est bistandard. Le nombre de barres horizontales, ou verticales, est variable. Elle permet le quadrillage et l'écran blanc avec impulsions de synchronisation de ligne et d'image.

Le bloc HF produit 2 gammes U.H.F. harmoniques 3 et 4 de la gamme 150-230 MHz, le niveau de sortie moyen est de 0,2 V.

● On peut noter chez R.C.T. une *horloge VLF-OTL* (80 kHz) type « Orphée III » entièrement transistorisée, avec sortie cohérente jusqu'à 1 Hz.



RFT — Banc de mesure type KA 701

● Au stand R.F.T. nous avons remarqué, le *banc de mesure type Ka 701* à wobulation de fréquence pour mesures sur systèmes à 300 voies maximum, il est composé du générateur GV 704, du détecteur MU 211, du traceur BU 401.

Cet ensemble opère entre 0,25 et 1 500 kHz selon le système CCITT avec niveau de -95 à +33 dB pour le générateur et de -115 à +31 dB pour le détecteur.

● Parmi les nouvelles fabrications de ROCHAR ÉLECTRONIQUE, citons le *multimètre numérique 5 digits A.1 466* intégralement équipé de transistors silicium.

— définition : 20 000 points par gamme.

— cadence de mesure automatique 10/s à 1 mesure/10 s ou manuelle.

— précision : $\pm 3.10^{-4}$ ± 1 digit.

Il peut être associé avec les tiroirs fonctionnels suivants :

— voltmètre continu A 1 477 en 4 gammes, d'impédance d'entrée 10 M Ω .

— voltmètre continu-alternatif A 1 479 en 4 gammes d'impédance d'entrée, 10 M Ω en continu, 1 M Ω en alternatif.

— ohmmètre A 1 480 en 6 gammes de 200 Ω à 20 M Ω .

● Au stand RHODE et SCHWARZ, nous avons noté, en tant que nouveautés :

— Le *Vidéoskop type SWOF*. C'est un appareil automatisé pour l'affichage et la mesure de la réponse des quadripôles. En combinaison avec un adaptateur de bande latérale, il se prête à l'affichage de la bande latérale, et l'analyse spectrale jusqu'à 800 MHz.

Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

— gamme de fréquence : 20 kHz — 20 MHz
— balayage linéaire dans le temps, commandé automatiquement.

— temps de montée 50 ms à 5 s

— rapport temps de montée/temps de descente 4/1 environ

— tension d'entrée de 30 mV à 30 V.

— Le *réflectomètre à lecture directe type : ZRZ*, entièrement transistorisé.

Cet appareil permet la lecture directe du coefficient de réflexion de 0,5 % à 100 %. La lecture est divisée en 4 gammes.

On peut observer à l'aide de cet appareil les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

— gamme de fréquence : 30 à 1 000 MHz

— impédance de référence 50 Ω ou 60 Ω

— lecture directe du coefficient de réflexion sur échelle linéaire graduée en pourcentage.

— tensions requises pour les mesures et précision pour des coefficients de réflexions compris entre :

30 et 100 % $V_m = 4$ mV précision : 2,3 %

10 et 30 % $V_m = 12$ mV précision : 0,9 %

3 et 10 % $V_m = 40$ mV précision : 0,5 %

0,5 et 3 % $V_m = 120$ mV précision : 0,3 %

Cet appareil permet aussi la mesure de l'atténuation des câbles courts (entre 1 et 10 m).

● Réalisés par ROYAL TYPEWRITER COMPANY (USA) et représentés par B.F.I., les *équipements de perforation* et lecture de bande de la série 700 traitent à raison de 75 caractères par seconde les bandes de papier (ou mylar) de largeur 1", 7/8" ou 11/16" en code 8 ou 6 trous.

La base de temps est réalisée par un volant magnétique délivrant sans contact les impulsions nécessaires.

● SALIES présente un *wobulateur* (type 5 100) qui est actuellement le seul appareil transistorisé prévu à 100 % pour la télévision. Cet appareil peut couvrir les bandes I — III — IV et V.

Il répond au standard français, mais peut être, à la demande, réglé sur d'autres standards.

Sa conception modulaire permet une maintenance aisée et l'extension ultérieure de ses possibilités.

Caractéristiques essentielles :

— largeur de wobulation : VHF de 5 à 20 MHz

UHF de 1 à 60 MHz

— niveau de sortie : 1 V efficace sur 75 Ω en VHF

0,5 V efficace sur 50 Ω en UHF.

— rayonnement inférieur à 50 μ V.

— marqueurs : précision : 10^{-4} , amplitude réglable, les impulsions sont contrôlées par cristal.

● Distribué par SALIES, NARDA MICROWAVE CORP présente trois nouveautés essentielles :

Un *microwattmètre de puissance crête*. Cet appareil permet la mesure précise et directe de la puissance crête indépendamment de la fréquence de récurrence des impulsions. Il est possible d'étendre la gamme de mesure à l'aide de coupleurs ou d'atténuateurs.

— gamme de mesure : 0-10, 0-30, 0-100, 0-300 mW, précision ± 5 % pleine échelle.

— fréquence d'utilisation : 0,5 à 12,4 GHz, suivant la monture utilisée.

— alimentation batterie ou secteur : 110/220 V.

Un *microwattmètre-niveleur*, compensé en température. Cet appareil, à dérive négligeable, peut être utilisé en niveleur, avec des oscillateurs wobulés Narda Microline.

— gamme de mesure : 10, 30, 100, 300 μ W.

— précision : ± 3 % pleine échelle (+20 $^{\circ}$ C à +35 $^{\circ}$ C) à ± 5 % pleine échelle (à + 55 $^{\circ}$ C).

— alimentation secteur 115/230 V.

Un *détecteur de radiations électromagnétiques*. Ce mesureur de champ détermine la densité des signaux électromagnétiques de 450 MHz à 12,4 GHz, quels que soient la polarisation et le type d'émission (entretenue ou pulsée). Il se compose d'une antenne, d'un pont à thermistor et d'une batterie d'alimentation.

— gamme de mesure : 0,5 à 20 mW/cm²

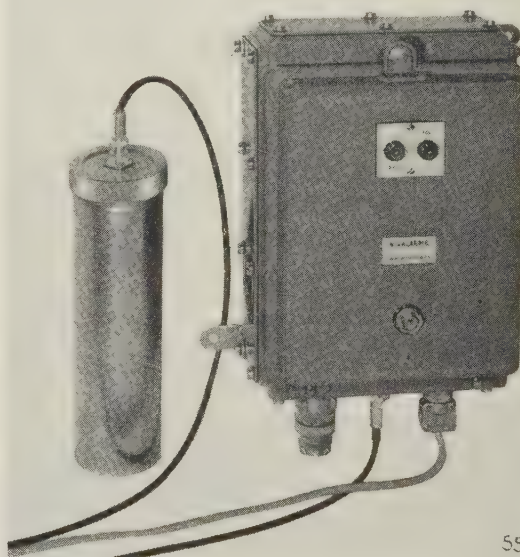
— précision : ± 1 dB (avec courbe)

— limite de sécurité : 10 mW/cm²

— alimentation : batterie cadmium-nickel rechargeable.

● SAPHYMO nous propose :

Le *nivalarme* type DUV-10 16/B pour détection de niveaux inaccessibles, au moyen de rayons gamma. Le cobalt 60 ou le césium 137 contenu dans un container-collimateur constitue l'émetteur. L'appareil a un temps de réponse compris entre 5 et 2/10 s.



552

Saphymo — Nivalarme type DUV 1016 B

Une *alimentation transistorisée* HTT 30 15 pour photomultiplicateur délivrant 15 mA sous 3 000 V, de stabilité $\pm 10^{-5}$ pour ± 10 % secteur, la résistance interne est inférieure à 100 Ω .

Le *nanolyseur* fabriqué par RIDL (USA) accepte des taux de comptage supérieurs à 200 kHz. Ce sélecteur contient une mémoire à film mince de 256 canaux de 24 bits chacun, un convertisseur analogique-numérique à 100 MHz, un discriminateur à temps de résolution de 5 à 10 ns.

● SAPRATIN propose des *enceintes de simulation spatiale* pour composants avec vide de 10^{-2} à 10^{-8} torr et température comprise entre -175 $^{\circ}$ C et 500 $^{\circ}$ C.

● SCHALTBAU (Allemagne fédérale), représenté par TECHNIQUE D'AUTOMATISME propose un *micromoteur* « Patek Philippe » à collecteur d'or nécessitant un courant de démarrage de 60 μ A et produisant un couple de 1,4 g cm pour 5 mA.

● La SOCIÉTÉ D'INSTRUMENTATION SCHLUMBERGER propose :

● Le *matériel d'enregistrement* magnétique LIE-BELIN, modèle T 600 d'une autonomie de 24 h 30 mn, possède 6 vitesses de 2,37 à 152 cm/s, l'enregistreur-lecteur a 4 pistes sur bande 6,35 mm ou 7 pistes sur bande 25,4 mm. La bande passante s'étend de 100 Hz à 200 kHz (dynamique 32 dB) et en modulation de fréquence 0-20 kHz avec une dynamique de 44 dB.

— Le *magnétophone* F 230 bipiste stéréo pour bobine de 270 mm est équipé de transistors silicium.

vitesses : 9,5 : 19 : 38 cm/s : précision $\pm 0,3$ %

pleurage : +2 : $\pm 0,15$: $\pm 0,12$ % :

La bande passante est de 30 à 15 000 Hz pour $+1 - 4$ dB à 19 cm/s.

● Au même stand, SOLARTRON (GB) expose :

— Le *convertisseur analogique numérique* type LP 1 115 capable de 10 000 conversions par seconde avec une précision de 0,1 % dans les gammes $0 \pm 15,99$ V ou $0 \pm 9,99$ V.

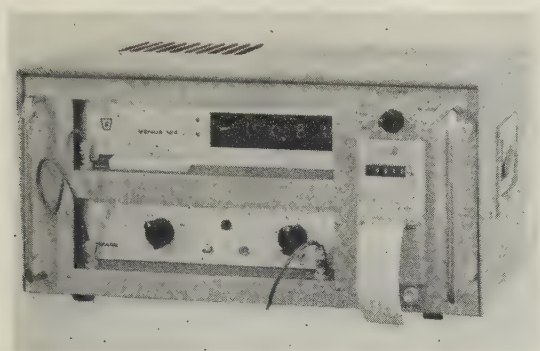
— Le *calculateur analogique d'enseignement* TUTOR II à opération répétitive à vitesse réglable.

L'accès se fait sur 6 amplificateurs opérationnels, dont 4 intégrateurs, les réglages sont effectués sur 8 potentiomètres à 10 tours.

● La Division Professionnelle de SCHNEIDER R.T. présente :

— Ses *voltmètres numériques* VÉNUS 123 et 124 de précision 10^{-3} avec l'adaptateur MARS les complétant de 2 calibres d'amplificateur continu, 4 calibres de mesure de tension efficace, 6 calibres de mesures de résistances.

— Le *multimètre* MERCURE groupe un voltmètre VÉNUS, un adaptateur MARS et une imprimante SODECO.



Schneider RT — Multimètre Mercure

— Le *fréquence-mètre-compteur* SATURNE de 8 digits utilisable jusqu'à 10 MHz avec une précision de 10^{-6} .

● SCHOMANDL, distribué par les Établissements MESUREUR présente un *synthétiseur de fréquence* (type ND30M). Cet appareil entièrement transistorisé fournit, à partir d'un quartz unique, incorporé, à 1 MHz, une fréquence réglable à volonté entre 300 Hz et 31 MHz.

La précision de cette fréquence de sortie est égale à celle du quartz pour toutes les valeurs de fréquence multiples de 10 Hz. Entre ces points, la fréquence de sortie peut être modifiée de façon continue avec une erreur complémentaire pouvant ne pas dépasser 0,1 Hz.

— Stabilité du quartz incorporé : $5 \cdot 10^{-7}$ /°C ou 10^{-8} /°C.
— Niveau de sortie : 0,05 à 1 V.

● S.E.C.R.E. présente une ligne à retard, à magnétostriction, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Retard : $R = 80 \mu s$
Bande passante : 1,2 MHz
Perte d'insertion : 60 dB
Impédance d'entrée adaptable entre 50 et 1 500 Ω
Impédance caractéristique : $Z_c \geq 3 000 \Omega$
Température de fonctionnement de -25 °C à $+55$ °C
Coefficient de température : $5 \cdot 10^{-6}$ /°C

● SERCEL expose les *voltmètres numériques* série 2 400 et 2 450 à 4 digits ainsi que le *digitimètre* 2 560 à 5 digits avec précision de 0,01 %, désormais réalisés avec des composants français.

Le « Diotestor » permet de vérifier les possibilités de blocage et de conduction des transistors et diodes acceptant 10 mA de courant direct et 3 V de tension inverse. Le contrôle des transistors en circuit est possible si la résistance extérieure entre base et émetteur est supérieure à 100 Ω (silicium) ou 600 Ω (germanium), les résistances de charge de collecteur doivent être supérieures à 1 000 Ω . L'appareil fonctionne sur pile 3 V et pèse 165 g.

● Parmi les firmes représentées par SEUROLEC, nous avons retenu :

● chez BOONTON ELECTRONICS :

Un *pont d'inductance et de capacité* type 71 A.

Gamme d'inductance : 0 à 100 μH ; résolution 0,01 μH

Gamme de capacité : 0 à 1 000 pF ; résolution 0,01 pF

Fréquence de mesure : 1 MHz (oscillateur interne à quartz)

Sortie fournissant des tensions continues (0 à 300 mV) proportionnelles à la valeur mesurée et permettant d'alimenter un lecteur numérique ou un appareil de tri-automatique.

Un *pont automatique* pour le tri des résistances. Gamme de résistances de 1 Ω à 100 M Ω . La limite de tolérance est ajustable de 0 à 29,9 % par bond de 0,1 %. Le nombre de résistances essayées peut varier de 1 à 10 par seconde.

Les résultats des essais sont indiqués d'une manière visuelle, et par un signal de sortie pouvant commander un appareil extérieur.

La tension d'essai est variable de 0 à 100 volts.

L'alimentation du pont, en pièces, peut se faire manuellement ou automatiquement.

Certains modèles sont programmables, d'autres permettent le classement automatique des résistances en 10 catégories suivant le pourcentage de tolérance.

● chez CALIBRATION STANDARD :

Une *source de tension continue de précision* type VS 100 BR

Tension de sortie : 0 à 1 111 V à affichage digital

Précision : $\pm 0,005$ % /heure

Régulation : 0,001 %

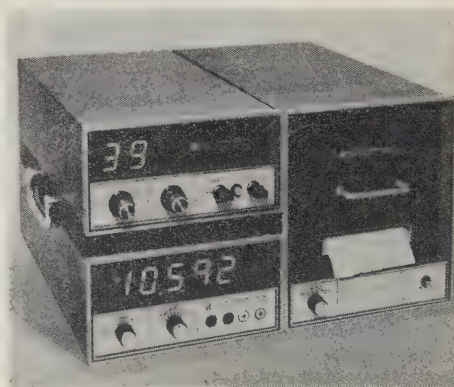
Tension résiduelle : 250 μV

Résolution : $\mu 100$ V

● chez ELECTRO-INSTRUMENTS (USA):

Le *voltmètre numérique* (620-2) à 5 digits effectuant les mesures en 100 ms, avec rejection automatique du bruit du mode commun de 140 dB à 60 Hz.

Cet appareil peut être commandé par un bloc pour test automatique sur 40 voies à raison de 4 mesures par seconde, avec une précision de 0,01 % et résolution de 1 μV . L'imprimante associée exécute 5 lignes par seconde avec la possibilité d'une disposition sur 13 colonnes.



Electro-Instruments — Voltmètre numérique type 620-2

Le *multimètre* 630 fonctionne en voltmètre pour tensions continues jusqu'à 750 V avec 1 μV de résolution en fréquence-mètre jusqu'à 1,2 MHz, en chronomètre pour des périodes comprises entre 0,1 et 10 s.

La technologie de l'appareil est étudiée pour obtenir un accès facile sur tous les circuits et permettre une inclinaison à volonté du bloc-afficheur à tubes numériques à cathodes froides, de grande dimension.

● chez MONROE (USA), deux *imprimantes rapides* à 23 lignes par seconde de 4 à 16 colonnes.

Le modèle MC 10-40 a 15 caractères par colonne.
 Le modèle MC 13-80 a 10 caractères par colonne.
 Les entrées se font en parallèle avec un niveau compris entre 5 et 20 V, pendant 5 μ s minimum.

● chez ROWAN ÉLECTRONICS

Une nouvelle série d'alimentations stabilisées de grande puissance.

Valeurs standards : 2 500 W — 5 000 W — 10 000 W —
 Dans ces gammes de puissance, il existe un grand nombre de combinaisons tension-intensité.

Tensions : de 5 V à 1 000 V.

Intensités : de 10 à 500 A.

La construction est entièrement transistorisée.

Les alimentations de précision régulées en courant et en tension par deux systèmes régulateurs indépendants.

Elles comprennent un circuit compensateur de la chute de tension en ligne pour une alimentation à distance.

Gamme de tensions : 0-20 V, 0-36 V, 0-60 V

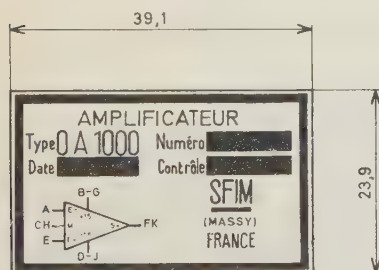
Gamme d'intensités : 0-15 A, 0-30A, 0-100A

Ces alimentations sont programmables, mhogrammables et transistorisées.

Il y a possibilité d'asservissement dans un groupement d'alimentations en série ou en parallèle.

● Au stand SFIM, nous avons remarqué :

— Une série d'amplificateurs opérationnels différentiels adaptables aux circuits imprimés.



SFIM
 Amplificateur
 AO 1010

Parmi eux, notons l'amplificateur OA 1 010 qui se présente sous la forme d'un bloc parallélépipédique de couleur noire. La base comporte 22 logements pour fiches de connexions ELCO espacées de 5,08 mm et repérées par des chiffres et des lettres. Deux réglages accessibles de la base permettent d'ajuster le courant d'entrée d'une part, le réglage différentiel d'autre part. Enfin deux détrempeurs situés à l'emplacement des broches 1 et 7 éliminent tout risque d'erreur de mise en place sur l'embase réceptrice.

Gain de tension minimal 15 000

Résistance d'entrée différentielle $\geq 0,2$ M Ω , etc.

— Un enregistreur magnétique A D 1 000.

D'encombrement et de masse réduite, il a été étudié pour fonctionner à bord de véhicules aussi bien qu'à poste fixe.

Largeur de bande 1/2 pouce

Longueur 1 100 m en support 26 μ

Nombre de pistes (7 ou 9)

Poids 12 kgs.

● A signaler chez SIDER ONDYNE un générateur synchro-mère T V 625 L Modèle 6 423.

Spécialement établi pour les besoins de la recherche et de la fabrication dans l'industrie de la télévision, ce générateur fournit des signaux dont les caractéristiques et la stabilité sont très étudiées.

Adapté à l'étude et à la mise au point des récepteurs de T.V. en couleurs, notamment pour le système SECAM, il permet le réglage des circuits de convergence des trois couleurs primaires et le réglage des circuits de synchronisation du générateur de chrominance.

● Chez SMITHS AVIATION, nous avons remarqué :
 un détecteur d'erreur pour Synchros.

Il est à même d'indiquer les défaillances suivantes :

- Rotor transmetteurs en circuit ouvert,
- Connexion du stator en circuit ouvert,
- Bobinage détecteur en circuit ouvert.
- Défaut d'alignement,
- Panne de courant électrique,
- Défaillance du servo amplificateur,
- Défaillance des éléments mécaniques.

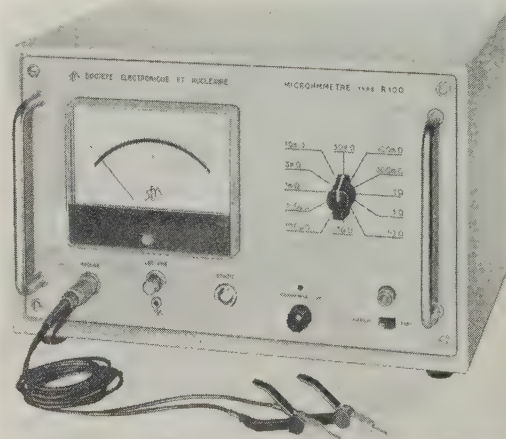
Le détecteur d'erreur fonctionne sur l'alimentation normale du circuit asservi et, comme l'ensemble détecteur amplificateur a un volume total de 38,3 cm³ seulement, il peut être installé sans difficulté dans un emplacement de taille restreinte.

● Au stand de la SOCIÉTÉ ÉLECTRONIQUE & NUCLÉAIRE, nous avons particulièrement remarqué un microhmètre de mesure de laboratoire ou pour contrôles industriels. Il se caractérise par des mesures indépendantes de la résistance des contacts, la stabilité du zéro, une échelle linéaire et un très faible courant de mesure. Enfin, l'appareil Type R 100 est transistorisé.

Précision ± 1 % pleine échelle.

Douze gammes de mesure = 100 $\mu\Omega$ à 30 Ω .

Tensions continues maximales appliquées. = 0,3 mV.

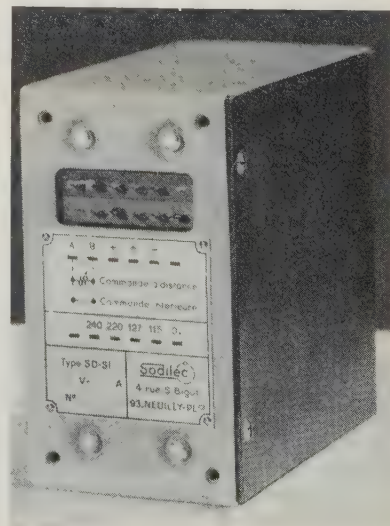


Sté Electronique et Nucléaire — Microhmètre

● SODILEC présente des blocs fonctionnels d'alimentation pour circuits transistorisés et intégrés.

Ce sont des boîtiers très compacts qui assurent une tension de sortie fixe (à choisir de 2 à 30 V suivant modèle) avec des taux de régulation excellents.

Dimensions : H = 12,5 cm, Largeur = 7 cm, Profondeur = 12 cm.



Sodilec
 Bloc d'alimentation

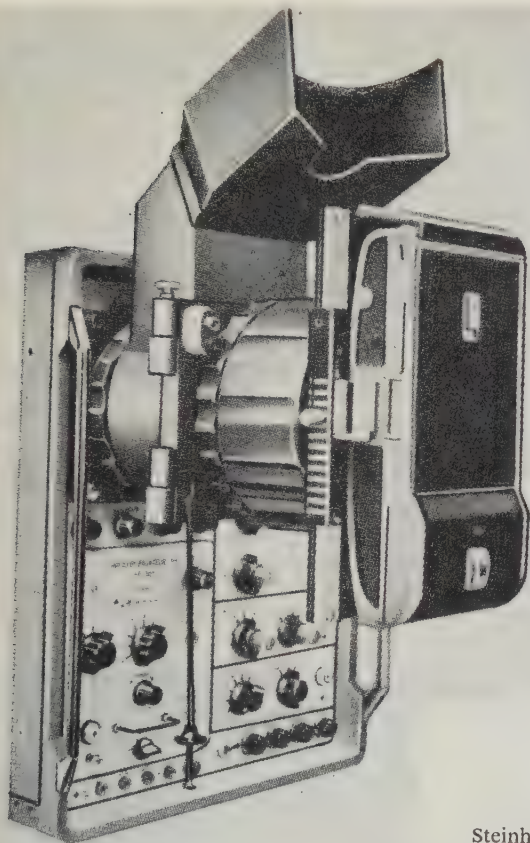
● STEINHEIL OPTIK (Représentés par S.C.O.P.) présentent l'oscillophot M 1 :

Parmi les appareils permettant d'adapter un appareil photo ou cinéma à un oscilloscope, c'est certainement un des plus intéressants par ses qualités techniques et par son prix.

L'oscillophot est constitué d'un corps en deux parties.

— l'une comportant le tube d'observation monoculaire ou binoculaire, se fixe sur l'oscilloscope à l'aide d'une platine variant avec le type et la marque des oscilloscopes utilisés.

— l'autre reliée à la première par une articulation comprend



Steinheil
Oscillophot avec
polaroïd et visée
binoculaire

l'objectif et l'obturateur montés sur une bague amovible, la rampe hélicoïdale pour le réglage de la mise au point, la glissière arrière orientable.

C'est dans cette dernière que s'adaptent :

— dos dépoli pour réglage, châssis pour plaques ou films rigides de format 9×12 cm, châssis polaroïd pour plan films $4 \times 5''$.

— dos pour films 70 mm perforés ou dos Polaroid pour roll films $8 \times 10,5$ cm, ainsi qu'une platine pour adaptation des appareils reflex Exakta-Varex et EXA.

A noter enfin que la Société Steinheil a réalisé une chambre oscillophot N Z qui permet de transformer instantanément et aux moindres frais le dos polaroïd standard en une chambre utilisable pour le reportage industriel.

● Au stand TACUSSEL-SOLEA, en dehors d'une série d'appareils particulièrement adaptés aux différentes exigences de mesures industrielles nous devons signaler trois appareils très intéressants et bon marché :

— Générateur de signaux sinusoïdaux et rectangulaires.

Fréquences 3 Hz à 300 kHz

Tension de sortie 0 à 2 V eff. (signaux sinusoïdaux)

0 à 5 V crête à crête (signaux rectangulaires).

Très faible taux de distorsion ($< 0,1\%$).

— Multimètre électronique à hautes performances.

Mesures des tensions continues 10 pV à 1 000 V

Mesure des courants continus 1 pA à 1 mA

Mesure des résistances : 2Ω à $10^6 M\Omega$

Alimentation autonome par accumulateurs avec chargeur incorporé.



Tacussel
Multimètre
électronique
type VE 90S

— Traceur de courbes pour semiconducteurs.

Il comprend un oscilloscope spécialisé et les circuits d'alimentation nécessaires pour faire apparaître automatiquement sur l'écran du tube cathodique les familles de courbes caractéristiques des composants semi-conducteurs : transistors p - n - p et n - p - n diodes, diodes de Zener, photo cellules, etc.

● TECHNIQUE & PRODUITS

A noter tout d'abord que cette société a fait un gros effort sur les possibilités de dépannage des matériels étrangers qu'elle représente. Par ailleurs, des études ont été entreprises pour étudier systématiquement les causes de panne et en chercher les remèdes possibles.

Dans ces conditions nous pouvons passer en revue quelques réalisations intéressantes.

● chez DATAPULSE :

Un générateur d'impulsions type TE 96 à simple ou double impulsion.

— Fréquence de récurrence : 10 Hz à 3 MHz en 5 gammes (6 MHz en double impulsion)

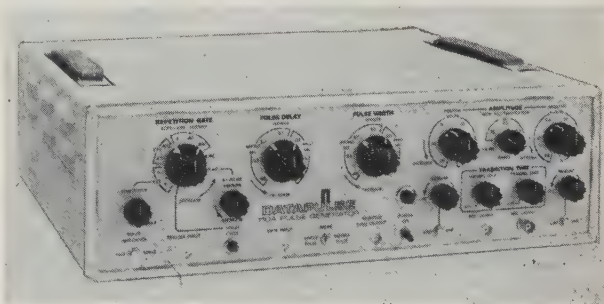
— Largeur des impulsions : 100 ns à 10 ms en 5 gammes

— Amplitude des impulsions : 0 à 25 V sur 50Ω positive ou négative.

— Temps de montée : 10 ns

— Sortie de synchronisation : 1 V sur 50Ω

— Largeur 50 ns



Data Pulse — Générateur d'impulsions, type TE 110

Un *générateur d'impulsions type TE 110* à simple ou double impulsion.

- Fréquence de récurrence : 4 Hz à 40 MHz
- Largeur des impulsions : 10 ns à 5 ms
- Amplitude des impulsions : 0 à 10 V sur 50 Ω positive ou négative
- Temps de montée et de descente : réglables séparément de 5 ns à 0,5 ms
- Sortie de synchronisation : 4 V sur 50 Ω largeur 20 ns.

Des *générateurs de mots* à tiroirs interchangeable de 5 Hz à 5 MHz

Associés à ces générateurs de nombreux tiroirs permettent de modifier le temps de montée, la puissance de sortie, la forme des signaux, les niveaux contenus, le découpage de la porteuse.

● DIGITAL MEASUREMENTS construit un large éventail de commutateurs à bas niveau, de programmeurs, de convertisseurs analogiques-numériques et de dispositifs enregistreurs qui permettent de constituer des systèmes complets d'une très grande souplesse.

Ces ensembles ont des applications de plus en plus nombreuses dans tous les domaines de la mesure, du contrôle, de l'analyse de données, etc.

Parmi le matériel exposé, nous avons remarqué :

Un *voltmètre digital* type DM 2 210 qui utilise dans le domaine des mesures de tensions continues, la technique des étalons diviseurs inductifs.

- 109,999 points de lecture
- Gammes : 0 à 1,100 V en 4 gammes
- Résolution maximale 10 μ V
- Polarité automatique
- Précision 0,001 % de la pleine échelle
- Linéarité : 0,0005 % de la pleine échelle
- Impédance d'entrée : 25 000 M Ω sur les gammes 1 et 11 V, 10 M Ω sur les autres gammes.
- Entrée flottante jusqu'à ± 1 kV crête par rapport à la masse.



Digital Measurements — Voltmètre numérique, type DM 2210

Deux *convertisseurs alternatif-continu*, les types 2 143 pour 1 000 V_{max} moyen et 2 144 pour 1 000 V_{max} efficace.

Caractéristiques de conversion :

L'appareil mesure la valeur moyenne des tensions alternatives d'entrée et affiche, au moyen d'un facteur correctif de 1,1107, la valeur efficace correspondante (cas du convertisseur type 2 144).

Dans le cas où une mesure et un affichage directs de la valeur moyenne sont nécessaires, l'appareil est livré sans ce correcteur (cas du convertisseur type 2 143).

- Gammes : 200 mV à 1 000 V en 4 gammes
- Précision : $\pm 0,025$ % de la pleine échelle, $\pm 0,075$ % de la lecture de 30 Hz à 3 kHz.
- $\pm 0,025$ % de la pleine échelle, $\pm 0,225$ % de la lecture jusqu'à 10 kHz.
- Impédance d'entrée : 10 M Ω sur la gamme 200 mV, 1 M Ω avec 50 pF en parallèle, sur les autres gammes.

Nous avons remarqué encore sur le stand Digital Measurement :

- Un *codeur optique angulaire*. Résolution 2^{13} jusqu'à 45 tours/minute.
- Un *système d'acquisition et d'enregistrement* automatique de l'information.

● au stand de GUIDLINE INSTRUMENTS, cette société expose une série d'appareils de très haute précision et dont la qualité n'est plus aujourd'hui à démontrer.

Nous devons citer :

- une *alimentation courant constant*, stabilité $\pm 1.10^{-6}$ par 24 h.
- un *amplificateur continu*. Dérive 3.10^{-9} V par 24 h.
- des *enceintes thermostatées* $\pm 0,05$ °C entre 20 °C et 40 °C.
- des *potentiomètres à lecture numérique* 0 à 2 V par bond de 1 pV.
- un *pont thermométrique*, — 50 °C à +710 °C par bond de 0,001 °C.

● La société américaine REDCOR CORP. a le grand mérite de voir ses produits fabriqués en France sous licence. Nous pouvons nous pencher sur des *amplificateurs à courant continu* entièrement statiques (différentiels, opérationnels ou potentiométriques), des *convertisseurs analogiques numériques*, des *multiplexeurs*.

Tous ces appareils présentent une grande stabilité, une précision élevée, une haute fiabilité ; ils sont transistorisés et assurent un fonctionnement entre 0 et 50 °C.

En complément, nous ne devons pas oublier les éléments complets de systèmes de numérisation et d'automatisation, compatibles avec des calculateurs et qui permettent la création de centrales de mesure et de contrôle aux performances des plus intéressantes.

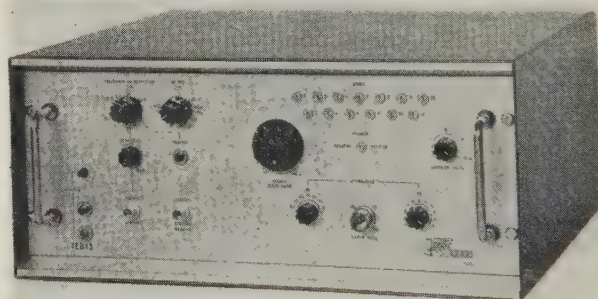
● TEK ELEC présente, entre autres :

- des *générateurs de mots* à temps de montée rapide 0,5 ns (durée 2 ns) TEB-13.

Ces générateurs reposent sur le fonctionnement des transistors en régime d'avalanche, ce qui permet de produire des impulsions très brèves.

Les impulsions à haut niveau déclenchées avec précision par rapport à un signal d'horloge, sont utilisées dans le développement de circuits logiques à temps d'accès très brefs, tant en technique numérique qu'en physique nucléaire.

Ces générateurs permettent également d'effectuer des mesures de temps de vol ainsi que la télémétrie de précision.



TEK ELEC — Générateur de mots, type TEB 13

● TEKTRONIX, représenté par R.T.I. expose la série de ses *oscilloscopes portables* :

- Le 422 qui est un 15 Mc
- Le 453 qui est un 50 Mc

L'un et l'autre de ces appareils sont relativement peu encombrant, pas très lourds (moins de 15 kg) et ont été mécaniquement étudiés de façon à être très solides.

● Les ensembles enregistreurs pour oscilloscope de TELEC sont très réputés et leur qualité est encore améliorée. Il présente :

- Un *enregistreur* type EN 35 pour l'étude approfondie des phénomènes observés sur oscilloscopes. L'utilisation d'une caméra de grande précision permet d'enregistrer sur papier ou sur film donc d'avoir sous les yeux la représentation des mouvements intéressants du spot.

Caractéristiques :

- 8 vitesses, film de 35 mm perforé,
- Dispositif vue par vue,
- Textes d'identification.

— Un *enregistreur* type « PMS 35 »

C'est un enregistreur photographique à déroulement continu d'un prix très raisonnable, reproduisant les déplacements d'un spot sur un film ou un papier sensible d'une largeur standard de 35 mm.

— Un *enregistreur* à six tubes cathodiques particulièrement destiné à l'enregistrement direct et simultané de phénomènes rapides.

Ces phénomènes peuvent être électriques et l'enregistreur est complet en lui-même ; ils peuvent être de toute autre nature et, dans ce cas, l'enregistreur devra être associé à des capteurs et, éventuellement, à des amplificateurs.

L'enregistreur comprend trois parties principales :

- le bloc « tubes cathodiques »
- le bloc « optiques »
- le bloc « déroulement du film »

Une quatrième partie est constituée par les cassettes magasin et réceptrice du film ; elles sont amovibles afin de permettre un chargement aisé en chambre noire.

● **TECNICA ELETTRONICA SYSTEM** (Italie) présente deux appareils transistorisés ($23 \times 13 \times 9$ cm) d'une autonomie de 100 h sur pile 4,5 V, à savoir :

Un *mesureur de champ*, de sensibilité comprise entre $20 \mu\text{V}$ et $10\,000 \mu\text{V}$ et de précision en fréquence meilleure que $\pm 2\%$ dans les bandes I à V.

Un *générateur de barres* produisant 8 à 14 barres verticales et 6 à 11 barres horizontales pour standard 625 lignes dans les bandes I à V.

● Au stand **TELCO**, semblent tout particulièrement intéressants les *enregistreurs rapides à stylets chauffants*. En particulier le modèle E D 86 à huit canaux de 40 mm. Longueur de papier 60 m. Six vitesses à commande électrique ou mécanique.

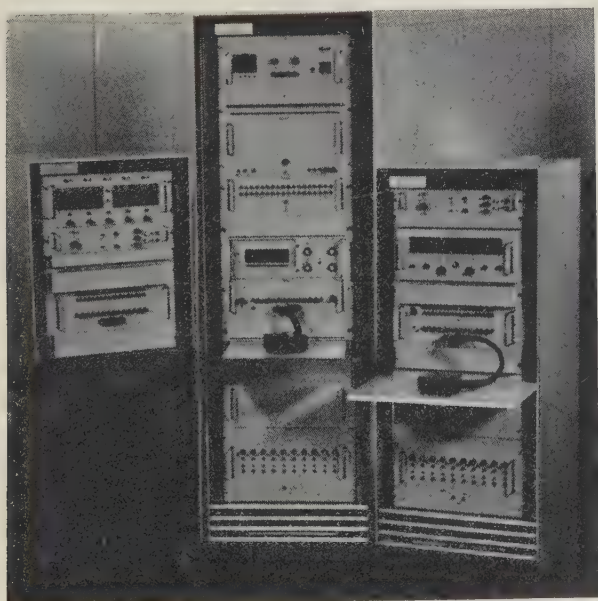
Marqueur de temps et d'événements incorporé.

Possibilité de commande à distance.

Il faut réserver une mention spéciale au *modèle portable* type ED 26 à deux canaux, petit, compact, transistorisé ; il possède également 6 vitesses de déroulement du papier, une bande passante de 0 à 100 MHz avec un affaiblissement de 3 dB.

● **TEXAS INSTRUMENTS** distribué par **TECHMATION** présente :

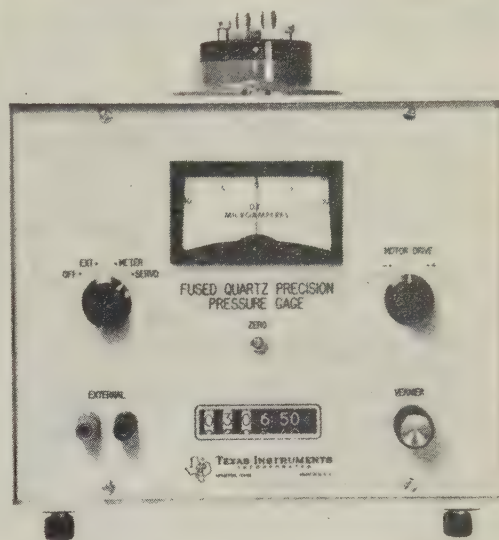
Un *contrôleur de circuits intégrés*. Cet appareil permet d'effectuer rapidement, en courant continu, des séquences de contrôle (par bon ou mauvais) de 36 épreuves sur tous circuits intégrés et modules électroniques comportant 14 connexions.



Texas Instruments — Contrôleur de circuits intégrés

L'appareil est muni de prises « Kelvin ». La rapidité des contrôles permet d'effectuer une séquence de 36 épreuves en moins de deux secondes. Les conditions de polarisation, les limites, les temps d'épreuves, et le classement logique sont réalisés en insérant des « cartes » en circuits imprimés.

Deux ou plusieurs contrôleurs, mis en série, permettent d'effectuer 72 épreuves en une seule séquence.



Texas Instruments — Manomètre de précision à quartz fondu

Un *manomètre de précision à quartz fondu*. Cet appareil s'est révélé parmi les instruments de mesure de pression, comme étant l'un des plus simples, et des plus rapides.

D'une simplicité telle qu'il est maintenant utilisé dans les chaînes de montage. Les utilisateurs peuvent en attendre une précision de 1 à 2/300 000.

La remise au zéro, automatique, s'effectue par des jauges permettant de déceler des variations de pression interne de 1μ .

L'appareil est portable, insensible aux différences de niveau, et aux variations de g.

Une sortie est prévue pour le branchement d'un enregistreur.

● **TINSLEY and Co** distribué par **ANTARES** présente :

Un nouveau *potentiomètre*, le « Stabaumatic » type 5 545, qui a l'avantage de supprimer les limites des potentiomètres continus conventionnels. Il est indépendant de la stabilité de la batterie et son utilisation est immédiate. Sa stabilité est de $3 \cdot 10^{-6}$. Il possède deux gammes de mesure de 0 à 2,11 V, en bond de $0,001 \mu\text{V}$ et de 0 à 211 mV en bond de $0,1 \mu\text{V}$.

Précision de la calibration $\pm 0,001\%$ de la lecture.

Il peut être aussi transformé immédiatement en un pont de mesure de résistance continue jusqu'à $21 \text{ M}\Omega$.

Le *pont de résistance* haute précision type 5577 supprime les erreurs de contact généralement trouvés dans les ponts de « Wheatstone ».

Tous les contacts de commutateurs des décades sont en parallèle, à la place des montages en séries conventionnels afin d'en augmenter la précision.

La gamme totale de mesure est de $0,0001 \Omega$ à $100 \text{ M}\Omega$.

● Parmi les firmes représentées en France par **TRANCHANT**, nous avons remarqué :

● chez **ADVANCE**

Un *voltmètre digital* type *DVM 1* continu et alternatif.

— Caractéristiques en continu :

- 0 à 1 999 V en 4 gammes à sélection manuelle et affichage de polarité automatique.

- Précision $\pm 0,1$ % de la lecture ± 1 digit.
- Impédance d'entrée : 500 M Ω sur la gamme 0 à 1,999 V et 10 M Ω sur les autres gammes.
- Caractéristiques en alternatif :
 - 0 à 1,999 V } 20 Hz à 20 kHz. Précision $\pm 0,2$ %
 - 0 à 19,99 V } de la lecture ± 3 digits.
 - 0 à 199,9 V } 20 Hz à 500 kHz. Précision $\pm 0,2$ %
 - 0 à 999 V } de la lecture ± 3 digits.

Temps de conversion 50 ms.

Réjection de tension commune 100 dB en continu, 90 dB à 50 Hz.

Un millivoltmètre type VM 79 AC/DC

- Mesure en continu :
 - 100 μ V pleine échelle à 3 V pleine échelle en 10 gammes ; précision ± 2 %.
 - Impédance d'entrée : 5 M Ω sur la gamme 3 V ; 2 M Ω sur les autres gammes.
 - 10 nA pleine échelle à 300 μ A pleine échelle en 10 gammes ; précision ± 3 %
 - Impédance d'entrée 200 Ω sur la gamme 300 μ A, 400 Ω sur les autres gammes.
- Mesure en alternatif :
 - 10 mV pleine échelle à 3 V pleine échelle en 6 gammes ; précision ± 3 %
 - Gamme de fréquences 100 kHz à 1 000 MHz
- Mesure en ohmmètre :
 - 1 Ω à 10 M Ω milieu d'échelle en 7 gammes ± 6 %.

Un fréquencesmètre - périodemètre type TC 4, fréquence maximale 5 MHz, Capacité de comptage : 4 chiffres avec position automatique du point kHz, fréquence du pilote : 1 MHz, stabilité $5 \cdot 10^{-6}$.

- Mesure en fréquencesmètre :
 - Temps de comptage : 0,001 - 0,01 - 0,1 et 1 s
 - Sensibilité : 100 mV efficace
- Mesure de la période :
 - 1 ms à 10^4 avec sélection d'impulsions de 1 μ s à 1 s.
 - Nombre de périodes mesurées 1 à 10^5
 - Sensibilité : 100 mV efficace
- Mesure d'intervalle de temps :
 - 1 μ s à 10^4 s
 - Sensibilité : impulsion positive de 2 à 10 V
 - Temps de montée 0,5 à 1,5 μ s

● chez BELL INC (USA)

- Un gaussmètre pour champ alternatif ou essentiellement variable type 350
 - Gamme de fréquence 9 Hz à 30 kHz
 - 10 échelles de 0,1 Gs à 3 000 Gs pleine échelle
 - Filtres passe-haut et passe-bas pour analyse des harmoniques : précision ± 1 %
- Un analyseur de réaction magnétique type 1090, appareil utilisé pour la mesure non destructive et sans contact de l'homogénéité de matériaux magnétiques ou non. Le flux magnétisant y est constant sur toute la gamme de fréquence (20 Hz à 100 kHz) calibrage interne.

● chez DYTRONICS.

- Un standard de phase pour applications métrologiques

- Fréquence d'utilisation : 30 Hz - 10 kHz
- Précision : $\pm 0,02^\circ$ de 30 Hz à 70 Hz
 $\pm 0,015^\circ$ de 70 Hz à 1 000 Hz
 $\pm 0,02^\circ$ de 1 kHz à 2 kHz
 $\pm 0,03^\circ$ de 2 kHz à 4 kHz
 $\pm 0,06^\circ$ de 4 kHz à 10 kHz
- Tension maximale d'entrée, 125 V.
- Impédance d'entrée, 10 M Ω et 30 pF.

— Un filtre passe-haut et passe-bas type 724

Utilisable en filtre passe-bande en choisissant les fréquences du filtre passe-haut et du filtre passe-bas.

- Gamme de fréquences : 1 Hz à 100 kHz
- Atténuation : 2 positions 24 dB par octave ou 48 dB par octave.
- Atténuation en passe-bande : 2 dB pour chaque filtre.
- Tension d'entrée maximale : 200 V crête.
- Impédance d'entrée : 1 M Ω

— Un analyseur de spectre type 717

- Gamme de fréquences : 20 Hz à 200 kHz
- Sélectivité : l'affaiblissement à 3 dB est à 2,7 % du centre de la fréquence.
- Précision de la fréquence centrale : ± 3 %
- Sensibilité : le gain de l'amplificateur est ajustable de 10 dB en 10 dB de -30 dB à +80 dB
- Sensibilité du voltmètre de 1 mV à 300 V.

● Chez HOUSTON INSTRUMENT CORPORATION (USA)

L'enregistreur rapide modèle 6 520 dont la vitesse est de 42 cm/s, la sensibilité est de 1 mV pour toute l'échelle et la précision 0,15 %.

● On peut signaler au stand TRANSFOSTANDARD le convertisseur continu-alternatif CV25 pour batterie 48 V.

La tension de sortie 220 V en 50 Hz ± 1 % est fournie avec distorsion de 5 % et protection contre surcharges et courts-circuits. Le rendement atteint 65 %, la régulation est de ± 1 % pour ± 10 % de tension d'entrée.

● Au stand UNITRON, nous avons noté l'oscilloscope P71 entièrement transistorisé à tiroir interchangeable (20 MHz - 3 dB) et ligne à retard.

Un tube à post-accélération de 4 000 V justifie la consommation globale de 50 W sous 12 V.

● Au stand VAN DER HEEM (Pays-Bas), représenté par STOKVIS, le nouveau compteur fréquencesmètre-chronomètre type EC 9920 à 8 digits autorise les mesures jusqu'à 30 MHz avec une précision de 10^{-7} .

Sensibilité d'entrée : 100 mV ou 300 mV pour impulsions 10 nS

Impédance d'entrée : 100 K Ω - 25 pF ou 1 M Ω - 25 pF

— Un convertisseur de fréquence type CO 9911 peut y être adjoint pour diviser dans un rapport de 1-10-100-200 la fréquence des signaux compris entre 0,4 et 200 MHz.

— La gamme des alimentations de cette firme se complète du type VA 8625 délivrant 0 à 10 A sous 0 à 70 V avec résistance interne inférieure à 0,05 Ω et ondulation résiduelle < 3 mV.

Correspondance

ENQUÊTE CONCERNANT LES RUPTURES PAR FATIGUE DANS LES JOINTS SOUDÉS SUR PETITES PIÈCES

Dès 1952, la Commission XIII « Essais de fatigue » de l'Institut International de la Soudure a reconnu nécessaire une enquête aussi exacte et complète que possible sur les ruptures par fatigue survenues en service dans les constructions soudées. En 1954, en garantissant aux réponses l'anonymat absolu, elle a ouvert officiellement une enquête, assortie d'un questionnaire détaillé.

Le succès de cette enquête a permis d'adresser aux Sociétés Membres toute une série de monographies, portant sur les cas les plus divers, les plus récentes de ces monographies étant insérées par l'Institut International de la Soudure dans sa propre revue « Le Soudage dans le Monde ». De plus, l'Institut étudie actuellement l'édition d'un recueil, destiné à rassembler tous ces textes.

Cependant, pour relativement riche qu'elle soit déjà, cette collection ne comprend pratiquement pas d'exemples de pièces de faible épaisseur, telles que les *composants électroniques* par exemple, qui pourtant donnent lieu effectivement à divers incidents, dus au processus de fatigue. La raison de cette absence peut tenir non seulement à ce que les intéressés n'ont pas été effectivement touchés par l'enquête, mais aussi à ce que le questionnaire établi n'était pas bien adapté au cas de ces très petites pièces. Aussi, avant d'engager aucun nouvel effort de prospection pour ces pièces, la Commission XIII a-t-elle jugé indispensable de rédiger le nouveau questionnaire ci-après.

La Commission espère que la publication de ce questionnaire sera bien accueillie et lui permettra de recevoir d'intéressantes contributions touchant à un domaine tout à fait nouveau et relativement mal connu, mais très vaste, puisque, sous le terme de fatigue, il faut ici comprendre non seulement les phénomènes purement mécaniques comme les vibrations, mais encore les sollicitations cycliques d'origine thermique par exemple. Elle compte sur ces contributions pour la guider dans l'établissement de programmes de recherches, destinés à l'amélioration de l'endurance des pièces dont il s'agit.

La S.F.E.R. estime qu'il est de l'intérêt de tous de participer à cette enquête et demande à toutes les personnes qui disposent d'informations sur le comportement en service des pièces faisant l'objet de l'enquête les mettent à la disposition de l'Institut de Soudure, 32 bd de la Chapelle, Paris-18^e, qui en assure la collecte sur le plan français.

Nous rappelons que l'Institut International de la Soudure est un organisme sans but lucratif qui groupe 66 Sociétés Membres appartenant à 31 pays.

Questionnaire

*Renseignements à fournir, dans toute la mesure
du possible, pour chaque cas présenté*

Dans le cadre de cette enquête, on appelle joints soudés sur petites pièces ceux où les éléments constitutifs, tous deux métalliques, ou l'un métallique, l'autre non métallique, n'atteignent pas 1,25 mm (0,050") de diamètre ou d'épaisseur et sont assemblés par soudage, brasage fort ou tendre, etc. y compris les procédés d'assemblage à l'état solide.

1. Type de construction

- a) Composition, état métallurgique et dimensions des éléments en contact.
- b) Composition du métal d'apport, s'il y a lieu.
- c) Forme de la pièce rompue (photographie ou dessin, si possible)
- d) Type d'assemblage.

2. Procédé d'assemblage.

- a) Nature du procédé de soudage, brasage fort ou tendre, ... utilisé.
- b) Préparation avant assemblage ; traitements après assemblage, s'il y a lieu.
- c) Atmosphère au moment de l'assemblage (air, vide, gaz inerte) ; composition de cette atmosphère, s'il s'agit d'un mélange.

3. Conditions au moment de la rupture.

- a) Température et atmosphère.
- b) Revêtements du joint ; films de corrosion, s'il y a lieu.
- c) Type et intensité des sollicitations
 - 1) Charges statiques ou dynamiques ; fréquence et amplitude des vibrations ou des flexions
 - 2) Durée de la sollicitation :
 - 3) Concentrations de contrainte, s'il y a lieu.

4. Historique.

- a) Temps écoulé de la fabrication à la rupture ; conditions de stockage, d'essai ou de service pendant ce temps.

b) Traitements subis par le joint pendant ce temps, y compris les traitements chimiques ou mécaniques.

c) Circonstances anormales (telles qu'expositions à un incendie ou à un choc).

5. Examen de la cassure.

a) La cassure a-t-elle été examinée ? Par qui ? Peut-on obtenir le rapport correspondant ? Au près de qui ?

b) Comment a-t-on été amené à conclure à une fissuration par fatigue. Joindre toute photographie probante, s'il en existe.

c) Trajet de la cassure (intergranulaire ou transcristallin) ; emplacement (métal de base, zone affectée thermiquement, zone de liaison, métal fondu) ; fraction de la section correspondant à la fissuration par fatigue, si elle a été déterminée.

d) Observations faites aux alentours de la cassure : grosseur de grain, dureté, microstructure, présence de microcraques ou de cavités.

6. Conception de la construction.

a) La rupture observée était-elle isolée ou y en avait-il d'autres, en plus ou moins grand nombre, dans le même joint ou la même construction ?

b) A-t-on changé le tracé ? Comment ?

c) A-t-on changé le procédé ou le mode opératoire d'assemblage ? Comment ?

d) A-t-on changé les matériaux ? Comment ?

7. Essais destinés à la mise au point de la construction.

a) Décrire les essais éventuellement faits pour qualifier le tracé, le procédé de fabrication ou les matériaux. Fournir si possible des photographies ou des croquis des équipements d'essai spécialisés.

b) Donner les résultats d'essai, si possible.

NOTE SOMMAIRE SUR LE PRINCIPE DES HOLOGRAMMES

PAR

S. LOWENTHAL

1. Introduction

Un hologramme est un cliché photographique transparent sur lequel a été enregistré un phénomène de diffraction lumineuse par le procédé décrit plus loin. Cette méthode permet de fixer sur la plaque photographique des phénomènes qu'il n'était pas possible de fixer auparavant sans altération profonde.

On peut, en particulier, enregistrer sur un cliché la lumière diffractée par un objet à trois dimensions éclairé par un laser.

Lorsque le cliché ainsi obtenu est à nouveau éclairé par l'arrière, à l'aide d'un arrangement utilisant également la lumière d'un laser, on aperçoit, en regardant à travers le cliché, l'objet à trois dimensions en relief et avec la même apparence que s'il était vu directement, sans passer par l'intermédiaire de l'enregistrement photographique.

Tout le processus de prise de l'hologramme et de restitution de l'objet s'effectue sans l'intermédiaire de lentilles.

On peut, par le même procédé, enregistrer tout autre distribution lumineuse complexe, par exemple une transformée de Fourier fournie par un instrument d'optique.

Prise de l'hologramme et restitution de l'objet s'apparentent au procédé de détection synchrone utilisé par les électroniciens. On obtient ainsi, en plus de l'image restituée (première bande latérale), une deuxième image (deuxième bande latérale). Cette dernière est souvent appelée, à tort, image réelle. En effet, chacune des deux images peut être soit réelle, soit virtuelle, selon les conditions opératoires.

Les hologrammes possèdent certaines des propriétés des lentilles :

— ils permettent de restituer des objets agrandis (application à la microscopie sans lentilles). Ce grandissement peut également être obtenu par un changement de longueur d'onde entre l'enregistrement et la restitution ;

— ils possèdent des aberrations.

2. Enregistrement de l'hologramme

Lorsqu'un objet à trois dimensions est éclairé par un faisceau laser, l'objet diffracte une certaine quantité de lumière. L'enregistrement de ce champ électromagnétique diffracté constitue un hologramme.

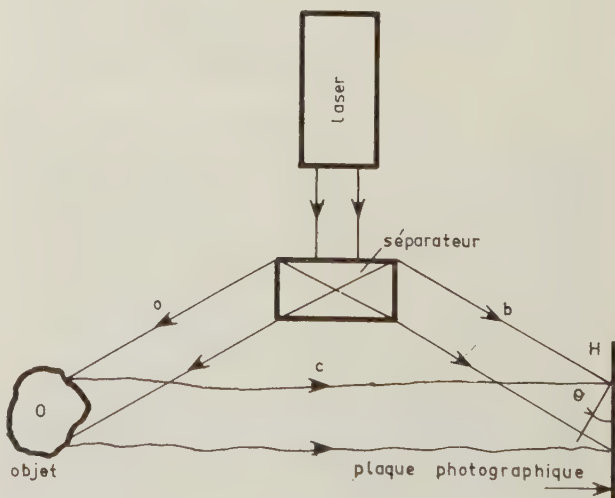
Il est évident que si l'on se contente de disposer, à quelque distance de l'objet, une plaque photographique H (fig. 1), celle-ci va subir un noircissement sensiblement uniforme. La plaque est en effet un détecteur quadratique qui n'enregistre que l'énergie qu'elle reçoit.

Afin de pouvoir fixer le champ électromagnétique complexe qui est rayonné par l'objet sur la plaque, on utilise une porteuse.

Le faisceau de lumière provenant du laser est séparé en deux ondes planes a et b :

— l'onde a sert à éclairer l'objet,

— le faisceau b — ou porteuse — illumine directement la plaque sous un certain angle d'incidence θ .



Les deux faisceaux interfèrent alors sur la plaque, ce qui signifie que dans le plan de H , il se forme un réseau de microfranges d'interférence irrégulièrement distribuées : c'est ce phénomène qui est enregistré par la plaque.

Le fait d'avoir transformé un champ électromagnétique complexe en un « interférogramme », a ainsi permis de fixer sur la plaque toutes les informations contenues dans le champ.

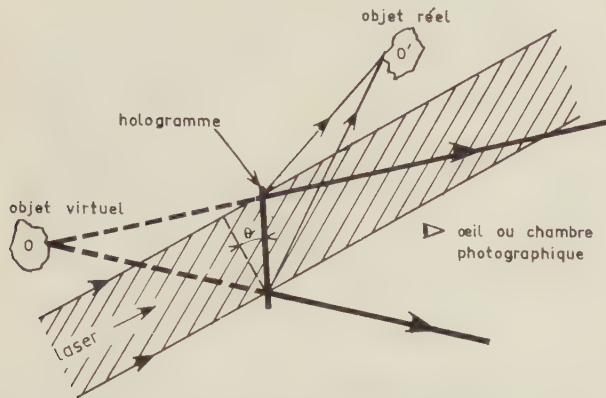
3. Reconstitution de l'image

Pour reconstituer l'image, il suffit d'éclairer à nouveau l'holo-

gramme par un faisceau laser (fig. 2) dont l'inclinaison θ est voisine de celle qui a été utilisée à la prise de vue.

En plaçant l'œil devant l'hologramme, on voit alors l'objet initial en relief. En bougeant l'œil on obtient des effets de parallaxe, comme à l'observation directe.

Outre cette image, la porteuse (en hachuré) est également



reconstituée, ainsi qu'un deuxième objet, qui, dans le cas de la figure, est réel. Ce deuxième objet, de relief inversé, relativement au premier, peut être recueilli sur un écran. En réalité comme le relief est réellement reconstitué, un seul plan de l'objet sera net. Les différents plans de cette deuxième image peuvent être explorés par déplacement de l'écran.

Il est évident qu'on peut substituer à l'œil, un appareil photographique, on peut ainsi photographier l'image reconstituée.

Comme dans le cas précédent, le relief étant réel, on ne peut pas avoir une netteté simultanée de tous les plans, sauf si l'on diaphragme l'objectif.

4. Conclusion

Les hologrammes permettent ainsi de reconstituer le relief, mais ils ont d'autres applications scientifiques très importantes. En particulier, dans la méthode du filtrage des fréquences spatiales, ils constituent un outil puissant, permettant de réaliser des opérations mathématiques telles que corrélation, filtrages, reconnaissance des formes. Car, le sens profond de la méthode des hologrammes est que l'on peut enregistrer, sur un support plan, une distribution complexe de champ électromagnétique qui peut ensuite servir, lors d'opérations de calcul analogique optique, dans un domaine jusque là réservé aux gros calculateurs électroniques.

L'ENREGISTREMENT DE LA TÉLÉVISION EN COULEUR SUR MAGNÉTOSCOPES SEMI-PROFESSIONNELS

La technique de l'enregistrement magnétique qui a été développée depuis quelques années, a conduit à des réalisations pratiques actuellement bien connues : le magnétophone est devenu très populaire pour l'enregistrement sonore et parallèlement l'« ampexage » est maintenant un des outils principaux des réalisateurs de télévision.

Les premiers magnétoscopes ont fait leur apparition aux États-Unis en 1956, alors que la télévision en couleur y était déjà en service depuis plusieurs années. Donnant d'excellents résultats en exploitation noir-et-blanc, l'enregistrement magnétique a présenté des difficultés qui ont incité les techniciens à chercher de nouvelles solutions pour la couleur.

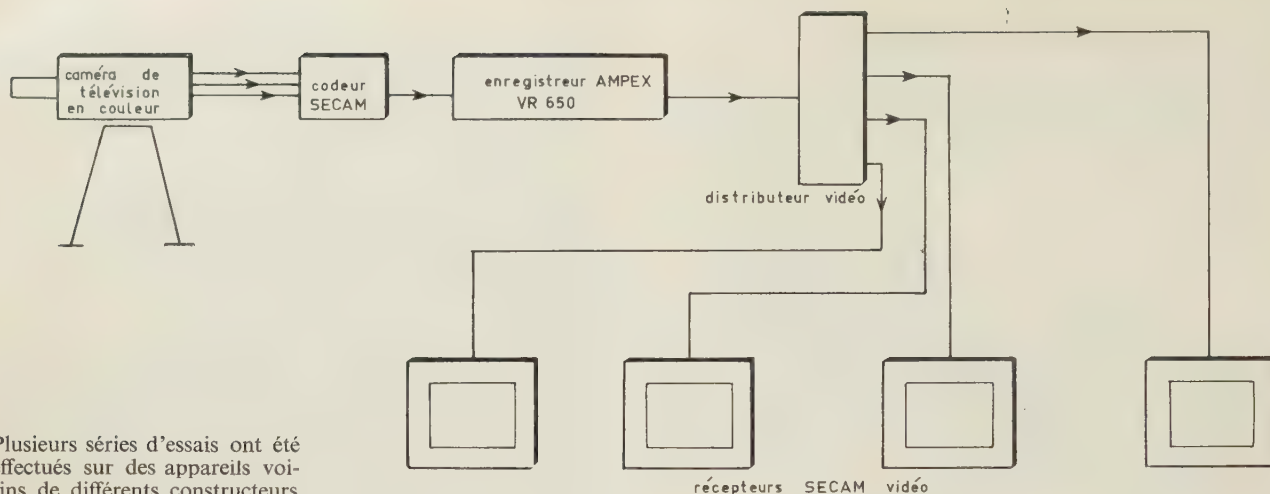
C'est alors que les constructeurs de magnétoscopes ont présenté des équipements auxiliaires destinés à améliorer la qualité du service couleur ; ces équipements onéreux et délicats à régler ne permettent pas d'obtenir un résultat très satisfaisant. Le procédé SECAM, par contre, grâce à l'utilisation de la modulation de fréquence pour la transmission des informations de chrominance, est le seul à permettre, sans modification des machines enregistreuses classiques ni adjonction d'équipements auxiliaires, une qualité d'image enregistrée parfaite.

Depuis peu, les recherches dans le domaine des enregistreurs magnétiques ont abouti à des modèles simplifiés qui sont aux grands appareils de studio ce que sont les magnétophones aux tables d'enregistrement professionnelles. Fonctionnant sur le même principe fondamental, les magnétoscopes semi-professionnels ne présentent pas tous les perfectionnements ni toutes les performances de leurs aînés ; ils sont, par contre, beaucoup plus petits, beaucoup plus maniables et à peu près dix fois moins chers. Ils représentent l'étape intermédiaire entre la machine de studio et l'appareil que l'on pourra diffuser dans le public, permettant non seulement la « mise en conserve » des programmes TV mais aussi, pour autant que l'utilisateur soit muni d'une petite caméra de télévision, la réalisation de « films » d'amateur ne nécessitant aucun développement par un laboratoire spécialisé.

Le système SECAM, qui donne sur les machines professionnelles d'excellents résultats, permet également, moyennant une légère modification tant de la forme du signal que de certains

circuits des machines semi-professionnelles utilisées — modification mineure qui n'altère pratiquement pas les performances en service noir-et-blanc — des enregistrements de télévision en couleur fidèles et stables.





Plusieurs séries d'essais ont été effectués sur des appareils voisins de différents constructeurs (AMPEX, SONY et PHILIPS).

A titre d'exemple, on donne ci-après les caractéristiques fondamentales de l'enregistreur AMPEX VR 650 :

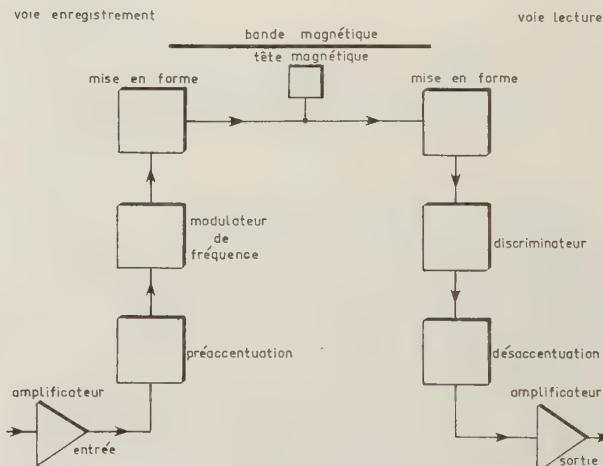
- Défilement hélicoïdal (deux têtes)
- Vitesse de défilement : 19 cm/s
- Largeur de la bande magnétique : 50 mm
- Vitesse de rotation des têtes : 1 500 tr/mn
- Bande passante : 3,5 MHz.

Cette technique ouvre des horizons nouveaux : elle permet de nombreuses applications, essentiellement dans certaines industries où le contrôle de la couleur joue un rôle fondamental, dans la recherche et dans l'enseignement où les leçons des grands maîtres pourront être ainsi enregistrées en couleur (et la couleur est un élément indispensable pour l'enseignement de la chimie, de la médecine, de la minéralogie, de l'optique et de nombreuses autres disciplines des sciences physiques, humaines et abstraites). Les bandes peuvent être copiées et repassées à volonté.

D'une façon générale, la couleur apporte ici une très riche information supplémentaire et l'enregistrement magnétique fait disparaître, à peu de frais, le caractère instantané et fugitif propre à la télévision, qui lui faisait même parfois préférer le cinéma avec ses films en couleurs onéreux et longs à développer.

Ajoutons que les programmes de cinéma en couleur que la Cie Air France présentera prochainement sur ses longs courriers Boeing seront enregistrés sur magnétoscopes et diffusés sur postes récepteurs de télévision.

Les perspectives économiques offertes par ces travaux de la CFT sont considérables. Elles montrent que le principe SECAM, fondamentalement simple, est extrêmement souple et reste pour l'avenir riche de multiples possibilités.



LA C.S.F. ET L'ESPACE

1966, est l'an 1 de la conquête de l'espace pour la France, ses chercheurs, ses savants, ses ingénieurs.

La CSF apporte à ce domaine, où l'électronique est fondamentale, une contribution essentielle.

C'est par ses soins qu'a été installé le réseau *Iris*.

Elle a équipé de ses émetteurs le satellite français *D 1 A*, ainsi que le premier satellite européen *ESRO 2* qui sera mis sur orbite à la fin de l'année.

Les horloges atomiques qu'elle vient de mettre au point, et qui surclassent la plupart des matériels similaires, pourront équiper à la fois stations de poursuite, observatoires et satellites.

Le 1^{er} mars à 00 heure, *D1 A* effectuait sa 142^e révolution autour de la terre ayant parcouru plus de 7 millions de km.

Ses émetteurs scientifiques CSF ont permis de maintenir, dans les meilleures conditions, des liaisons avec les stations de télécommande et de télémessure du réseau *IRIS*.

Ainsi se trouve démontrée la fiabilité de l'électronique CSF qui, après avoir subi les épreuves du lancement, fonctionne parfaitement dans les conditions sévères de l'espace.

Le satellite *D1 A* a une double mission :

- mise à l'épreuve des équipements de fabrication française,
- exploitation des mesures dans le domaine de la géodésie.

Dans ce deuxième but, il emporte à son bord deux émetteurs émettant sur les fréquences de 150 et 400 MHz pilotés par un oscillateur à quartz à 5 MHz d'une stabilité de 10^{-9} par quart d'heure. Cet oscillateur attaque une chaîne de multiplicateurs qui porte la fréquence à 50 MHz.

Cette fréquence est aiguillée ensuite sur deux chaînes aux extrémités desquelles sont délivrées les fréquences de 150 et 400 MHz, avec une puissance de 100 mW chacune.

L'ensemble a été conçu pour résister aux contraintes mécaniques très sévères qui apparaissent pendant toute la phase du lancement : vibrations, accélérations, chocs. En outre certains problèmes étaient particulièrement importants : le volume, le poids et la consommation.

Les émetteurs pèsent 550 g pour un volume de 600 cm³, c'est-à-dire que leur poids spécifique est inférieur à celui de l'eau : une grande partie de leur volume est en effet occupée par

une mousse destinée à maintenir les composants et à les soustraire aux effets de vibrations, mousse dont la densité est extrêmement faible. La consommation totale prise au réseau de bord est de 1,4 W.

Les stations de télémessure et de télécommande du réseau IRIS étudiées et réalisées elles aussi, par la CSF, sous la conduite du Centre National d'Etudes Spatiales ont un double rôle :

— Recevoir les informations recueillies ou enregistrées à bord des satellites, relatives au comportement de l'engin : état des cellules solaires, charge des batteries, température, fonctionnement des circuits et transmission des données recueillies par le satellite dans le cadre de sa mission. C'est une liaison dans le sens espace-sol.

— Envoyer au satellite les ordres destinés à son fonctionnement et à sa mission : envoi des informations enregistrées, éventuellement correction de trajectoires, mise en service ou arrêt de certaines fonctions (charge de batteries par exemple). C'est une liaison dans le sens sol-espace.

Une station comprend donc les éléments principaux suivants :

- un ensemble d'émission pour l'envoi des ordres,
- un ensemble de réception pour recueillir les émissions de satellites,
- un aérien orientable en site, et en azimut qui peut assurer à la fois l'émission et la réception.

La CSF, maître d'œuvre de toutes les stations du réseau IRIS, a étudié et réalisé les ensembles émission et réception, dont les aériens ont été fournis par Elecma, Département électronique de la SNECMA.

La conception générale a été guidée par le souci d'obtenir un matériel présentant une grande sécurité d'emploi, tout en mettant à profit des techniques d'avant-garde dans le domaine de la transistorisation haute fréquence et de la détection de signaux très faibles.

En outre, les caractéristiques de ces stations sont telles qu'elles peuvent être associées à celles du réseau « Minitrack » américain, permettant de réaliser une collaboration réciproque avec les Etats-Unis, pour tout ce qui concerne la « surveillance » des satellites.

L'emplacement des stations a d'ailleurs été choisi par le C.N.E.S. en tenant compte des stations américaines existantes, de l'emplacement des futures stations de l'Organisation Européenne de Recherches Spatiales et de ses besoins propres, orientés principalement sur le lancement de satellites en orbites peu inclinées sur l'équateur.

Cinq d'entre elles sont sensiblement réparties entre le méridien de Paris et le méridien 30° Est, depuis Brétigny jusqu'à Pretoria, dressant ainsi une véritable barrière sur la trajectoire du satellite.

La sixième station fait exception. Elle a été implantée au Liban, de manière à pouvoir recueillir les premières informations et éventuellement donner les premiers ordres dans la phase qui suit le lancement à Hammaguir.

Les stations de Brétigny, Ouagadougou, Brazzaville et Pretoria sont installées dans des bâtiments conçus et réalisés sous la direction du C.N.E.S.

Celles de Beyrouth et d'Hammaguir, dont le site est provisoire puisque la France doit, en vertu des accords d'Evian, libérer le champ de tir du Sahara en 1967, sont installées chacune dans un ensemble de quatre shelters pouvant être transportés par avion, bateau, camion ou voie ferrée. Le délai de démontage et de réinstallation, non compris le temps de transport, est de l'ordre de six semaines.

L'émetteur de télécommande est classique. L'émission n'a pas posé de problèmes particuliers, elle est assurée par un émetteur d'une puissance crête de 3 kW dans la bande 148-150 MHz, d'un type maintenant classique et très apparenté aux émetteurs de télévision de la 1^{re} chaîne. La stabilité de la fréquence émise est de 10⁻⁶.

Un dispositif de commutation rapide permet d'appliquer à l'antenne soit la pleine puissance, soit seulement celle de l'émetteur piloté, 200 W en crête de modulation.

L'ensemble de réception est beaucoup plus complexe et fait appel à des techniques avancées. Toute cette partie de l'équipement est transistorisée. Il comporte deux chaînes de réception fonctionnant indépendamment. Chacune a son propre standard

de fréquence permettant de choisir par simple affichage, entre 2 000 fréquences avec une stabilité de 10⁻⁶.

— A la sortie des feeders de réception de l'antenne, on dispose des deux polarisations linéaires horizontale et verticale, qui permettent d'obtenir ensuite les polarisations circulaires droite et gauche. On peut ainsi adapter immédiatement la réception aux caractéristiques du rayonnement des antennes des satellites.

— Les préamplificateurs placés dans l'antenne ont un bruit propre très réduit, ce qui permet de recevoir des signaux de très faible intensité.

— Dans chacune des chaînes de réception et au niveau d'un étage amplificateur moyenne-fréquence, les signaux reçus, verrouillés en phase, sont additionnés dans un combinateur de diversité. On obtient ainsi, grâce à cette réception en diversité de polarisation, un gain appréciable.

On peut remarquer que l'ensemble peut fonctionner aussi bien en diversité de fréquence qu'en diversité de polarisation.

La chaîne d'amplification est munie d'un circuit de contrôle automatique de gain, maintenant le niveau de sortie dans la limite de 3 dB pour des variations du signal d'entrée de 100 dB.

— Chaque voie de réception comporte un détecteur d'amplitude et un discriminateur permettant de démoduler les signaux modulés en amplitude et les signaux modulés en fréquence. La démodulation de phase est obtenue par intégration du signal de sortie du discriminateur.

— Une boucle d'asservissement de phase reconstitue la fréquence porteuse du signal et permet la démodulation d'amplitude et de phase de signaux très faibles, elle permet aussi de mesurer la fréquence Doppler dans une bande de fréquence très étroite.

— L'ensemble est donc conçu pour obtenir la démodulation classique des signaux modulés en amplitude et des signaux modulés en fréquence, ainsi que la modulation cohérente des signaux modulés en amplitude et des signaux modulés en phase.

On obtient ainsi, grâce à la démodulation cohérente, une amélioration très sensible du rapport signal/bruit dans le cas de réception de signaux faibles.

Une chaîne permet l'enregistrement continu de la fréquence reçue pour la mesure du Doppler. Elle permet aussi de procéder à l'étalonnage de la chaîne de réception complète.

On peut ainsi résumer les caractéristiques principales de ces chaînes de réception :

- préamplificateurs à *très faible bruit*,
- possibilité de réception en *diversité de polarisation*,
- commande automatique de gain très énergique,
- verrouillage de phase améliorant le seuil de détection,
- extraction de la fréquence Doppler,
- matériel totalement transistorisé.

L'aérien se compose d'un ensemble rayonnant monté sur un support orientable en site et en azimut.

Les mouvements de l'antenne :

- soit en position, par boutons, avec recopie site et azimut,
- soit en position-vitesse par un manche à balai avec possibilité de doser séparément l'échelon position et l'échelon vitesse. sont commandés à partir de la station qui peut être distante de 100 mètres.

Le pointage de l'antenne peut s'effectuer :

- soit manuellement en se guidant sur les indications données par le contrôle automatique de gain,
- soit automatiquement à partir d'un programme extérieur. Le gain de l'antenne à la réception est de 21 dB et de 18 dB à l'émission.

Le découplage entre émission et réception est supérieur à 80 dB, autorisant ainsi l'émission et la réception simultanées.

Toutes les commandes et les contrôles d'une station s'effectuent à partir d'un pupitre dont une moitié est réservée à l'émission et à la réception, et l'autre moitié à l'antenne.

Ajoutons que, dans le cadre de la constitution de ce réseau de six stations, CSF a obtenu également deux autres marchés pour des matériels complémentaires (récepteur Doppler, baie de restitution du temps, etc.).

Informations

DOCUMENTATION TECHNIQUE

COMPARAISONS DE FRÉQUENCES

par rapport à l'étalon Cs 2 en 10^{-10}

Valeurs journalières moyennes

Mars 1966	GBZ 19,6 kHz	WWVL 20z kHz	NSS 21,4 kHz	NBA 24 kHz	NPM 26,1 kHz	HBGz 75 kHz
1	-302,1	-299,8	-299,4	-299,9	-300,5	—
2	-299,3	-300,3	-299,6	-300,2	-299,8	—
3	-298,9	-300,3	-299,5	-300,3	-299,4	—
4	-299,8	-300,3	-299,6	-299,9	-300,5	—
4	-300,8	-299,8	-300,1	-299,7	-300,5	-0,5
6	-301,1	-299,8	-300,6	-299,8	—	-0,6
7	-299,3	—	-301,1	-299,9	—	-0,3
8	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—
10	—	-300,0	-299,7	-300,7	-299,9	-0,4
11	-299,2	-300,1	-300,2	-301,0	-301,3	-0,5
12	-299,1	-299,3	-300,2	-300,4	-298,7	—
13	-300,5	-300,8	-300,7	-300,3	-300,3	—
14	-300,7	-298,6	-299,5	-300,0	-299,5	—
15	-301,2	-301,0	-300,7	-299,5	-302,8	—
16	-299,7	-299,9	-300,4	-299,6	-301,4	-0,4
17	-299,1	-300,0	-299,7	-299,9	-300,3	-0,4
18	-299,7	-300,3	-300,2	-298,9	-300,5	-0,4
19	-301,6	-300,0	-299,3	-298,3	-299,6	-0,5
20	-300,9	-300,0	-300,0	-299,6	-299,2	-0,3
21	-298,5	-300,5	-299,8	-300,1	-301,4	-0,4
22	-299,0	-299,4	-300,0	-299,5	-300,1	-0,4
23	—	-300,0	-299,5	-299,9	-300,6	-0,5
24	—	-300,2	-300,4	-300,0	-301,7	-0,4
25	—	-300,0	-300,4	-300,2	-301,2	-0,5
26	—	-300,0	-300,1	-299,8	-301,6	-0,3
27	—	-299,8	-300,3	-300,5	-300,2	-0,3
28	—	-299,6	-300,7	-300,5	-300,9	-0,6
29	—	-299,6	-300,0	-300,8	-300,3	-0,3
30	—	-299,9	-299,5	-299,4	-301,6	-0,5
31	-299,8	-200,1	-299,7	-300,8	-300,0	-0,4

Les enregistrements de phase ont été effectués par l'intermédiaire d'un quartz.

Les fréquences sont rapportées à l'étalon à césium Cs².

L'étalon secondaire à rubidium Varian — Rb² a été installé le 9 mars à titre expérimental pour une période d'exploitation de plusieurs mois, à la station de radio-diffusion (O.R.T.F.) d'Allouis, sur la fréquence 164 kHz. La stabilisation de fréquence est de l'ordre de $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ en temps atomique T.A.1. Le Département « Fréquences » du C.N.E.T., 196 rue de Paris, 92 - Bagneux apprécierait toute information à ce sujet, en particulier sur les résultats de mesures de précision faites sur la fréquence porteuse de cet émetteur.

LES CIRCUITS INTÉGRÉS

On nous informe que le numéro d'avril 1966 d'*Electronic Industries* comportera une série d'articles exclusifs sur l'aspect actuel de la Technologie des Circuits Intégrés, cette publication étant faite dans un but de formation éducative des techniciens et ingénieurs.

Ces articles ont été préparés par « Integrated Circuit Engineering Corp » de Phenix, Arizona. Les auteurs en sont des ingénieurs éminents qui ont une longue expérience pratique de la question dans les Sociétés dont l'activité principale est la production de Circuits Intégrés.

LE MANOLÈNE

A l'Exposition Europlastique, du 20 au 30 mai, RHONE Poulenc présentera, entre autres, une matière plastique qui trouve son emploi dans nos industries.

Le Manolène fait partie de la classe des thermoplastiques rigides. Sa caractéristique dominante est une résistance aux chocs élevés. C'est un polyéthylène obtenu par polymérisation basse pression donnant un produit de densité élevée.

Les types de MANOLÈNE sont caractérisés par leur densité et leur indice de fluidité à chaud. Il existe en deux séries ; dans chacune d'elles, chaque type est repéré par un chiffre représentant 10 fois la valeur de l'indice de fluidité à chaud (Melt Index). Sa connaissance permet de prévoir la résistance aux chocs et la fragilité aux basses températures. Plus l'indice de fluidité à chaud est élevé, plus diminuent la résilience ainsi que la résistance au froid.

Propriétés physiques essentielles du manolène :

Dureté Shore D	65
Dureté Brinell	5,9
Résistance à l'abrasion	5,7
Résistance maximale à la traction ...	360 bars
Allongement correspondant	suivant le type, 10 à 28 %
Module d'élasticité	10 500 bars
Température de ramollissement	127 °C
Coefficient de dilatation linéaire	$1,3 \times 10^{-3}$ cm/cm/°C

Le MANOLÈNE 5003 est un matériau de base bien adapté à l'isolation et au revêtement de câbles. Son indice de fluidité élevé, sa résistance particulière à la fissuration de contact sous tension et une résistance supérieure au fluage mécanique à température normale lui confèrent les qualités nécessaires au gainage de câble. En voici quelques applications dans le domaine des communications :

- Revêtement de câble coaxial
- Isolation de câble aérien
- Isolation et gainage de câble téléphonique sous-marin
- Isolation de câble téléphonique
- Isolation de câble téléphonique enterré.

L'avantage du revêtement de câble ou fil par du polyéthylène haute densité est qu'il peut être exécuté à des cadences rapides

en mettant en œuvre des techniques simples qui réduisent les frais d'exploitation sans opérations complémentaires.

De plus, le MANOLENE 5003 possède des qualités électriques exceptionnelles, une grande flexibilité et une résistance particulière à l'eau et pratiquement à tous les agents chimiques usuels.

Ces qualités en font un matériau particulièrement choisi pour l'industrie du câble. De nombreuses références démontrent aujourd'hui sa supériorité sur les matériaux traditionnels.

LE RÉSOLVÉUR DE COURBES DU PONT 310

L'Instrument Products Division de la société DU PONT vient de lancer sur le marché une calculatrice analogique de laboratoire servant à résoudre les sommets de courbes qui se chevauchent (analyse spectrale ou autre).

Le Résolveur de courbes DU PONT 310 trouve de multiples applications chaque fois que, pour les besoins de l'analyse, il faut résoudre un mélange complexe en ses constituants. Les procédés et techniques d'analyse tels que la chromatographie, la spectroscopie et l'électrophorèse donnent lieu au tracé de courbes, qui sont la somme des apogées ou des fonctions de la distribution, et qui se chevauchent fréquemment, d'où la nécessité de les résoudre en leurs éléments constitutifs pour pouvoir les interpréter correctement.

Le Résolveur de courbes 310 reproduit la configuration d'apogées correspondant à une distribution de Gauss, de Lorentz, etc. Les paramètres des apogées — hauteur, largeur et position horizontale — se règlent indépendamment les uns des autres et donnent une courbe d'addition identique à la courbe originale. Il suffit d'actionner ensuite un mécanisme de commutation de circuit pour réduire électroniquement la courbe reproduite, en ses éléments constitutifs.

Le nouvel appareil fonctionne selon les principes de résolution des courbes que les Instituts nationaux d'hygiène des Etats-Unis ont été les premiers à appliquer et que les Plastics Department de la DU PONT de Nemours a repris pour les développer.

Les méthodes habituelles de résolution des courbes — par calcul mental ou par l'emploi de calculatrices classiques — prennent trop de temps ou sont trop coûteuses. Le 310, au contraire, peut résoudre en l'espace de quelques minutes des apogées très différents qui se chevauchent. De plus, quinze minutes de mise au courant suffisent pour que du personnel non spécialisé puisse l'utiliser pour des travaux courants.

Les instruments et appareils DU PONT dont la gamme est de plus en plus diversifiée sont vendus en Europe par DU PONT de NEMOURS INTERNATIONAL S.A. 81 route de l'AIRE, Genève, Suisse.

DÉTECTEUR DE PROXIMITÉ SAXBY

La Société SAXBY 79, rue du Temple Paris-3^e, Tél. 272. 79.23 et 24 présente un nouvel appareil destiné à la détection sans contact de n'importe quelle matière, particulièrement intéressant dans le domaine des détections de passage.

Le détecteur de proximité SAXBY est essentiellement constitué par un oscillateur dont l'accrochage ou le décrochage s'effectue par la présence de la pièce à détecter.

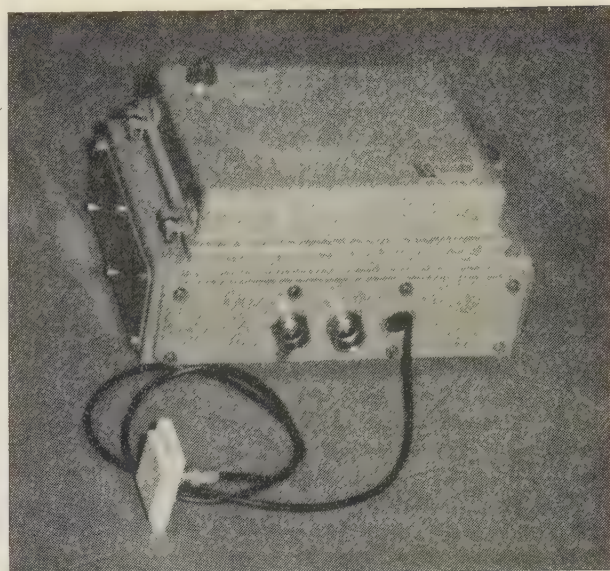
Dans le cas de « l'accrochage » de l'oscillateur, la pièce à détecter se comporte comme l'armature d'une capacité qui ferme la boucle de réaction ; l'oscillation est alors détectée et amplifiée pour fournir le signal de sortie.

Dans le cas du « décrochage », la pièce à détecter se comporte comme un écran qui coupe la boucle de réaction.

Le détecteur est présenté dans un coffret industriel garni de presses-étoupe ; l'alimentation se fait directement en courant alternatif 50 Hz 110 ou 220 V.

Avec le type DY6, trois sorties simultanées sont possibles par le même appareil :

- 1^{re} sortie : par relais - 1 contact 50 VA répétition simple de la détection.
- 2^e sortie : par relais - 1 contact 50 VA information



traitée par un premier bloc additionnel installé sur circuit imprimé.

— 3^e sortie : par relais - 1 contact 50 VA information traitée par le second bloc additionnel installé sur circuit imprimé.

Les trois blocs standard proposés ont les fonctions suivantes :

- Temporisation réglable à l'émission
- Temporisation réglable à la disparition
- Impulsion réglable.
- Réglage de la sensibilité.

Il existe un type simplifié, le DY20.

Les avantages par rapport aux détecteurs *mécaniques* sont l'absence de contact et d'entretien, la facilité d'installation, la précision du réglage, la cadence élevée admissible.

— par rapport aux *cellules photoélectriques* : pas d'émetteur-récepteur situé de part et d'autre d'un passage, l'insensibilité aux lumières extérieures, aux poussières, huiles, etc. l'excellente tenue aux vibrations, l'absence d'entretien (lampe à changer, etc.).

— par rapport aux *détecteurs classiques* : la cadence élevée (10 000 par seconde), la surveillance simultanée de plusieurs points par un même appareil, la plus grande portée de détection, la détection de tous les matériaux (bois, pierre, métal, liquide, etc.).

Les têtes de détection suivant leur forme, permettent de détecter le passage d'un objet jusqu'à 400 mm ; une tête spéciale permet la détection de la vitesse de rotation d'un arbre.

Le détecteur de proximité SAXBY peut être utilisé comme tous les détecteurs classiques : il délivre un signal lorsqu'un objet métallique passe dans la zone de détection, mais, de plus, il peut être utilisé dans d'autres cas là où il n'existait pas auparavant de moyen de détection, par exemple :

— comptage lent ou rapide, mesure de vitesse, détection de niveau pour les liquides et pondéreux (pierre, charbon, eau, etc.) détection d'un mouvement dans le but de le contrôler, détection de la position d'un organe de mesure ou de régulation (pressostat, thermomètre, etc.), détection de personne et sécurité.

APPAREILLAGE LÉGER POUR UTILISATION MILITAIRE DANS LA JUNGLE

La HUGHES AIRCRAFT fabrique pour l'armée américaine un émetteur-récepteur léger portatif qui assure aux troupes 10 000 voies séparées et qui est d'un fonctionnement sûr, même dans les jungles épaisses.

Les dimensions de cet appareil transistorisé sont 46 cm de haut $\times$ 30 cm de large $\times$ 10 cm d'épaisseur, il pèse environ 13,15 kg et fonctionne aussi bien sur piles sèches que sur piles humides,

Ce poste, marchant sur une bande latérale unique, possède les avantages suivants par rapport aux émetteurs de combat précédents :

— Grâce à sa gamme de 2 à 12 MHz et aux 10 000 voies dont il dispose, le poste possède une grande souplesse, rendant plus difficile tout brouillage ennemi.

— Les signaux haute fréquence qu'il émet, se réfléchissent sur l'ionosphère, dépassant de beaucoup la portée optique ; ils franchissent les montagnes et les jungles où les signaux V.H.F. et U.H.F. se trouvent en défaut.

Au cours d'essais pratiques, les appareils ont fonctionné efficacement entre des points distants de plus de 800 km. Les transmissions ont même été captées dans les usines de Fullerton de la Hughes Aircraft Cy, à une distance dépassant 12 000 km.

Trois types d'antenne auraient été développés pour le poste. Normalement il emploie une antenne fouet repliable, mais pour les distances plus importantes, on peut y adapter une antenne à fil incliné dont une extrémité est attachée à un arbre, ou bien une antenne dipôle tendue entre deux supports verticaux.



NOUVELLE INSTALLATION D'ÉVAPORATION SOUS VIDE ÉLEVÉ POUR L'OPTIQUE ET L'ÉLECTRONIQUE

Avec l'installation d'évaporation sous vide BA 360, la Société Anonyme BALZERS, spécialiste de la technique du vide élevé pour les couches minces, apporte sur le marché la plus petite de ces unités qui comprend déjà les BA 510 et BA 710 V.

La cloche verticale à double paroi permet son refroidissement et son chauffage. Le diamètre de cloche de 360 mm et sa hauteur intérieure de 390 mm mettent à la disposition de l'utilisateur



Installation d'évaporation sous vide élevé BA 360.

une surface utile d'environ 730 cm². La platine de la cloche est pourvue de onze orifices pour traversées et accessoires.

Le poste de pompage semi-automatique à commande par un seul levier, est efficacement protégé contre toute perturbation et erreur de manœuvre. Sa vitesse de pompage de 650 l/s amène l'installation vide et propre, à une pression de 1×10^{-5} torr en 5 mn environ.

Le baffle réfrigéré et le piège Meissner permettent d'atteindre, dans les mêmes conditions, 5×10^{-7} torr en 10 à 15 mn.

Les accessoires désignés ci-après rendent l'installation exceptionnellement adaptable et en font une machine idéale de transition, recherche et production ; la plupart des accessoires peuvent être utilisés non seulement pour la BA 360 mais aussi pour la BA 510 et la BA 710 V.

Accessoires : équipement d'effluage, évaporateur à faisceau électronique, dispositif de mesure d'épaisseur de couches, vanne d'entrée de gaz à servo-commande, dispositif de forte intensité pour évaporation simultanée à partir de deux sources, traversées diverses.

De plus amples informations peuvent être obtenues en s'adressant à BALZERS A.G. FL. 9496 BALZERS. Principauté de LICHTENSTEIN.

THERMOTEST

Le THERMOTEST est un appareil de laboratoire et de contrôle destiné à porter à la température désirée un composant d'un circuit électronique en fonctionnement. (transistor, diode, résistance, thermistance, etc) avec affichage de la température de la sonde.

La sonde en cuivre rouge doré à tête amovible comporte noyées dans son corps, un élément chauffant et deux thermistances. L'une commande la régularisation électronique de température. L'autre sert de capteur pour le thermomètre électronique de lecture.



La température de chauffe est de $+30$ à $+160$ °C, le temps de chauffe de 20 à 100 °C : $1,5$ mn ; 20 à 150 °C : 3 mn.

La régularisation est entièrement électronique et ne comporte pas de relai. Précision de régularisation et de lecture ± 2 °C. Cet appareil est construit par la SOGIE.

NOUVELLE CAVITÉ A ONDES MICROMÉTRIQUES

EIMAC annonce la création récente d'une nouvelle cavité à hyperfréquence spécialement destinée à des essais thermiques et des traitements en laboratoire.

La cavité de $61 \times 46 \times 41$ cm et son alimentation sont groupées dans le même boîtier. Cet ensemble est spécialement destiné à produire une diminution rapide de l'humidité par chauffage en haute fréquence. Il peut être employé également pour obtenir une prise accélérée de colles, résines et polymères ainsi que pour effectuer des titrations ; il facilite l'établissement

d'un processus de fabrication nécessitant le chauffage par ondes micrométriques.

L'ensemble peut être complété par un appareil enregistreur sur papier pour contrôler le poids de l'échantillon au cours du séchage, la puissance nécessaire, etc. La gamme de poids s'étend de 200 à $2\,000$ g. La puissance de l'alimentation à $2\,450$ MHz peut être réglée de 500 W à $2,5$ kW.

Des informations complémentaires peuvent être demandées au département technique de VARIAN A.G. Baarerstrasse 77 6 300 Zoug Suisse.

LA PRISE CIRCULAIRE SUBMINIATURE ÉTANCHE A-MP

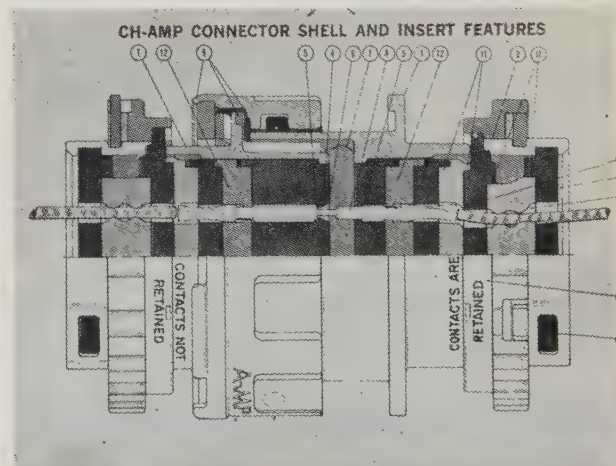
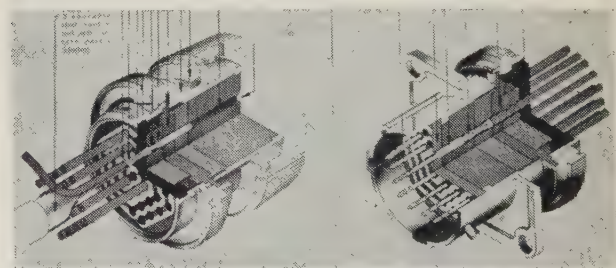
AMP, a développé un modèle de prise circulaire subminiature étanche à contacts sertis.

Les prises Ch-AMP* ont des performances supérieures à celles des normes MIL 26 500 et NAS 1 599, tout en admettant une densité de contacts double de celle des prises conventionnelles (par exemple pour la coquille de jauge 16, 58 contacts au lieu de 26).

Les coquilles de chaque demi-prise comportent, à l'arrière une partie mobile excentrée se verrouillant par simple rotation en deux positions repérées par des encoches :

- la position 1 assure un libre passage des contacts pendant le montage de la prise (contact not retained).
- la position 2 assure la rétention du contact et l'étanchéité sur l'isolant du fil (contact retained).

Les contacts peuvent être insérés ou extraits *sans aucun outillage*. Toutefois, pour les fils très fins ou pour les contacts positionnés sans fil, il existe un petit outil d'insertion.

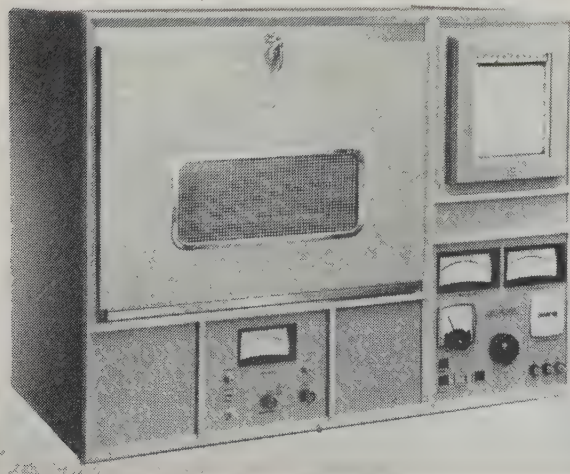


Prise circulaire subminiature étanche Ch-AMP. Vue éclatée de la prise avec positionnement des contacts mâles et femelles.

Les *contacts* à sertir ont un diamètre $0,76$ mm, ils sont en bronze spécial décollé et prévus pour haute température.

Les *contacts femelles* comportent quatre ressorts assurant une conductivité maximale et un minimum d'usure.

Les *contacts mâles* sont renforcés pour une bonne tenue dans le boîtier.



Le sertissage en quatre points, par pince spéciale A-MP, assure un minimum de résistance électrique, sans aucune déformation du contact.

Caractéristiques électriques et mécaniques :

Intensité maximale : 5 A

Température d'utilisation : $-55^{\circ}\text{C} + 150^{\circ}\text{C}$

Tension à 110 000 pieds : 1 000 V, prise fermée

Rétention des contacts : 5 kg

Résistance aux vibrations et aux chocs supérieure à celle imposée par la norme 26 500.

Un nouveau modèle est en cours de développement, pouvant résister à $+200^{\circ}\text{C}$.

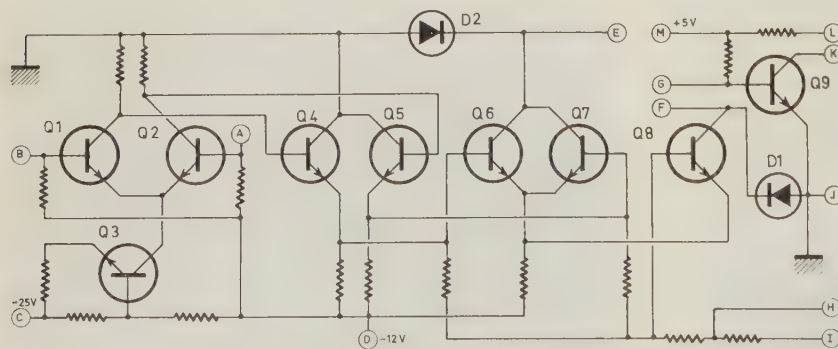
Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser à AMP DE FRANCE, 29 Chaussée Jules-César, 95 Pontoise.

UN AMPLIFICATEUR DÉTECTEUR A CIRCUITS INTÉGRÉS QUI RÉSOUD DE NOMBREUX PROBLÈMES POSÉS PAR LES CIRCUITS AUXILIAIRES DE « MÉMOIRES »

Parmi les caractéristiques importantes d'un nouvel et exceptionnel amplificateur-détecteur mis au point par SYLVANIA, 21 rue du Rhône - Genève - Suisse, on trouve réunis une très grande sensibilité, un minimum de tension de saturation (offset) et une réjection très élevée des tensions de mode commun.

Le SA-10 est un dispositif monolithique épitaxial au silicium, qui comporte un amplificateur différentiel, un seuil réglable par des moyens extérieurs, ainsi qu'un étage de sortie digital discriminateur (« gate ») à polarité positive ou négative. Cet amplificateur-détecteur est conçu pour un fonctionnement normal dans une plage de température s'étendant de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$. Il est livré, dans son exécution normale, en boîtier plat à 14 connexions.

Les ingénieurs de recherches seront particulièrement intéressés par le fait que ce nouvel élément est compatible avec toute la série SUHL (Sylvania Universal High-level Logic) ; d'autre part, il est facile de le combiner avec n'importe quels autres circuits logiques digitaux. Parmi les caractéristiques, il faut noter la rapidité de réponse, la grande vitesse de propagation et les possibilités de liaison directe à des circuits « OU ».



Brièvement, l'amplificateur-détecteur fonctionne comme suit (voir figure) : Le circuit d'entrée du dispositif consiste en un étage différentiel alimenté par une source de courant, la sortie étant connectée à un étage émetteur suiveur. A leur tour, les émetteurs sont mis à la masse à travers une série de quatre résistances de division de tension. Une des tensions intermédiaires de ce diviseur fixe la tension de base de Q8. En service normal Q8 est conducteur et débite un courant vers le potentiel -12 V à travers la résistance de son circuit émetteur. Ce courant détermine la tension de référence des émetteurs de Q6 et de Q7 et il en résulte que Q6 et Q7 sont polarisés négativement. Un signal positif appliqué à la base de Q6 ou de Q7 compense cette polarisation inverse et débloquent Q6 ou Q7. Ce courant supplémentaire contribue à élever la tension de l'émetteur de Q8, à

bloquer Q8 et à dévier le courant qui circule à travers son collecteur pour alimenter la base de Q9. De ce fait, Q9 est saturé et son débit devient négatif. Un débit négatif implique que les connexions G et F doivent être reliées ensemble.

Si l'on désire un débit positif, les connexions G et E doivent être reliées ensemble. Il en résulte que la connexion F reste à une tension de $-0,7\text{ V}$ par l'effet de la diode D-1. Dans le mode positif, le circuit se comporte de même que dans le mode négatif, Q6 et Q7 étant polarisés négativement, Q8 étant « passant » et Q9 étant saturé. Lorsqu'un signal d'entrée débloquent soit Q6, soit Q7, le courant du circuit de base de Q9 est dévié et il en résulte que le débit devient positif.

Le niveau du seuil de l'amplificateur-détecteur peut être modifié par intervention externe en modifiant soit le potentiel, soit la résistance, soit les deux, aux bornes H et I. En conditions de fonctionnement normales, les connexions L et K peuvent être reliées ensemble ou par l'intermédiaire de résistances de charge externes.

LASER A RUBIS

L'application pratique dans le domaine optique des phénomènes d'émission stimulée prévus dès 1917 par A. EINSTEIN, ne date que de 1960 seulement.

Toutefois, en moins de 4 ans, le laser (amplificateur de lumière par émission stimulée) s'est déjà taillé une place de premier ordre dans la technique avancée.

Le DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE APPLIQUÉE de la CSF consacre une part importante de son activité à des recherches et des réalisations en matière de lasers à solides et, notamment, les lasers à rubis et à verres dopés à oscillations libres ou à impulsions contrôlées. Ces Lasers à solides ont la propriété d'émettre une lumière monochromatique très intense et cohérente dans un angle solide voisin du milliradian. Leurs applications s'étendent à des domaines extrêmement variés :

- Communications, radars optiques, télémètres.
- Applications scientifiques, étude de l'effet Raman stimulé et non stimulé, effets non linéaires, productions de champs électriques intenses et d'harmoniques cohérentes de la lumière du faisceau, sondes spectroscopiques, interactions avec vibrations mécaniques...
- Réactions chimiques, photocatalyse, polymérisations.
- Médecine, biologie : ophtalmologie, ORL, traitement des tumeurs superficielles, micro-chirurgie, microcautérisations.
- Micro-usinages, micro-perçages, micro-soudures de tous matériaux, même les plus réfractaires ou présentant les plus grandes duretés.

Les lasers à solides, dans de nombreuses applications, constituent déjà un outil expérimental, complétant les outils classiques dans le domaine des micro-manipulations. La CSF propose actuellement aux physiciens, aux chimistes, aux biologistes et aux expérimentateurs de l'industrie, plusieurs types de lasers à rubis fonctionnant à la longueur d'onde de 6943 Å à température ambiante.

NOUVEAUX PROGRÈS POUR LE LASER

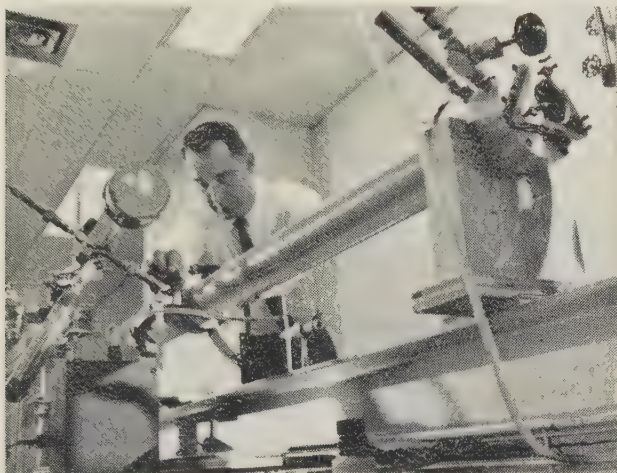
Une nouvelle pompe à haute énergie pour alimenter les lasers vient d'être mise au point par les laboratoires de recherche de la WESTINGHOUSE ELECTRIC Cy.

On sait qu'une pompe de laser fournit les explosions lumineuses qui engendrent la production des rayons étroits et cohérents du laser. La brillance de la lumière ainsi produite est plusieurs millions de fois supérieure à celle de la source d'origine.

Les pompes peuvent être construites en ligne ou en spirale. La nouvelle pompe Westinghouse adopte un système coaxial original et peut alimenter des lasers de près de 1 m de long.

La limite de la puissance d'un laser est fonction de la quantité d'énergie électrique qui peut être accumulée dans la pompe. Les pulsations électriques — dont la durée n'excède pas quelques millièmes de seconde — créent des ondes de choc qui ont tendance à briser le tube lumineux. Dans la pompe Westinghouse la puissance énergétique maximale est de 100 millions de W.

La pompe coaxiale consiste en deux tubes de quartz « gigo-gnes » le plus petit contenant le bâton du laser. Une électrode métallique unit l'extrémité des deux tubes.



La décharge électrique qui se produit entre les deux tubes forme un cylindre de lumière autour du bâton du laser. Le tube extérieur est revêtu d'une couche de tain afin de servir de réflecteur. Pendant les explosions lumineuses, le tube de quartz est soumis à une force qui a tendance à le comprimer plutôt qu'à le disjoindre. Une structure particulièrement forte et rigide enveloppe le bâton du laser dans une couverture de lumière.

Avec une source d'énergie électrique de 25 000 J, on obtient une radiation cohérente de 1 000 J.

PREMIER LASER SOLIDE FRANÇAIS À ÉMISSION CONTINUE

Pour la première fois en France, un laser solide à émission continue vient d'être réalisé. Il a été mis au point dans les Laboratoires de Recherche de la COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON.

Présentant un intérêt particulier pour les télécommunications et la télémétrie, ce laser utilise comme élément actif un barreau de grenat d'yttrium-aluminium (YAG) additionné de néodyme dans la proportion de un pour cent. Les qualités optiques du grenat et celles du néodyme, qui est l'élément actif et possède des raies de fluorescence très fines, permettent d'obtenir l'effet laser en utilisant pour le pompage une lampe au tungstène d'une puissance de quelques centaines de watts seulement. Cette lampe et le barreau de grenat sont placés aux foyers d'une cavité elliptique, un refroidissement énergétique du cristal étant assuré grâce à une circulation d'eau.

Le rayonnement infrarouge obtenu s'effectue sur une longueur d'onde de $1,06 \mu$ avec une puissance de l'ordre de 400 mW, ceci sans adaptation particulière de la lampe de pompage. Des lampes spéciales permettront, dans l'avenir, de porter cette puissance

à plusieurs dizaines de watts et d'envisager l'utilisation de ce type de laser pour résoudre des problèmes dépassant largement le cadre des télécommunications.

ÉQUIPEMENT INDIVIDUEL DE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Le 17 février, la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (D.R.M.E.) dépendant de la Délégation Ministérielle pour l'Armement (D.M.A.) a présenté le résultat d'études sur le dessalement de l'eau de mer à la suite de contrats passés avec la COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON et la SOCIÉTÉ DES RECHERCHES INDUSTRIELLES ET TECHNIQUES.

La D.R.M.E. a été amenée à s'intéresser au dessalement de l'eau de mer dans le cadre de dispositifs de survie permettant à un ou plusieurs hommes isolés en mer de pouvoir s'alimenter en eau contenant moins de 0,05 % de chlorure de sodium. Après une étude théorique sur les divers procédés envisageables (distillation, congélation, électrodialyse, osmose inversée), la D.R.M.E. a retenu deux procédés physico-chimiques simples nécessitant une consommation relativement faible en énergie :

— l'électrodialyse (THOMSON-HOUSTON)

— l'osmose inversée (SOCIÉTÉ DE RECHERCHES INDUSTRIELLES ET TECHNIQUES).

● Le procédé par électrodialyse consiste à extraire, séparément, les ions sodium positifs et les ions chlore négatifs du chlorure de sodium de l'eau.

La séparation s'effectue dans chacune des cellules élémentaires au travers de membranes sélectives, à l'aide d'électrodes polarisées. Ce procédé consomme théoriquement une énergie de cinq cent mille joules.

● Le procédé par osmose inversée utilise la propriété de certaines substances organiques (par exemple : l'acétate de cellulose) permettant des échanges entre deux fluides qu'elles séparent.

Si on partage par une cloison d'acétate de cellulose un récipient et que d'un côté on mette de l'eau pure et de l'autre de l'eau de mer, après un certain temps de l'eau pure sera passée dans le réservoir d'eau de mer. Ce phénomène dit d'osmose s'accompagne d'une pression, dite osmotique, qui croît avec la concentration du soluté (chlorure de sodium) dans le solvant (eau).

Inversement, en exerçant une pression supérieure à la pression osmotique, sur le compartiment contenant la solution de chlorure de sodium, on va voir de l'eau pure traverser la membrane en sens inverse. La consommation en énergie de ce procédé est de dix sept mille cinq cents joules.

● D'autres procédés (distillation simple, congélation) sont actuellement à la phase « études technologiques ».

— Dans la distillation simple, on porte l'eau de mer à ébullition et on recueille l'eau potable sur une paroi froide.

— Le procédé par congélation consiste à écrémer les cristaux d'eau pure qui se forment à la surface de la solution à une température de $-0,5^{\circ}\text{C}$. Il suffit ensuite de récupérer l'eau de fonte des blocs de glace.

Dans le cadre des contrats cités, il a également été demandé aux sociétés de réfléchir à l'extrapolation des résultats en vue de l'exploitation éventuelle des valeurs obtenues pour la réalisation d'unités susceptibles de produire plusieurs mètres cubes d'eau pure par jour.

Les résultats acquis seront transmis à la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique qui les utilisera dans le cadre général des études sur la dessalinisation de l'eau de mer. En outre, ces deux procédés pourraient être utiles dans le traitement des eaux polluées, problème qui se pose dès maintenant avec acuité dans les pays industrialisés.

COMMUNIQUÉS

ENSEIGNEMENT

CONCOURS D'ENTRÉE A L'ISEN (INSTITUT SUPÉRIEUR D'ÉLECTRONIQUE DU NORD)

Les concours d'entrée à l'Institut Supérieur d'Electronique du Nord (ISEN) sont ouverts aux jeunes gens et jeunes filles :

- les lundi 4 et mardi 5 juillet 1966, pour la première année, aux titulaires du Baccalauréat Mathématiques Élémentaires ou Mathématiques et Techniques, âgés de moins de 20 ans ;
- les vendredi 1^{er} et samedi 2 juillet 1966, pour la deuxième année, aux titulaires du certificat de MGP ou de MPC, ou d'un titre équivalent.

Centres de concours à Angers, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Lille, Lyon, Marseille, Nancy, Paris, Rennes et Toulouse.

Inscriptions et renseignements à l'ISEN : 3, rue François-Baës, 59-Lille.

JOURNÉES TECHNIQUES

11^{èmes} JOURNÉES D'ÉTUDE DE L'AUTOMATIQUE DANS LES INDUSTRIES CHIMIQUE ET PÉTROLIÈRE

Rouen 1^{er}, 2 et 3 juin 1966

Sous le patronage de l'Académie de Rouen et de diverses sociétés dont la SFER, le Centre de Perfectionnement Technique et l'AFRA, en collaboration avec l'Institut National Supérieur de Chimie Industrielle de Rouen, organisent les 11^{es} Journées d'Etude de l'Automatique dans les Industries Chimique et Pétrolière, les 1^{er}, 2 et 3 juin 1966, à l'Institut National Supérieur de Chimie Industrielle de Rouen (Mont-St-Aignan).

Ces journées font suite à celles qui furent organisées à Marseille en avril 1964. Elles comporteront deux journées et demi de communications techniques dont le programme est indiqué ci-après, l'après-midi du 3 juin étant consacrée à des visites.

Les droits d'inscription sont de 250 F par personne. Ils donnent droit à l'accès de la Salle de Conférences, à la remise du texte des communications, à la participation aux visites, à l'usage des moyens de transport mis à la disposition des participants.

Voici les thèmes principaux qui seront développés au cours de ces journées d'études :

- Mesures et salles de commandes : 4 communications.
- Commandes séquentielles : 3 communications.
- Régulation analogique : 3 communications.
- Calculateurs numériques : 3 communications.
- Optimisation : 3 communications.

Au programme des visites techniques, figurent :

A. L'Usine de la Société Industrielle de la Cellulose d'Alizay (près de Pont-de-l'Arche).

B. a) La Raffinerie Shell (Petit Couronne). — b) Station de pompage Trapil de Petit Couronne (Pipe-line Le Havre, Paris).

C. a) La Raffinerie ESSO (Port Jérôme). — b) Usine de N.D.-de-Gravenchon de la Société du Caoutchouc BUTYL.

D. Le Terminal Méthanier de Gaz de France, au Havre.

Pour les inscriptions, il y a lieu de s'adresser au Centre de Perfectionnement Technique, 28, rue Saint-Dominique, Paris-VII^e. Tél. : 468.10.73 qui fournira également, sur demande, tous renseignements complémentaires sur ces journées d'étude.

VOYAGE D'ÉTUDES POUR LES INGÉNIEURS DES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET ÉLECTRONICIENS

Le Comité « Sciences et Techniques » de l'Association FRANCE-URSS organise en Union Soviétique, un voyage d'études pour les Ingénieurs Electroniciens, du 3 au 13 septembre 1966 avec visite de Moscou et Léninegrad.

Le programme du voyage prévoit :

— De nombreuses visites professionnelles : Institut d'Electronique, Institut d'Energétique, Centre de Calcul de l'Académie des Sciences de Moscou, laboratoires de recherches, usines de composants électroniques, transistors, centre de Télévision, etc.

— Des rencontres et réceptions dont le but est de procurer aux participants des contacts directs avec leurs homologues soviétiques.

— Des visites touristiques.

Prix : par avion : 2 050 F par personne, comprenant le visa, les voyages par avion, le séjour, une soirée de ballets, les visites de musées, les excursions.

Le nombre des participants étant limité, il est recommandé de s'inscrire le plus tôt possible en s'adressant :

— soit au Comité Départemental de la Seine « Sciences et Techniques » de l'ASSOCIATION FRANCE-URSS 8, bd Ménilmontant, Paris-20^e, Tél. 636 38.50 et 51.

— soit à Madame Roland HAAS, 28, rue Lalo, Paris-16^e. Tél. 727.61.96.

APPLICATIONS DE LA MICROÉLECTRONIQUE A L'ÉQUIPEMENT AÉROSPATIAL

Nice - 13 et 14 juin 66

Delft - 16 et 17 juin 66

Destinées aux ingénieurs et chercheurs des différents pays de l'OTAN, des conférences sur la microélectronique, organisées par AGARD, sont présentées par un groupe d'experts sous la direction de M. Ed. KEONJIAN (Grumman Aircraft Eng. Co.).

Elles auront lieu à Nice, les 13 et 14 juin 1966 et seront répétées à Delft (Pays-Bas), le 16 et 17 juin.

Ces conférences feront le point de l'état de l'art en matière de technologie microélectronique et permettront aux spécialistes d'échanger leurs vues et leur expérience.

Au programme :

Introduction — Microelectronics : Fact and Myth, par E. KEONJIAN.

Criteria for Aerospace System Realization, par A.J. STANZIANO, US.

Microelectronics Technology and Economics, par C.F. O'DONNELL, US.

Reliability Assessment of Microcircuits and Micro-electronic Systems, par E.C. HALL, US.

Guidelines for Implementation of System Requirements into Electrical and Mechanical Designs for the Aerospace Environment.

partie électricité, par W.T. RHOADES, US.

partie mécanique, par J.J. STALLER, US.

Failure Mechanism in Microcircuits, par Dr G.V. BROWNING, US.

Case Histories of Some Designs

a) Low Cost and High Maintainability General Purpose Computer with Optimum Power-Speed Product, par W.T. RHOADES, US.

b) Multi-mode Operation Radar, par C.F. O'DONNELL, US.

c) Apollo Guidance and Navigation Computer, par E.C. HALL, US.

d) Three Airborne Microelectronics Equipments, par C.S. FROMBERG, UK.

e) Applications and Trends of Microelectronics in France, par J.L. BERTRAIS, Fr.

Les demandes d'inscription doivent parvenir avant le 1^{er} juin au Directeur des Plans et Programmes AGARD, 64 rue de Varennes, Paris-VII^e.

EXPOSITIONS

TROISIÈME QUINZAINE TECHNIQUE DE PARIS

Nous rappelons à nos lecteurs les grandes manifestations qui vont avoir lieu coup sur coup et simultanément à Paris :

- *Expomat* 1966, du 12-22 mai, à l'Aéroport du Bourget :
5^e Salon international du matériel de Travaux Publics et de Bâtiment.
 - *Biennale de l'Équipement Électrique*, du 18-27 mai, au Parc des Expositions, Porte de Versailles :
Salon international de matériels électriques et électroniques destinés à l'équipement de l'Industrie et des Services Publics.
 - *Foire de Paris*, du 18-30 mai, au Parc des Expositions, Porte de Versailles :
Foire universelle et internationale d'échantillons.
 - *Europlastique 66 Eurocaoutchouc*, du 20-30 mai, au Parc des Expositions, Porte de Versailles :
Exposition mondiale de l'industrie des Plastiques et des Caoutchoucs synthétiques.
- Pendant la durée de cette exposition, des conférences auront lieu au Conservatoire des Arts et Métiers 292, rue Saint-Martin, Paris-3^e.

FOIRE INTERNATIONALE DES INDUSTRIES NUCLÉAIRES Bâle 8 au 14 septembre 1966

Les spécialistes considèrent l'année au cours de laquelle aura lieu NUCLEX 66 comme le début de l'ère de la compétitivité économique de l'énergie nucléaire. Cette étape décisive du développement sera mise en lumière par NUCLEX 66, première démonstration de la capacité des industries nucléaires, qui se tiendra à Bâle, du 8 au 14 septembre 1966 dans le cadre de la Foire Suisse d'Echantillons.

Les thèmes principaux de NUCLEX 66 sont donnés ci-après :

1. Construction de réacteurs nucléaires,
Réacteurs de puissance et centrales nucléaires,
Réacteurs pour la propulsion navale,
Réacteurs d'essai.
2. Génie civil.
3. Protection contre les rayonnements.
4. Equipements de laboratoire.
5. Traitement de déchets radioactifs.
6. Application de radio-isotopes et techniques de l'irradiation.
7. Accélérateurs de particules et accessoires.
8. Prospection d'uranium et équipements pour les mines d'uranium.
9. Calculatrices électroniques.
10. Exposition des organismes d'Etat.
11. Divers (dont enseignement et films).

Des journées d'information NUCLEX auront lieu en même temps que l'exposition. La France y présentera une vingtaine de communications au cours des différentes séances ; parmi celles-ci, nous avons noté quelques communications sur le contrôle, l'instrumentation, le réglage, les instruments de mesure, les accélérateurs de particules.

RÉALISATIONS TECHNIQUES

GUIDES D'ONDES CIRCULAIRES

Le CENTRE NATIONAL d'ÉTUDES des TÉLÉCOMMUNICATIONS a entrepris depuis plusieurs années l'étude d'un nouveau système de transmissions : les guides d'ondes circulaires. Ceux-ci permettent, en effet, de transmettre des centaines de milliers de voies téléphoniques ou des dizaines de canaux de télévision.

Les études menées avec l'étroite collaboration du CENTRE de RECHERCHES de la COMPAGNIE GÉNÉRALE d'ÉLECTRICITÉ et des CABLES DE LYON, ont abouti au printemps de 1964 à des essais expérimentaux au CENTRE DE RECHERCHES de Lannion (C.N.E.T.) sur une distance de 1 500 m.

A la suite des intéressants résultats obtenus, l'administration des PTT a pris la décision d'effectuer une liaison expérimentale dans la région parisienne et a confié aux CABLES DE LYON, branche de la C.G.E., la fourniture et la pose de 5 km de guides.

Les essais, prévus pour la fin de 1966, constitueront une première mondiale.

ENSEMBLE DE TÉLÉMESURE POUR LE CENTRE SPATIAL GUYANAIS

Dans le cadre du programme spatial français, le CNES a été chargé de la réalisation d'un champ de tir spatial en Guyane. Les premiers tirs étant prévus pour la fin de 1968, les principaux équipements doivent être installés dans le courant de la même année.

Pour assurer la liaison avec les lanceurs ou les fusées-sondes jusqu'à une distance maximale de 3 000 km, il a été prévu un ensemble de réception de télémessure dans la bande de fréquence réservée aux lanceurs : 216-260 MHz. Cet ensemble se compose d'une station principale, équipée d'une antenne à grand gain, et d'une station secondaire, toutes deux munies de dispositifs de poursuite automatique, et dotées, en outre, des ensembles électroniques d'amplification, de réception, de contrôle et de liaison permettant le traitement des informations reçues.

Compte tenu des réalisations dont celui-ci a déjà assumé la responsabilité dans le domaine des télécommunications spatiales, le Centre National d'Études Spatiales a confié la maîtrise d'œuvre de ce projet au Centre de Recherches de la COMPAGNIE GÉNÉRALE d'ÉLECTRICITÉ.

I.T.T. VA INSTALLER UN COMPLEXE DE TÉLÉCOMMUNICATIONS AUX ILES CANAIRES

L'INTERNATIONAL TELEPHONE and TELEGRAPH CORPORATION (I.T.T.) vient d'obtenir un contrat pour la construction d'un complexe de télécommunications spatiales sur la grande île des Canaries. Cette station est destinée à assurer les liaisons radio avec l'équipage du vaisseau spatial « Apollo ».

La station terminale sera exploitée par la COMPANIA TELEFONICA NACIONAL de ESPANA, la C.T.N.E. pour le compte de la NASA, comme station de communications de soutien pour le voyage d'Apollo.

Les éléments principaux de ce complexe sont deux stations terrestres de communications par satellites mises au point par I.T.T. Federal Laboratories et semblables à celle qui a été installée à bord du porte-avions « WASP », grâce à laquelle les téléspectateurs européens ont pu voir sur leurs écrans de télévision les opérations de récupération des vaisseaux spatiaux GEMINI VI et VII.

Ces stations terminales terrestres seront construites par I.T.T.F.L. et seront équipées de réflecteurs à antennes paraboliques d'environ 13 mètres de diamètre, d'amplificateurs réfrigérés à bas niveau de bruit et de transmetteurs de 10 kW. Les stations permettront l'exploitation de circuits téléphoniques et télégraphiques à voies multiples, de haute fiabilité.

SYSTÈME DE TRANSMISSION RADAR POUR EUROCONTROL

EUROCONTROL, l'Autorité Européenne pour la Sécurité Aérienne a chargé Telefunken AG de la fourniture d'un système de transmission radar destiné à transmettre des signaux de moyenne portée des hauteurs de Neunkirchen (Odenwald) à la centrale située sur le Erbskopf (Hunsrück), 120 km plus loin, où ils seront exploités par le contrôle aérien fédéral.

Un seul tube relais suffit pour la transmission par fréquence et multiplex d'un radar secondaire video-signal, de deux radars primaires video-signal, d'une antenne à angle rotatif (digitale) et de douze signaux d'indication à distance.

A la demande de la Sécurité Aérienne, l'installation sera équipée d'un canal de secours complet qui, en cas de perturbations, se connectera automatiquement sans interruption de la transmission.

Excepté le réseau de câbles, tout l'équipement, construit en blocs, est réalisé d'après la technique des circuits imprimés et contient des transistors comme composants actifs.

LE PLUS PUISSANT ACCÉLÉRATEUR ÉLECTRONIQUE DU MONDE

Le plus puissant accélérateur électronique jamais construit sera mis en route au printemps 1967.

Le nouvel outil de recherche de 3 kilomètres de long, actuellement en construction pour l'Université de Stanford par une centaine d'entreprises sous contrat pour la Commission de l'Energie Atomique Américaine, permettra d'étudier les particules subnucléaires ou protons mesurant à peu près $0,25 \cdot 10^{-11}$ mm et qui n'existent que pendant une nanoseconde. Il aura en outre la propriété d'accélérer des protons ou des électrons à des vitesses et des puissances très élevées.

L'Université de Stanford est, depuis longtemps, un centre mondial de l'étude de la matière. Les physiciens ont utilisé depuis plusieurs années un accélérateur appelé Mark 111 dont le rayon énergétique est d'un milliard d'électrons-volts. L'accélérateur de 3 kilomètres de long aura une puissance normale de l'ordre de 20 milliards d'électrons-volts et l'on pourrait doubler ce chiffre si le besoin apparaissait.

Le faisceau électronique parcourra 3 kilomètres dans un tube de cuivre spécialement conçu par Dow Chemical. Utilisé comme faisceau de support, le creux profilé de 17,5 cm sur 12,5 cm est coupé en tronçons d'environ 3 mètres. Il comprend 1 100 pièces d'un poids total de 45 tonnes. Il contient des disques destinés à contrôler la vitesse des ondes. Il est contenu dans un tube de protection en aluminium.

Dans l'appareil, un pistolet électronique semblable à un tube-images de télévision déclenche 360 fois par seconde de courtes rafales d'électrons. Ces rafales sont propulsées par des ondes émises par des tubes au klystron d'une puissance exceptionnelle. 240 de ces tubes sont répartis sur toute la longueur de 3 kilomètres. Chacun fournira jusqu'à 24 millions de watts d'énergie d'ondes ultra-courtes.

Le cœur de l'appareil est constitué par le tube de 3 km enterré dans un tunnel à 7 m de profondeur. Les 900 personnes servant l'accélérateur travailleront dans un bâtiment de 3 km au-dessus du tunnel et dans un complexe de 8 bâtiments à l'extrémité du récepteur. De nombreux problèmes de construction et d'engineering ont dû être surmontés avant que la construction ne commence. Un des problèmes les plus difficiles a été de construire un tube rigoureusement droit sur toute la longueur. La variation maximale autorisée a été de plus ou moins 1/10 mm.

CARNETS DES SOCIÉTÉS

LA SOCIÉTÉ PROCHAL

La Société PROCHAL, 5, rue Bellini, 92-Puteaux, filiale de CIBA S.A. à Bâle et de PECHINEY/SAINT-GOBAIN, vend en France les résines synthétiques de CIBA et fabrique un certain nombre d'entre elles.

Les résines figurant à la carte de PROCHAL sont les suivantes :

— *Les résines époxydes* vendues sous la marque (R) ARALDITE en même temps que les flexibilisateurs, accélérateurs, durcisseurs et charges indispensables aux applications industrielles.

— *Les résines et mélamine* vendues sous trois marques différentes selon le domaine d'application auquel elles sont destinées : CIBAMINE, MELOLAM et MELOPAS.

— *Les résines uréiques* : classées en deux catégories d'après leur domaine d'applications : MELOCOL, AEROLITE et ARGUS, d'une part, et CIBANOIDE, d'autre part.

Les nombreuses possibilités d'emploi de ces résines synthétiques mettent PROCHAL en rapport avec de nombreux consommateurs auxquels elle apporte son aide technique.

La Société PROCHAL a inauguré au printemps dernier un laboratoire d'applications situé dans les locaux du Centre de Recherches de PECHINEY/SAINT-GOBAIN à la Croix-de-Berny où elle a la faculté d'étudier les problèmes techniques posés par ses clients dans les secteurs de son activité et de faire devant eux des démonstrations relatives à l'application de produits nouveaux.

La Société PROCHAL organise également, deux fois par an, à la Croix-de-Berny, des cours destinés à ses clients appartenant à la branche d'électrotechnique.

Dans le même ordre d'idée, elle donne régulièrement à Bezons un cours relatif à l'application de ses résines dans la fonderie et l'outillage.

La Société PROCHAL exposera ses différents produits à EUROPLASTIQUE

AMP

Les connexions électriques sans soudure ont fait l'objet de brevets, dès 1882, mais ils restèrent inexploités. En fait, ce n'est que 59 ans plus tard que, pour la première fois, la Société AMP Inc., pionner de la connexion électrique sans soudure a entrepris l'étude systématique sur le plan industriel, tant au point de vue des produits que de l'outillage de sertissage.

Dès 1941, AMP a créé des services techniques, des laboratoires de recherche, des usines, des services après-vente, qui ont permis de mettre à la disposition de toutes les industries, des connexions sans soudure, non seulement supérieures techniquement aux connexions classiques à vis ou soudées, mais plus économiques grâce au sertissage par presse automatique, outil pneumatique, outil à main.

En 1966, la technique de sertissage AMP a fait de cette société un spécialiste incontesté dans le domaine de la fabrication de connexions sans soudure, simples et multiples, connexions pour câbles coaxiaux et blindés, systèmes de programmation, accessoires pour circuits imprimés et autres composants pour les besoins de la miniaturisation dans l'équipement.

La diversification de sa gamme est telle que AMP a pénétré chacun des domaines de l'électricité et de l'électronique : appareils électro-ménagers, automobiles, avions, fusées, engins, télécommunications, énergie électrique et nucléaire, constructions navales, équipements électroniques militaires et commerciaux.

Au total 15 000 produits protégés par 5 000 brevets.

L'essor de AMP et le succès rencontré par ses produits sont dus, pour une très large part, aux importants moyens de recherche mis en œuvre et aux contrôles minutieux qui régissent tous les stades de sa production. Un groupe de chercheurs et de techniciens hautement qualifiés contribue chaque jour à l'amélioration des performances du matériel étudié pour l'équipement électrique et électronique.

AMP a ainsi pu résoudre des problèmes aussi variés que l'amélioration des procédés de finition, la limitation de l'influence des conditions ambiantes et, en particulier, des radiations sur les métaux, l'amélioration des matières isolantes et autres composants.

AMP met toutes ses ressources créatrices et ses moyens techniques au service des Industries électriques et électroniques. Les essais de laboratoire, d'une rigueur absolue, permettent de vérifier la valeur de prototypes, de maintenir et même de perfectionner le niveau de qualité des produits existants.

REPRÉSENTATION D'ÉLECTRO-INSTRUMENTS

La Société SEUROLEC, 39-41, rue de l'Est, 92-Boulogne-Billancourt, Tél. 408 38.60 nous informe qu'elle représente en France depuis le 1^{er} février 1966 la Société ELECTRO-INSTRUMENTS bien connue pour ses voltmètres digitaux et différentiels de précision (anciennement fabriqués par C.S.C.), enregistreurs XY, amplificateurs CC et systèmes digitaux de centralisation de mesures.

La Société SEUROLEC fait également savoir que son laboratoire de maintenance peut effectuer tous travaux de réparation sur les appareils Electro-Instruments.

OUVERTURE PROCHAINE D'UNE NOUVELLE USINE SOURIAU

La Société SOURIAU, spécialisée dans la fabrication des connecteurs, nous fait savoir qu'elle procède actuellement à la Ferté-Bernard à la formation des cadres techniques qui, à l'automne prochain, constitueront les bases de la nouvelle usine de Champagné, dans la Sarthe. Cette 4^e usine du Groupe occupera 300 personnes en 1967.

DISTINCTION

Une promotion exceptionnelle dans l'ordre de la Légion d'Honneur est venue récompenser les grands responsables du Centre National d'Etudes Spatiales du succès français de l'espace.

M. J.-Cl. SIMON, directeur du Centre CSF d'Etudes de Physique avancée, des Composants et de leurs Applications (CEPCA), à Corbeville, y a été associé pour ses travaux personnels et l'ensemble de ceux qu'il a coordonnés : réseau IRIS, émetteur du satellite D1.A.

Né à Paris en 1923, Jean-Claude SIMON est ancien élève de l'école Polytechnique, licencié de mathématiques, Docteur ès Sciences Physiques.

Détaché au laboratoire de l'Ecole Normale Supérieure en 1947, il entre à la CSF deux ans plus tard après un stage au MIT de Boston. Chef de laboratoire au Département de Recherches Physiques, il est promu Directeur du Département de Physique, appliquée en 1957, puis du Groupement d'Etudes Spatiales. Enfin, nommé Directeur de la Prospective Scientifique, il prend en 1965 la direction de la CEPCA.

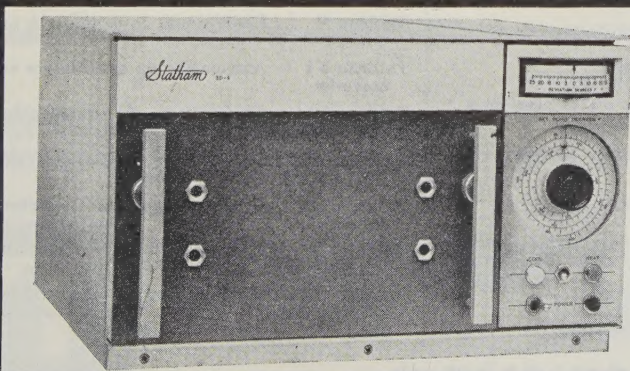
Spécialiste à l'origine des questions de propagation, J.-Cl. SIMON s'est attaché aux recherches suivantes :

Brouillages de radar, acoustique sous-marine, circuits hyperfréquences, rayonnement et antennes spéciales, radiométrie en ondes millimétriques, résonance paramagnétique (études qui débouchent sur un magnétomètre, une horloge atomique et les ensembles maser et laser), thermographie infra-rouge, etc.

PETITES ANNONCES

696 C. — Importante Usine du Sud-Est recherche Ingénieur électronicien ayant quelques années de pratique, pour un poste de chercheur dans le domaine réducteurs de mesure et protection des réseaux haute tension. Ecrire à la Revue qui transmettra.

697 C. — Ing. 35 a. libre début sept., rech. sit. stable Province, Expér. en TECHNIQUES DIGITALES et ANALOGIQUES à SEMICONDUCTEURS
Ecr. N° 63.604 CONTESSE Publicité, 20, av. de l'Opéra, Paris-1^{er} qui transmettra



chambre de température STATHAM

ENTIÈREMENT TRANSISTORISÉE TYPE SD

- réglage proportionnel électronique, précision $< 0,1^\circ \text{C}$.
- -70°C à $+270^\circ \text{C}$ et, -180°C à $+200^\circ \text{C}$
- Nombreux dispositifs et accessoires originaux standard et optionnels : éliminations des parasites par comparateur de phases, double sécurité, boutons poussoirs pré-réglés, contrôleur de cycles, programmeur, tiroirs à composants dipôles et tripôles avec commutateur, etc.

Maintenance rapide assurée. Documentation, démonstration, et liste de référence sur demande.

12, RUE LE CHATELIER
PARIS 17^e • GAL. 05-23 +

spetelec

PIONNIER DES TECHNIQUES AVANCÉES

DIPÔLES QUADRIPOLES et calcul matriciel

PAR

L. BOË ET Ph. RAMAIN

Un ouvrage de 242 pages, 15,5 × 24 cm, 161 figures, 11 tableaux.

Relié pleine toile — Prix : 36 F plus port 2 F = 38 F

Voici un nouvel ouvrage consacré à la mathématique des circuits en régime linéaire. Monsieur Philippe RAMAIN, licencié ès Sciences le spécialiste des questions de circuits, bien connu des lecteurs des revues françaises d'électronique, a pris pour base de travail le livre essentiel du regretté Professeur Louis Boë : « Dipôles et quadripôles », ouvrage qui contribua à former de nombreuses générations d'ingénieurs radio-électriciens.

De nos jours, où l'algèbre linéaire, applicable aux circuits électriques selon les lois de Kirchhoff, est devenue de plus en plus familière, la notion de quadripôle, qu'il soit actif ou passif, fait nécessairement partie de l'équipement mental de tout électronicien, avec le comportement des semiconducteurs, des circuits asservis par rétroaction, des filtres, des lignes de transmission...

Philippe RAMAIN a su ajouter aux services rendus aux techniciens, par les notions abstraites de dipôles et quadripôles, les avantages d'un outil mathématique parfaitement adapté à leur usage : le calcul matriciel, du type d'ailleurs le plus élémentaire, puisque limité aux matrices carrées d'ordre 2, en accord avec les notations modernes les plus généralement adoptées.

L'ouvrage se divise en trois parties : la première, par Philippe RAMAIN, présente, de façon moderne, la théorie des quadripôles ; la seconde, d'applications et diagrammes, reprend, mais en notations actuelles, l'essentiel du livre de Louis Boë ; enfin, une troisième partie, par Philippe RAMAIN, résume, sous forme de tableaux et formulaires, les résultats théoriques d'usage courant.

♦♦

SOMMAIRE DE L'OUVRAGE

I^{re} PARTIE : THÉORIE DES QUADRIPOLES par Ph. RAMAIN

Chapitre 1 : Notions de calcul matriciel. Matrices d'ordre 2.

Rappel des lois fondamentales sur les circuits.
Notions d'analyse des réseaux.

Chapitre 2 : Les dipôles.

Dipôles passifs.
Dipôles actifs : tubes électroniques.
Associations de dipôles.

Chapitre 3 : Les quadripôles. Définitions et notions de base.

Les équations des quadripôles.
Quadripôles réciproques. Quadripôles symétriques.
Transformation des quadripôles.
Schémas équivalents au quadripôle actif.
Changement de base.
Quadripôle symétrique transformé d'un quadripôle.

Chapitre 4 : Transfert du quadripôle chargé.
Impédances d'entrée et de sortie en charge.
Dipôle équivalent au quadripôle chargé.

Chapitre 5 : Associations de quadripôles.

Quadripôles en série, en parallèle.
Quadripôles en parallèle-série et en série-parallèle.
Quadripôles en cascade.
Associations de quadripôles et de dipôles passifs.
Méthode des nœuds non connectés.

Chapitre 6 : Impédances-images et impédances itératives. Transfert.

Transfert sur impédance-image.
Transfert sur impédance itérative.
Exposant de transfert logarithmique.

Chapitre 7 : Les quadripôles singuliers.

Quadripôles unilatéraux.
Quadripôles incomplets.
Quadripôles instables.

Chapitre 8 : Transfert en puissance du quadripôle.

Affaiblissement composite.
Stabilité inconditionnelle.

Chapitre 9 : Tubes électroniques et transistors.

Tube cathode à la masse.
Tube grille à la masse.
Cathode follower.
Transistor émetteur commun.
Transistor base commune.
Transistor collecteur commun.

Chapitre 10 : Quadripôles réciproques.

Quadripôles symétriques.

II^e PARTIE : APPLICATIONS. DIAGRAMMES par L. BOË.

Chapitre 11 : Diagrammes des quadripôles.

Représentation de l'impédance d'entrée d'un quadripôle.
Cercle de Kennely.
Diagrammes des tensions et des courants.

Chapitre 12 : Les filtres.

Filtres à polycellules à pures réactances.
Conditions de filtrage.
Filtres en échelle. Cellules en T et en π .
Filtre en treillis.
Cellule en T ponté, cas général.
Filtres passe-bas.
Filtres passe-bande.
Filtres coupe-bande.
Retard produit par les filtres passe-bas.
Etude du régime transitoire.
Filtres divers.
Cellule en T à impédance itérative résistante.
T ponté.
Liaison à résistances et capacités.
Cellule en double T.

Chapitre 13 : Les transformateurs.

Equations générales.
Schéma équivalent général.
Phénomènes d'hystérésis.
Transformateur d'alimentation.

Transformateur BF de sortie.
Circuits couplés par inductance mutuelle.
Circuits couplés par capacité en tête.

Chapitre 14 : Les lignes.

Notion de quadripôle élémentaire.
Décomposition d'une ligne en quadripôles élémentaires.
Ligne homogène de longueur finie.
Ligne homogène infinie.
Lignes dissemblables. Coefficient de réflexion.
Lignes à faibles pertes.
Temps de propagation dans les lignes.
Lignes artificielles.

III^e PARTIE : TABLEAUX ET FORMULAIRE par Ph. RAMAIN.

Tableau I : Rappel des principales définitions (dépliant).

Tableau II : Groupes de passage des coefficients matriciels.

Tableau III : Grandeurs d'entrée et transfert en sens direct.

Tableau IV : Grandeurs de sortie et transfert en sens inverse.

Tableau V : Générateurs équivalents à un quadripôle et à sa source.

Tableau VI : Association de quadripôles en cascade.

Tableau VII : Associations de quadripôles et de dipôles.

Tableau VIII : Transfert sur impédance itérative et sur impédance image.

Tableau IX : Groupes de passage des déterminants.

Tableau X : Matrices du quadripôle en fonction de l'exposant de transfert.

Tableau XI : Matrices des principaux quadripôles passifs : cellules, transformateurs, lignes.

DUAL

Emitter Integrated Choppers

Use of advanced planar, epitaxial and guard ring techniques give high reliability plus:

- * Offset voltage less than $10\mu\text{V}$
- * V_0 temp. coeff: less than $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- * Dynamic resistance less than 25Ω
- * BV_{EEO} better than 20V
- * Prime types 3N120 and 3N121 and full range of other 3N types.



Transistor Differential Amplifiers

Extremely close matching and tracking are guaranteed in prime types 2N3907 and 2N3908:

- * h_{FE} matched within 10%
- * V_{BE} matched within 1mV
- * V_{BE} tracking within $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- * Many other types available.

DUAL

Choppers intégrés à double émetteur

L'utilisation des techniques avancées, Planar, épitaxiale et à anneaux de garde procure une fiabilité élevée et assure de plus:

- * Une tension d'"Offset" V_0 inférieure à $10\mu\text{V}$
- * Un coefficient de température en V_0 inférieur à $0,2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- * Une résistance dynamique inférieure à 25Ω
- * Une tension de claquage BV_{EEO} supérieure à 20 V.
- * Types 3N120-3N121 et nombreux autres types 3N.



Transistors doubles pour amplificateurs différentiels

Des conditions d'appariement et des tolérances extrêmement étroites sont garanties sur les types 2N3907 et 2N3908:

- * h_{FE} appariés à moins de 10%
 - * V_{BE} appariés à moins de 1 mV
 - * Coefficient de température en V_{BE} inférieur à $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Nombreux autres types disponibles de performances voisines.

DUAL

Zerhacker (Chopper) Transistoren mit integrierten Emittern

Die Anwendung fortgeschrittener Planar—und Epitaxialtechniken liefert hohe Zuverlässigkeit. Weitere Eigenschaften sind:

- * "Offset"—Spannung = $10\mu\text{V}$
- * TK der Ausgangsspannung $\leq 0,2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- * Dyn. Innenwiderstand $\leq 25\Omega$
- * Durchbruchspannung $BV_{EEO} \geq 20\text{ V}$
- * Haupttypen 3N120 und 3N121 Sowie weitere 3N—Typen



Transistoren für Differentialverstärker

Für die Typen 2N3907 und 2N3908 sind folgende Paarungsbedingungen garantiert:

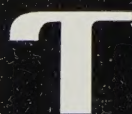
- * h_{FE} Paarungsbereich max. 10%
 - * V_{BE} Paarungsbereich max. 1mV
 - * V_{BE} Temperaturabweichung max. $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Mehrere andere Typen sind erhältlich

 GUARD BAND

 PASSIVATING LAYER

 EMITTER METAL

 BASE METAL



TRANSITRON

Transitron Electronic

29 avenue de l'Opera, Paris 1^{er}—OPE.69.89 Telex: 71697.
Distributeur: E.T.I. 73 avenue de Neuilly, Neuilly-sur-Seine, Seine

Transitron Electronic Limited

Gardner Road, Maidenhead, Berks.
Tel: 26371. STD-OMA-8. Telex: 84335.

Transitron Elektronik G.m.b.H.

8000 München 5, Corneliusstrasse 12.
Tel: 24 12 74 u. 24 04 19. Telex: 05-22109.

Representatives in : Amsterdam • Copenhagen • Milan • Oslo • Stockholm • Vienna • West Berlin • Zurich

MICROWAVE ASSOCIATES



diodes

- MELANGEUSES
- DETECTRICES
- SCHOTTKY BARRIER
- VARACTORS
- DIODES PIN

- TR et TR LIMITEURS
- AMPLIFICATEURS
- DIODE TUNNEL
- SOURCES : DOPPLER & O. L.
- COMMUTATEURS à DIODES
- AMPLIFICATEURS
- MICROMINIATURES F. I.

ferrites

- ISOLATEURS
- CIRCULATEURS
- FILTRES Y. I. G.

composants

HYPERFRÉQUENCES

- GUIDES
- COAXIAUX
- TRIPLAQUES

Demandez la visite d'un de nos ingénieurs spécialisés

tranchant électronique s.a.



19, RUE MADAME DE SANZILLON - 92 - CLICHY • TÉL. 270 22-55 + et 270 26-10 • TÉLEX 29.529
ASSISTANCE TECHNIQUE ET GARANTIE ASSURÉES