

# L'onde électrique

REVUE MENSUELLE DE LA SOCIÉTÉ DES ÉLECTRICIENS,  
DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

Volume 54 n° 1 Janvier 1974

U. of ILL. LIBRARY

MAR 28 1974

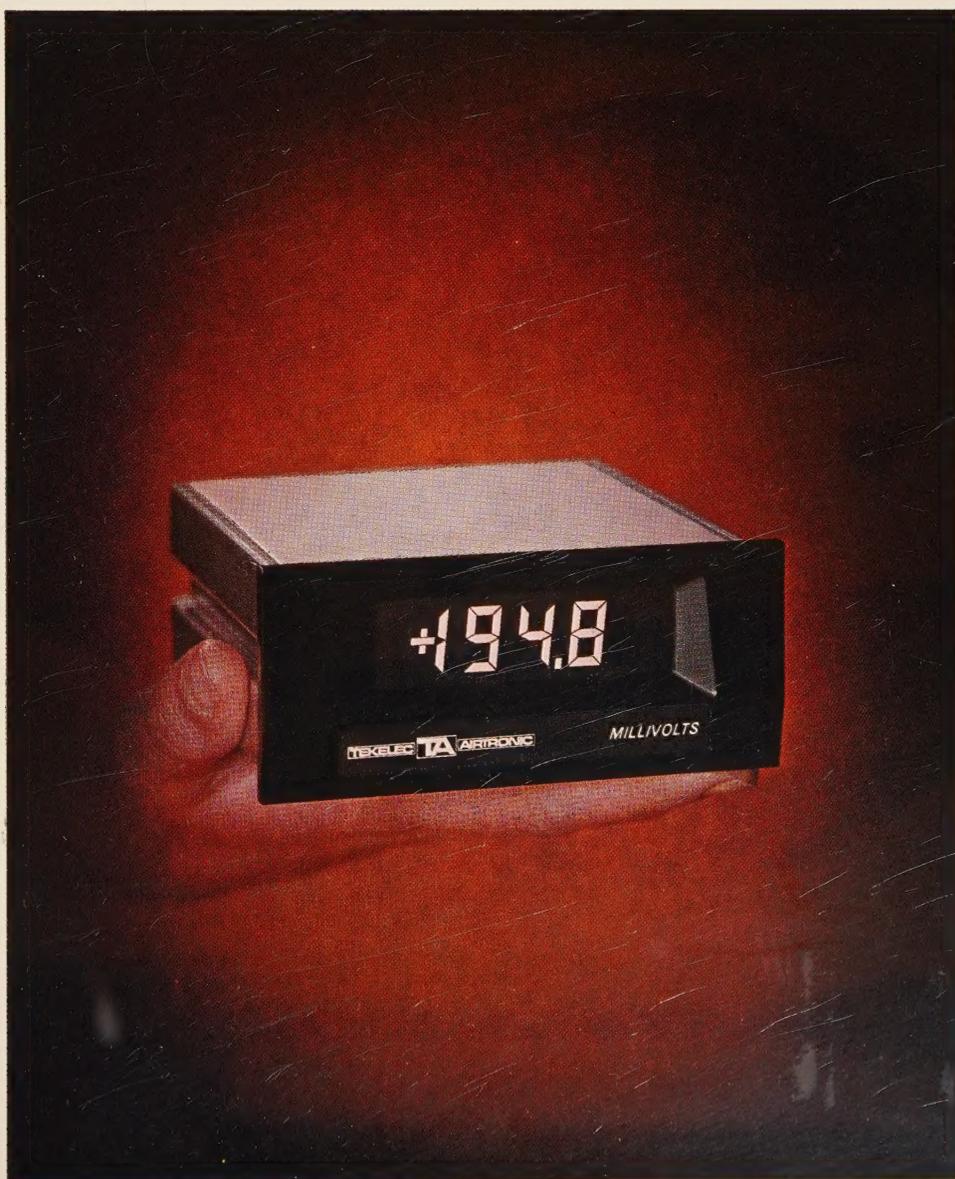
LES TECHNOLOGIES MOS

ORDINATEURS: LA RÉPONSE VOCALE

CHICAGO CIRCLE

INFORMATIQUE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS

Le Congrès de L'Afcet



M&E

SSON ET CIE

Indicateurs de  
Tableau TA 300

# GÉNÉRATEUR SYNTHÉTISÉ HF-VHF

TYPE L 210

- Affichage numérique par D.E.L. (8 digits).  
Stabilité  $5.10^{-8}$ /heure par dispositif de synthèse (asservissement) entièrement automatique.  
Résolution en position « asservie »  
1 Hz jusqu'à 60 MHz  
10 Hz jusqu'à 480 MHz
- Dispositif d'affichage de la fréquence indépendant du dispositif d'asservissement : la fréquence affichée est toujours la fréquence effectivement délivrée.
- Niveau de sortie réglé 2 V/50  $\Omega$  ( $\pm$  0,5 dB).  
Affaiblissement : + 19 dBm à - 141 dBm.
- Modulation AM :  
400 Hz et 1 kHz en interne  
0 à 100 kHz en externe
- Lecture sur galvanomètre distinct du galvanomètre de niveau HF.
- Utilisation pour les dispositifs VOR et ILS : modulation sans déphasage entre le signal modulant et le signal de sortie.
- Modulation en impulsions extérieures : 0 à 1 MHz  
Profondeur de modulation > 60 dB.
- Bruit de fond résiduel dans toute la bande de fréquence ramené à 1 Hz de bande passante < 140 dB.
- AM résiduelle  $\leq$  90 dB pour une bande passante après détection de 100 Hz à 3 kHz.  
FM résiduelle à 480 MHz  $\leq$  5 Hz pour une bande passante après détection de 100 Hz à 3 kHz.
- Distorsion harmonique au niveau de 1 V de sortie  $\leq$  35 dB sur toute la plage de fréquence.

ni générateur conventionnel...



...ni synthétiseur

documentation franco sur demande

FERISDL

**Établissements GEFROY &**  
Société Anonyme au Capital de 13 153 000 F.  
18, Avenue P.V.-Couturier, 78190 - TRAPPES  
Tél. 462.88.88 - Télex : 25.705 - Câble : FERITRA

Délégations Régionales : LYON - RENNES - TOULOUSE  
Bureaux Techniques : MILAN - FRANCOFORT

# L'onde électrique



UE de la Division Électronique,  
dioélectricité  
Télécommunications (D.E.R.T.)  
la Société des Électriciens,  
Électroniciens  
des Radioélectriciens (S.E.E.)

## Action

avenue Pierre-Larousse  
40 MALAKOFF  
: 580.64.93 -

## Unité de l'Onde Électrique

ident : L. GOUSSOT, Ingénieur général  
Télécommunications à l'ORTF

-Président : M. THUÉ, Ingénieur général  
Télécommunications au CNET

## Unité de lecture

ident : G. LEFRANÇOIS, Directeur des  
les à l'ENST

acteur en chef : D. HALPERN

nnements (1974) : 10 numéros

NCE et Zone Franc . 120 F.

ement par mandat, chèque postal (compte Masson  
e, 599-Paris) ou chèque bancaire.

ANGER : 145 F.

abonnements partent du 1<sup>er</sup> numéro de l'année.

f par avion sur demande

esser le règlement à :

son et Cie, Éditeurs

, boulevard Saint-Germain  
80 - Paris, Cedex 06

phone : 588-50-50; 588-14-66; 588-33-83.  
P. 599-Paris

oute correspondance relative aux abon-  
nements (changement d'adresse, etc.), joi-  
z l'étiquette d'envoi (ou rappelez votre  
néro d'abonné).

olicité : M. Leroy

son et Cie, Éditeurs  
D, boulevard Saint-Germain,  
80 - Paris, Cedex 06

phone 326-56-11, 325-32-11, 633-85-21,  
-77-84.

## Sommaire

n° 1 - Janvier 1974

Volume 54

Les sommaires de l'Onde électrique sont reproduits dans les Current Contents Engineering and Technology.

### Éditorial

L. GOUSSOT et M. Y. BERNARD

### Avant-propos

### Synthèse

3 Évaluation des technologies MOS. J. LACOUR

### Aide-mémoire

11 Quelques notions sur les transistors MOS. G. GEORGIN

### MOS

15 Valorisation des technologies MOS par l'utilisation de l'implantation ionique. J. BERNARD

23 Technologie MOS à grille réfractaire. M. BERTH

27 Une nouvelle technologie MOS complémentaire : LOCMOS. M. BRANDT, W. STEINMAIER et A. STRACHAN

### Hyperfréquences

31 Transistor à effet de champ à barrière métallique. M. BINET et P. BAUDET

### Informatique

36 La réponse vocale. M. CARTIER et J. GENIN

### Actualités

43 Informatique et télécommunications.

44 Pleumeur-Bodou III.

45 La nouvelle convention internationale des télécommunications.

### En bref

### Activité des laboratoires

### Nouveautés techniques

### Colloques et réunions

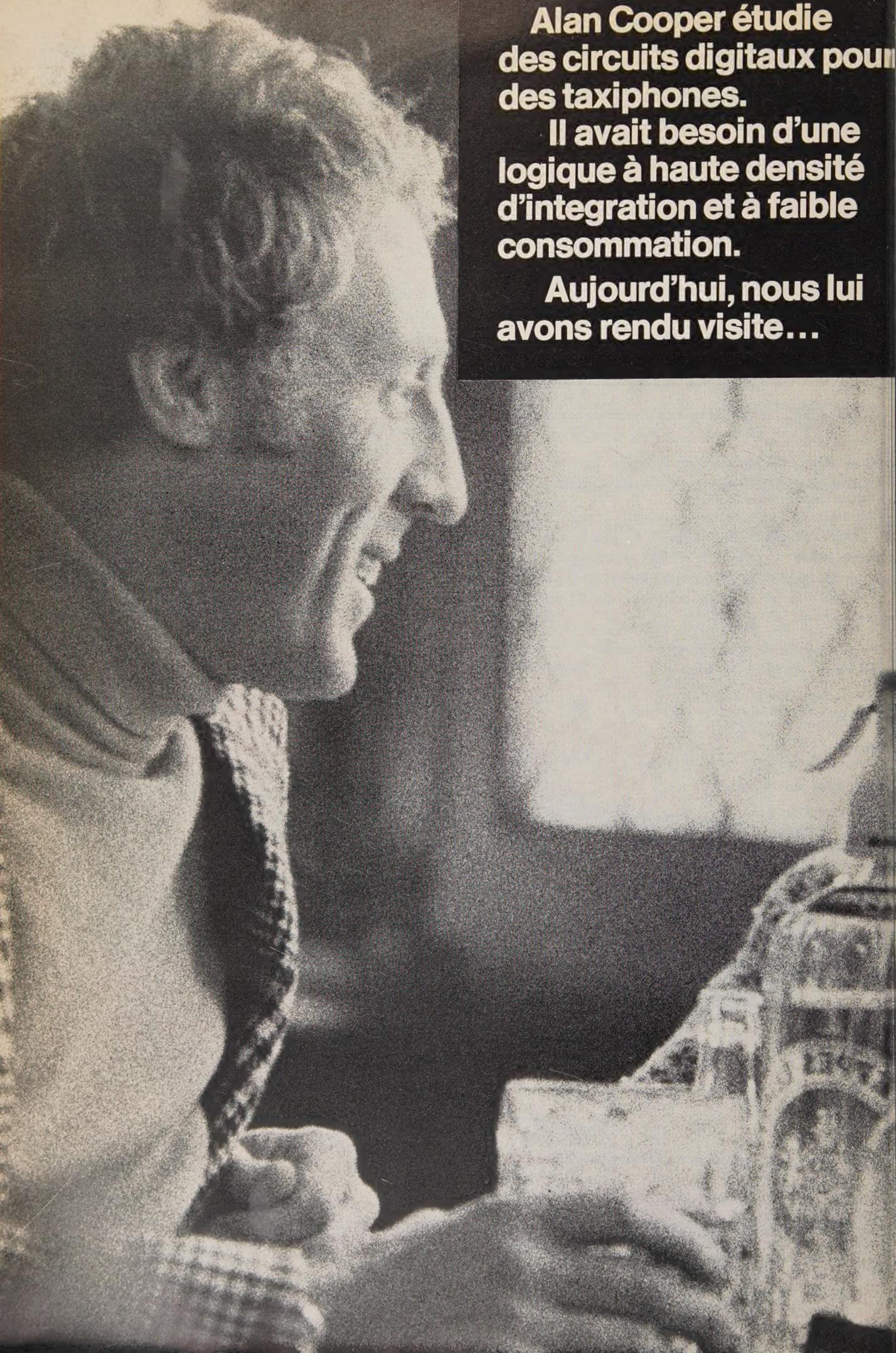
### Livres

### Couverture

Indicateurs de tableau TA 300 fabriqués à l'usine TEKELEC-AIRTRONIC de Bordeaux.

Ces indicateurs existent en version 2 1/2, 3 1/2 et 4 1/2 digits (affichage à cristaux liquides), avec un choix de 5 gammes de tension et 8 gammes de courant.

16 options permettent de les adapter aux applications les plus diverses. TEKELEC-AIRTRONIC, Cité des Bruyères, rue Carle-Vernet, 92310 Sèvres. Tél. 626-02-35.



**Alan Cooper étudie  
des circuits digitaux pour  
des taxiphones.**

**Il avait besoin d'une  
logique à haute densité  
d'intégration et à faible  
consommation.**

**Aujourd'hui, nous lui  
avons rendu visite...**

Résultat : un homme libre de tous soucis. Un problème résolu.

Il a trouvé dans les performances inégalées des circuits digitaux COS/MOS de RCA (et dans leur gamme complète) plus même que ses besoins ne l'exigeaient.

D'autres personnes apprécient aussi les composants RCA : les utilisateurs de circuits intégrés linéaires, transistors de puissance, de thyristors et circuits de puissance RF. Comme Alan Cooper, ils savent qu'ils peuvent compter sur une distribution locale de première, parfaitement équipée sur le plan technique et commercial.

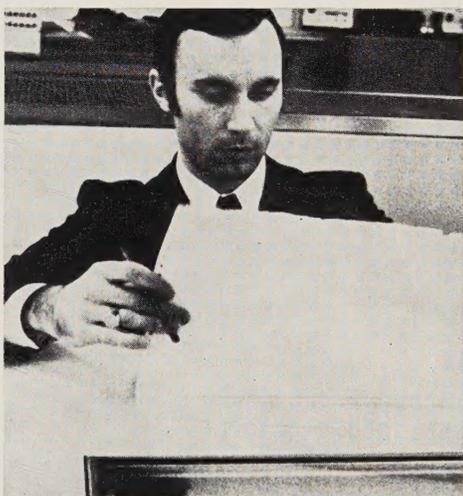
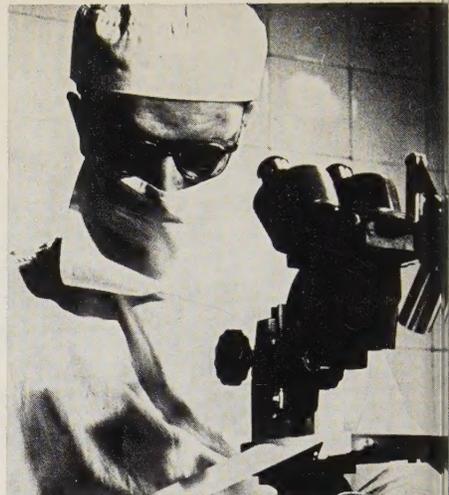
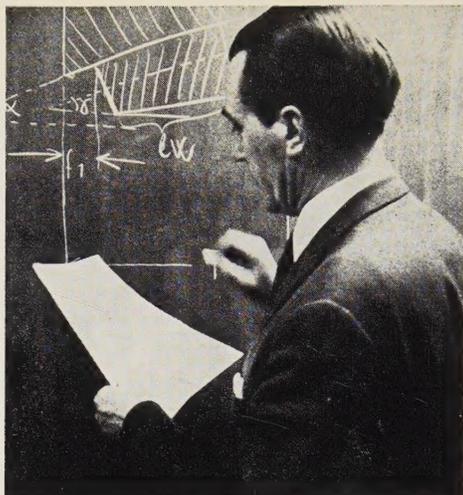
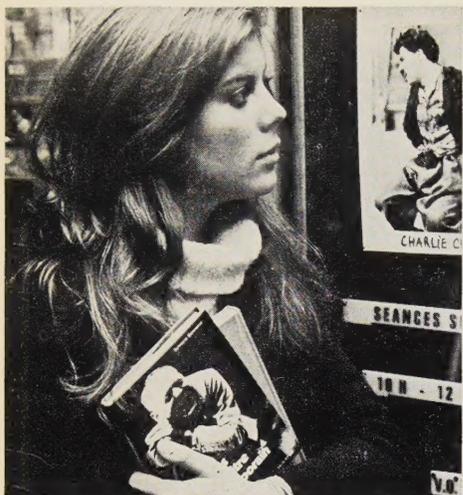
Mieux. Ils savent aussi que notre implantation en usine-usines, stocks, services—est réellement conçue pour rendre la vie plus facile aux Ingénieurs d'étude.

Alan Cooper laisse son problème "semi-conducteurs" aux bonnes mains!

Et vous. Pourquoi pas?...

**RCA** Solid State





**Étudiants, enseignants, chercheurs  
médecins, ingénieurs, techniciens**

**les éditions Masson  
publient les livres et les périodiques  
de votre spécialité.**

Consultez chez votre libraire  
les catalogues et bulletins de nouveautés Masson  
ou demandez-les à Masson & cie  
120 bd. Saint-Germain 75280 Paris Cedex 06

Nous attirons l'attention des auteurs sur le fait que la majorité des lecteurs ne sont pas familiers avec leurs spécialités : il importe donc que l'article soit rédigé pour des lecteurs curieux, mais non avertis. La concision, non seulement rend un texte plus accessible, mais aussi en accélère notablement la publication. Le **titre**, court, doit renfermer uniquement des mots significatifs. Il peut être complété par un *sous-titre*.

**Manuscrit.** Il sera dactylographié (25 lignes par page) (deux exemplaires), les *titres* ou *sous-titres* de même valeur seront signalés de la même façon identique tout au long du texte.

**Noms et pré-noms** des auteurs seront indiqués avec l'adresse du laboratoire, du centre ou de l'entreprise où a été réalisé le travail. L'orthographe des termes scientifiques, des noms propres sera uniformément au long du texte, de même que sur les figures.

Les termes peu courants ou sigles utilisés seront expliqués entre parenthèses la première fois qu'ils apparaîtront dans le texte; ces définitions peuvent être réunies dans un *glossaire*.

Un *résumé* sera joint; l'auteur peut fournir lui-même le *summary* (avec la traduction du titre de l'article).

**Bibliographie.** Si une bibliographie complète a déjà été publiée, on indiquera sa référence et de toute façon, on limitera la bibliographie aux travaux plus récents cités dans l'article. Les références seront classées par ordre alphabétique de noms d'auteurs numérotées en indiquant :

*pour les articles :* le titre abrégé de la revue selon les normes internationales, l'année, tome et pages extrêmes (avec la numérotation).

*pour les livres :* le nom de l'éditeur, la ville et l'année de parution.

**Figures et tableaux.** Les figures doivent être fournies avec des légendes très explicites (3 à 4 lignes). Elles suscitent ainsi l'attention du lecteur et l'incitent à lire l'article.

Toutes les **figures** seront numérotées en chiffres arabes. Les photographies seront fournies sous forme d'excellents tirages sur papier ou de négatifs originaux. On indiquera dans les marges, au dos, ou sur un calque les coupes possibles, flèches, numéros, lettres à ajouter, etc.

Les *diagrammes* et dessins au trait seront fournis en trait noir sur papier blanc ou sur film.

Chaque illustration sera appelée dans le texte et les légendes (développées) seront fournies et dactylographiées sur une feuille séparée.

Les **tableaux**, dactylographiés sur des feuilles séparées, seront numérotés en chiffres romains avec un titre explicatif.

**Les articles reçus**, sollicités ou non, sont soumis pour acceptation au Comité de Lecture par le rédacteur en chef qui aura parfois recueilli au préalable l'avis motivé (et anonyme) de lecteurs choisis pour leur compétence.

Il est préférable qu'un texte soit soumis sans la critique avant sa publication plutôt qu'après.

Les réductions ou modifications suggérées par le Comité peuvent être faites par un collaborateur du journal avant d'être soumises à l'accord de l'auteur.

## Editorial

L. GOUSSOT and M. Y. BERNARD

## Foreword

## Synthesis

3 MOS technologies valuation.

J. LACOUR

## Memorandum

11 Some notions about MOS transistors.

G. GEORGIN

## MOS

15 Improved MOS technologies using ion implantation. J. BERNARD

23 MOS refractory metal technology.

M. BERTH

27 A new C MOS technology : LOCMOS.

M. BRANDT,  
W. STEINMAIER and A. STRACHAN

## Microwaves

31 A GaAs mesfet device.

M. BINET and P. BAUDET

## Audio-response

36 Present realisation and future prospects of audio-response unit.

M. CARTIER and J. GENIN

## News

43 Computer science and telecommunications.

44 Pleumeur Bodou III.

45 The new international convention of the telecommunications.

## Short note

## Laboratories activity

## Technical news

## Shows and colloquium

## Books review

FORMATION CONTINUE  
SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

-- Les bases de télécommunications pour la téléinformatique .....	27-31	mai	1974
-- Transmission de données - Téléinformatique .....	11-15	mars	1974
	17-21	juin	1974
-- Modulation par impulsions codées (MIC) .....	22-26	avril	1974
-- Commutation temporelle .....	8-12	avril	1974
-- Réseaux privés de télécommunications .....	4-8	mars	1974
-- Télécommunications visuelles .....	10-14	juin	1974
-- Théorie de l'information et codes correcteurs d'erreurs .....	6-10	mai	1974
-- Réseaux de télécommunications .....	14-18	oct	1974

Inscriptions et renseignements : ENST - Service de la Formation Continue  
46, rue Barrault, 75634 PARIS CÉDEX 13 Tél. : 589-66-66 poste 369



**PLANIFICATION  
ET ANALYSE  
DES EXPÉRIENCES**

P. CHAPOUILLE

MASSON ET CIE

Les techniques d'analyse de la variance et de planification des expériences ne sont pas nouvelles, puisque les travaux de R. Fisher, qui ont rénové la technique de la planification des expériences, remontent à 1930. De nombreux ouvrages de langue anglaise ont paru depuis cette époque, et plus particulièrement depuis 1945. En France il semble que la diffusion de ces techniques n'a pas eu jusqu'à présent la même ampleur.

L'ouvrage de P. Chapouille, **Planification et analyse des expériences** est l'aboutissement de trois années d'enseignement de cette technique à la Compagnie Honeywell Bull. L'auteur s'est délibérément borné à l'essentiel, mais sans omettre des notions importantes en pratique telles que les plans hiérarchiques, les plans factoriels fractionnaires, les plans en blocs incomplets. Par contre, il a dû abandonner les plans en carrés gréco-latins, l'analyse systématique des plans factoriels à trois niveaux, l'analyse de la covariance et la recherche des conditions optimales. Ces sujets doivent faire l'objet de compléments à ce premier ouvrage de base.

200 pages, 10 figures, 16 x 24, broché : 75 F.

**masson et cie**

120, bd Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06

Fiche renseignement : inscrivez le n° 105

FORMATION CONTINUE  
AUDIO-VISUEL

-- Acoustique et environnement nuisance acoustique et vibrations .....	18-22	mars	1974
-- Enregistrement des images .....	10-14	juin	1974
-- Enregistrement magnétique et stockage des informations .....	13-17	mai	1974
-- Télédistribution .....	6-10	mai	1974

Inscriptions et renseignements : ENST - Service de la Formation Continue  
46, rue Barrault, 75634 PARIS CÉDEX 13  
Tél. : 589-66-66 poste 369





## ORGANISATION EUROPEENNE DE RECHERCHES SPATIALES

# CERS-ESRO

### INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

LE SERVICE DE DOCUMENTATION SPATIALE est un service hautement automatisé installé à Frascati, dans la banlieue de Rome, qui offre l'accès à une base de données de près de trois millions de références par l'intermédiaire d'un réseau de terminaux vidéo fonctionnant en direct et s'étendant actuellement à sept pays européens. Il recherche les catégories de personnel ci-après :

## 1. INGÉNIEURS DES TÉLÉCOMMUNICATIONS/ÉLECTRONICIENS

**1 poste de responsabilité élevée :** Chef de la Section Opérations techniques (SDS 73/1), responsable de toutes les opérations du réseau, de son développement, des installations, de la maintenance, de la coordination avec les administrations européennes des PTT, etc.

**2 postes de jeunes ingénieurs** (SDS 72/6 et SDS 73/11) qui relèveront du Contrôleur du Réseau et assumeront la responsabilité de certaines des tâches énumérées ci-dessus.

Les qualifications et l'expérience requises dépendent du niveau de responsabilité du poste considéré. La pratique des techniques de transmission de données digitales par lignes téléphoniques, la connaissance des machines IBM 360 et l'expérience des PTT constitueraient des avantages.

## 2. INGÉNIEURS DOCUMENTALISTES

[2 postes : SDS 73/4, à Darmstadt (Allemagne) et  
SDS 73/10, à Neuilly, Paris (France).]

Les titulaires de ces postes auront notamment la responsabilité d'installations de terminaux locaux et, pour Darmstadt, celle d'une installation de mini-calculateurs. Ils seront chargés d'en contrôler l'utilisation, de procéder à des démonstrations, d'assurer la liaison avec le SDS Frascati, et ils devront également être en mesure de répondre à des demandes locales de recherches bibliographiques.

Une bonne connaissance des techniques de l'information est exigée ainsi qu'une base technique d'un niveau correspondant au moins au diplôme. L'expérience de la technique des télécommunications de l'électronique constituerait un avantage.

## 3. RÉDACTEURS TECHNIQUES

(1 poste de Responsable SDS 73/12, 5 postes d'assistants SDS 73/13.)

Les fonctions afférentes à ces postes comportent la préparation et le contrôle de données sur les composants électroniques destinées à alimenter une banque de données automatisée dont l'accès est assuré par le réseau de terminaux du SDS. Les titulaires devront maintenir une étroite liaison avec les fabricants, la Division « Assurance de qualité des produits » de l'ESTEC et les autorités nationales chargées des essais; ils auront également à superviser un contrat passé avec un bureau extérieur pour des travaux de perforation de cartes.

Les qualifications et l'expérience requises dépendent du niveau de responsabilité du poste considéré mais tous les candidats devront nécessairement avoir une solide formation dans le domaine de la technique électronique et/ou dans celui des composants électroniques.

## 4. PROGRAMMEURS/ANALYSTES

(2 postes SDS 73/14 et 73/15) pour le Groupe « Maintenance des logiciels/fichiers ». Les titulaires devront notamment analyser et examiner des bases de données commerciales existantes et rédiger des programmes spéciaux pour incorporer ces bases de données dans le système en direct. Ils devront en outre assurer la maintenance des fichiers et des programmes et éventuellement élaborer des programmes de mini-calculateurs pour des installations de raccordement par accès direct à des centres de commutation réseau et pour des télé-imprimantes.

La pratique du langage général IBM est indispensable ainsi qu'une bonne connaissance des langages Assembleur, JCL et, éventuellement, PL 1. L'expérience des systèmes en direct et des techniques de ressaisie de l'information constituerait un net avantage.

## 5. ASSISTANT ADMINISTRATIF PRINCIPAL/COMMIS ADMINISTRATIF

(1 poste d'assistant administratif principal SDS 73/3,  
1 poste de commis administratif SDS 73/16).

L'assistant administratif principal relèvera du Chef de la Section « Affaires Financières » et aura notamment pour fonctions d'aider au contrôle budgétaire, de superviser les factures, d'assurer la liaison avec d'autres services pour les questions de statistiques et d'expédier la correspondance extérieure générale.

Les candidats à ces postes doivent avoir une grande expérience administrative dans le secteur financier, acquise de préférence en milieu international.

Le commis administratif est appelé à seconder le personnel du groupe chargé du traitement des données sur les composants électroniques qui est mentionné à la section 3 ci-dessus.

Les candidatures à ces postes doivent être adressées au Directeur adjoint chargé du Personnel et des Affaires Générales, CERS/ESRO, 114, avenue Charles-de-Gaulle, 92522 Neuilly-sur-Seine (France).

## FORMATION CONTINUE

*La Formation Continue est une nécessité. Elle doit être assurée de manière efficace par des organismes compétents.*

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS organise depuis 1969 pour les Ingénieurs, des sessions de formation continue dans les domaines reconnus de sa compétence :

- Systèmes de Télécommunications
- Électronique
- Informatique
- Audio-visuel
- Anglais technique.

Ces sessions se déroulent à temps complet sur cinq jours et s'adressent à un nombre de participants compris entre 10 et 20

Les formateurs sont choisis parmi les personnes en activité les plus compétentes dans leur domaine. Une pédagogie adaptée à l'objet de ces sessions garantit leur efficacité.

Le programme détaillé des sessions est à votre disposition à

**l'ENST - Service de la Formation Continue**  
**46, rue Barrault**  
**75634 PARIS CEDEX 13**  
**Tél. : 589-66.66 poste 369**

Des sessions adaptées à une demande particulière peuvent être organisées par l'ENST



# La mesure numérique, ses pièges, ses critères de choix.

Avant de parler d'un appareil de mesure plutôt que d'un autre, il vaut peut-être mieux parler de la mesure numérique.

Chaque constructeur peut choisir ses critères de manière à présenter son appareil sous le jour le plus favorable.

Chaque notice vous parlera donc le langage qui lui convient. Celui qui dissimule au mieux ce dont on n'est pas très fier.

Parce qu'il n'existe pas de règles strictes pour l'énoncé des caractéristiques d'un appareil de mesure numérique.

Alors, avant de parler d'un appareil de mesure plutôt que d'un autre, il vaut peut-être mieux parler de la mesure numérique.

C'est ce que vous propose Chauvin Arnoux avec son Guide pratique de sélection: "La mesure numérique, ses pièges, ses critères de choix".

Si vous désirez éviter quelques pièges, retournez-nous le bon ci-joint.



Cette brochure est destinée à faciliter votre choix car elle traduit en termes clairs les caractéristiques de chaque type d'appareil et vous propose des comparaisons établies sur des bases homogènes.

Elle vous permettra de lire entre les lignes les documentations que vous aurez à consulter.

Enfin, elle vous apportera une assistance non négligeable dans l'établissement des calculs parfois compliqués auxquels vous devrez obligatoirement faire face avant de fixer votre choix.

**Chauvin Arnoux.**

Bon à retourner complété  
pour recevoir la brochure  
"La mesure numérique; ses pièges,  
ses critères de choix".

Nom : \_\_\_\_\_

Société : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Chauvin Arnoux - Département Electronique  
190, rue Championnet 75890 Paris Cedex 18  
Téléphone : 627-73-89.

# PUBLICATIONS PÉRIODIQUES SCIENTIFIQUES

## tarif des abonnements 1974

	Nombre de fasc.	Prix en FF	
		France et zone franc	Autres pays
Annales de Chimie. 14 <sup>e</sup> série. T. 9 .....	6	220	255
Annales de l'Institut Océanographique. T. 50 .....	2	135	165
Annales de l'Institut Pasteur (2 séries indépendantes) :			
Annales de Microbiologie. T. 125 A et B .....	8	187	207
Annales d'Immunologie. T. 125 C .....	6	143	158
Abonnement couplé pour ces 2 revues .....	14	325	370
Annales de Limnologie. T. 10 .....	3	80	95
Annales de Paléontologie. T. 60 .....	4	195	235
Annales de Physique. 14 <sup>e</sup> série. T. 9 .....	6	210	235
Année mixte 1973/74			
Les abonnements 1973 sont valables pour l'année mixte			
Annales de Sciences Naturelles - Botanique. 12 <sup>e</sup> série. T. 15 .....	4	185	225
Annales de Sciences Naturelles - Zoologie. 12 <sup>e</sup> série. T. 16 .....	4	200	230
Annales de la Société Entomologique de France. Nlle série. T. 10 .....	4	250	335
L'Année Biologique. 4 <sup>e</sup> série. T. 13 .....	6	95	130
L'Anthropologie. T. 78 .....	4	190	230
Archives d'Anatomie Microscopique. T. 63 .....	4	180	215
Archives de Biologie. T. 85 .....	4	187	187
Biochimie. T. 56 .....	10	350	410
Bulletin d'Ecologie. T. 5 .....	4	75	85
Bulletin de la Société Chimique de France .....	12	525	750
Bulletin de la Société Française de Minéralogie. T. 97 .....	6	105	130
Comptes rendus des séances de la Société de Biologie. T. 168 .....	8	100	130
Insectes sociaux. T. 21 (Bulletin de l'U.I.E.I.S.) .....	4	170	200
Prix spécial réservé aux Membres de l'Union .....		165	200
Journal de Physiologie.			
T. 68 .....	6	180	220
T. 69 (Assoc. des Physiologistes) .....	2		
Nouvelle Revue d'Optique. T. 5 .....	6	230	240
L'Onde électrique. Vol. 54 .....	10	120	145
Revue canadienne de Biologie. Vol. 33 .....	4	66	66
Revue de Géographie physique et de Géol. dynam. Vol. XVI .....	5	95	120
Revue Internationale des Hautes Températures. T. 11 .....	4	215	260
Revue Technique Thomson-CSF. Vol. 6 .....	4	120	150
Vie et Milieu. T. 24 .....	6	120	140

Les abonnements partent du premier numéro de l'année. Le nombre de fascicules est donné à titre indicatif.

### Demande de documentation Revues Périodiques

Je suis plus particulièrement intéressé par :

*(indiquez ici le ou les titres choisis)*

Veillez m'adresser gratuitement une documentation et un spécimen.

Nom, prénom .....

Adresse .....

Spécialité .....

Remettez ce bon à votre libraire ou adressez-le à **masson et cie** 120 bd St-Germain 75280 Paris Cedex 06

**FORMATION CONTINUE  
ÉLECTRONIQUE**

- Composants intégrés ..... 12-22 mars 1974
- Cryoélectronique ..... 22-26 avril 1974
- Sources de lumière cohérente. Applications aux Télécommunications ..... 13-17 mai 1974

*Renseignements et inscriptions :* ENST - Service de la Formation Continue  
46, rue Barrault, 75634 PARIS CEDEX 13  
Tél. : 589-66-66 poste 369



**ÉCOLES D'ÉTÉ**  
C.E.A. - I.R.I.A. - E.D.F.

**ÉCOLE D'ÉTÉ  
D'ANALYSE NUMÉRIQUE**  
du 1<sup>er</sup> au 19 Juillet 1974  
au BREAUX-SANS-NAPPE - Yvelines

« SYSTÈMES NON LINÉAIRES  
ET THÉORIE DE LA STABILITÉ »

Professeurs :  
MM. ANTMAN - Université de Maryland - U.S.A.  
BENJAMIN - Université de l'Essex - G.B.  
JOSEPH - Université du Minnesota - U.S.A.

**Date limite des inscriptions :  
29 MARS 1974**

**ÉCOLE D'ÉTÉ  
D'INFORMATIQUE**  
du 2 au 20 Septembre 1974  
au BREAUX-SANS-NAPPE - Yvelines

« RÉSEAUX D'ORDINATEURS »

Professeurs :  
MM. KRAKOWIAK - IMAG Grenoble.  
POUZIN et ZIMMERMANN - IRIA.  
WEIS - I.B.M. - Zurich.

**Date limite des inscriptions :  
5 AVRIL 1974**

**Conditions générales :** Les sessions de ces Écoles d'Été visent à étudier en profondeur le sujet proposé et à exposer les méthodes les plus récentes s'y rapportant. Elles s'adressent à des Universitaires ou Ingénieurs ayant des connaissances de base du niveau d'un Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle ou un diplôme de Grande École d'Ingénieur. Les participants sont hébergés au Centre d'Études du BREAUX. Les candidats sont sélectionnés en fonction de leurs titres et de leurs origines. Le nombre de places est limité à environ 35 élèves. Un travail en petits groupes, encadrés par des assistants, complète l'enseignement des professeurs.

**Coût :** Les frais de participation se montent à 5 500 F. Les membres de l'Université peuvent, sur leur demande et après avis des organisateurs de l'École, être exonérés d'une partie des frais, leur participation étant alors ramenée à 2 600 F.

Renseignements complémentaires : Secrétariat des Écoles d'Été,  
17, avenue du Général-de-Gaulle,  
92140 CLAMART.  
Téléphone : 644-15-15 - Poste 41-86.

**FORMATION CONTINUE  
INFORMATIQUE**

- Programmation des ordinateurs ..... 18-22 mars 1974
- Données de base sur les systèmes d'exploitation ..... 11-15 mars 1974
- Reconnaissance des formes ..... 27-31 mai 1974
- Miniordinateurs ..... 22-26 avril 1974
- Commande numérique des processus ..... 8-12 avril 1974
- Conception assistée par ordinateur (CAO) ..... 6-10 mai 1974

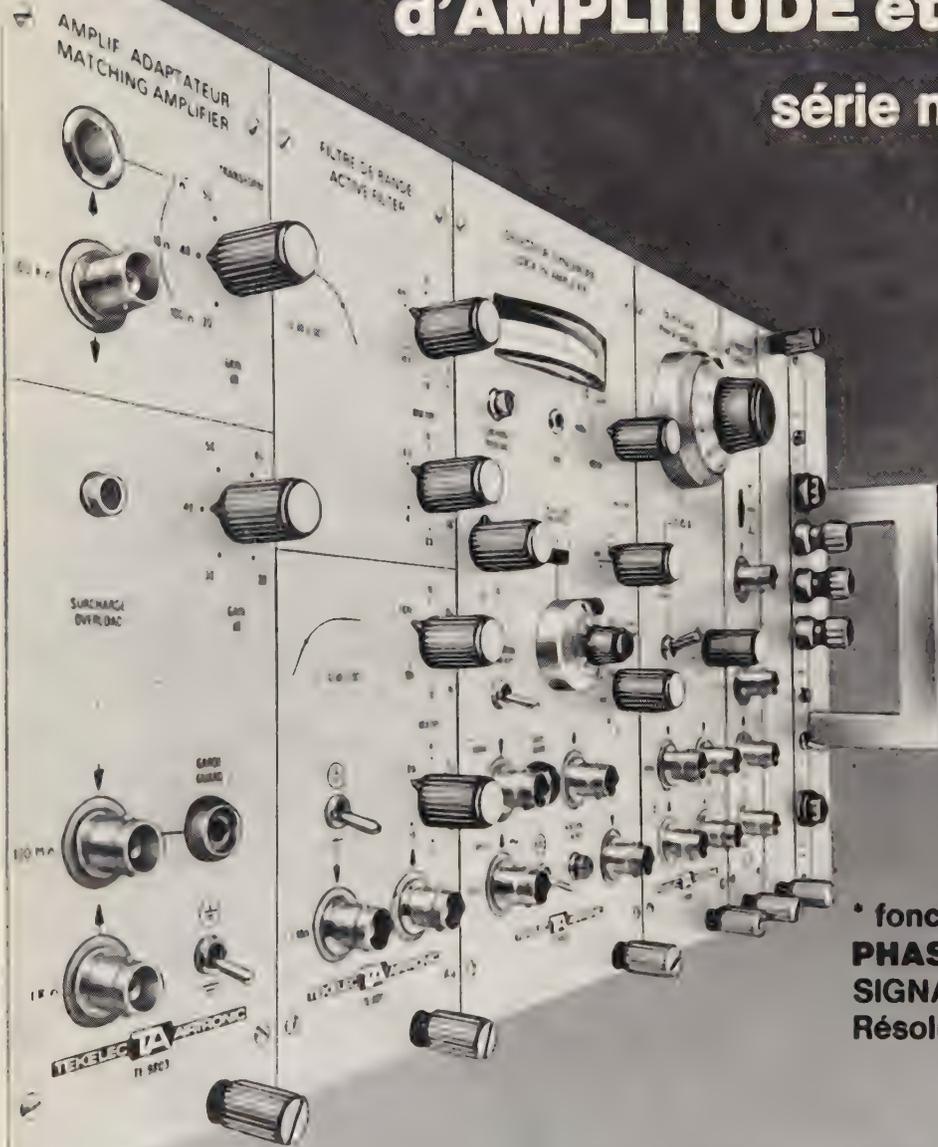
*Renseignements et inscriptions :* ENST - Service de la Formation Continue  
46, rue Barrault, 75634 PARIS CEDEX 13 Tél. : 589-66-66 poste 369



*Une nouvelle génération*

# d'AMPLIFICATEURS à DETECTION SYNCHRONES, à POURSUITE d'AMPLITUDE et de PHASE

série modulaire 98



● 1 Hz à 1 MHz  
sans réglage

● 3 nanovolts  
pleine échelle

• fonction  
**PHASEMÈTRE** pour  
**SIGNAUX BRUITÉS**  
Résolution 0,05 degrés

*dans la même série 98 : ECHANTILLONNEUR-MOYENNEUR  
0 à 20 MHz (technique BOXCAR) • Résolution 10 nanosecondes.*

434 TP

**TEKELEC TA AIRTRONIC**

CITE DES BRUYERES - RUE CARLE VERNET  
92310 SEVRES (FRANCE) - Tél. : (1) 626-02-35  
Télex : TEKLEC 25997 F



Mr .....

Sté .....

Adresse .....

Tél. : .....

désire recevoir la brochure de la série TE 98

Pour recevoir notre luxueuse brochure technique de 24 pages sur la série 98, veuillez retourner le coupon réponse ci-contre à TEKELEC-AIRTRONIC.

# Éditorial

*L'éditorial de septembre 1973 annonçait une réforme importante de la revue. L'année 1974 commence ; la nouvelle forme de L'ONDE ÉLECTRIQUE est livrée aujourd'hui aux critiques des lecteurs. Les responsables de la revue espèrent que l'opinion des lecteurs ne se manifesterait pas uniquement sous la forme binaire du renouvellement, ou du non renouvellement de l'abonnement, mais aussi sous la forme de courrier adressé à la rédaction.*

*L'ONDE ÉLECTRIQUE est la revue de la Division Électronique, Radioélectricité et Télécommunications (DERT) de la Société des Électriciens, des Électroniciens (SEE). Elle doit donc se développer de façon cohérente au milieu des activités de cette société savante. La SEE rassemble les spécialistes des « courants forts » et des « courants faibles » ; elle permet de faire profiter chacun du savoir de tous. Les réunions des 15 sections techniques spécialisées, au rythme d'environ une par semaine, soulignent la vitalité de cette action et la qualité de l'esprit animant les conférenciers bénévoles qui font l'effort de présenter leurs travaux et d'affronter la discussion. Ces réunions se tiennent à Paris et en Province, où les sections régionales maintiennent des contacts enrichissants dans un cadre géographique plus adapté aux possibilités de réunion. En outre chaque année, cette action prend un caractère international, avec l'organisation d'un ou plusieurs colloques.*

*Malgré tout, les conditions de la vie moderne limitent les possibilités de chacun à participer à de telles réunions ; il faut un élément qui puisse réunir, sans contraintes de temps et de lieu, tous les membres de la SEE intéressés : c'est L'ONDE ÉLECTRIQUE. Ainsi se trouve définie la mission essentielle de notre revue, mission qu'elle accomplit depuis plus de 50 ans sans aucune discontinuité et à travers maintes difficultés.*

*Le contenu d'une revue résulte de la conjonction de l'ensemble des articles proposés et de la sélection effectuée par le Comité de Rédaction. Celui-ci, garant du niveau de la revue, doit déterminer la composition de chaque numéro en sollicitant des articles de fond et en disposant d'une importante réserve d'articles « proposés pour publication ».*

*La variété et la qualité du contenu de L'ONDE ÉLECTRIQUE sont l'image de l'Électronique française. Les réunions des sections techniques ont pour effet de rassembler des conférenciers brillants qui ont, souvent, rédigé leur conférence. Cette source d'articles ne suffit pas, il est indispensable que des auteurs se manifestent indépendamment des réunions des sections techniques, car une revue est faite avant tout par ses auteurs.*

*Votre collaboration permettra de maintenir L'ONDE ÉLECTRIQUE au premier rang des revues d'électronique d'expression française. Votre intérêt n'est-il pas de trouver dans cette revue les informations scientifiques, techniques, voire économiques qui sont indispensables à votre activité professionnelle ? Il est indispensable que chacun apporte sa collaboration à la communauté de L'ONDE ÉLECTRIQUE.*

*Les responsables de la revue comptent publier des éditoriaux, de temps à autre, de façon à tenir le lecteur informé des problèmes de notre profession.*

*Le changement d'éditeur, heureusement résolu avec la prise en charge de la publication de la Revue par les Éditions Masson, a pu être réalisé grâce aux efforts de MM. CABESSA, et THUÉ, Présidents de la DERT respectivement en 1972 et 1973. Il importe de leur rendre hommage avant de conclure ce premier éditorial de L'ONDE ÉLECTRIQUE en voie de complète rénovation.*

**L. GOUSSOT**

*Président du Comité de L'Onde Électrique*

**M. Y. BERNARD**

*Président de la DERT 1974*

## Avant-Propos

La *Section Technique 21 de la SEE : Matériaux et Composants*, organisait au mois de janvier dernier une demi-journée d'études consacrée aux *progrès récents en technologie MOS*. Une assistance nombreuse devait écouter avec attention les conférenciers.

Ce numéro de *L'Onde Électrique* contient la plupart des textes de ces conférences avec les mises à jour nécessaires. M. LACOUR, Directeur du LETI qui présidait cette demi-journée d'études, présente le sujet dans un *article de synthèse*, illustré par de nombreux tableaux qui s'adresse non seulement aux spécialistes « technologues » mais également aux utilisateurs qui se trouvent parfois un peu perdus au moment du choix.

Un court article « aide-mémoire » très simple permet également au lecteur non familiarisé avec les transistors MOS de prendre un contact essentiellement qualitatif avec ces composants appelés à prendre dans les années à venir une place prépondérante. Cet aide-mémoire a été rédigé par un enseignant de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications.

Trois articles provenant de cette demi-journée d'études ont dû, devant l'abondance des textes, être différés et doivent être publiés dans le numéro de mars 1974 :

- Applications des technologies MOS à grille en silicium, par M. MOREAU (SESCOSEM).
- Utilisation des structures silicium sur isolant pour la réalisation de circuits intégrés MOS, par M. BOREL (LETI).
- Technologies MOS à grille silicium, par M. LAGORSSE (LTT).



Deux articles non consacrés aux transistors MOS sont également publiés dans le fascicule de janvier :

— L'article de MM. CARTIER et GENIN (CNET) également issu d'une demi-journée d'études de la SEE, traite de la *réponse vocale*. En effet, la présentation des données sortant d'un ordinateur est un des aspects essentiels de la communication entre l'homme et les machines informatiques. Lorsque les données sont fournies à l'utilisateur par l'intermédiaire d'une ligne téléphonique, il serait souhaitable de pouvoir les transmettre au moyen d'un poste téléphonique, sous forme de « réponse vocale ».

— L'article de MM. BAUDET et BINET du LEP décrit un *transistor à effet de champ à barrière métallique* sur arséniure de gallium destiné aux hyperfréquences. Le LEP étudie en effet un tel composant dont la fréquence de coupure atteint 30 GHz.



Les prochains fascicules de *L'Onde Électrique* seront plus particulièrement consacrés :

- en Février : aux *transmissions numériques*,
- en Mars : aux *composants*,
- en Avril : aux *mémoires*.

*L'Onde Électrique*

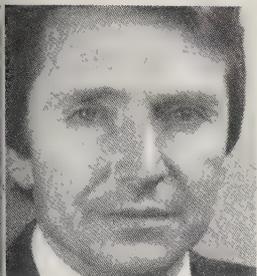
# évaluation des différentes technologies MOS

SYNTHÈSE

*L'onde électrique*  
1974, vol. 54, n° 1  
pp. 3-10

par Jacques LACOUR,

Ingénieur ESE, Licencié ès Sciences,  
Chef du Laboratoire de Micro-  
électronique du LETI (Laboratoire  
d'Électronique et de Technologie  
de l'Informatique), Directeur Général  
de la Société EFCIS.



LETI, BP 85, Centre de Tri, 38041  
Grenoble Cédex. (Tél. (76) 97.41.11)

## PRODUCTION

La technologie MOS connaît depuis plusieurs années en USA une progression spectaculaire (fig. 1). Entre 1969 et 1975 on prévoit un facteur multiplicatif du marché de 5. La part du marché des circuits intégrés occupée par la LSI-MOS devrait passer dans le même temps de 17 à 50 %.

En Europe, le marché a démarré avec un certain

retard, mais sa progression très rapide est comparable à celle que l'on connaît aux USA.

L'initiative de la SEE d'organiser une réunion consacrée aux progrès récents de la technologie MOS semble arriver à point nommé et devrait répondre aux vœux de nombreux utilisateurs actuels ou futurs qui mesurent toutes les applications possibles des circuits intégrés MOS dans des secteurs extrêmement variés, tels que les calculateurs de poche, les mémoires, le vaste et riche domaine de la péri-informatique, celui de l'instrumentation de mesure, du téléphone, des applications « grand public », de l'avionique, de l'automobile, etc.

Au moment d'innover dans un de ces secteurs, l'utilisateur se trouve confronté avec le problème souvent difficile du *choix de la technologie à employer*. La technologie MOS est, en effet, extrêmement vivante, elle progresse vite tant dans le domaine de la complexité des circuits que dans celui des performances (rapidité, puissance consommée) et de la fiabilité.

Un effort de synthèse dans un secteur aussi riche et mouvant est hasardeux. Nous l'avons tenté néanmoins en souhaitant qu'il puisse être utile. Il conviendra seulement de ne pas pousser trop loin l'enchaînement des raisonnements logiques de crainte de dépasser notre objectif.

## 2. ESSAI DE CLASSIFICATION DES TECHNOLOGIES MOS

### 1) Du point de vue électrique.

C'est celui qui intéresse au premier chef l'utilisateur. On peut diviser les circuits logiques MOS en 3 classes (fig. 2).

— *Classe I.* Les transistors MOS utilisés sont tous de même type (canal P ou canal N) et ont tous la même valeur de tension de seuil. Ils ont un mode

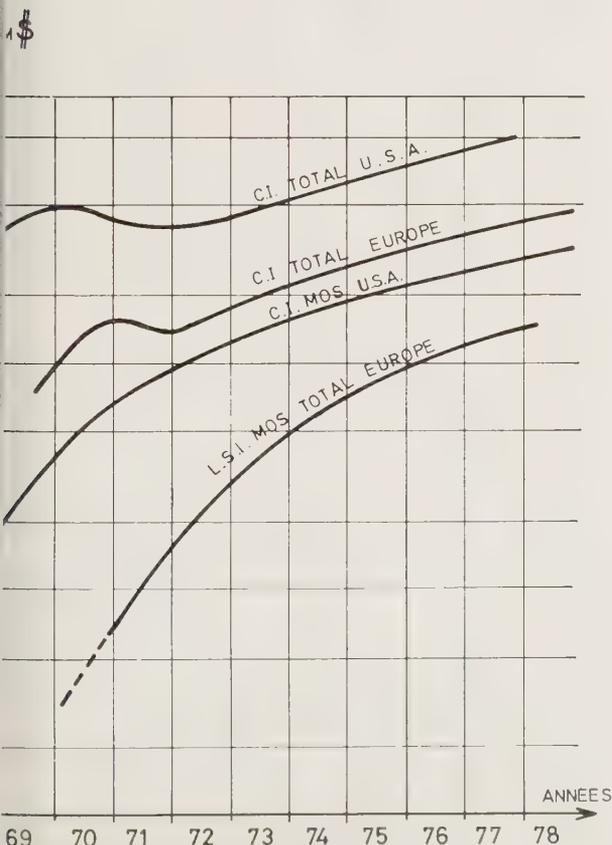


Fig. 1. — Évaluation du marché des circuits intégrés.

de fonctionnement dit « à enrichissement ». Ces circuits nécessitent l'utilisation de deux tensions d'alimentation en plus de la masse, généralement + 5 V et - 12 V. C'est la classe *T MOS à enrichissement*.

— *Classe II*. Les transistors MOS sont tous de même type (canal P ou canal N) mais se divisent en 2 catégories :

— T MOS à enrichissement pour les transistors de commande,

— T MOS à appauvrissement pour les transistors de charge.

Une seule tension d'alimentation est nécessaire.

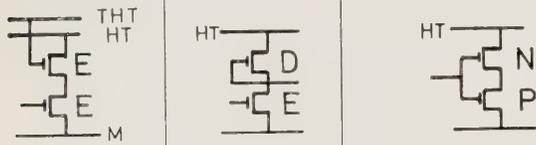
C'est la classe *T MOS à appauvrissement (\*) et enrichissement*.

— *Classe III*. Les transistors MOS sont de deux types : P et N. Ils fonctionnent en enrichissement au repos sur les deux niveaux logiques. L'un des deux transistors est bloqué, la consommation d'énergie est pratiquement nulle. Une seule tension d'alimentation est nécessaire.

C'est la classe *T MOS complémentaire*.

La figure 2 donne le schéma de l'inverseur et de la porte NOR à 3 entrées dans les 3 classes.

Inverseurs



Porte NOR a 3 entrées

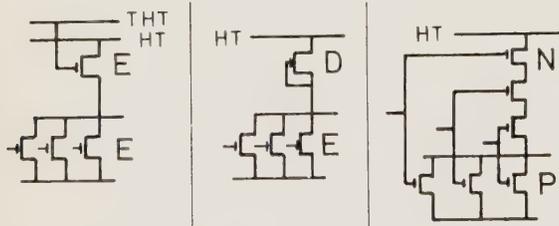


Fig. 2. — Définition des classes de circuits.

La figure 3 permet de visualiser l'immunité aux bruits sur les HT des 3 classes; la puissance dissipée par les circuits de la classe 1 étant proportionnelle au carré de la tension d'alimentation, l'excursion possible de celle-ci restera donc très limitée.

Ce n'est pas le cas pour la famille 2 où le courant consommé est indépendant de la tension d'alimentation, ni pour la famille 3 où la consommation au repos est pratiquement nulle quelle que soit celle-ci.

On peut également voir sur cette figure la valeur des impédances de sortie sur le « 0 » et le « 1 » binaire.

(\*) En anglais : depletion.

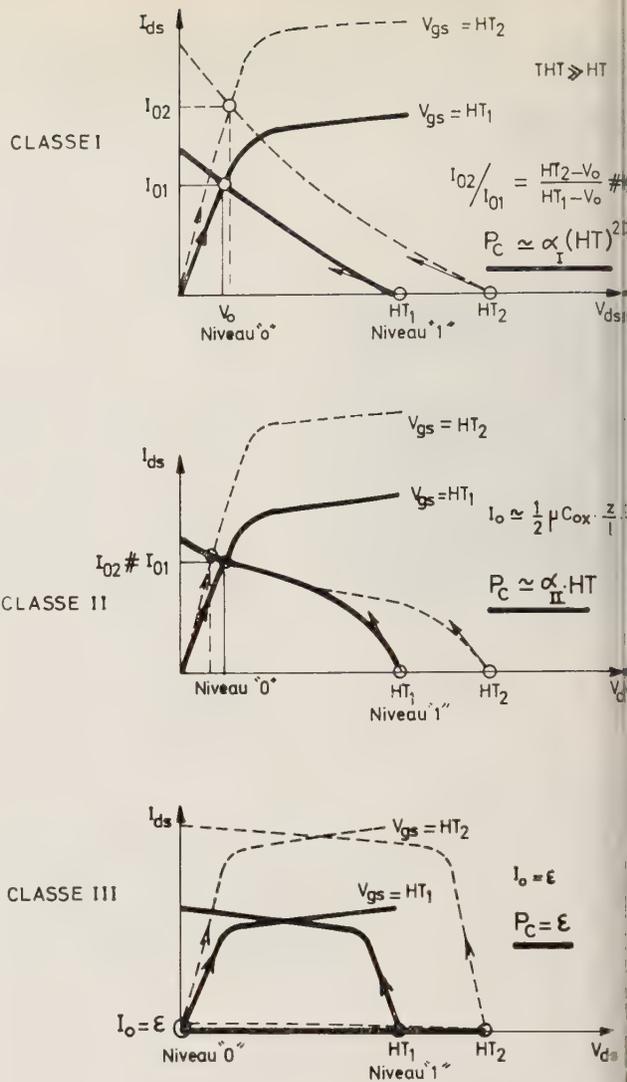


Fig. 3. — Caractéristiques  $I_d(V_d)$  des 3 classes de circuits.

La figure 4 récapitule les caractéristiques essentielles des 3 classes :

CLASSES	I	II	III
CARACTERISTIQUES			
NOMBRE DE TENSIONS D'ALIMENTATION	3	2	2
Nbre DE TMOS POUR UNE PORTE A 3 ENTrees	4	4	6
VARIATION POSSIBLE SUR LA HT	FAIBLE	GRANDE	GRAND
IMPEDANCE DYNAMIQUE DE SORTIE	DESEQUILIBRE	EQUILIBRE	EQUILIBRE
SUR LE '0''	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE
SUR LE '1''	GRANDE	FAIBLE	FAIBLE
CONSUMMATION AU REPOS	NOTABLE	NOTABLE	NULLE

Fig. 4. — Récapitulation des caractéristiques essentielles des 3 classes de circuits MOS.

*Du point de vue technologique.*

ous avons volontairement limité le nombre des technologies à trois. A l'intérieur de ces es il existe de très nombreuses variantes et il tiendra au lecteur de compléter ces évaluations en augmentant la finesse.

*mille I.* C'est la technologie de base utilisée actuellement en grande production qui peut se caractériser par l'utilisation de la grille en aluminium.

*mille II.* Ce sont les technologies à grille auto-alignée : grille autoalignée par implantation ionique, et surtout la technologie à grille en silicium polycristallin. Sa particularité essentielle consiste à pouvoir utiliser le niveau silicium polycristallin comme niveau supplémentaire d'interconnexion. Cette technologie qui permet une plus grande rapidité (diminution des capacités de rétro-action) et une amélioration de la densité a été principalement utilisée jusqu'à présent pour les circuits standard répétitifs tels que mémoires et registres.

*mille III* qui regroupe les technologies silicium auto-alignant, qui se caractérisent par un isolement diélectrique des composants et qui permettent de pousser les performances des T MOS au maximum. Cette classe technologique pleine d'avenir est arrivée depuis peu sur le marché et n'a pas encore abordé le stade de la production.

arrive ainsi à constituer un tableau (fig. 5) qui, en suite, nous servira de grille dans nos évaluations.

CLASSES DE CIRCUITS	MILLES TECHNOLOGIQUES				
			I	II	III
ALUMINIUM (A)	P				
	N				
POLYSILICIUM (B)	P				
	N				
POLYSILICIUM SUR ISOLANT (C)	P				
	N				
		T. MOS A ENRICHISSEMENT	T. MOS. DEPLETION ENRICHISSEMENT	T. MOS. COMPLEMENTAIRES	

Fig. 5. — Aspect de la grille d'évaluation des technologies.

*Remarque sur l'implantation ionique.*

L'implantation ionique ne permet pas de constituer une famille technologique, elle doit être considérée

comme un moyen technologique particulier mais dont la puissance est telle qu'elle nécessite qu'on s'y arrête.

L'implantation ionique constitue d'abord un moyen de dopage d'une grande souplesse. La technologie dispose de paramètres indépendants : l'énergie des ions et le temps d'implantation qui lui permettent d'obtenir :

- des profils d'impuretés optimisés (utilisation possible de multi-implantations à énergies différentes);
- une gamme très étendue de concentration d'impuretés;
- un centrage et une reproductibilité des caractéristiques jusque-là inconnus avec les procédés traditionnels.

Il est possible de l'utiliser pour réaliser :

- un dopage direct;
- un pré-dépôt très contrôlé suivi d'une redistribution thermique classique;
- un dopage superficiel qui se fait par implantation à travers la couche d'oxyde fin en utilisant comme masque soit l'oxyde épais déjà réalisé soit un masque de résine. On peut ainsi ajuster les tensions de seuil des T MOS d'une manière collective ou sélective.

Enfin, l'absence de dopage latéral permet une excellente définition spatiale et ouvre la voie à la réalisation de composants de très petites dimensions.

Les principales applications en technologie MOS utilisées actuellement en production sont les suivantes :

— *Ajustement collectif des tensions de seuil* des T MOS qui peut simplifier le problème de la compatibilité avec les circuits T<sup>2</sup>L.

— *Ajustement sélectif des tensions de seuil* pour réaliser des T MOS à appauvrissement et à enrichissement sur le même circuit intégré. Cette possibilité a ouvert la voie à la classe « à appauvrissement et enrichissement ». Elle permet aussi d'avoir les impédances dynamiques peu élevées nécessaires aux applications analogiques (le gain d'un étage amplificateur peut ainsi être multiplié par 10).

— *Ajustement de tension de seuil des T MOS parasites* : on peut ainsi obtenir des circuits supportant des tensions d'alimentation élevées tout en gardant des tensions de seuil basses (applications dans le domaine analogique ou digital-analogique).

— *Pré-dépôt d'impuretés contrôlé* pour augmenter le rendement, le centrage et la reproductibilité des caissons d'isolement des circuits MOS complémentaires (classe III).

— *Autoalignement des grilles.*

**3. ÉVALUATION DES PERFORMANCES ÉLECTRIQUES**

Dans le plan : puissance consommée par porte-fréquence d'utilisation, nous allons délimiter les zones relatives aux différentes cases de notre tableau. Le circuit de base est une porte à 3 entrées ayant une sortie de 1. Les dimensions des motifs les plus petits sont identiques pour toutes les technologies considérées.

Les tensions d'alimentation des circuits sont supposées identiques. La fréquence d'utilisation est prise égale à

$F = \frac{1}{4\tau_p}$  où  $\tau_p$  = temps de propagation de la porte  
( $\rho$  indice de  $\tau \cdot \tau_p$ ).

Dans le plan (puissance-fréquence) une porte particulière est représentée par un point. Mais il est possible de faire varier les dimensions des T MOS utilisés pour modifier les performances soit vers la grande complexité soit vers la faible consommation. Ainsi on peut définir une courbe qui constituera la limite de la zone relative à cette technologie.

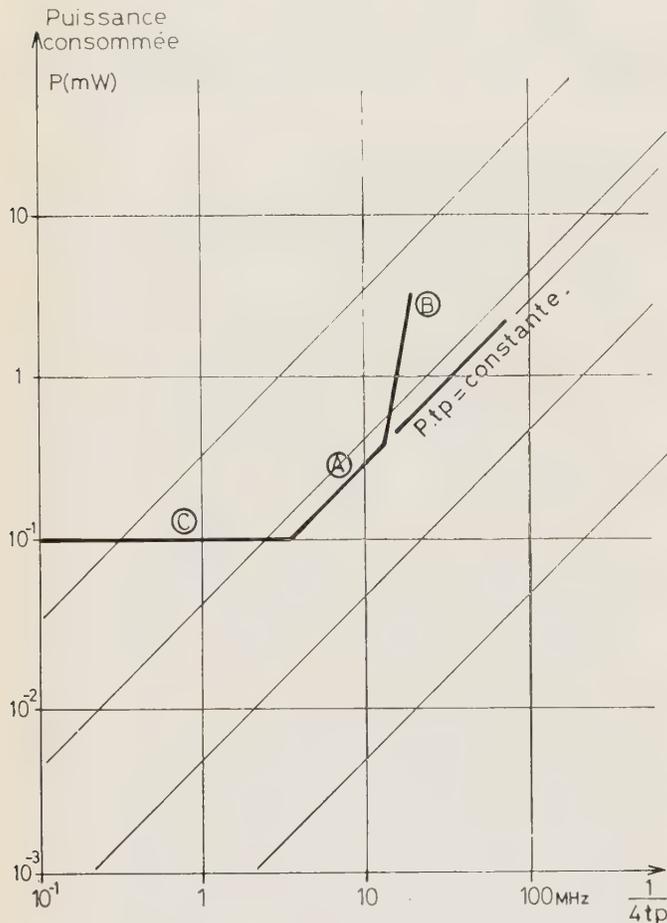


Fig. 6. — Évolution générale  $P(f)$ .

Sur la figure 6 ci-dessus on voit que la courbe présente dans le cas général 3 parties :

— dans la *partie A*, le facteur de mérite  $P\tau_p$  de la porte est constant. Il dépend essentiellement des capacités d'interconnexions;

— dans la *partie B*, la technologie arrive au maximum de ses possibilités. On peut augmenter la vitesse, mais au prix d'une dégradation du facteur de mérite. La surface de la porte augmente et, au-delà d'une certaine limite, on arrive à des valeurs prohibitives.

Si on souhaite diminuer la puissance, on essaiera de mettre en jeu des courants de plus en plus faibles; cela se traduira par l'augmentation des géométries des T MOS de charge. Il arrivera un moment où la surface occupée sera jugée également prohibitive. La limite raisonnable pour une technologie donnée correspond au *palier C*.

Sur les figures 7, 8 et 9, on a porté, pour les 3 classes de circuits, les courbes relatives aux différentes familles technologiques.

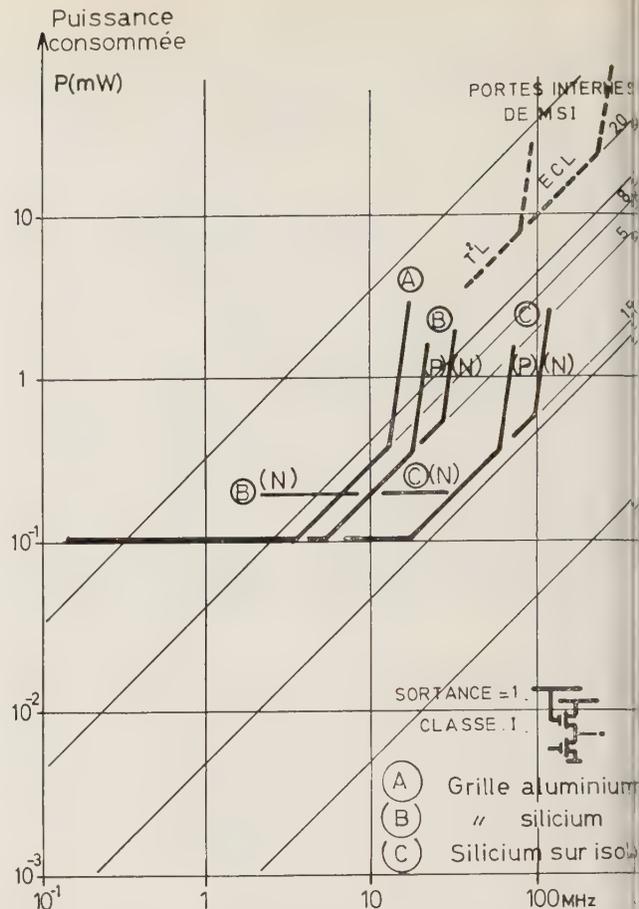


Fig. 7. — Performances obtenues pour les circuits de la classe I.

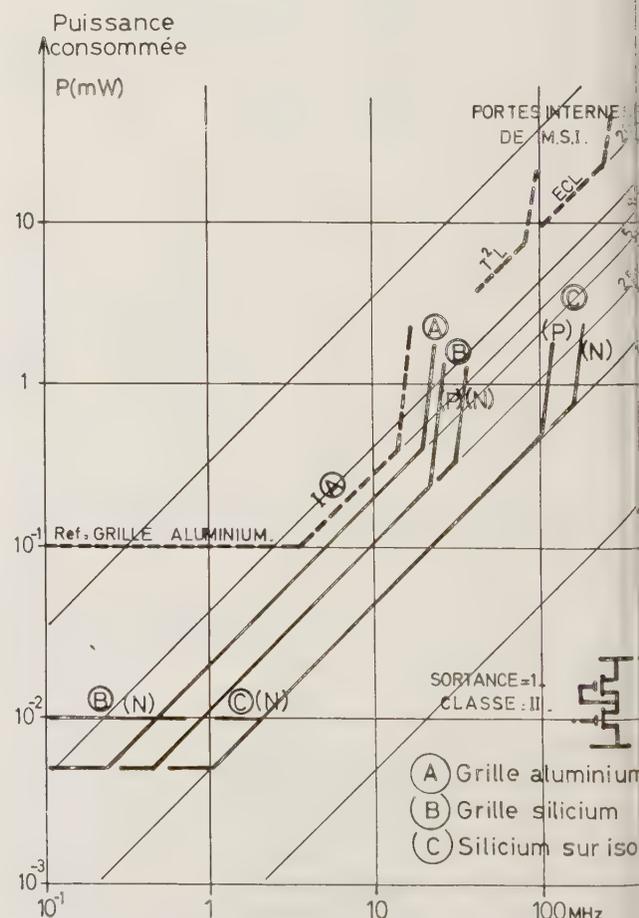
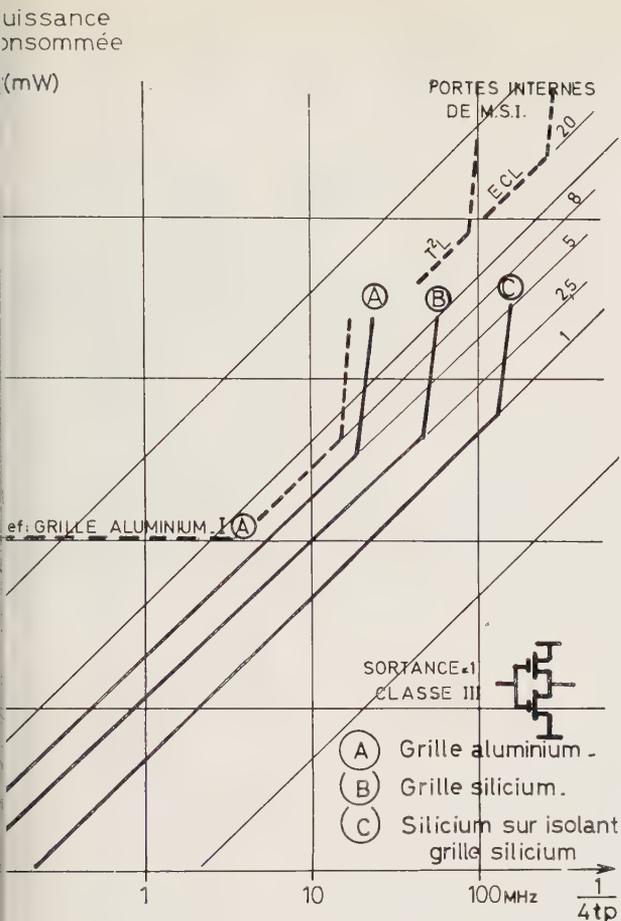


Fig. 8. — Performances obtenues pour les circuits de la classe II.



— Performances obtenues pour les circuits de la classe III.

différents diagrammes tracés concernent les circuits ayant une sortance de 1. C'est le cas des portes d'un oscillateur en anneau chargé, dans une technologie donnée par une capacité  $C_R$ .

Les mêmes portes utilisées dans une LSI (\*) auront des capacités de charge très différentes (capacités d'interconnexions et capacités excédentaires dues à une densité de 3 que nous appellerons  $C_p$ ).

Enfin, il est nécessaire de connaître la dégradation des temps de propagations élémentaires liée à cet effet. Dans une technologie donnée, avec des règles de conception bien définies, on aura le temps de propagation à travers N portes de la LSI à partir des temps

$$\tau_p = \sum_{i=0}^{i=N} \tau_{pi} \left( 1 + \frac{C_{pi}}{C_R} \right)$$

la puissance consommée n'étant pas affectée en première approximation (région A de la figure 6).

Dans la suite de l'exposé, nous donnerons, sous forme de tableaux (fig. 10, 10 bis et 11), les valeurs des paramètres correspondant à une sortance de 3 en prenant comme référence les performances de la technologie Al : canal P à grille aluminium à enrichissement.

### 3.1. Tableau des fréquences d'utilisation maximales

CLASSES DE CIRCUITS FAMILLES TECHNOLOGIQUES		CIRCUITS		
		I	II	III
GRILLE ALUMINIUM (A)	P	1	1,5	1 à 1,5
	N	1 2*	1	
GRILLE SILICIUM (B)	P	1,5	2	3 à 4
	N	3*	3	
SILICIUM SUR ISOLANT (C)	P	3	6	6
	N	5	8 Grille silicium -	

\* Avec une tension  $V_{bs} = 5V$

Fig. 10. — Tableau des fréquences maximales d'utilisation sortance = 3.

On note les écarts très importants qui découlent du passage d'une famille technologique à une autre.

### 3.2. Tableau des puissances consommées au repos

CLASSES DE CIRCUITS FAMILLES TECHNOLOGIQUES		CIRCUITS		
		I	II	III
(A) (B) (C)		1	1/20	$10^{-5}$ à $10^{-6}$

Fig. 10 bis. — Puissance consommée au repos pour les différentes classes de circuits.

Pour ce paramètre, le tableau se simplifie car la famille technologique n'a pas d'influence sensible.

Dans le cas où ce paramètre est prépondérant, la famille III (C MOS) est sans concurrence : on verra que dans de nombreux cas l'avantage important que présente la famille II sur la famille I peut également être exploité.

### 3.3. Tableau des facteurs de mérite $P \times p$

CLASSES DE CIRCUITS FAMILLES TECHNOLOGIQUES			
GRILLE (A) ALUMINIUM	1 $f = 20 \text{ pJ}$	0,65	1,3
GRILLE (B) SILICIUM	0,65	0,35	0,5
SILICIUM SUR (C) ISOLANT	0,2	0,14	0,3

NB: Famille C avec grille silicium

Fig. 11. — Tableau des facteurs de mérite ( $f = Ptp$ , sortance = 3).

On note un gain de l'ordre de 30 % quand on passe de la classe I aux classes II et III. Par ailleurs, les écarts d'une famille technologique à l'autre sont importants (gain d'un facteur 5 de la famille A à C).

### 4. ÉVALUATION DU COUT DES TECHNOLOGIES

Chaque technologie est décomposée en opérations élémentaires telles que opérations de masquage, de gravure, de diffusion, d'oxydation, de métallisation, etc... Chacune d'elles est pondérée selon son importance. En additionnant les coefficients obtenus on aura une mesure du coût des opérations collectives de chaque technologie, en supposant les niveaux de production identiques (fig. 12).

### 5. ÉVALUATION DES SURFACES OCCUPÉES

Il faut, dans ce domaine, veiller particulièrement à comparer des choses comparables. Les densités obtenues dépendent grandement du type de circuit considéré. Par exemple, les densités obtenues pour des registres à décalage sont couramment trois fois supérieures à celles des circuits de logique aléatoire. De la même mémoire le passage d'une règle topologique à motif minimum de  $10 \mu$  à une règle à  $7,5 \mu$  peut faire varier la surface du circuit dans un rapport 2.

Dans le tableau ci-contre, en prenant toujours la technologie (A) comme référence, on a porté les

surfaces occupées par une fonction logique complexe non répétitive (fig. 13).

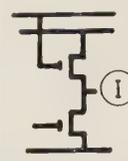
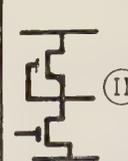
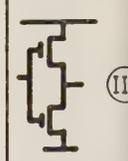
CLASSES DE CIRCUITS FAMILLES TECHNOLOGIQUES			
GRILLE (A) ALUMINIUM	1	1,2	1,5
GRILLE (B) SILICIUM	1,3	1,5	1,8
SILICIUM SUR (C) ISOLANT	1,1	1,3	1,6

Fig. 12. — Coût des technologies.

(Le coût du matériau de base n'est pas pris en compte)

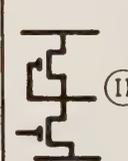
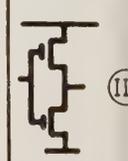
CLASSES DE CIRCUITS FAMILLES TECHNOLOGIQUES			
GRILLE (A) ALUMINIUM	P	1	1
	N	1	1
GRILLE (B) SILICIUM	P	0,7	0,7
	N	0,5	0,7
SILICIUM SUR (C) ISOLANT	P	0,7	0,7
	N	0,5	0,7

Fig. 13. — Tableau des surfaces occupées.

Dans le cas des fonctions logiques répétitives :  
 istre mémoire, le tableau se transformerait en faveur  
 s technologies utilisant la grille silicium. Par exemple,  
 famille B I passerait de 0,7 à 0,5-0,6.

**DATES D'ENTRÉE EN PRODUCTION**

Il était nécessaire de montrer l'échelonnement dans  
 temps des différentes technologies. Le tableau  
 dessous (fig. 14) donne les dates estimées de début  
 utilisation des différentes technologies en production.

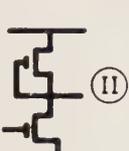
CLASSES DE CIRCUITS			
FAMILLES TECHNOLOGIQUES	I	II	III
GRILLE ALUMINIUM (A)	68	71	71
GRILLE SILICIUM (B)	70	73	74
SILICIUM SUR ISOLANT (C)	73	74	75

Fig. 14. — Année de début de production.

**INFLUENCE DE LA TAILLE DES COMPOSANTS SUR LES PERFORMANCES**

Si on se limite à une réduction de taille des circuits  
 une homothétie dans le plan on s'aperçoit que les  
 phénomènes de perçage nous limitent assez vite. Il  
 convient alors de réduire les tensions d'alimentation  
 par voie de conséquence, la valeur des tensions  
 seuil. Il faudra alors agir sur les épaisseurs d'oxyde  
 le dopage du substrat, la profondeur des jonctions,  
 ... pour optimiser les structures. En prenant comme  
 référence la technologie C MOS sur isolant on a montré,  
 la figure 15, les modifications de performances qui  
 coulent d'une réduction :

- de la longueur du canal d'un facteur 2 ;
- de l'épaisseur d'oxyde de grille d'un facteur 5 ;
- de la valeur de la tension d'alimentation d'un facteur 2.

Nous donnons trois exemples d'optimisation qui  
 permettent de localiser la limite imposée par le perçage.  
 On voit ainsi que la technologie MOS est très perfectible

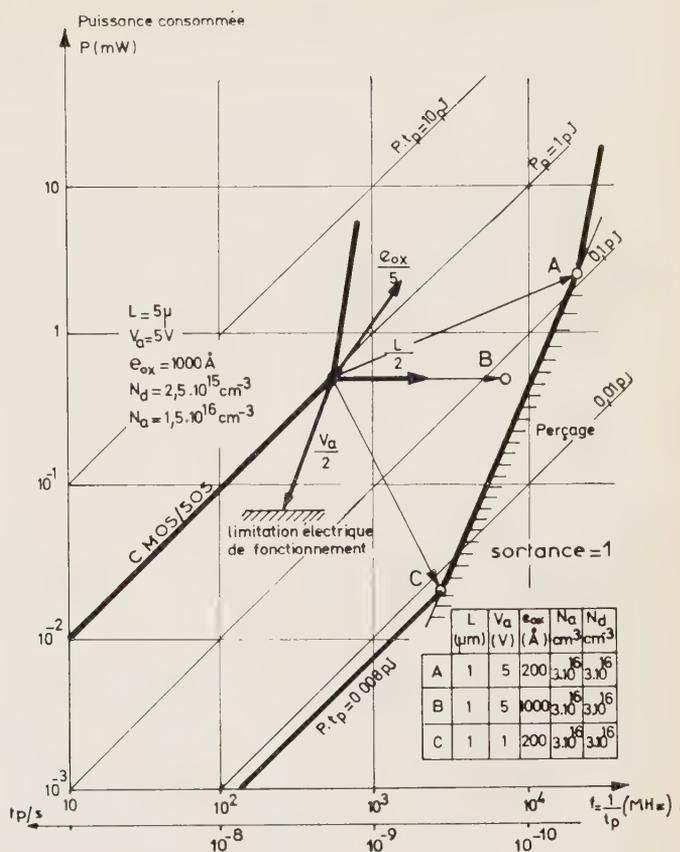


Fig. 15. — Courbes mettant en évidence les influences de la taille des composants et de la variation de la tension d'alimentation sur les performances des circuits.

et que les progrès que l'on peut en attendre sont spectaculaires :

- gain d'un facteur 50 en fréquence maximale ;
- gain d'un facteur 100 en facteur de mérite.

Il faudra, pour avoir accès à ces performances remarquables, surmonter les limites imposées aux techniques de masquage par la diffraction de la lumière et utiliser pour cela des masqueurs électroniques. Il faudra également faire évoluer les techniques de gravure et de dopage par l'utilisation d'usineurs et d'implanteurs ioniques.

**8. CONCLUSION**

Les différents tableaux donnés plus haut permettent au lecteur de classer les différentes technologies en fonction des paramètres qui l'intéressent.

Par exemple, pour la réalisation d'une *montre électronique*, le tableau des puissances permet de voir que dans ce domaine la technologie C MOS est sans concurrence.

Dans d'autres cas, il conviendra de faire intervenir plusieurs paramètres. On pourra ainsi définir des facteurs de mérite plus ou moins élaborés. Par exemple, pour la réalisation d'un *microprocesseur*, on s'intéressera aux facteurs suivants :

- fréquence maximale,
- complexité élevée,
- coût minimal.

On pourra utiliser le facteur de mérite suivant :  

$$\frac{\text{surface} \times \text{coût}}{\text{fréquence}}$$

On obtient ainsi le tableau suivant :

	I	II	III
A	1 2	0,8 1,2	3
B	0,6 0,2	0,5 0,3	1
C	0,25 0,1	0,18 0,13	0,5

L'intérêt de la *technologie canal N* ressort clairement ainsi que le gain que l'on peut attendre d'un passage de la technologie à grille silicium à la technologie *silicium sur isolant*.

Dans le cas d'un *calculateur de poche* le tableau des puissances permet d'éliminer la famille I. Quand celle-ci a été ramenée au niveau de la puissance dissipée par le dispositif d'affichage, un gain supplémentaire dans ce domaine devient superflu. Le facteur de mérite qu'il faut alors faire intervenir doit tenir compte du coût et de la complexité du circuit.

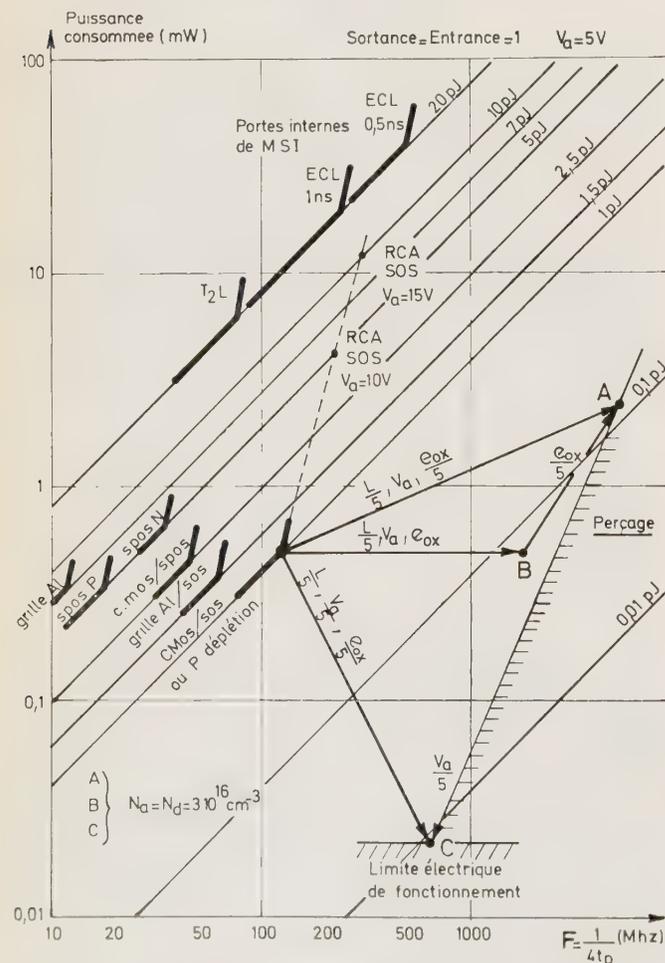


Fig. 16. — Influence des paramètres  $L$ ,  $V_r$ , err sur  $f = Ptr$ .

On obtient ainsi le tableau suivant avec facteur de mérite = coût  $\times$  surface :

	II	III
A	1	4-5
B	1	3-6
C	1	3-2

qui fait parfaitement ressortir l'intérêt de la *famille à déplétion-enrichissement*.

Dans beaucoup de cas, on pourra se référer à ce tableau pour des applications variées dans le domaine des équipements portables, de l'électromécanique, de l'automobile, etc...

Enfin, il faut noter les progrès considérables que l'on est en droit d'attendre de la technologie MOS par la réduction des dimensions et l'utilisation de nouvelles techniques de masquage électronique. La figure 17 montre qu'il est possible d'envisager des LSI dissipant moins de 1 W et dont les performances seraient les suivantes :

- complexité : quelque 10 000 portes ;
- temps de propagation : moins de 1 ns ;
- facteur de mérite : quelque 1/100 pJ.

**Remerciements**

Cet article résume un travail important d'évaluation et de simulation mené au LETI depuis plus d'une année par de nombreux chercheurs. Je souhaite remercier tout particulièrement M. Bob M. Suat et M. Rousseau sans l'aide desquels cet article n'aurait pas vu le jour.

**RÉSUMÉ**

Afin de guider l'utilisateur dans le choix souvent difficile des technologies à employer, l'auteur propose une classification sous forme d'un tableau faisant intervenir trois classes de circuits : circuits à enrichissement, à appauvrissement, à enrichissement et complémentaires, et trois familles technologiques : technologie à grille aluminium, à grille silicium et grille silicium sur isolant.

Pour chaque combinaison obtenue sont données les valeurs des paramètres essentiels tels que puissance dissipée, fréquence maximale, facteur de mérite, taille des circuits, coût, etc.

En conclusion est donné un aperçu sur les progrès que l'on peut attendre des technologies MOS dans les années à venir.

**SUMMARY**

**Mos technologies valuation**

by J. LACOUR (LETI)

As a tabular guide to help users in the difficult choice of technologies, the author proposes three classes of circuit enhancement circuits, enhancement-depletion and complementary circuits, and three families of technology : aluminium gate technology, silicon gate technology and silicon gate insulator technology.

For each combination in the table, the author sets out the characteristic values for parameters such as dissipated power, maximum operational frequency, merit factor, size of the circuit dimensions, cost, etc...

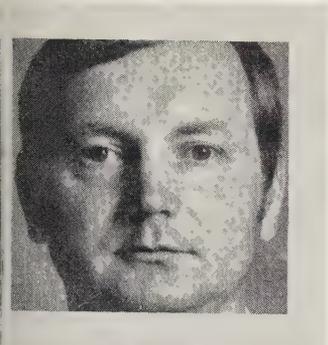
As a conclusion, an outline survey is made of expected progress in the MOS technologies over the coming years.

# Quelques notions sur le transistor MOS

par Gérard GEORGIN,

Inspecteur Principal des Télécommunications, Chargé du Laboratoire d'Électronique et Communication à l'ENST.

ENST, 46, rue Barrault, 75634 Paris  
Cédex 13 (Tél. 589.66.66).



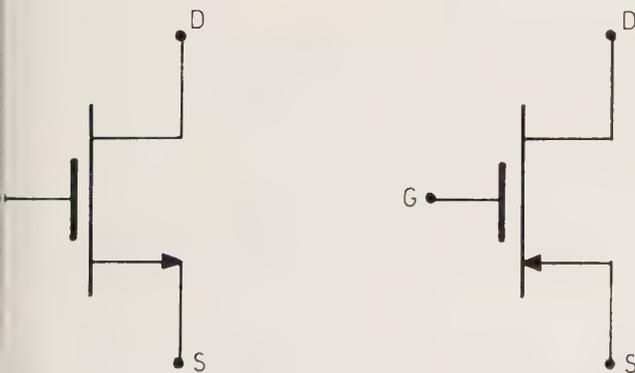
## TERMINOLOGIE

Un transistor MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor) est un élément actif à trois électrodes : la source, la grille, le drain.

Par construction la grille est isolée du reste du dispositif par un condensateur; d'où le nom équivalent FET (insulated-gate) : transistor à effet de champ grille isolée.

On trouve sur le marché divers types de transistors MOS :

- canal N à appauvrissement (depletion mode)
- canal N } à enrichissement (enhancement mode).
- canal P }



CANAL N

CANAL P

Fig. 1. — Représentation symbolique des deux types de transistors MOS.

## CARACTÉRISTIQUES D'UN TRANSISTOR MOS

Caractéristique d'entrée :  $i_G = f(V_{GS})$ .

La grille étant isolée le courant d'entrée  $i_G$  est pratiquement nul; par exemple  $i_G \simeq 10^{-12}$  A (3 N 142).

Le transistor MOS est donc un dispositif commandé en tension.

## 2.2. Caractéristiques de sortie :

$$i_D = f(V_{GS}) \text{ à } V_{DS} \text{ constant}$$

et de transfert :  $i_D = f(V_{GS}) \text{ à } V_{DS} \text{ constant.}$

Ces caractéristiques (fig. 2) dépendent du type de transistor.

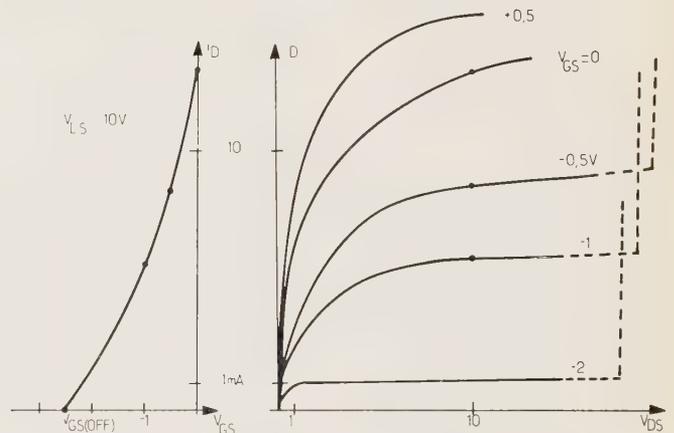


Fig. 2. — Caractéristiques de transfert et de sortie d'un transistor MOS à canal N et à appauvrissement.

Le transistor (3 N 142, canal N à appauvrissement) laisse passer un courant drain important pour une tension de grille nulle :

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS} = 0 \\ V_{DS} = 10 \text{ V} \end{array} \right\} \rightarrow i_D = 13 \text{ mA}$$

La tension de blocage (cut-off)  $V_{GS}(\text{off})$  : c'est la tension de grille  $V_{GS}$  telle que le courant drain s'annule : ici  $V_{GS}(\text{off}) \simeq -2,5$  V.

Le courant de saturation  $I_{DSS}$  : valeur constante du courant drain quand  $V_{GS} = 0$ ; ici  $I_{DSS} \simeq 15$  mA.

La figure 3 représente les courbes obtenues pour le transistor BFW 96 du type canal N à enrichissement (pour un transistor à canal P à enrichissement prendre les signes opposés des courants et tensions).

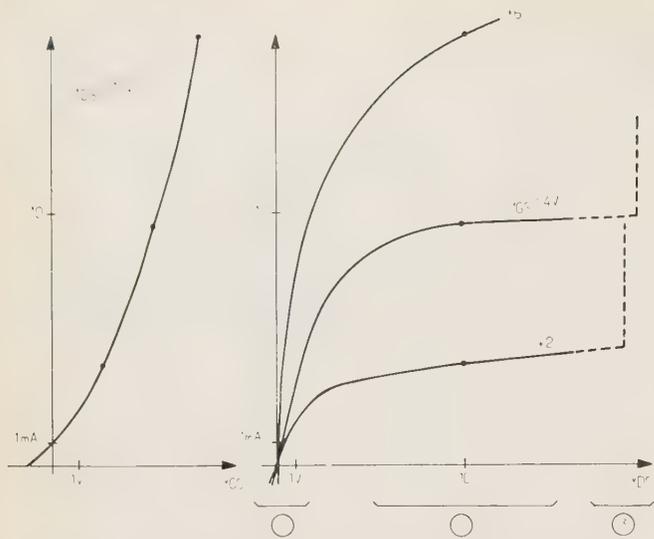


Fig. 3. — Caractéristiques de transfert et de sortie d'un transistor MOS à canal N et à enrichissement.

Le transistor ne laisse passer qu'un courant très faible quand la tension de grille est nulle :

$$\left. \begin{matrix} V_{GS} = 0 \\ V_{DS} = 10 \text{ V} \end{matrix} \right\} \rightarrow i_D = 1 \text{ mA}$$

Pente ou transconductance :  $g_m$  ou  $Y_{21s}$ .

Quel que soit le type, la pente est définie par :

$$y_{21s} = \left. \frac{d i_D}{d V_{GS}} \right|_{V_{DS} = \text{constante}} \quad I_D$$

Exemple : autour de  $i_D = 10 \text{ mA}$  et pour  $V_{DS} = 10 \text{ V}$

3 N 142	$y_{21} \approx 9 \text{ mA/V}$
BFW96	$y_{21} \approx 3,3 \text{ mA/V}$

Sur les caractéristiques statiques, on distingue trois zones :

- la zone 1 : autour de l'origine où le transistor est équivalent à une résistance linéaire dont la valeur dépend de  $V_{GS}$ ,
- la zone 2 : régime de saturation où le courant est sensiblement indépendant de  $V_{DS}$ ; c'est la zone normale de fonctionnement en amplificateur,
- la zone 3 : la zone de « claquage » où le transistor est détruit.

**2.3. Schéma équivalent pour les petits signaux (fig. 4)**

3 N 142 :	$C_{GS} \approx 5,5 \text{ pF}$	$C_{GD} \approx 0,22 \text{ pF}$
BFW 96 :	$C_{GS} \approx 5 \text{ pF}$	$C_{GD} \approx 0,75 \text{ pF}$

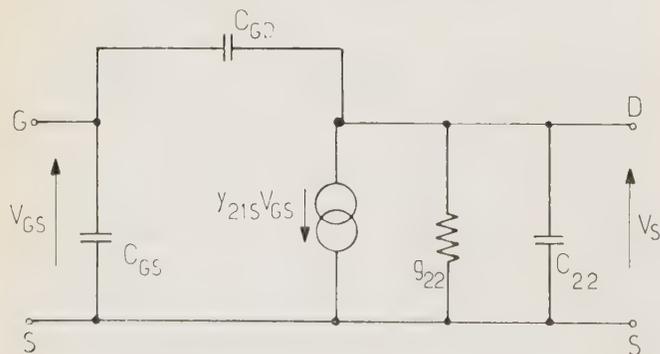


Fig. 4. — Schéma équivalent pour les petits signaux.

**3. UTILISATION D'UN TRANSISTOR MOS EN AMPLIFICATION**

En négligeant la résistance interne de sortie ( $\frac{1}{g_m}$ ) l'amplification en continu  $A_V$  est donnée par la relation

$$A_V = \frac{\Delta V_S}{\Delta V_G} = -y_{21s} R_i$$

En continu et aux fréquences basses, la réactance de  $C_{GS}$  est très grande : le générateur ne débite aucun courant. C'est là l'intérêt des MOS : quelle que soit la résistance interne  $R_g$  du générateur, c'est sa force électromotrice qui est appliquée au transistor. Par comparaison quand le montage travaille à des fréquences élevées la réactance de  $C_{GS}$  n'est plus négligeable, surtout parce que vient s'ajouter en parallèle le terme  $C_{GD} (1 - A_V)$  dû à l'effet Miller.

On a donc :  $C_e = C_{GS} + C_{GD} (1 - A_v)$ .

Puisque l'amplification en tension  $A_V$  est négative (et supposée réelle) la capacité d'entrée est augmentée

Les paramètres eux-mêmes sont fonction de fréquence : par exemple le transistor 3 N 142 présente une conductance d'entrée  $g_{11s}$  de 0,4 mmhos soit  $r_e = \frac{1}{g_{11s}} = 2,5 \text{ K}\Omega$  à la fréquence de 200 MHz. Cette résistance d'entrée qui était presque infinie en continu a donc notablement diminué.

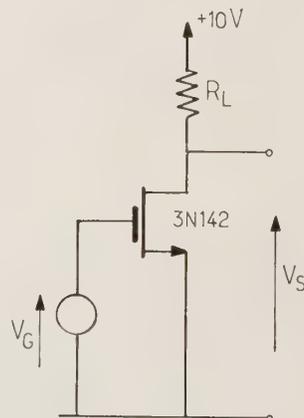


Fig. 5. — Amplificateur source-commune.

Nous avons rapproché dans le tableau I (p. 13) les caractéristiques du transistor MOS 3 N 142 monté en source commune et dont le schéma équivalent est donné à la figure 6, de celles du transistor bipolaire BFW 96 monté en émetteur commun.

Le transistor MOS conserve un avantage certain sur le transistor bipolaire en ce qui concerne la conductance d'entrée et le terme de réaction, mais sa pente étant nettement inférieure (7 au lieu de 70 mmhos) son amplification maximale en puissance (étage neutre-dyné) est beaucoup plus faible (20 dB au lieu de 33 dB).

Le transistor MOS présente également d'autres avantages en haute fréquence sur le transistor bipolaire :

- l'intermodulation  $y$  est plus faible (caractéristique d'entrée à peu près linéaire sur une plus grande étendue

	$V_{DS} = 15 \text{ V}, i_D = 5 \text{ mA}$	$V_{CE} = 5 \text{ V}, i_C = 5 \text{ mA}$
$f = 200 \text{ MHz}$	3 N 142 Transistor MOS	BFY 90 Transistor bipolaire
$g_{11}$ $C_{11}$	0,4 mmhos 5 pF	9 mmhos 8 pF
$ Y_{12} $	0,2 mmhos	1 mmhos
$ Y_{21} $	7 mmhos	70 mmhos
$g_{22}$ $C_{22}$	0,3 mmhos 1,7 pF	0,07 mmhos 2 pF
$M = \frac{ Y_{21} ^2}{4g_{11}g_{22}}$	100 soit 20 dB	2 000 soit 33 dB

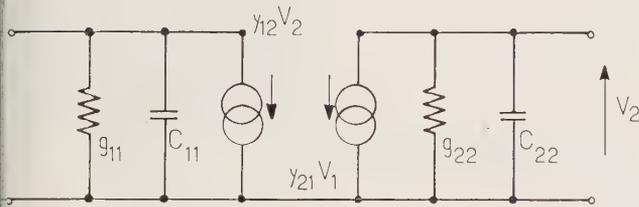


Fig. 6. — Schéma équivalent d'un transistor MOS monté en source commune.

— la commande de gain ne consomme aucune énergie (résistance d'entrée infinie en continu).

**CONSTITUTION ET FONCTIONNEMENT SOMMAIRE D'UN TRANSISTOR MOS CANAL N A ENRICHISSEMENT**

4.1. La grille est portée à un potentiel positif fixe quelques volts. La métallisation de grille et le substrat forment un condensateur plan avec comme diélectrique l'oxyde de silicium.

Les électrons libres du substrat sont attirés par la grille supposée positive et se rassemblent à la surface de séparation substrat-isolant où ils deviennent majoritaires : le substrat à l'origine P, devient N dans la couche d'inversion : il s'agit d'un transistor à canal N. Juste en dessous les électrons se recombinent avec les trous accepteurs : c'est la zone déserte où il n'y a aucun électron libre, tous les atomes accepteurs sont ionisés. Plus en dessous le substrat reprend sa nature P.

4.2. Les électrons se déplacent alors vers le drain accélérés par le champ dû à la tension drain  $V_{DS}$ . Ils constituent le courant drain qui se referme par la source par le substrat.

Le courant drain est proportionnel à  $V_{DS}$  et fonction directe de  $V_{GS}$  : c'est le fonctionnement d'une résistance variable (zone 1 des caractéristiques statiques).

4.3. Le champ électrique, dans l'isolant, n'est pas constant : il est plus élevé du côté source que du côté drain puisque  $V_{DS}$  est positive.

Pour une tension drain suffisante, le champ dans l'isolant, côté drain, s'annule.

La tension de seuil  $V_p$  est définie comme la différence de potentiel qu'il faut appliquer entre grille et

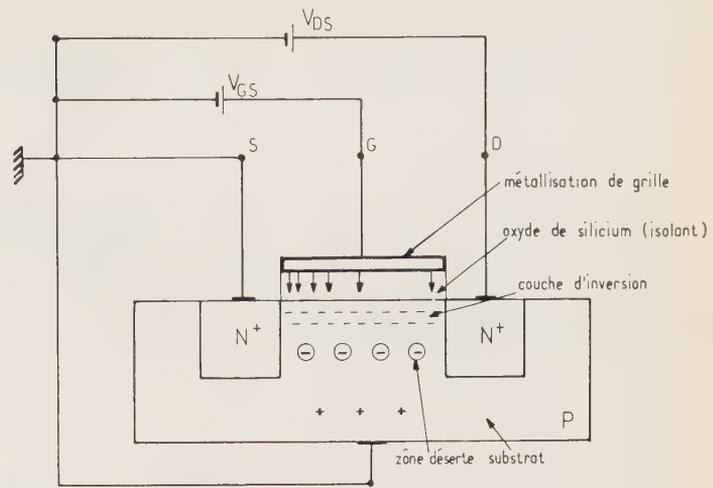


Fig. 7. — Coupe schématique d'un transistor MOS en fonctionnement.

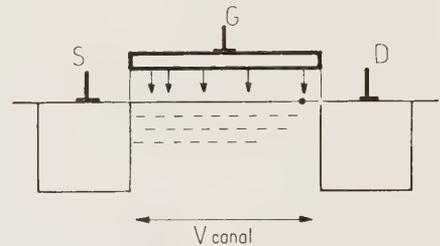


Fig. 8. — Coupe schématique d'un transistor MOS en fonctionnement montrant l'influence de la tension de drain.

drain pour commencer à annuler le champ électrique dans l'isolant, côté drain.

Si on augmente la tension drain le point de champ nul s'éloigne du drain ; mais la différence de potentiel le long du canal demeure constante ; la longueur du canal variant relativement peu, le champ électrique le long du canal reste constant de même que le courant drain : c'est le régime de saturation (zone 2 des caractéristiques statiques).

*Remarques :*

1. Pour obtenir juste la saturation, la tension drain doit être d'autant plus élevée que la tension grille l'est, ceci pour annuler le champ dans l'isolant côté drain.

2. La couche d'inversion peut exister alors que  $V_{GS} = 0$  si des ions positifs fixes sont immobilisés dans le diélectrique lors de la fabrication. Le courant drain, non nul pour  $V_{GS} = 0$ , sera augmenté si on applique une tension positive sur la grille : on a enrichissement de la couche d'inversion ; une tension grille négative, au contraire, appauvrit la couche d'inversion : le courant drain diminue.

3. La couche d'oxyde de silicium étant très mince (de l'ordre de 1/100 de micron) la métallisation de grille forme capacité avec la source et le drain ; d'où  $C_{GS}$  et  $C_{GD}$ . La réduction de la longueur de la métallisation diminue ces capacités mais diminue en même temps le pouvoir de commande de la grille.

4. En augmentant suffisamment la tension drain

on atteint la tension de claquage de la jonction drain-substrat, jonction polarisée en inverse : le courant drain augmente rapidement (zone 3 des caractéristiques statiques).

## 5. FABRICATION D'UN TRANSISTOR MOS

Partant du substrat de silicium P, oxydé en surface, on réalise les zones de source et de drain par diffusion après avoir pratiqué deux ouvertures dans l'oxyde de silicium (fig. 9a).

Métallisation de la surface par évaporation d'aluminium (fig. 9b).

Attaque de certaines parties de la métallisation pour constituer les sorties de source, grille et drain (fig. 9c).

Soudure des fils de connexions (fig. 9d).

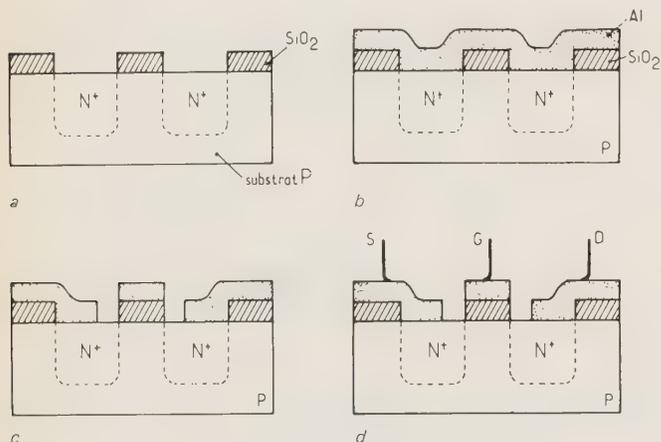


Fig. 9. — Fabrication d'un transistor MOS.

- a) Réalisation des zones de source et de drain.  
 b) Métallisation par de l'aluminium de la surface.  
 c) Élimination des métallisations inutiles.  
 d) Réalisation des connexions.

Entre chacune de ces phases se situe un masquage. Par exemple, après la métallisation, opération b), l'aluminium est recouvert de résine photosensible qui est exposée à un rayonnement ultraviolet au travers d'un masque convenable; la résine, là où elle a été insolubilisée, devient insoluble; après développement l'aluminium se trouve à nu et peut être attaqué par un acide, opération c), ce qui sépare les sorties source, grille, drain.

Du centrage correct des masques dépendent les caractéristiques du transistor. Par exemple un déplacement vers la droite de la métallisation réduit la capacité grille-source mais augmente la capacité grille-drain.

## RÉSUMÉ

Cet article est une présentation simple du transistor MOS orientée vers les particularités du dispositif; représentations symbolique, caractéristiques statiques, paramètres en petits signaux, constitution, fonctionnement et technologie.

## SUMMARY

### Some notions about MOS Transistors,

by G. GEORGIN (ENST).

This paper is a short presentation of the most important particularities of the MOS transistors : static characteristics, small signals parameters, working principles, constitution and technology.

## Bibliographie

Characteristics and operation of MOS FET devices par M. RICHMAN, édité chez McGraw Hill.

# Valorisation des technologies MOS par l'utilisation de l'implantation ionique (\*)

MOS

L'onde électrique  
1974, vol. 54, n° 1  
pp. 15-22



par J. BERNARD,

Ingénieur ENSERG, boursier de  
thèse au Laboratoire de Micro-  
électronique du LETI.

LETI, BP 85, Centre de Tri.  
38041 Grenoble Cédex. (Tél.  
(76) 97.41.11).

L'implantation ionique est un procédé de dopage particulier qui ne fait pas appel au phénomène thermique. Les atomes dopants ionisés, focalisés puis accélérés viennent bombarder le semiconducteur. Ce processus présente de nombreux avantages : il est facilement contrôlable, il permet un dopage très précis et reproductible (notamment en profondeur), le faisceau ne traverse pas les milieux épais (oxyde ou métal). Il est utilisé dans le cadre des technologies MOS où la grille

des transistors peut être constituée par un métal réfractaire ou non, ce procédé réduit les recouvrements grille-drain et grille-source qui déterminent la valeur des capacités parasites, car la grille sert alors de masque (cette particularité est appelée l'autoalignement). D'autre part, le recuit des défauts s'effectue à une température plus basse que celle nécessitée par le procédé de diffusion thermique.

## Introduction

L'implantation ionique a été longtemps considérée comme une curiosité de laboratoire. Les études dans ce domaine sont entrées dans une phase active depuis dix ou huit ans et très rapidement nous avons vu émerger des applications originales pour la réalisation de composants à semi-conducteurs.

Parallèlement les progrès réalisés sur l'appareillage ont permis d'aborder la mise en œuvre de cette technique à un niveau industriel [1].

Le passage de l'implantation ionique du laboratoire à la chaîne de production s'est essentiellement effectué dans le domaine de la réalisation des circuits intégrés de transistors MOS. En effet pour ce cas particulier, l'utilisation de l'implantation ionique correspond à des conditions d'implantation simples (1 seule implantation généralement) ; d'autre part, elle ne remet pas en cause l'ensemble du processus technologique, ce qui lui vaut d'être plus facilement acceptée des technologues.

A l'heure actuelle, l'implantation ionique semble avoir surmonté les réticences qu'il y avait à son égard. On assiste partout dans le monde à un véritable engouement pour cette technique, engouement qui n'est plus limité à la technologie MOS et qui s'exprime

également dans le domaine des transistors bipolaires [2], des diodes à avalanches, etc...

Ainsi la majorité des fabricants de semi-conducteurs américains est maintenant en possession d'un implantateur de production, y compris ceux de ces fabricants qui auparavant n'avaient pas mené de recherches dans le domaine de l'implantation ionique.

## 2. Principes de l'implantation ionique

Le principe de base de l'implantation ionique utilisée comme méthode de dopage des semi-conducteurs consiste à faire pénétrer le dopant dans le cristal en lui communiquant une énergie très importante, variant suivant les cas de quelques kiloélectronvolts à quelques centaines de kiloélectronvolts. Cette énergie est obtenue à l'aide d'un système qui focalise et accélère les ions issus d'une source d'ions du dopant désiré.

Ce mode d'introduction hors équilibre thermodynamique des impuretés dans le substrat à doper caractérise les divers avantages de l'implantation ionique que nous avons rassemblés dans le tableau I.

*Indépendance dose-énergie.* L'énergie des ions qui détermine la profondeur d'implantation et la dose, c'est-à-dire la quantité d'ions implantés sont deux paramètres indépendants qui permettent une grande souplesse pour l'obtention d'un profil déterminé par avance.

(\*) Demi-journée d'études SEE sur les progrès récents en technologie MOS. Malakoff, le 24 janvier 1973.

TABLEAU I

Avantages de l'implantation ionique.

Indépendance dose énergie
Contrôle précis de la quantité d'impuretés
Reproductibilité
Processus basse température
Directivité du dopage
Dopage au travers de couches (isolantes)

**Précision. Reproductibilité.** La quantité d'ions implantés est déterminée à partir de la mesure du courant d'ions sur la cible. On obtient ainsi une précision bien supérieure à celle obtenue avec les techniques classiques, ceci sur une gamme plus étendue.

**Processus basse température.** La pénétration des ions dans le substrat à doper est indépendante de la température et peut s'effectuer par exemple à la température ambiante.

D'autre part, les températures correspondant au recuit des défauts associés au bombardement et au passage des ions implantés sur des sites électriquement actifs sont faibles (gamme de 500 à 1 000 °C) comparées à celles nécessitées pour la diffusion thermique classique.

**Directivité du dopage.** L'implantation d'une zone définie par un masque correspond fidèlement aux fenêtres ouvertes dans le masque sans effet « buvard » comme celui rencontré en diffusion thermique classique. La définition spatiale des zones à doper est ainsi excellente.

**Dopage au travers de couches.** La pénétration des ions dans la cible s'effectue en dehors des conditions d'équilibre thermodynamique. Des ions d'énergie suffisante peuvent ainsi traverser une couche d'épaisseur faible devant leur parcours et doper le substrat situé au-dessous. Ce cas particulier de l'utilisation de l'implantation ionique est mis à profit par exemple pour le dopage du silicium à travers une fine couche de  $\text{SiO}_2$ .

Ces divers avantages peuvent être mis à profit pour la réalisation de nombreux dispositifs. Nous nous intéressons ici particulièrement au cas des transistors MOS et nous montrerons par quelques exemples comment l'implantation ionique permet de valoriser les performances des circuits intégrés à transistors MOS.

### 3. Limitations de la technologie MOS classique

Le développement des circuits intégrés à transistors MOS provient d'une part de la souplesse d'utilisation de ce type d'élément (grande impédance d'entrée, utilisation en résistance, etc...) et d'autre part de la simplicité de la technologie qui permet l'intégration de circuits de grande complexité.

Cependant l'extension du domaine d'application de ces circuits est limitée par la faible rapidité des transistors MOS. Cette limitation n'est pas intrinsèque à l'élément, mais provient pour une grande part des conditions technologiques de fabrication.

En effet, les erreurs d'alignement de masques sont telles que la métallisation de grille recouvre partiellement la zone de drain introduisant ainsi une capacité grille-drain de contre-réaction qui affecte les performances en rapidité du transistor. Cet effet devient de plus en plus sensible lorsque la longueur du canal diminue.

Une autre difficulté de la technologie MOS se situe au niveau du contrôle de la tension de seuil et est compromis à réaliser entre tension de seuil d'oxyde fin, c'est-à-dire la tension de seuil du transistor MOS lui-même et la tension de seuil d'oxyde épais liée à l'inversion parasite sous l'oxyde épais.

Le rapport tension de seuil oxyde épais sur tension de seuil d'oxyde fin est fixé par le processus technologique, c'est-à-dire la nature du métal, les conditions d'oxydation, le dopage du substrat et le rapport des épaisseurs d'oxyde. Ce rapport détermine les conditions maximales de polarisation du circuit.

L'implantation ionique permet de pallier ces difficultés, mais offre également des possibilités originales qui conduisent à des processus plus simples ou à des circuits plus performants.

### 4. Possibilités offertes par l'implantation ionique dans la technologie MOS

Elles correspondent aux avantages particuliers de cette technique que nous avons dégagés précédemment.

**4.1. Autoalignement de grille.** L'autoalignement de grille a été la première application de l'implantation ionique à la technologie MOS. Elle a été présentée par l'équipe de R. Bower à la Société Hughes pour la première fois en 1966 [3].

Elle permet de minimiser la capacité parasite de grille au recouvrement grille-drain.

La structure d'un transistor MOS autoaligné est représentée sur la figure 1.

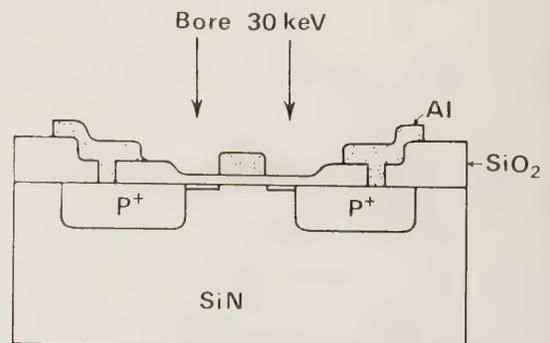


Fig. 1. — Coupe d'un transistor MOS à grille autoalignée.

L'électrode métallique de grille qui détermine la longueur du canal est plus étroite que la distance qui sépare les zones de source et de drain. L'implantation d'ions bore (dans ce cas particulier de TMO à canal P) à travers l'oxyde fin, le métal de grille servant de masque, permet de prolonger les zones de source et de drain au ras de l'électrode métallique réalisant ainsi l'autoalignement de la grille sur le canal. L.

es recouvertes d'oxyde épais ou de métal ne sont pas traversées par les ions et les caractéristiques statiques du transistor demeurent ainsi inchangées.

Cette opération d'autoalignement ne nécessite pas de gravure supplémentaire et n'entraîne aucune modification du processus de fabrication de MOS. L'auto-alignement représente la dernière opération qui est effectuée avant le recuit final à une température finale de 500 °C.

Le gain en rapidité obtenu par rapport aux éléments réalisés selon la technologie classique varie de 2 à 5 en fonction de la configuration du circuit réalisé.

**2. Résistances implantées.** L'opération d'autoalignement conduit à des résistances de couche des ions implantés assez élevées de l'ordre de 1 à 2 KΩ/□. Les valeurs des résistances parasites introduites dans un transistor MOS autoaligné sont trop faibles, compte tenu des dimensions mises en jeu pour affecter le fonctionnement de l'élément.

Mais il est possible au cours de la même opération d'implantation de réaliser des résistances de fortes valeurs de 10 KΩ à 50 KΩ qui peuvent alors être utilisées comme résistance de charge du transistor.

C'est ainsi que Hughes en utilisant cette technique, c'est-à-dire des transistors MOS autoalignés associés à des résistances implantées, réalise des registres à décalage fonctionnant à des fréquences d'horloge supérieures à 20 MHz [4].

**3. Ajustage de tension de seuil d'oxyde fin.** C'est une opération qui consiste à contrôler le dopage du substrat dans le canal par une implantation d'ions à travers l'oxyde fin de grille qui est effectuée avant la finalisation.

L'expression suivante  $V_s = \phi_{Ms} + \frac{Q_{ss}}{C_o} + \frac{Q_B}{C_o} + 2\phi_F$

regroupe les différents termes constitutifs de la tension de seuil d'une structure MOS, où :

- $\phi_{Ms}$  représente la différence de potentiel de contact métal semi-conducteur;
- $Q_{ss}$  représente les charges de l'oxyde ramenées à la surface;
- $Q_B$  représente les charges de la zone de charge d'espace dans le substrat;
- $C_o$  représente la capacité d'oxyde par unité de surface;
- $2\phi_F$  représente le potentiel d'inversion du substrat.

L'implantation d'impuretés dans le canal permet de modifier la contribution du terme relatif au substrat  $\frac{Q_B}{C_o}$

de manière continue et dans une gamme étendue. C'est ainsi possible d'ajuster la tension de seuil d'une structure MOS à une valeur fixée à l'avance.

Lorsque l'on introduit des atomes de type accepteur dans le substrat comme le bore, la tension de seuil est déplacée vers les valeurs positives; dans le cas contraire, des atomes donneurs tel le phosphore, au contraire la tension de seuil est déplacée vers les valeurs négatives.

Ainsi, selon le cas considéré, on dispose avec l'implantation ionique d'une souplesse remarquable pour diminuer ou augmenter la tension de seuil d'une structure MOS à canal P comme celle d'une structure à canal N.

La mise en œuvre de cette technique consiste à réaliser une implantation à travers l'isolant de grille comme le montre la figure 2 dans laquelle on a représenté la répartition des ions en fonction de la profondeur. La partie du profil de concentration qui est mise en jeu est celle qui est située dans le silicium.

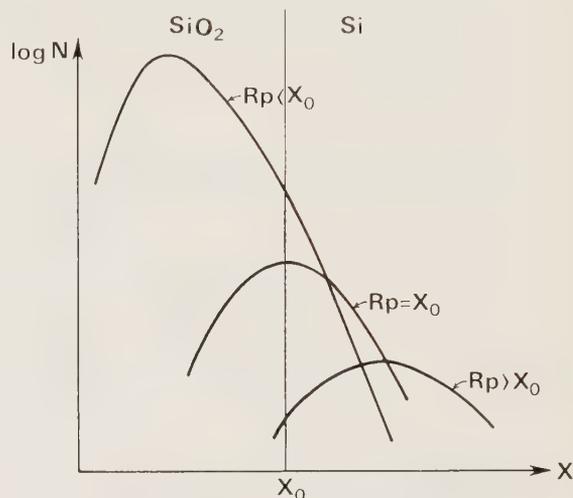


Fig. 2. — Répartition des ions implantés à travers une couche de  $SiO_2$ .

Le choix des conditions d'implantation dépendra de l'épaisseur de l'oxyde, de la nature de l'ion et de la valeur de la variation de seuil recherchée.

D'une manière générale la variation obtenue est proportionnelle à la quantité d'ions implantés comme le montre la figure 3 pour le cas particulier d'ions bore implantés à 30 KeV à travers 1 000 Å de  $SiO_2$ .

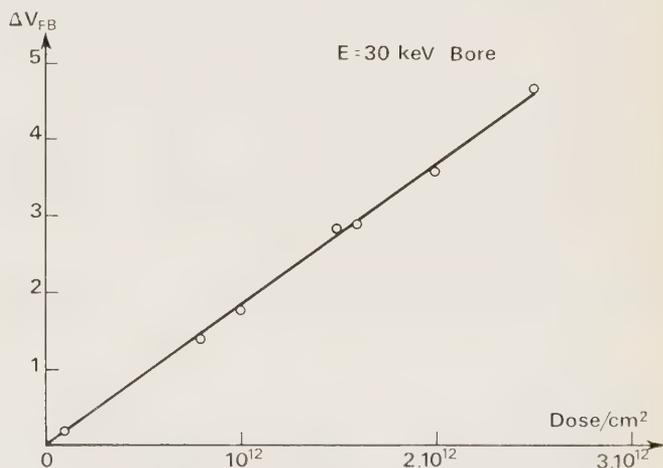


Fig. 3. — Variation de la tension de « bande plate » en fonction de la dose d'ions bore implantée.

Une caractéristique remarquable de cette opération est qu'elle est auto-masquante. En effet, compte tenu de l'énergie des ions mise en jeu, seules les régions recouvertes d'oxyde fin, c'est-à-dire les grilles, seront traversées. Dans ces conditions, les autres caractéristiques du circuit, par exemple la tension de seuil parasite d'oxyde épais, ne sont pas modifiées.

C'est ainsi que nous pouvons modifier le rapport  $V_s$  oxyde épais sur  $V_s$  oxyde fin indépendamment des épaisseurs d'oxyde mises en jeu, c'est-à-dire sans changer le processus technologique de base.

Là encore, l'étape d'ajustement de tension de seuil ne remet pas en cause la succession des opérations de fabrication, elle constitue simplement une opération particulière supplémentaire qui s'insère dans le processus initial.

Les caractéristiques électriques du dispositif : stabilité, courant de fuite, tension de claquage de diode, ne sont pas affectées, non plus que la mobilité des porteurs dans le canal qui peut même dans certains cas devenir plus élevée.

Telle qu'elle a été décrite, cette opération conduit à une modification de la tension de seuil de l'ensemble des transistors du circuit. Cependant par une étape de masquage supplémentaire, il est possible d'ajuster sélectivement la tension de seuil de certains éléments. Nous reviendrons sur cette possibilité lorsque nous décrirons une technologie associant des transistors MOS fonctionnant en enrichissement et des transistors MOS fonctionnant en appauvrissement.

**4.4. Contrôle de concentration en surface. Modification de la tension de seuil d'oxyde épais.**  
Une autre façon de modifier le rapport tension de seuil d'oxyde épais à tension de seuil d'oxyde fin consiste à modifier la tension de seuil d'oxyde épais en agissant sur la concentration du substrat en surface. Pour cela, il ne s'agit plus d'implanter les ions directe-

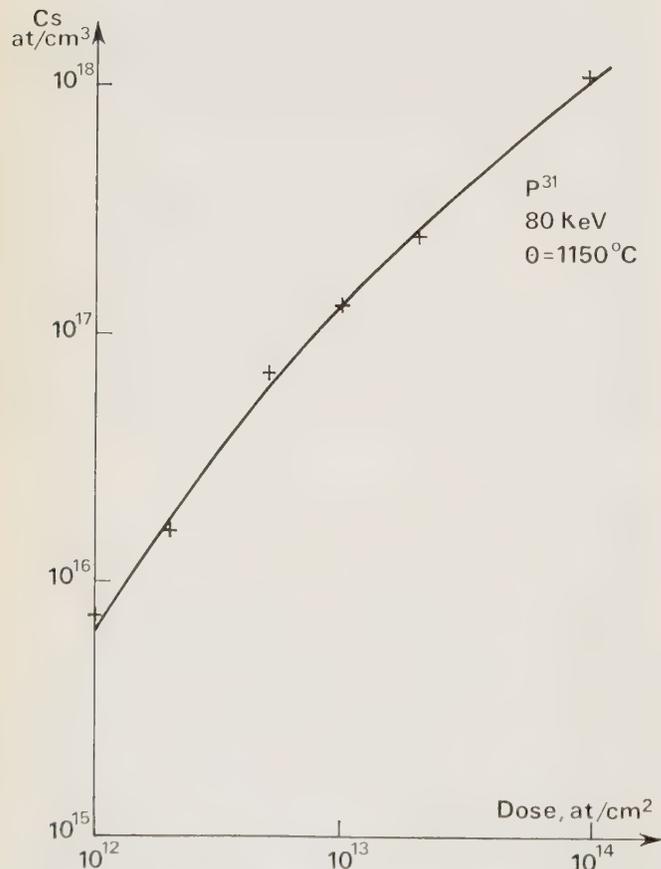


Fig. 4. — Variation de concentration en surface obtenue pour une implantation d'ions phosphore.

ment à travers l'oxyde épais, ce qui poserait des problèmes d'énergie et de précision sur l'épaisseur, mais d'utiliser l'implantation ionique comme une méthode particulière de prédépôt.

Les ions sont implantés directement dans le silicium en dehors des zones de source, grille et drain. Lors de l'oxydation épaisse, le profil d'ions implantés est redistribué permettant d'obtenir une concentration en surface dont la valeur dépend à la fois de la dose implantée et du traitement thermique effectué.

La figure 4 montre la variation de concentration en surface obtenue en fonction de la dose d'implantation dans le cas particulier d'un enrichissement en surface réalisé avec des ions phosphore.

Des résultats équivalents sont obtenus avec des implantations d'ions arsenic ou d'ions bore (dans le cas de l'enrichissement d'un substrat du type P).

La gamme de concentration intéressante se situe autour de 10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup>, concentration pour laquelle il devient extrêmement délicat d'utiliser les techniques habituelles de diffusion. L'augmentation de tension de seuil d'oxyde épais lorsque l'on enrichit le substrat de 10<sup>15</sup>/cm<sup>3</sup> à 10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup> est d'environ 15 V pour une épaisseur d'oxyde de 17 000 Å.

La mise en œuvre de cette technique peut s'effectuer de différentes façons et conduire à divers processus technologiques (cf. paragraphe 5.2).

**4.5. Réalisation de caissons pour TMOS complémentaires.** L'utilisation de l'implantation ionique comme une méthode de prédépôt particulièrement précise intervient également pour la réalisation de caissons de type P pour le T MOS à canal N des circuits à T MOS complémentaires sur substrat massif.

Dans ce cas, la couche implantée est traitée exactement de la même façon qu'un prédépôt réalisé par diffusion thermique classique.

L'intérêt de l'implantation ionique apparaît dans la figure 5 où la dispersion de dopage dans le caisson

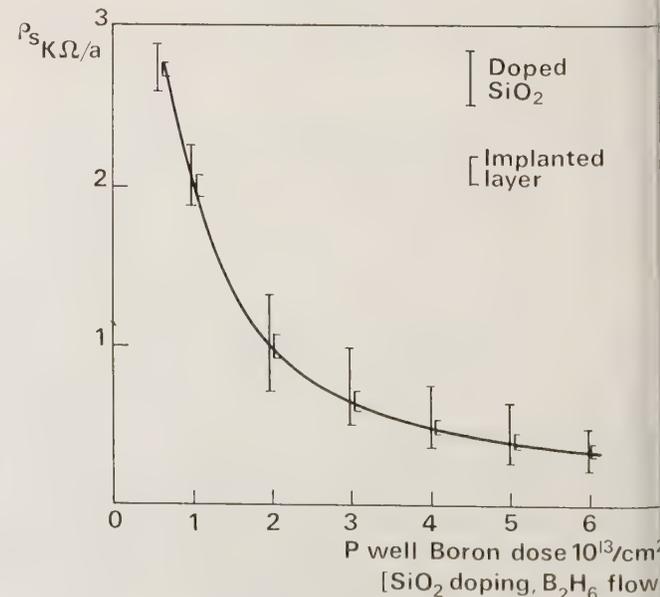


Fig. 5. — Précision de dopage obtenue par oxyde dopé comparée à la précision obtenue par implantation d'ions.

comparée à celle obtenue lors de l'utilisation d'oxydes dopés. L'amélioration de la précision apportée par l'implantation est dans un rapport 5 environ [5].

Enfin, nous pourrions également citer le cas des MOS complémentaires réalisés dans un substrat de silicium sur isolant où l'implantation ionique permet de modifier directement les zones de type nécessaire. L'implantation d'ions bore selon un profil constant sur la couche permet de transformer le substrat initialement de type N en un substrat de type P [6].

Toutes ces applications de l'implantation ionique à la technologie MOS correspondent à des avantages particuliers de l'implantation ionique qui sont mis à profit séparément ou simultanément.

Le tableau II montre pour chacune des techniques que nous avons signalées la ou les caractéristiques de l'implantation les plus importantes qui sont mises à profit.

L'avantage le plus souvent signalé est la possibilité d'obtenir avec précision de faibles concentrations et c'est sans doute sous cet aspect que l'on peut dire que l'implantation ionique est une technique complémentaire à la diffusion thermique.

TABLEAU II

Mise à profit des avantages de l'implantation ionique.

	Dopage à travers un isolant	Faible concentration	Prédépôt
Alignement	■		
Ajustement de $V_s$ oxyde fin	■	■	
Ajustement de $V_s$ oxyde épais		■	■
Implantation dans Si massif		■	■
Implantation dans Si sur isolant		■	
Obtention de fortes valeurs	■	■	

## Technologies MOS utilisant l'implantation ionique

À partir des techniques de base que nous avons présentées, il existe un très grand nombre de variantes de technologies MOS utilisant l'implantation ionique : de nombreuses combinaisons possibles avec d'autres techniques (silicium polycristallin, transistor MOS plan, etc...), sont multiples et nous nous limiterons à quelques exemples étudiés au LETI.

**5.1. Technologie IDÉAL.** C'est une technologie MOS à canal P associant des transistors MOS à enrichissement et à déplétion dont la grille est autoalignée. Le processus de base est un processus classique à l'oxyde d'aluminium auquel on a rajouté deux opérations de l'implantation : l'ajustement de tension de seuil et l'autoalignement de grille.

La figure 6 rappelle la structure du circuit élémentaire et les principales étapes technologiques.

L'association au transistor MOS fonctionnant en enrichissement d'une charge constituée d'un transistor

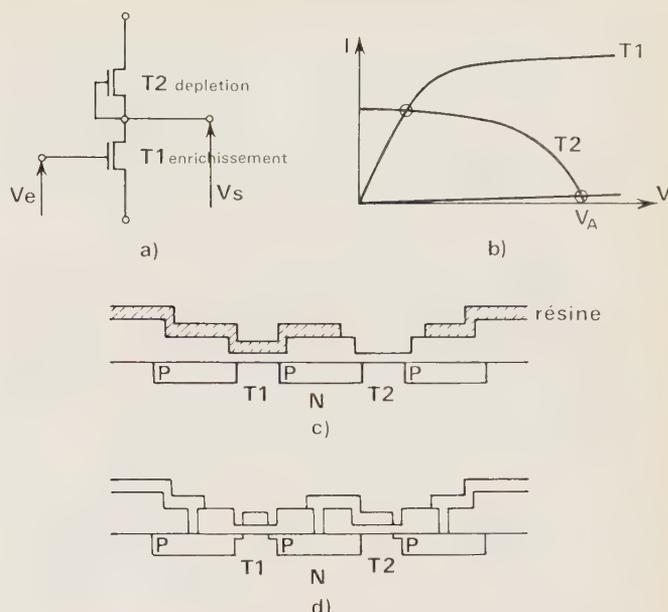


Fig. 6. — Caractéristiques de la technologie à déplétion enrichissement IDÉAL.

MOS fonctionnant en déplétion conduit à la caractéristique de charge de la figure 6. L'allure de cette caractéristique analogue à celle d'une source de courant montre que par rapport à une charge résistive, le courant disponible pour charger la capacité parasite de sortie est plus important ce qui améliore la vitesse de commutation du circuit.

Les résistances de sortie sur les niveaux « 0 » et « 1 » sont faibles, comme dans une structure complémentaire, ce qui permet d'obtenir une bonne immunité aux parasites.

De plus, la résistance dynamique de charge est très grande et conduit à des gains en tension importants en petits signaux. Cette particularité est très intéressante pour les applications dans le domaine des circuits analogiques où elle se traduit par une augmentation du produit gain-bande passante.

Un autre avantage de la valeur élevée de l'impédance de charge est la possibilité de réaliser des structures du type NAND. Le concepteur de circuits logiques complexes dispose ainsi d'une grande souplesse dans la définition de la configuration de son circuit.

Un dernier point important à signaler pour ce type de circuit est l'absence de tension continue de polarisation du T MOS de charge. Le circuit est ainsi alimenté à l'aide d'une seule tension.

Les schémas de la figure 6 représentent les principales étapes technologiques. Après la réalisation de la grille, l'implantation sélective du canal du transistor MOS de charge est effectuée en utilisant un masque de résine. Celle-ci est ensuite éliminée et le dispositif est métallisé, puis subit l'implantation d'autoalignement (ions bore) fig. 6d).

Les valeurs des tensions de seuil sur un substrat N  $10 \Omega < 100 \text{ \AA} >$  sont de  $-1,9 \text{ V}$  pour le transistor de commande (qui fonctionne en enrichissement) et de  $+2,5 \text{ V}$  pour le transistor MOS de charge (qui fonctionne en déplétion).

Nous avons réalisé un circuit de 99 inverseurs bouclés en anneau qui a permis d'évaluer le facteur de mérite de cette technologie. Le résultat obtenu est de 1,5 PJ par porte pour une sortance unitaire. Cette valeur est à comparer aux 20 PJ par porte obtenus en technologie MOS classique. Le gain important ainsi obtenu est dû à la fois à l'amélioration apportée par l'autoalignement des grilles et à celle apportée par la charge à déplétion.

Dans un circuit intégré complexe présentant des capacités d'interconnexions plus élevées, l'amélioration apportée par cette technologie dépend de la gamme de fréquence de fonctionnement considérée; le rapport des facteurs de mérite varie de 5 à 13 environ.

Une variante de cette technologie consiste à ne pas réaliser l'autoalignement des grilles. Dans ce cas, la fréquence maximum de fonctionnement est réduite et l'intérêt se situe alors au niveau de la faible consommation.

Nombreuses sont les applications de ce type de technologie, aussi bien dans le domaine des circuits logiques qu'analogiques. Les performances obtenues (rapidité, consommation), la simplicité du processus de fabrication et la souplesse de conception des circuits affirment la position de la technologie IDÉAL vis-à-vis des techniques classiques.

**5.2. Technologie à tension de seuil d'oxyde épais élevée du type « PLANOX ».** C'est une technologie MOS à canal P dans laquelle on enrichit la concentration en surface du substrat en dehors des zones de source grille et drain par une implantation d'ions arsenic.

La figure 7 montre les principales étapes technologiques. L'implantation est réalisée sur le silicium à l'aide d'un masque de nitrure de silicium protégeant la zone active du dispositif (source grille drain) (fig. 7a). L'oxyde épais est ensuite formé, la couche de nitrure étant conservée dans la région centrale. On obtient ainsi une oxydation localisée conduisant à une structure plane. Lors du traitement thermique, les impuretés

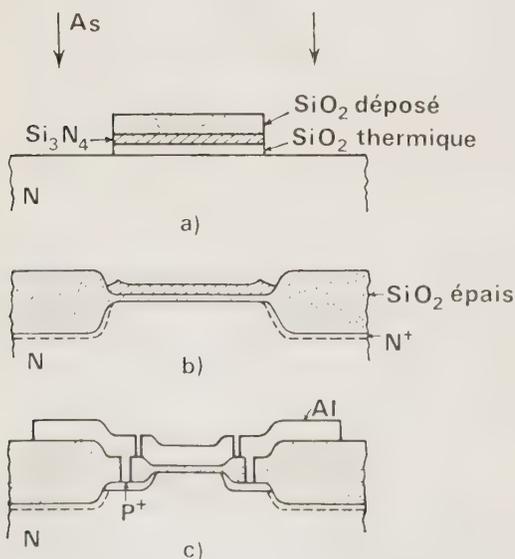


Fig. 7. — Technologie MOS plan à tension de seuil d'oxyde épais ajustée.

implantées sont redistribuées et la concentration du substrat est ainsi enrichie en surface (fig. 7b).

Le processus se poursuit d'une manière analogue à la technologie « PLANOX » ou « LOCOS » [7] c'est-à-dire diffusion des zones de source et drain en utilisant une couche de nitrure comme masque, puis gravure et oxydation grille. La gravure de la grille est faite en éliminant simplement le nitrure restant et ne nécessite pas d'opération de photogravure, supprimant ainsi l'erreur d'alignement de masque dans la définition de la grille.

Après ouverture des contacts, métallisation et gravure des interconnexions, la structure obtenue est représentée sur la figure 7c.

Cette technologie fournit à la fois les avantages du processus planox et des possibilités d'obtention d'une tension de seuil d'oxyde épais élevée, c'est-à-dire :

- minimisation des marches d'oxyde et des coupures de métallisation aux marches;
- facilité plus grande pour le positionnement des contacts d'où la possibilité de diminuer les géométries;
- augmentation de la tension d'alimentation des circuits et de la dynamique du signal (applications des circuits analogiques);
- obtention de tension de seuil d'oxyde épais élevée sur substrat < 100 >.

De nombreuses variantes de cette technologie sont possibles, aussi bien en canal P (impl. phosphore ou arsenic) qu'en canal N (impl. bore). En effet, des opérations comme l'ajustage de tension de seuil d'oxyde fin ou l'autoalignement sont compatibles également avec cette technologie et confèrent une souplesse remarquable dans l'optimisation de paramètres qui, dans une technologie classique, sont véritablement figés.

**5.3. Technologie MOS complémentaire sur substrat isolant.** Une autre illustration des possibilités originales de l'implantation ionique est le contrôle sélectif du dopage d'une couche de silicium épitaxié sur isolant.

La réalisation de transistors MOS complémentaires sur substrat isolant nécessite la présence simultanée sur le substrat de zones de silicium de type N et de type P. Pour cela, il est habituellement utilisé une double épitaxie qui constitue une opération délicate à contrôler avec précision.

L'implantation offre la possibilité de doper localement la couche de silicium selon le type désiré.

La figure 8 représente le principe de l'opération. Le matériau de départ est une couche de silicium de type N épitaxié sur isolant, d'épaisseur de l'ordre de 1  $\mu$ . Les îlots à doper selon le type P sont implantés avec des ions bore. Afin d'obtenir un profil de concentration constant sur la profondeur de la couche, on réalise une succession d'implantations à différentes énergies et à différentes doses, de manière à ce que la composition des profils élémentaires (des profils gaussiens en première approximation) conduise à un profil plat.

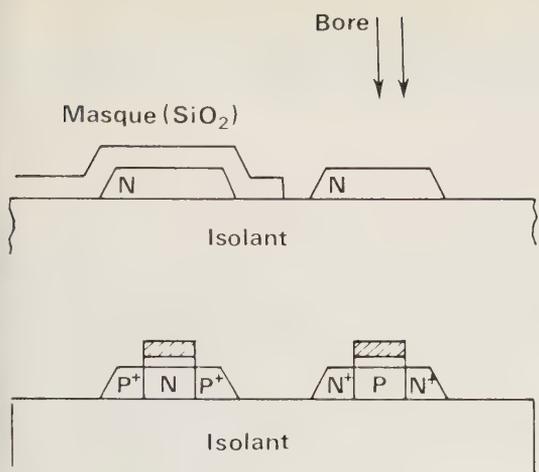


Fig. 8. — Principe de l'obtention de CMOS complémentaires sur substrat isolant à partir d'un substrat monotype (N).

Le traitement thermique d'oxydation grille effectué ultérieurement permet d'obtenir un bon rendement thermique des ions implantés.

La possibilité de contrôler localement le dopage de couche par implantation ionique, c'est-à-dire à basse température, est particulièrement intéressante dans ce type de structure où les traitements thermiques à température élevée introduisent des modifications de propriétés électriques [6].

L'application de l'implantation ionique à la technologie silicium sur isolant permet ainsi une amélioration et une simplification du processus, éléments qui sont à la base du développement de l'utilisation de ce type de structure.

Les performances sont en effet très séduisantes [6] et si bien dans le domaine des rapidités élevées où les vitesses atteintes sont comparables à celles obtenues avec des circuits TTL, que dans le domaine des faibles puissances consommées où la dissipation est de l'ordre de quelques nanowatts par porte.

### Mise en œuvre de l'implantation ionique en ambiance industrielle

Les possibilités de l'implantation ionique appliquée à la technologie MOS sont attrayantes, mais si intéressantes soient-elles, elles ne suffisent pas pour faire franchir à cette technique la porte du laboratoire de recherche en direction des chaînes de production.

Il est en effet souhaitable que la mise en œuvre de ce nouveau procédé de dopage soit compatible avec l'ambiance industrielle et que d'autre part, elle soit compatible avec la mesure du possible compatible avec les équipements existants ou avec l'expérience déjà acquise.

Dans le cas particulier de la technologie MOS, nous avons pu vérifier au cours de cet exposé que les modifications de processus introduites demeuraient compatibles avec le processus initial et qu'elles ne concernent, d'autre part, que des points précis et limités.

Ceci est sans aucun doute l'un des deux facteurs qui ont permis à l'implantation ionique de s'introduire dans la technologie MOS.

Un autre facteur non moins important est l'existence d'équipements performants présentant une bonne fiabilité et une capacité de production suffisante.

À l'heure actuelle, la qualité des implanteurs d'ions disponibles sur le marché est telle qu'il est possible de traiter jusqu'à 200 tranches par heure.

Dans ces conditions, le coût de revient d'une implantation sur une tranche est très faible et on peut l'estimer dans le cas particulier d'une opération d'ajustage de tension de seuil, soit un niveau de dose voisin de  $10^{12}$  ions/cm<sup>2</sup>, à une somme inférieure à 5 F par plaque.

On conçoit alors l'attrait de cette nouvelle technique sur un plan de production compte tenu de sa souplesse et de ses possibilités.

Si jusqu'à maintenant celles-ci ont surtout été exploitées dans le domaine de la technologie MOS, il reste évident que les progrès effectués au niveau des études de base de l'implantation ionique vont permettre d'en élargir considérablement le champ d'application.

### 7. Conclusion

À partir de quelques avantages de base de l'implantation ionique, nous avons présenté les possibilités d'application de cette technique dans le domaine de la technologie MOS.

Les opérations d'ajustage de tension de seuil d'oxyde fin, d'autoalignement, de contrôle de tension de seuil d'oxyde épais, etc... ne constituent pas un bouleversement dans le processus technologique.

Elles demeurent des étapes localisées qui permettent de valoriser les performances de la technologie classique en apportant beaucoup de souplesse dans l'ajustement de ses paramètres.

L'application au niveau industriel des techniques d'implantation ionique prend une place de plus en plus grande dans le monde. En France, la Société EFCIS prévoit, à très court terme, la mise en œuvre d'une technologie du type déplétion-enrichissement.

### Remerciements

Nous voudrions remercier les Administrations et plus spécialement la DGRST, la DRME et la Délégation à l'Informatique pour le soutien qu'elles apportent aux études sur l'Implantation Ionique au LETI et plus particulièrement dans le domaine de la technologie MOS.

### RÉSUMÉ

L'implantation ionique, technique de dopage originale, s'est affirmée dans le domaine de la technologie MOS où elle est devenue un processus industriel.

À partir des caractéristiques de cette technique, on dégagera les méthodes qui permettent de palier à différentes limitations de la technologie MOS classique (recouvrement grille-drain, rapport tension de seuil oxyde épais — tension de seuil oxyde

fin) et on montrera les applications originales qu'il est possible d'envisager avec l'implantation ionique.

Des exemples de technologies seront présentés (technologie déplétion-enrichissement à canal P, technologie MOS complémentaire sur substrat isolant) précisant les possibilités de l'implantation ionique tant au niveau de la structure des circuits intégrés réalisés que des performances atteintes.

## SUMMARY

### Improved MOS technology using ion implantation,

by J. BERNARD (LETI).

Ion implantation, an original doping process, has come to an industrial process in the fields of integrated circuit MOS technology.

Through some of the characteristics of this technique, different ways of overcoming the limitations of conventional MOS technologies are outlined (i.e. gate-drain capacitance, fields voltage ratio).

Original applications of ion implantation are presented (P channel depletion-enhancement technology, complementary on insulating substrate performance level attained).

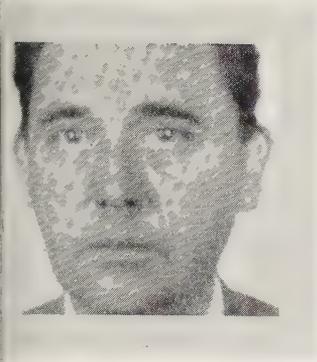
## Bibliographie

- [1] BRINTON J. — *Ion Implantation goes to market*, Electron Devices Meeting, May 25, 1970, p. 125.
- [2] SCAVUZZO R.J. and PAYNE R.S. — *A versatile ion implanted bipolar transistor*, International Electron Devices Meeting, Washington, 1972.
- [3] BOWER R.W. and DILL H.G. — *Insulated gate field effect transistors fabricated using the gate as a source drain mask*, International Electron Devices Meeting Washington, 1966.
- [4] DILL H.G. and BOWER R.W. — *Ion-implanted MOS technology*, 1<sup>st</sup> International Conference on Ion Implantation Thousand Oaks (California), 1970.
- [5] DILL H.G. and TOOMBS T.N. — *Recent advances in Ion-implanted MOS technology*, 2<sup>nd</sup> International Conference on Ion Implantation, Garmish-Partenkirchen, 1971.
- [6] BOREL J., SUAT J.P., BERNARD J. et GARCIA M. — *Utilisation des structures Silicium sur isolant*, Demi-journée d'études SEI, 24.1.1973.
- [7] KOOI E. and VAN LIEROP J.C. — « LOCOS Devices », *Philips Res. Reports*, 26, 1971, 166-180.

# Technologie MOS grille réfractaire (\*)

MOS

*L'onde électrique*  
1974, vol. 54, n° 1  
pp. 23-26



par M. BERTH,

Ingénieur CNAM. Chef de la Section  
« Composants photoélectriques »  
au LEP.

*LEP, 3, avenue Descartes, 94450  
Limeil-Brévannes. (Tél. 825.39.10.)*

La technologie MOS à grille réfractaire utilise comme matériau constituant la grille un métal, molybdène ou tungstène, présentant un point de fusion élevé, une grande inertie chimique vis-à-vis de la silice et un coefficient de dilatation voisin de celui de la silice. Cette technologie rend moins critiques les opérations

thermiques et chimiques et se prête bien au procédé de l'implantation ionique. D'autre part la fiabilité des interconnexions se trouve améliorée et la diminution même de la résistance ohmique de ces interconnexions permet d'accroître la rapidité du dispositif.

## INTRODUCTION

On s'accorde généralement pour reconnaître aux circuits intégrés MOST certains avantages : processus d'élaboration simple et court ne soumettant le semi-conducteur qu'à un minimum de cycles thermiques à haute température; grande compacité du fait que les éléments actifs se trouvent, par principe, isolés du substrat, adaptation facile entre étages due à une grande impédance d'entrée; enfin consommation d'énergie donc dissipation faible. Par contre, sur le plan de la rapidité, ils sont restés jusqu'à présent très inférieurs aux circuits intégrés bipolaires.

L'invention de la technique qui fait appel au silicium monocristallin pour constituer l'électrode de grille (silicon gate) a apporté une amélioration sensible tant en ce qui concerne le processus d'élaboration (positionnement automatique de la grille entre source et drain) que pour ce qui est des performances (réduction de la probabilité de débordement de la grille sur le drain).

C'est vers 1968 que Brown et coll. proposaient une variante de la technique « silicon gate » dans laquelle le silicium polycristallin est remplacé par un métal. L'intérêt de cette nouvelle technologie est double : d'une part, elle rend moins critiques certaines étapes du processus d'élaboration (ce qui est un facteur de l'augmentation du rendement de fabrication) et elle

permet d'autre part d'améliorer notablement les performances des circuits pour ce qui est de la rapidité et de la fiabilité.

## INTÉRÊT DE LA MÉTHODE

Le processus d'élaboration d'un circuit intégré MOST par la technique de Brown comporte en principe les principales étapes illustrées par la figure 1 (p. 24).

a) Formation d'une couche mince de silice par oxydation thermique du silicium.

b) Dépôt d'une couche métallique sur toute la surface de la plaquette de silicium et ouverture de « fenêtres » dans cette couche par photogravure.

c) Dépôt d'une couche de silice dopée et formation des drains et des sources par diffusion solide-solide.

d) Élimination de la couche de silice dopée puis de la couche métallique en conservant celle-ci aux emplacements correspondant aux grilles et éventuellement à un premier niveau d'interconnexions.

e) Dépôt d'une couche isolante sur toute la surface de l'échantillon et ouverture de fenêtres dans cette couche pour les prises de contact sur les grilles et/ou sur le premier niveau d'interconnexions.

f) Dépôt d'une seconde couche métallique, photogravure de cette couche pour former le deuxième niveau d'interconnexions et, éventuellement, dépôt d'une couche isolante de passivation et de protection mécanique du circuit.

On voit bien qu'il s'agit d'une technique très voisine de la technologie « silicon gate ». Bien entendu, outre

\*) Demi-journée d'études SEE sur les progrès récents en technologie MOS. Malakoff, le 24 janvier 1973.

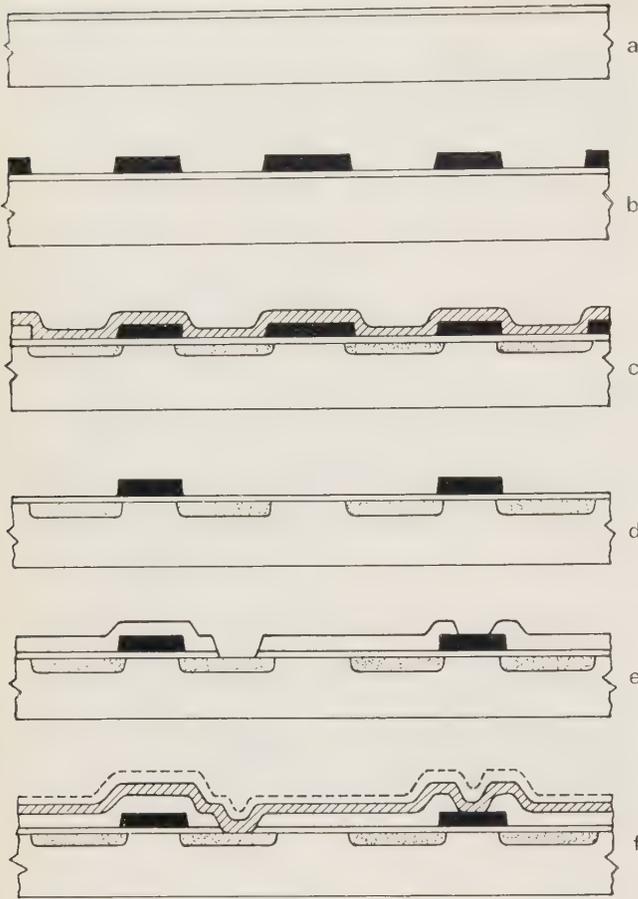


Fig. 1.

qu'il doit avoir un point de fusion supérieur à la plus haute température rencontrée au cours du processus de fabrication, le métal utilisé doit présenter (et conserver au moins jusqu'à cette température) deux propriétés essentielles :

- avoir un coefficient de dilatation thermique voisin de celui du silicium afin de ne pas développer de contraintes mécaniques nuisibles à son adhérence ou aux qualités des jonctions,
- être chimiquement inerte vis-à-vis de la silice.

Le molybdène et le tungstène répondent bien à ces conditions (d'où la dénomination de technologie « métaux réfractaires ») et possèdent de plus certaines autres propriétés physiques, chimiques et électriques qui sont à l'origine des avantages de cette technique par rapport à la technologie « silicon gate » et, *a fortiori*, par rapport à la technique classique à grille d'aluminium.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire le fait que la technologie métaux réfractaires assure un positionnement automatique de la grille entre source et drain : elle partage cet avantage avec la technique « silicon gate ».

Voyons plus en détail les avantages spécifiques de la nouvelle méthode et tout d'abord en ce qui concerne le processus d'élaboration des circuits.

1) Le métal réfractaire n'est pas attaqué par les réactifs habituellement utilisés pour graver la silice et réciproquement la silice est inerte vis-à-vis des bains de décapage du métal. Silice et métal peuvent donc jouer le rôle d'une barrière qui arrête automatiquement la gravure à la profondeur désirée.

2) L'inertie chimique du métal réfractaire vis-à-vis de la silice permet la mise en œuvre de températures élevées pour la formation ou la densification des couches isolantes qui peuvent alors être plus homogènes de meilleure qualité que si elles ne pouvaient être réalisées qu'à basse température. D'autre part, on a observé que le problème des coupures des connexions au franchissement des reliefs n'existait pas avec le molybdène ou le tungstène (cet avantage considérable sur les autres techniques étant très probablement dû à la ténacité exceptionnelle et à la faible valeur du coefficient de dilatation des métaux réfractaires). Il résulte de ces deux particularités que l'élaboration de multiples niveaux d'interconnexions est, en technologie « métaux réfractaires », réalisable facilement et avec un bon rendement, même si les circuits présentent de « marches » importantes.

3) La technique se prête particulièrement bien à la mise en œuvre de l'implantation ionique pour la formation des drains et des sources. Cela grâce d'une part à la forte densité des métaux réfractaires qui constitue même en couche mince un masque efficace et, d'autre part, à la possibilité de procéder, la grille restant en place, à un recuit à une température assez élevée pour guérir les défauts de réseau créés par le bombardement ionique.

Sur le plan des performances des circuits la technologie métaux réfractaires apporte également des améliorations :

1) Dans le domaine de la *fiabilité* : absence de coupure des interconnexions au passage des « marches », stabilité des oxydes formés ou densifiés à haute température sont des facteurs déjà cités. En outre le haut point de fusion et la faible réactivité chimique des métaux réfractaires à température modérée éliminent les risques de phénomènes tels que électromigration ou « peste pourpre ». A signaler également que la dureté des métaux réfractaires permet d'effectuer de nombreux tests sous pointe sans détérioration des plots de contact ou des interconnexions.

2) *Rapidité* : toutes choses égales par ailleurs, les circuits MOST élaborés en technologie métaux réfractaires peuvent être plus rapides que les circuits fabriqués par les autres techniques connues. D'abord en raison de la faible capacité de recouvrement entre électrodes, surtout si l'on utilise l'implantation ionique pour la formation des jonctions. Ensuite parce que les propriétés des métaux réfractaires permettent de réaliser des connexions enterrées de faible résistance électrique. On peut montrer que le temps de propagation d'un signal le long d'une telle connexion est une fonction linéaire de la résistance du conducteur ; il y a ainsi un rapport voisin de 300 entre les constantes de temps de connexions en molybdène et en silicium polycristallin.

#### EXEMPLES D'APPLICATION

Les travaux faits au LEP ont porté principalement sur l'utilisation du molybdène pour la réalisation de dispositifs discrets et intégrés à canal P.

Les plaquettes de silicium (type N, 5 à 7 ohms.cm,  $\langle 111 \rangle$ ) subissent un polissage mécanique et un nettoyage poussé avant d'être oxydées en atmosphère d'oxygène sec. Les conditions de oxydation sont déterminées pour obtenir une couche d'oxyde d'environ 1 300 Å d'épaisseur.

Une couche de molybdène d'un demi-micron est ensuite déposée sur l'oxyde par pulvérisation cathodique. On obtient couramment des résistances de 0,15 à 0,2 ohms par carré ce qui correspond à une résistivité de 7,5 à 10  $\mu\text{ohms.cm}$ , un peu supérieure à celle du silicium massif ( $5,7 \cdot 10^{-6}$  ohm.cm).

L'ouverture des fenêtres dans la couche de molybdène se fait par photogravure classique et pour la réalisation des jonctions nous avons opéré par diffusion thermique de silicium et par implantation ionique. Dans le cas de la diffusion, la source d'impuretés est une couche de silicium dopée au bore, déposée sur toute la surface de la plaquette par pyrolyse en atmosphère oxydante d'un mélange de silane et diborane. L'épaisseur de cette couche n'est pas critique mais l'obtention de résultats reproductibles par diffusion à travers l'oxyde thermique nécessite une proportion de bore supérieure à 30 % dans la couche d'oxyde pyrolytique. L'implantation ionique se fait également à travers l'oxyde thermique; l'énergie des ions bore est de 50 KeV, la dose  $10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$ .

L'opération suivante élimine les parties du masque de molybdène qui ne correspondent pas aux grilles et, pour les circuits intégrés, au premier niveau d'interconnexions. Elle est évidemment précédée par une solution de la silice dopée si les jonctions ont été réalisées par diffusion.

Une couche de silice pyrolytique pure est déposée sur la plaquette et une troisième photogravure ouvre dans cette couche les fenêtres destinées aux prises de contact.

La quatrième photogravure délimite dans une deuxième couche métallique (avantageusement du molybdène) le second niveau d'interconnexions et le circuit est ouvert d'oxyde pur ou dopé qui est soit une protection mécanique et électrique du circuit, soit l'isolant du second niveau d'interconnexions d'un éventuel troisième niveau.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des résistors que nous avons réalisés.

	Si N 5-7 $\Omega\text{cm} \langle 111 \rangle$	Diffusion	Implantation ionique
Jonctions	$x_j$ (Å)	8 000	2 000
	$C_0$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$4 \times 10^{20}$	$7 \times 10^{19}$
	$R_{\square}$ ( $\Omega$ )	10	250
	$j_0$ ( $\text{Acm}^{-2}$ )	$3 \times 10^{-7} \pm 50\%$	$3 \times 10^{-8} \pm 100\%$
	$V_{BD}$ (V)	$45 \pm 5$	$25 \pm 5$
MOST : 1 300 Å	$F_{FB}$ (V)	$-1,3 \pm 0,2$	$-1,5 \pm 0,1$
	$V_B$ (V)	—	$-1,9 \pm 0,1$
	$V_{TH}$ (V)	$-2 \pm 0,4$	$-2,2 \pm 0,2$
	$\beta_{0/\square}$ ( $\mu\text{AV}^{-2}$ )	$5 \pm 0,5$	$5 \pm 0,2$
	$\mu_p$	$220 \pm 20$	$210 \pm 10$

$x_j$  est la profondeur des jonctions source-substrat et drain-substrat,  $C_0$  la concentration superficielle des impuretés et  $R_{\square}$  la résistance par carré des couches diffusées ou implantées. On constate que la tension de claquage  $V_{BD}$  est principalement déterminée par le rayon de courbure des limites des jonctions qui est d'autant plus petit que la jonction est moins profonde. L'avantage est ici, ainsi que pour  $R_{\square}$ , aux jonctions diffusées. Par contre, il y a en moyenne un ordre de grandeur entre les densités de courant  $j_0$  en faveur des jonctions obtenues par implantation, ce qui est important en cas de fonctionnement en régime de stockage de charge (circuits « dynamiques »).

$V_{FB}$  est la tension de « bandes plates » de la capacité grille-substrat; si on prend égale à zéro la différence de potentiel de contact entre silicium et molybdène elle correspond à une densité de charges d'interface de l'ordre de  $2 \cdot 10^{11}$  par  $\text{cm}^2$ .  $V_B$  est la tension de blocage et  $V_{TH}$  la tension de seuil pour  $I_{DS} = 1 \mu\text{A}$ .  $\beta_{0/\square}$  est l'efficacité de commande de la grille à champ transversal nul dans le canal et  $\mu_p$  la mobilité des trous pour  $V_g$  effective = 0.

Le schéma de principe du circuit intégré étudié au LEP est donné par la figure 2. Il s'agit d'un dispositif

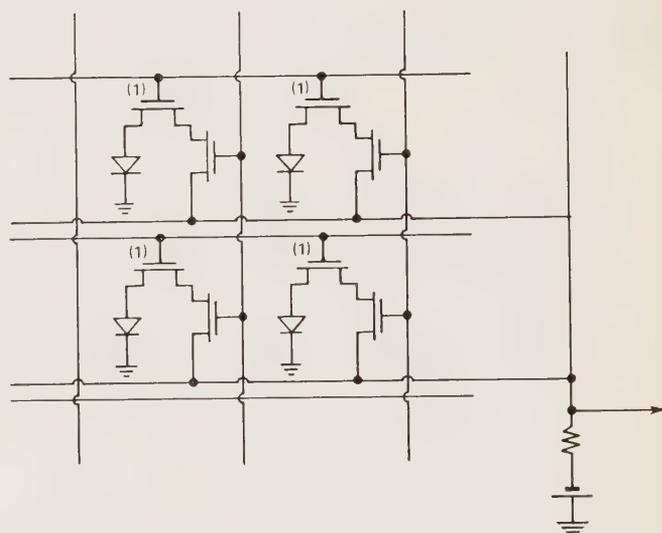


Fig. 2.

de prise de vues à état solide dont chaque élément correspondant à un point d'image est constitué par deux transistors MOS connectés en série. En appliquant des séquences d'impulsions de tensions aux lignes et aux colonnes du « cross-bar » d'adressage, on met successivement en relation avec la source de tension les jonctions source-substrat (qui jouent le rôle d'éléments photosensibles) des MOST « 1 »; on restitue ainsi à chaque photodiode la charge qu'elle a perdue par effet photoélectrique depuis la consultation précédente; le train d'impulsions qui apparaît aux bornes de la résistance de charge constitue le signal vidéo.

Les résultats obtenus avec des matrices expérimentales de  $8 \times 8$  éléments au pas de 100 microns sont en bon accord avec les caractéristiques prévues par simulation sur ordinateur. En particulier, la vitesse de

lecture est principalement déterminée par les temps de propagation des signaux de commutations et video le long des connexions. On peut ainsi prévoir que, même avec un nombre d'éléments relativement grand ( $256 \times 256$  par exemple) le débit d'informations de matrices réalisées par la technique métaux réfractaires ne serait limité que par la vitesse des circuits d'adressage, le débit propre à la matrice pouvant s'élever à plusieurs centaines de mégabits par seconde.

#### RÉSUMÉ

Cet article traite de la technologie « Métaux Réfractaires » qui fût proposée par Brown et *al.* en 1968. Après un bref rappel du processus on souligne certains avantages potentiels de cette technologie. Des transistors et des circuits intégrés MOS à grille de molybdène ont été réalisés en utilisant soit la diffusion

solide-solide, soit l'implantation ionique pour la formation de jonctions de source et de drain. Les valeurs expérimentales données, montrent que ces dispositifs sont très comparables à ceux obtenus par la technique « silicon gate » avec toutefois l'avantage d'une plus grande rapidité pour certaines applications.

#### SUMMARY

by M. BERTH (LEP).

This paper deals with the « Refractory Metal Technology » which was proposed by Brown et *al.* in 1968. After a short recall of the process, some potential advantages of this technology are pointed out. MOS transistors and integrated circuits have been made with molybdenum gates and using either solid diffusion or ion implantation for making sources and drains junctions.

The experimental values which are given show that the products are very comparable with silicon gate devices with however the advantage of higher speed in some cases.

# ocmos, une nouvelle technologie CMOS (\*)

MOS

L'onde électrique  
1974, vol. 54, n° 1  
pp. 27-30



par **B. M. M. BRANDT,**

Ingénieur en Physique de l'Université Technique de Delft (Pays-Bas), Ingénieur au département MOS de la Société Philips.

**W. STEINMAIER,**

Ingénieur diplômé de l'École Supérieure Technique de Vienne, Docteur, Responsable du département « Développement des produits MOS » à la Société Philips.

et **A. J. STRACHAN,**

Docteur de l'Université de Swansea, Responsable du groupe de conception LOCMOS à la Société Philips.

*Société Philips, Oude Mollenhutseweg 105, Nijmegen, Pays-Bas.*

Le terme LOCMOS, contraction de LOCOS et de CMOS, est une technologie MOS complémentaire où l'alignement entre les transistors est réalisé par le procédé LOCOS qui consiste à isoler dès le début du cycle de fabrication, certaines zones du substrat de silicium.

Ce procédé offre de nombreux avantages : auto-alignement, augmentation de la densité d'intégration et de la vitesse, amélioration de la qualité et de la fiabilité des interconnexions.

## INTRODUCTION

Les inconvénients de la technologie actuelle CMOS (grande consommation de surface et vitesse relativement lente) sont éliminés dans le procédé LOCMOS (1) par l'utilisation d'une oxydation localisée et la suppression des diffusions d'arrêt de canal.

En principe, les CMOS ont beaucoup d'avantages : ils sont particulièrement insensibles aux variations de tension d'alimentation, la vitesse seule étant affectée, ils ont une grande immunité au bruit, le point de fonctionnement étant voisin de la moitié de la tension d'alimentation. De toutes les technologies MOS, elle offre le meilleur degré de compatibilité TTL. La puissance dissipée est faible et la puissance continue dissipée pratiquement nulle, ce qui fait que les CMOS sont particulièrement intéressants pour les applications LSI (2). Les CMOS sont principalement utilisés dans les systèmes statiques.

Les systèmes statiques MOS ont des avantages sur les systèmes dynamiques : le circuit se trouve dans un état défini ; les circuits sont faciles à développer et à tester et moins sensibles aux courants de fuites parasites.

Pendant, dans les technologies actuelles, la séparation des transistors à canal  $p$  et à canal  $n$  prend beaucoup de surface, car il est nécessaire d'avoir des diffusions d'arrêt de canal et de tenir compte des tolérances pour les différents masques définissant les diffusions et les fenêtres de contact.

Dans la technologie LOCMOS, l'utilisation de la diffusion d'un caisson spécifique  $p$  élimine la nécessité des diffusions d'arrêt de canal ; la mise en œuvre des LOCMOS procure un autoalignement de diverses façons comme nous allons le montrer, et l'utilisation d'une grille en silicium polycristallin conduit aussi à l'autoalignement. Le faible encombrement en surface rend les LOCMOS applicables au LSI. De plus, les jonctions obtenues par l'utilisation du procédé LOCOS étant plus petites, la capacité de jonction décroît et la vitesse interne du circuit est accrue considérablement.

## 1. Le procédé LOCOS

Ce terme provient de « Local Oxydation of Silicon ». Toute la tranche de silicium est oxydée, sauf les surfaces actives où la croissance de l'oxyde est évitée par une fine couche de nitrure de silicium. Toutes les diffusions et les fenêtres de contact sont auto-alignées par rapport aux bords de l'oxyde. Du fait que l'oxyde croît principalement à l'intérieur du silicium, et que le bord de l'oxyde est très régulier, on peut faire croître une couche de

(\*) Demi-journée d'études SEE sur les progrès récents en technologie MOS. Malakoff le 24 janvier 1973.

(1) CMOS : MOS complémentaire.

(2) Large Scale Integration : Intégration à grande échelle.

1,8  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, sans marche importante, et obtenir une bonne isolation électrique. De plus, il n'est pas nécessaire de graver la couche d'oxyde pour réaliser des trous pour contacts. De cette manière, on obtient une surface très unie, ce qui a pour conséquence une excellente définition et une amélioration de la fiabilité des interconnexions (fig. 1).

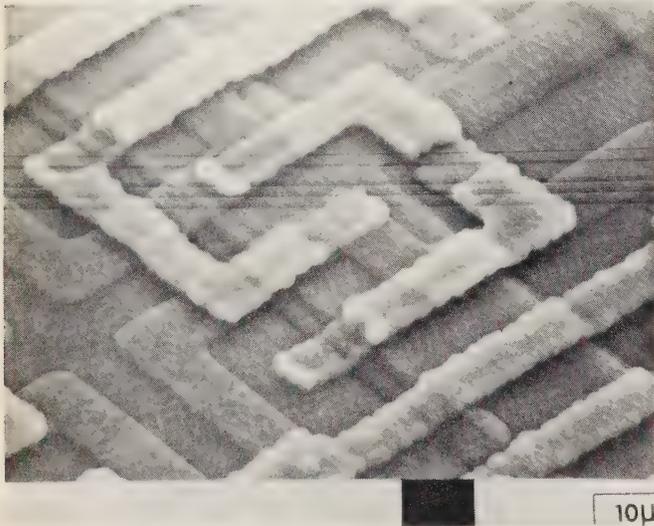


Fig. 1. — Photo d'une cellule de la mémoire RAM 256 bits obtenue au microscope électronique à balayage.

## 2. Description du procédé de fabrication LOCOS

Le substrat de silicium de type N (orientation  $\langle 100 \rangle$ ) est recouvert d'une mince couche de nitrure de silicium. Cette couche est éliminée à l'endroit où l'oxydation est prévue.



Fig. 2. — LOCOS.

Ensuite, on fait croître thermiquement une couche d'oxyde de 1,8  $\mu\text{m}$  d'épaisseur (fig. 2).

Aux endroits où est prévu le caisson  $p$ , la couche de nitrure de silicium est retirée et la diffusion est effectuée (fig. 3).

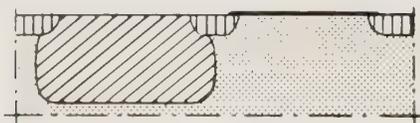


Fig. 3. — Caisson  $p$ .

Tout le nitrure de silicium restant est éliminé, et on fait croître l'oxyde de grille et ensuite, le silicium polycristallin pour les grilles est déposé et dopé par diffusion de phosphore.

Après quoi, le motif est obtenu par photogravure (fig. 4).

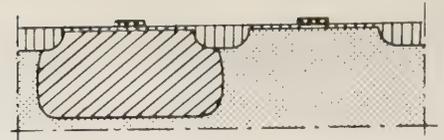


Fig. 4. — Dépôt du silicium polycristallin.

Les fenêtres des « source » et « drain » de type  $p^+$  sont alors ouvertes, la diffusion de bore est effectuée et une mince couche d'oxyde est formée (fig. 5).

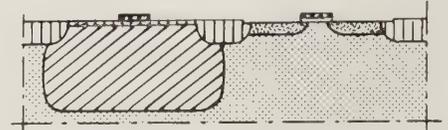


Fig. 5. — Diffusion  $p^+$ .

Les fenêtres de « source » et « drain » de type  $n^+$  sont ouvertes, et le phosphore est diffusé (fig. 6).

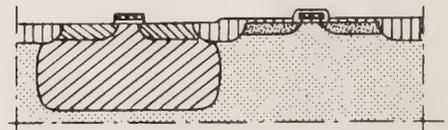


Fig. 6. — Diffusion  $n^+$ .

Une couche d'oxyde pyrolithique est déposée et les fenêtres de contacts ouvertes (fig. 7).

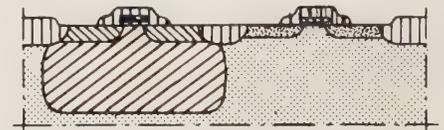


Fig. 7. — Trou de contacts.

De l'aluminium est déposé sur la lame de silicium et le réseau d'interconnexions est gravé. On termine par le dépôt d'une couche de verre de protection par l'ouverture de fenêtres pour les plots de contact.

## 3. Revue des particularités de la technologie LOCOS

Cette technologie réduit des surfaces inactives des surfaces de jonction (fig. 8 et 9) :

- les surfaces actives pour les canaux  $n$  et  $p$  au lieu que le caisson  $p$  sont bien définies dans la même étape de masquage ; ainsi, il n'y a pas à prévoir d'autres tolérances d'alignement ;

- l'alignement pour les trous de contact est moins critique, puisqu'ils peuvent déborder sur l'oxyde adjacent. Ceci permet de diminuer la surface des jonctions ;

- grâce au caisson  $p$ , spécialement utilisé, il n'est pas nécessaire de prévoir de diffusions d'arrêt de canaux d'où économie de surface ;

- auto-alignement des « sources » et « drains » par rapport aux grilles de silicium, ce qui permet de diminuer la surface de jonction ;

- une bonne définition de gravure puisqu'il n'y a pas de masquage des grilles de silicium ;

nécessaire de faire des trous dans l'oxyde d'isolement, que la surface est relativement plane et unie ;  
 - pas de marche d'oxydation importante, ce qui, pour l'aluminium, diminue le risque de discontinuité et permet de faibles tolérances possibles.

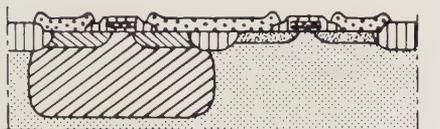


Fig. 8. — Interconnexions. Comparaison des surfaces occupées.


Légende des figures 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

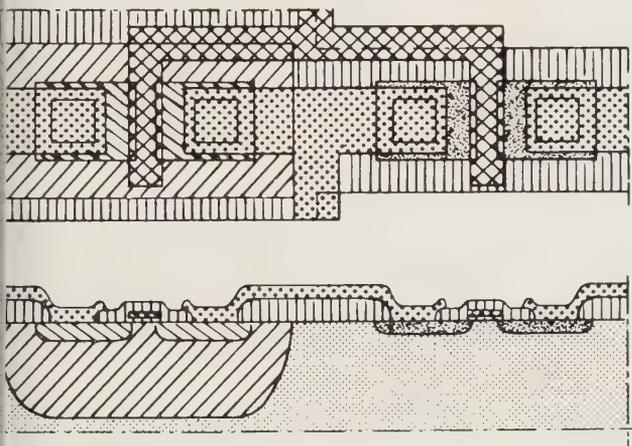


Fig. 9. — CMOS conventionnel.

**Meilleure maîtrise de la tension de seuil**

- un contrôle précis de la concentration de surface dans les caissons p ;
- utilisation de l'orientation < 100 > qui minimise les dispersions pour la charge d'oxyde et la densité des défauts de surface ;
- l'utilisation de dopage au phosphore pour les caissons n (silicium) à la fois pour les canaux n et les canaux p, qui minimise la dispersion dans la différence des travaux de surface, et améliore la stabilité des tensions de seuil. Ceci minimise également la résistance série des conducteurs (silicium polycristallin).

**Élimination des effets parasites**

Les zones LOCOS épaisses permettent des tensions de seuil élevées importantes et des faibles capacités de parasites des lignes.

Les paramètres sont résumés figure 11. Une cellule statique RAM réalisée en LOCOS a une surface réduite d'un facteur 2 environ.

- tension de seuil pour le canal PV<sub>SP</sub> : - 1,5 V ;
- tension de seuil pour le canal NV<sub>SN</sub> : + 1,5 V ;
- tension d'inversion pour le canal PV<sub>IP</sub> : w 15 V ;
- tension d'inversion pour le canal NV<sub>IN</sub> : w 20 V ;
- tension d'avalanche source substrat pour le canal P : > 25 V at 10 μA ;
- tension d'avalanche source substrat pour le canal N : > 15 V at 10 μA.

Fig. 11. — Paramètre électrique LOCMOS.

**RÉSULTATS**

Avec la technique LOCMOS, de grandes vitesses internes peuvent être obtenues. Pour un inverseur, le délai est de 3 ns à 5 V et 1,5 ns à 10 V, pour les portes NOR et NAND (à trois entrées), de 10 à 15 ns à 5 V. Ceci donne des circuits rapides. Par exemple, un registre à décalage statique de 8 bits fonctionne avec une fréquence d'horloge de 15 MHz à 5 V.

Les paramètres électriques de ces circuits sont au moins 6 fois meilleurs que pour les circuits concurrents actuellement sur le marché en technologie conventionnelle.

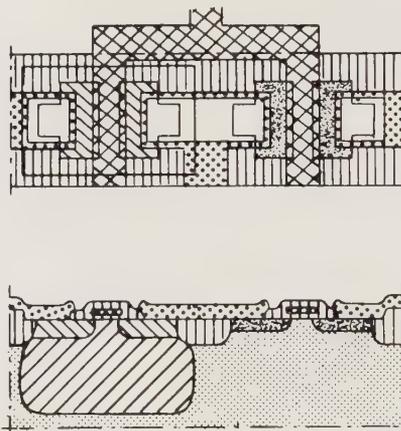


Fig. 10. — LOCMOS (même échelle que la fig. 9).

On obtient une grande densité d'intégration. Une mémoire statique RAM de 256 bits, totalement décodée, exige 7 mm<sup>2</sup> de surface, le temps d'accès de lecture est de 300 ns à 5 V et de 100 ns à 10 V. Un quadruple

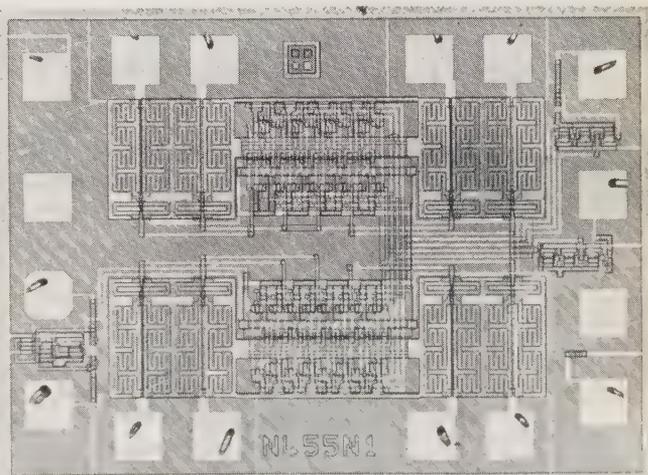


Fig. 12. — Registre à décalage statique de 8 bits.

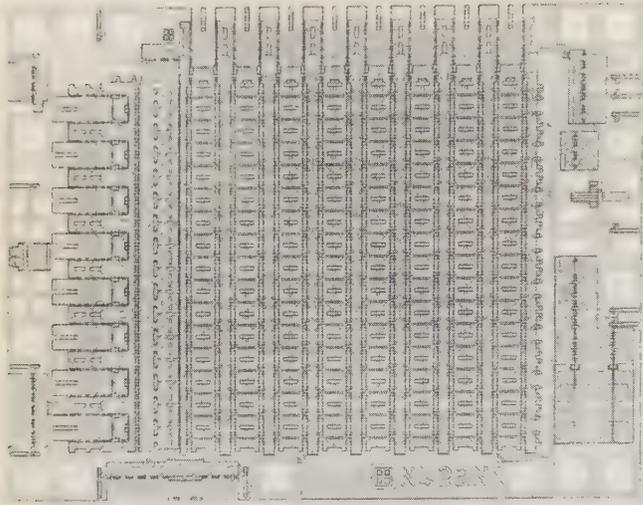


Fig. 13. — Mémoire à accès aléatoire RAM de 256 bits.

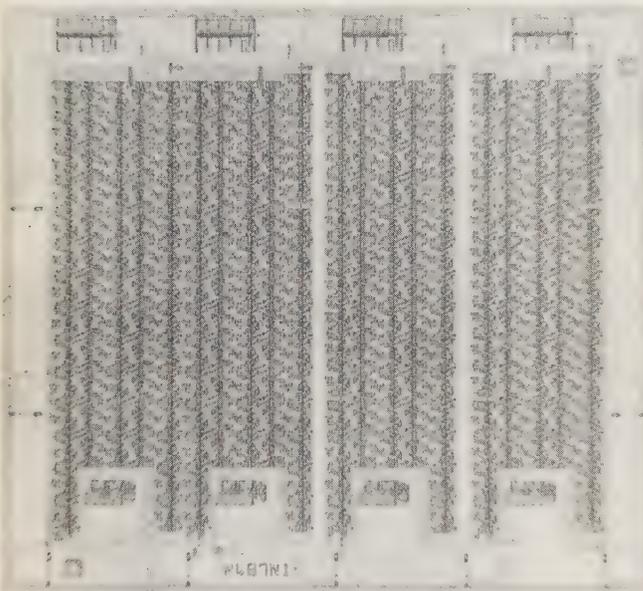


Fig. 14. — Quadruple registre à décalage statique.

registre à décalage statique de 64 bits contenant plus de 3 000 transistors demande seulement 9 mm<sup>2</sup>.

Pour les circuits logiques (logique sauvage), la densité

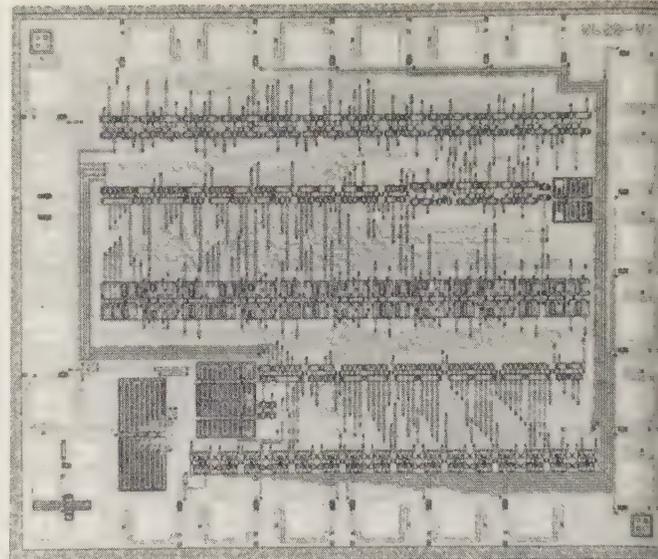


Fig. 15. — Exemple d'implantation obtenue à l'aide d'un ordinateur.

est de l'ordre de 100 portes par mm<sup>2</sup>, y compris les interconnexions.

Pour ces types de circuits, un système de conception automatique a été développé, qui à 10 % près utilise la même surface que l'implantation obtenue par optimisation à la main.

#### RÉSUMÉ

Cet article décrit un processus original de fabrication de circuits MOS complémentaires issu de la technologie LOCOS. Les étapes de fabrication sont énumérées et les avantages sont donnés : autoalignement, grande densité d'intégration, meilleure fiabilité des connexions, rapidité élevée.

#### SUMMARY

by B.M.M. BRANDT, W. STEINMAIER and A.-J. STRACHAN (Philips).

LOCMOS is a CMOS technology using LOCOS process. Process steps are given and advantages of LOCMOS are mentioned : self-alignment, integration density, connection reliability and speed.

# Transistor à effet de champ à barrière métallique sur arséniure de gallium

HYPERFRÉQUENCES

L'onde électrique  
1974, vol. 54, n° 1  
pp. 31-35



par **Pierre BAUDET**,

Licencié ès-Sciences Physiques,  
Docteur de 3<sup>e</sup> cycle en Électronique,  
Ingénieur de Recherche au L.E.P.

et **Michel BINET**,

Ingénieur E.N.S.E.E.C. 1965, Docteur  
de 3<sup>e</sup> cycle en Électronique, Ingé-  
nieur de Recherche au L.E.P.

Laboratoire d'électronique et de  
physique appliquée, 3, avenue Des-  
cartes, 94450 Limeil-Brévannes.

Les programmes de développement des communi-  
cations à très forte capacité et de l'électronique numérique  
à grande vitesse ont fait appel à des dispositifs actifs capables  
de fonctionner à des fréquences de plus en plus élevées.  
Pendant plusieurs années, un effort de recherche et de  
développement a permis la réalisation de sources  
à haute fréquence à l'état solide, mais, par contre, les  
recherches entreprises n'ont pas résolu les problèmes  
d'amplification à faible niveau : les transistors bipolaires  
semblent arrivés à leur limite de performance aux  
fréquences élevées, tant pour des raisons technologiques  
que pour leur principe même. En ce qui concerne  
les diodes à résistance négative : les dispositifs Gunn  
à avalanche permettent d'amplifier à des fréquences

bien plus élevées, mais au prix d'un facteur de bruit  
important et les diodes tunnel permettent d'obtenir  
une faible facteur de bruit au prix d'une grande complexité  
du circuit amplificateur.

Chaque dispositif présente un intérêt et a un domaine  
d'application bien défini. Ainsi s'explique l'intérêt que  
portent les laboratoires au transistor à effet de champ à  
barrière métallique (T.B.M.) qui présente une fréquence  
de coupure élevée (certains laboratoires annoncent  
50 GHz), un facteur de bruit intéressant et une bande  
passante pouvant atteindre l'octave.

Le L.E.P. étudie actuellement un T.E.C. à barrière  
métallique dont la fréquence de coupure atteint 30 GHz.

## APPEL DU PRINCIPE

Le matériau de base est une couche mince de semi-  
conducteur de type N, généralement réalisée par  
épitaxie sur un substrat de résistivité très élevée. Des  
contacts ohmiques sont réalisés sur cette couche,  
respectivement la source et le drain ; enfin, un dépôt  
métallique entre ces électrodes réalise la barrière de  
Schottky constituant la grille du transistor (fig. 1).

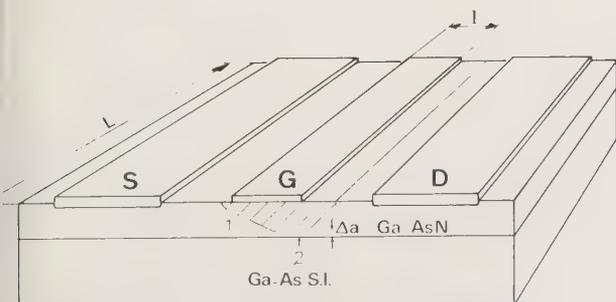


Fig. 1. — Vue schématique d'un TEC à barrière métallique :  
le dépôt métallique formant la barrière de Schottky constitue la grille.

Le fonctionnement est analogue à celui des  
transistors à effet de champ à jonction décrits par  
Schockley [1]. Une tension négative appliquée sur la  
grille augmente l'épaisseur de la zone désertée, ce qui  
diminue la section du canal et par conséquent réduit  
le courant. Dès que la tension drain devient suffisante  
pour que la quasi-totalité de l'épaisseur de la couche  
soit désertée, le courant continue à passer sur une très  
faible épaisseur, mais n'augmente plus avec la tension :  
on dit qu'il y a pincement.

Dans la zone 1 (fig. 1) où le champ est inférieur  
au champ critique, la pente est donnée approximative-  
ment par la relation de Schockley [1] :

$$g_m = qNd\mu \frac{L}{1} a \left( 1 - \sqrt{\frac{Vd}{Vd + Vp}} \right)$$

avec

$Nd$  = concentration en électrons libres

$\mu$  = mobilité des électrons

$Vd$  = potentiel interne de la barrière de Schottky

$Vp = \frac{2\epsilon a^2}{qNd} - Vd$  = tension de pincement.

Cette théorie ne tient compte ni de la variation de la mobilité avec le champ électrique, ni surtout de la saturation de vitesse des porteurs  $v_{\text{sat}}$  en régime de fort champ qui limite le courant à  $I = qNd v_{\text{sat}} \Delta a$  dans la zone 2.

De nombreuses approches de ce problème complexe ont été faites, notamment par Grosvalet [2], Wu [3], Grebene [4], Turner [5], Chiu [6]. Retenons simplement que la pente est d'autant meilleure que la concentration  $Nd$ , la mobilité  $\mu$  et la vitesse de saturation des porteurs  $V_{\text{sat}}$  sont élevées.

## 2. CONCEPTION DU DISPOSITIF HYPERFRÉQUENCE

### 2.1. Choix du matériau

Les performances hyperfréquences du T.B.M. (\*) dépendent avant tout du facteur de mérite  $g_m/G_{gs}$ ,  $C_{gs}$  étant la capacité de la barrière de Schottky. Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que la pente  $g_m$  était d'autant plus élevée que  $Nd$ ,  $\mu$  et  $V_{\text{sat}}$  étaient grands. Une limite de dopage  $Nd$  est imposée par la tension de claquage  $V_B$  du matériau. Le tableau I compare les propriétés du germanium, du silicium et du GaAs.

Il est évident que le GaAs est de loin le matériau le plus intéressant. Un avantage supplémentaire vient du fait qu'il est possible de le faire croître sur substrat de GaAs rendu isolant par des impuretés de chrome ou oxygène, ce qui résout les problèmes d'isolation des différentes zones.

### 2.2. Considérations géométriques

L'épaisseur de la couche épitaxiale est imposée par la tension de pincement du transistor; elle est de l'ordre de quelques dixièmes de microns seulement.

La largeur  $L$  du transistor est déterminée par le courant maximum désiré. La longueur  $l$  doit être la plus faible possible pour que la capacité  $C_{gs}$  soit minimale. C'est sans doute le paramètre le plus important du transistor puisqu'il détermine ses propriétés en hyperfréquences. On choisit cette longueur aussi faible que le permettent les techniques de photogravure. Une relation empirique donne la fréquence de coupure du transistor :

$$ft = k\mu \frac{a^2}{l^2} \quad [18]$$

Remarquons que cette « longueur » de la grille est fait très petite devant sa « largeur ».

### 2.3. Situation actuelle du sujet dans le monde

Depuis 1966, date à laquelle Mead a proposé le premier modèle de transistor à effet de champ à barrière de Schottky [10] de nombreux laboratoires ont obtenu des performances sans cesse croissantes de ce type de dispositif tant sur silicium que sur arséniure de gallium. Les laboratoires I.B.M. et Hewlett Packard, pour ne citer que les principaux, ont obtenu des transistors dont les fréquences de coupure situent aux alentours de 40 GHz, avec un facteur de bruit de l'ordre de 4 dB seulement en bande X [19]. Remarquons cependant que de telles performances n'ont été obtenues qu'avec la mise en œuvre de techniques de masquage extrêmement sophistiquées, qui semblent pour le moment difficilement transposables dans le domaine industriel. Dans une première phase de recherche, le L.E.P. a délibérément choisi des techniques plus classiques. Celles-ci ont néanmoins déjà permis d'obtenir un dispositif présentant une fréquence de coupure de 30 GHz, et nous pensons que cette performance peut être largement améliorée.

## 3. RÉALISATION AU L.E.P

### 3.1. Épitaxie

Le matériau de base est un monocristal d'arséniure de gallium semi-isolant dopé au chrome ( $\rho > 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ) et poli par voie mécano-chimique. La croissance de la couche épitaxiale est effectuée en phase vapeur dans un tube de quartz de très haute pureté afin d'introduire un minimum d'impuretés compensatrices. La couche de type N a une concentration comprise entre  $3 \cdot 10 \cdot 10^{16}$  atomes par  $\text{cm}^3$  pour une épaisseur inférieure à  $0,5 \mu$ .

### 3.2. Technologie. Caractéristiques statiques

L'isolation des transistors est obtenue par décapage chimique jusqu'au substrat (technique « mesa »). Les contacts ohmiques de « source » et de « drain » sont réalisés par alliage d'or-germanium (88 %-12 % en poids) recouverts d'une fine couche d'or (1 000 Å). La diode Schottky de commande est réalisée en alliage de minium de  $0,5 \mu$  d'épaisseur évaporé sous ultra-vide afin de réduire au minimum la capacité d'entrée, l'

TABLEAU I

Nd at/cm <sup>3</sup>	Ge			Si			GaAs		
	$\frac{l}{\mu}$ cm <sup>2</sup> /V.s [8]	$v_{\text{sat}}$ cm/s [15]	$V_B$ V [9]	$\frac{l}{\mu}$ cm <sup>2</sup> /V.s [8]	$v_{\text{sat}}$ cm/s [15]	$V_B$ V [9]	$\frac{l}{\mu}$ cm <sup>2</sup> /V.s [7]	$v_{\text{sat}}$ cm/s [16]	$V_B$ V [9]
10 <sup>16</sup>	3 200		25	1 200		55	6 000		70
10 <sup>17</sup>	2 000	0,65 · 10 <sup>7</sup>	5	700	0,9 · 10 <sup>7</sup>	12	4 800	1,2 · 10 <sup>7</sup>	16

(\*) T.B.M.: Transistor à Barrière Métallique.

Les connexions de la grille sont rejetées sur le substrat semi-isolant.

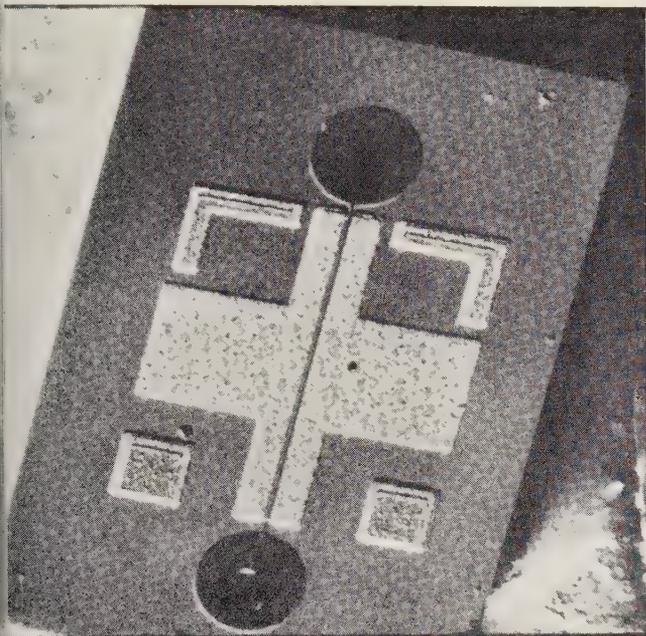


Fig. 2a. — Vue du transistor.

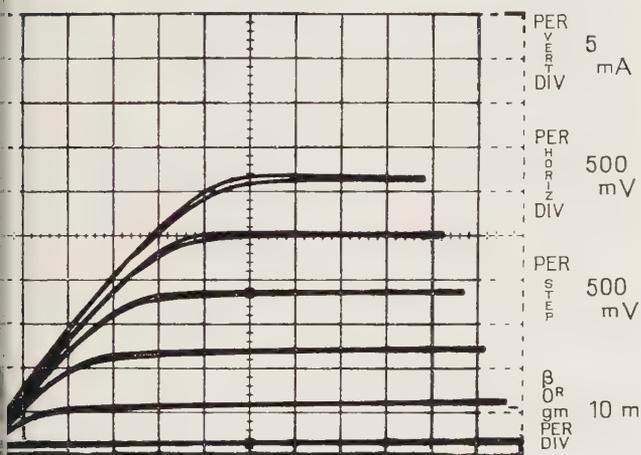


Fig. 2b. — Réseau de caractéristiques  $I_D = f(V_{ds}, V_{gs})$ .

La figure 2a et b montre l'aspect du dispositif terminé ainsi qu'un réseau typique de caractéristiques  $I_D = f(V_{ds}, V_{gs})$ .

**CARACTÉRISTIQUES HYPERFRÉQUENCES**

**Dispositif de mesure. Montage du transistor**

Afin d'éliminer les éléments parasites, la « puce » est montée directement sans boîtier dans un système microstrip. Ce système se compose d'un bloc de cuivre surmonté d'un rail, de part et d'autre duquel sont déposées deux lignes 50 Ω sur alumine; la « puce » est soudée sur le rail entre les deux lignes. Les connexions sont réalisées en fil d'or de 25 microns de diamètre soudé par thermocompression (fig. 3). En l'absence du transistor, l'isolation entrée-sortie est supérieure à 40 dB en bande X.

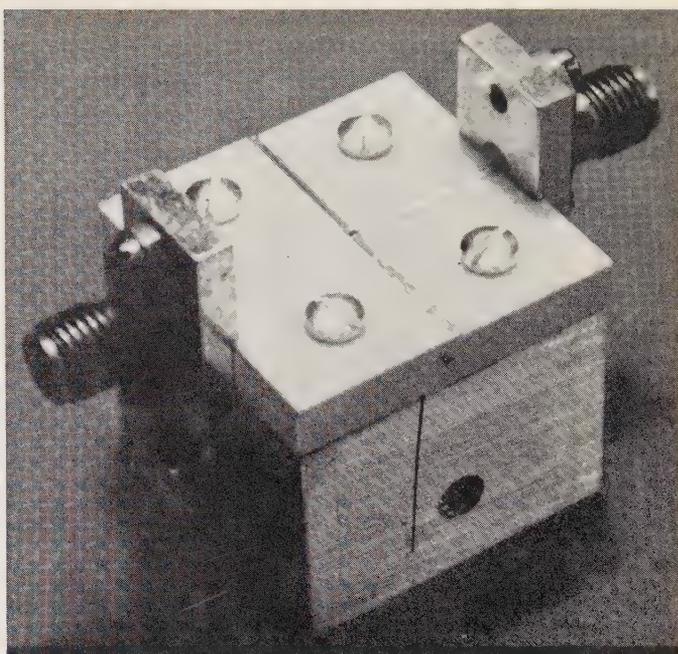
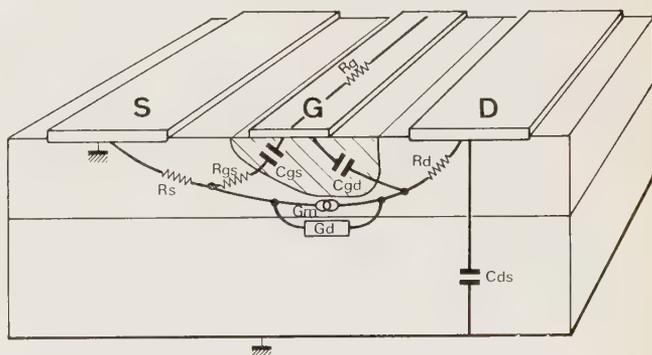


Fig. 3. — Vue du dispositif de mesure : le transistor est monté sans boîtier dans un système microstrip.

**4.2. Schéma équivalent**

En hyperfréquence et en régime de petits signaux, le T.B.M. en régime de saturation peut être simulé par le circuit équivalent de la figure 4.  $R_S$  et  $R_D$  représentent les zones extrinsèques du canal,  $R_G$  représente la résistance de la grille. La plupart des éléments de ce circuit peuvent être calculés à partir des paramètres de « scattering » du transistor.



- $R_S = R_D = 27 \Omega$
- $R_G = 3 \Omega$
- $R_{gs} = 0,5 \Omega$
- $C_{gd} = 0,02 \text{ pf}$
- $C_{ds} = 0,05 \text{ pf}$
- $C_{gs} = 0,32 \text{ pf}$
- $g_m = 14 \text{ mA/V}$
- $g_d = 1,5 \text{ mmho}$

Fig. 4. — Vue schématique du transistor montrant les différents facteurs intervenant dans le schéma équivalent.

La mesure de ces paramètres S sur analyseur de réseau ne va pas sans poser quelques problèmes. Ceux-ci sont en majeure partie dus à la disparité des impédances en présence : 50 Ω pour l'analyseur et plusieurs milliers d'ohms pour le T.B.M.

Ces impédances d'entrée et de sortie correspondent à des T.O.S. très élevés et par conséquent à des facteurs de réflexion  $S_{11}$  et  $S_{22}$  voisins de l'unité. Or, la moindre

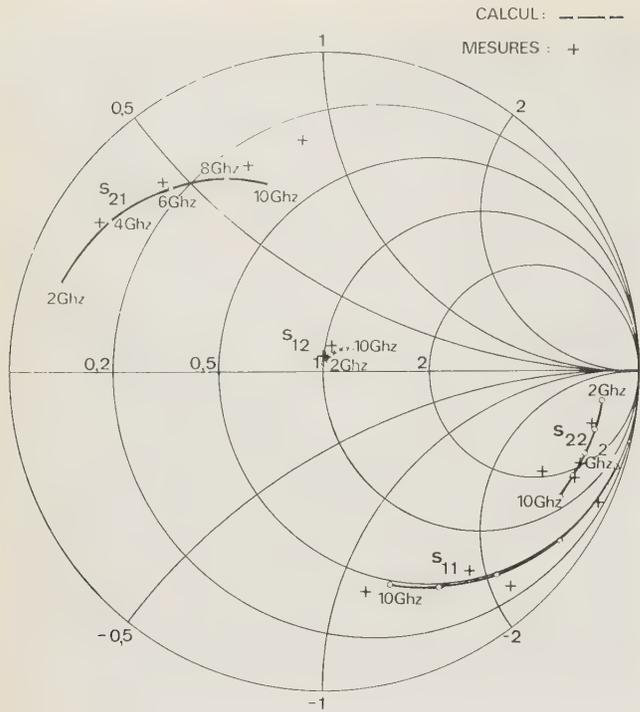


Fig. 5. — Mesure des paramètres S. La disparité des impédances entre l'analyseur et le transistor a nécessité une compensation d'erreur.

imprécision sur ces paramètres se traduit par des erreurs inacceptables sur le gain puisque :

$$G_{max} \approx \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)}$$

Un système de compensation d'erreur est donc indispensable. On peut voir sur la figure 5 les paramètres S effectivement mesurés, et ceux déduits du schéma équivalent par calcul sur ordinateur.

4.3. Mesures de gain

Si le gain peut être déduit par calcul à partir des paramètres S, il peut aussi être mesuré directement sur le banc de mesure de la figure 6. L'adaptation

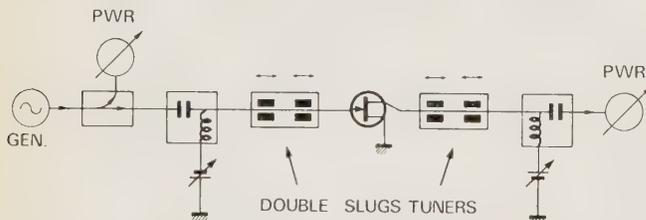


Fig. 6. — Le dispositif de mesure de gain : l'adaptation d'impédance est réalisée par deux systèmes d'accord double-slug (double noyau).

d'impédance est réalisée par deux systèmes d'accord à double slug placés aussi près que possible du transistor. La figure 7 donne un exemple de mesure de ce gain  $G_{max}$  en fonction de la fréquence; on y trouve également le gain unilatéral U calculé à partir des paramètres S. Rappelons que U représente le gain obtenu en neutralisant le transistor par un circuit de réaction sans pertes ajusté de telle sorte que le coefficient de transmission inverse  $S_{12}$  de l'ensemble soit nul. On remarque que U décroît exactement de 6 dB par octave,  $G_{max}$  de 4 à 5 dB seulement (les figures 4, 5 et 7 sont relatives au même transistor).

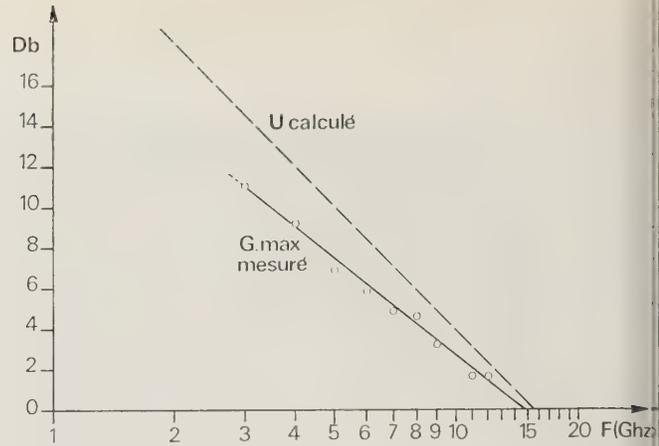


Fig. 7. — Courbes de gain expérimentale et calculée à partir des valeurs de S.

4.4. Bruit

Nous ne ferons pas ici une analyse détaillée du bruit dans les transistors à effet de champ, aussi renverrons nous le lecteur aux articles cités en référence [11, 12, 13, 14].

Exceptés le bruit de grenaille dû au courant de fuite de la diode Schottky et le bruit des générations-recombinaisons à l'intérieur de la zone de charge d'espace, qui sont peu importants en hyperfréquence, les principales sources de bruit du T.B.M. sont (fig. 8)

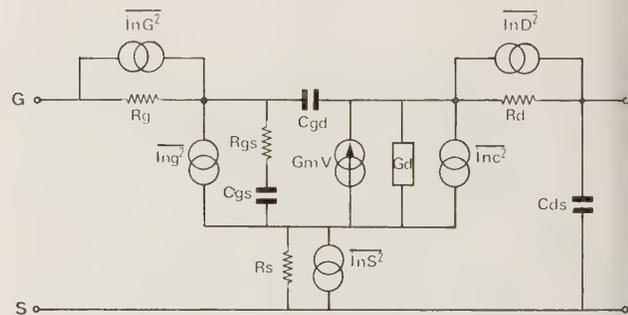


Fig. 8. — Schéma équivalent montrant les différentes sources de bruit.

le bruit thermique du canal :  $i_{nc}$  le bruit induit par grille par l'intermédiaire du couplage capacitif  $C_{GS}$

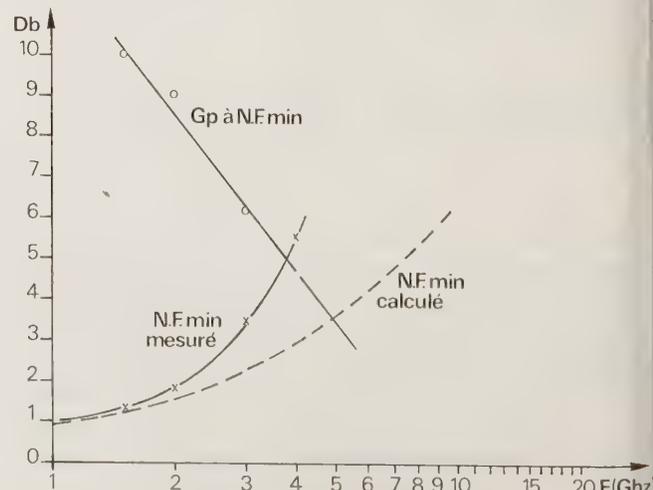


Fig. 9. — Facteurs de bruit calculé et mesuré, et gain.

le bruit thermique des résistances parasites du transistor :  $i_{nG}$ ,  $i_{nS}$ ,  $i_{nD}$  et enfin un bruit assez mal connu, particulier à l'arséniure de gallium, qui résulte de transitions inter-vallées dans les régions de haut champ électrique.

Un calcul simplifié tenant compte de toutes les sources de bruits thermiques du transistor intrinsèque et des résistances parasites  $R_S$  et  $R_G$  conduit à :

$$F_{\min} = 1 + \frac{\omega^2 R_S C_{gs}^2}{2g_m} + \frac{0,8 \omega C_{gs}}{g_m} \left[ 1 + \frac{3}{8} \omega^2 R_S^2 C_{gs}^2 + \frac{7}{2} R_S g_m + g_m R_g \right]^{\frac{1}{2}}$$

Formule valable pour des fréquences faibles devant

$\frac{1}{\omega C_{gs}}$

La figure 9 montre les valeurs de  $F_{\min}$  mesurées et calculées à partir de la formule précédente. Nous avons porté sur le même graphique les valeurs du gain  $G_p$  dans les mêmes conditions. On remarque que  $G_p$  n'est pas le meilleur gain possible du transistor puisque l'adaptation n'a pas été réalisée pour le maximum de gain :  $G_p$  est inférieur à  $G_{\max}$ .

## CONCLUSION

Bien que la technologie du T.B.M. ne soit pas aussi avancée que celle des transistors bipolaires, ses performances en gain et en bruit sont déjà bien supérieures. Grâce à l'expérience acquise ces dernières années sur des dispositifs à arséniure de gallium, les progrès sont des plus rapides comme en témoigne la courbe de la figure 10 obtenue sur des transistors plus récents que ceux étudiés dans cette étude.

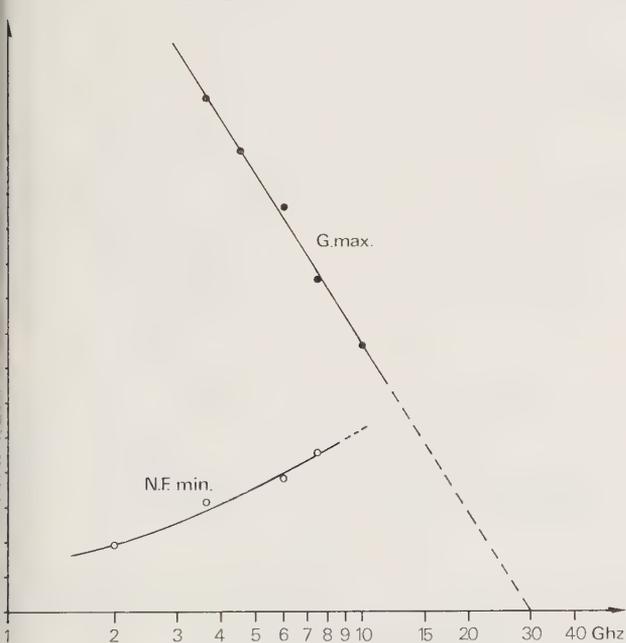


Fig. 10. — Résultats obtenus dernièrement avec des dispositifs plus récents réalisés au LEP.

Le T.B.M. est un dispositif très prometteur pour de nombreuses applications d'amplification à faible niveau dans le domaine des bandes C, X et même Ku. Pour être utilisable, le principal problème réside dans l'adaptation sur une large bande d'un dispositif à impédances caractéristiques élevées. Néanmoins des simulations sur ordinateur

ont montré que la chose était possible au moins sur une octave sans détérioration notable des caractéristiques de gain et de bruit.

Les performances de rapidité du T.B.M. trouvent aussi des applications dans le domaine de la commutation ultra-rapide. Des calculs préliminaires ont montré que l'on pouvait envisager une logique à 0,1 ns alors que les logiques à transistors bipolaires ne descendent guère aujourd'hui en dessous de 0,8 ns.

## Remerciements.

Les auteurs remercient MM. Loriou et Le Rouzic du C.N.E.T. pour leur participation aux mesures en hyperfréquences.

## RÉSUMÉ

Après un rappel du principe de fonctionnement des transistors à effet de champ à barrière métallique, cet article expose la conception d'un dispositif destiné à l'amplification en hyperfréquence. Un paragraphe est consacré aux techniques de réalisation. Les systèmes de mesure sont ensuite décrits, et les résultats expérimentaux sont rattachés à un modèle de schéma équivalent.

## SUMMARY

### GaAs mesfet device,

by P. BAUDET and M. BINET (LEP).

After MESFET working principles recall, this paper exposes the conception of a microwave amplifying device. Technical realization and measurement system are described. Experimental results are compared with an equivalent diagram model.

## Bibliographie

- [1] SCHOCKLEY W. — Unipolar « field effect » transistor. *Proc. IEEE*, 1952, pp. 1365-1376.
- [2] GROSVALET J. et MOTSCH C. — Physical phenomenon responsible for saturation current in field effect devices. *Solid State Electronics*, Vol. 6, 1963, pp. 65-67.
- [3] Wu S.Y. and SAH C.T. — *Solid State Electronics*, Vol. 10, 1967, pp. 593-609.
- [4] GREBÈNE A.B. and GHANDHI S.K. — General theory for pinched operation of the junction gate F.E.T. *Solid State Electronics*, Vol. 12, 1969, pp. 573-589.
- [5] TURNER J.A. and WILSON B.L.H. — Implications of carrier velocity saturation in a gallium arsenide field effect transistor. *Symposium on GaAs*, 30, 1968, pp. 195-204.
- [6] CHIU T.L. and GHOSH H.N. — Characteristics of the junction gate field effect transistor. *Solid State Electronics*, Vol. 14, 1971, pp. 1307-1317.
- [7] SZE S.M. and IRVIN J.C. — Resistivity, mobility and impurity levels in GaAs, Ge and Si at 300 °C. *Solid State Electronics*, Vol. 11, 1968, pp. 599-602.
- [8] RODE D.L. — Electron mobility in Ge, Si and GaP. *Phys. Stat. Sol. (b)*, 53, 1972, pp. 245-253.
- [9] SZE S.M. and GIBBONS G. — Avalanche breakdown voltages of abrupt and linearly graded pn junctions in Ge, Si, GaAs and GaP. *Appl. Phys. Letters*, Vol. 8, n° 5, pp. 111.
- [10] MEAD C.A. — Schottky barrier gate field-effect transistor. *Proc. IEEE*, 54, 1966, p. 307.
- [11] Van der ZIEL A. — Thermal noise in field effect transistor. *Proc. I.R.E.*, 1962, pp. 1808-1812.
- [12] Van der ZIEL A. — Gate noise in field effect transistor at moderately high frequencies. *Proc. IEEE*, 1963, pp. 461-467.
- [13] BRUNCKE W.C. and Van der ZIEL A. — Thermal noise in junction gate field effect transistors. *IEEE Trans.*, Vol. ED-13, n° 3, 1966, pp. 323-324.
- [14] BAECHTOLD W. — Noise behavior of Schottky barrier gate field effect transistors at microwave frequencies. *IEEE Trans.*, Vol. ED-18, n° 2, 1971, pp. 97-104.
- [15] RYDER E.J. — Mobility of holes and electrons in high electric fields. *Phys. Rev.*, Vol. 90, n° 5, 1953, pp. 766-769.
- [16] BUTCHER P.N. and FAWCETT W. — Calculation of the velocity field characteristic for GaAs. *Phys. Letters*, 21, 1966, pp. 489-490.
- [17] S parameters... Circuit analysis and design. HEWLETT PACKARD application note 95.
- [18] SANEHIKO KAKIHANA. — Microwave transistors, bipolar and field-effect to-day and to-morrow. *IEEE-GMTT Symposium*, cat. n° 72, CHO 612 2MTT, 1972, pp. 170-172.
- [19] LORIOU B. et GOLOUBKOFF M. — Amplificateurs hyperfréquences à transistors pour les télécommunications. *L'Écho des Recherches*, Janv. 1972, pp. 32-37.

# La réponse vocale : réalisations actuelles et perspectives d'avenir



par Michel CARTIER,

Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Télécommunications.

et Jacques GÉNIN,

Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Télécommunications.

Département Études et Technique d'Acoustique CNET, Centre de Recherches de Lannion, 22301 Lannion (tél. (96) 38-11-11).

La présentation des données sortant d'un ordinateur est un des aspects essentiels de la communication entre l'homme et les machines informatiques. Lorsque les données sont fournies à l'utilisateur par l'intermédiaire d'une ligne téléphonique, il serait souhaitable de pouvoir les transmettre au moyen d'un poste téléphonique, sous forme de « réponse vocale ».

Le problème se ramène donc à produire des sons vocaux pour transmettre un certain nombre de messages, la solution étant d'autant plus complexe que le nombre de messages possibles différents est plus grand. On peut évidemment enregistrer à l'avance tous les mots et groupes de mots utilisés, comme cela a été fait pour

l'horloge parlante. Des recherches sont actuellement en cours pour mettre au point des appareils effectuant la synthèse de la parole au niveau des syllabes, à partir des sons (phonèmes) et des transitions entre sons (diphonèmes). Des appareils permettant l'envoi automatique de messages vocaux, avec un nombre relativement limité de messages possibles sont déjà commercialisés. D'autres, plus complexes, sont actuellement en cours de mise au point, par exemple pour donner certains renseignements aux abonnés directement à partir d'un central téléphonique électronique, et on peut espérer que de tels appareils pourront être exploitables d'ici quelques années.

## I. INTRODUCTION

Un élément d'un système informatique est le terminal du client, à travers lequel celui-ci juge les performances et l'agrément du système et dont le prix a d'autant plus d'importance que le nombre en est plus élevé. De plus, la parole est le moyen de communication privilégié de l'homme, le plus naturel en tout cas. L'utilisation du poste téléphonique comme terminal d'entrées-sorties vocales représente donc *a priori* une solution idéale. Malheureusement les machines ne sont pas douées pour la parole (ni douées de parole) pas plus que pour la lecture de documents manuscrits. Il n'est pas facile de les faire parler, et encore moins de les faire comprendre. Le problème de l'émission de données peut se résoudre élégamment par l'utilisation du poste téléphonique à clavier (Strowger faisait de la transmission de données sans le savoir), et nous verrons qu'en dépit des difficultés techniques et théoriques il est possible de faire parler les machines. L'intérêt de cette possibilité est bien évidemment la saisie d'informations à partir d'un calculateur, ainsi que le renseignement vocal, mais aussi le contrôle vocal d'une transmission de données.

Le but de cet article est de faire le point sur les réali-

sations actuelles, de montrer les possibilités et les limites des différentes méthodes, et enfin d'indiquer les perspectives d'avenir du poste téléphonique en tant que support d'informations vocales.

## II. RÉALISATIONS COMMERCIALISÉES

Avant d'énoncer les possibilités présentes et futures de la réponse vocale, nous allons faire le tour des unités de réponse vocale disponibles commercialement. Elles sont à vrai dire peu nombreuses.

Citons pour commencer l'horloge parlante, qui, sans être un système de synthèse automatique au sens habituel des spécialistes, est l'ancêtre des réponses vocales, citons bien sûr les systèmes de réponses enregistrées, dont les PTT font un large usage. Ces systèmes manquent bien évidemment de souplesse et il n'est pas pensable d'élaborer des réponses aussi variées sans faire appel à un calculateur.

Remarquons également que la composition d'un message à partir de disques ou de bandes magnétiques se heurte au problème du temps d'accès. C'est pourqu

Il fallu attendre les calculateurs pour entendre des réponses « intelligentes ». La Société IBM a commercialisé deux systèmes connus sous les numéros 7770 et 7772 qui permettent de donner une réponse variable à un contexte donné. Les phrases et les mots prévus sont enregistrés sur tambour ou disque magnétique, soit sous forme analogique (7770) soit sous forme numérique réduite (7772), et émis au moment voulu par le calculateur. Le système 7770 admet 16 lignes et un vocabulaire de 128 mots de taille fixe, le système 7772 admet 8 lignes et une durée de mots de phrases « illimitée ».

La CIT a réalisé pour le compte du Service Technique de la Navigation Aérienne un système destiné à l'envoi automatique de messages météorologiques. Le vocabulaire contient tous les mots et expressions utilisés pour ce service et peut alimenter 10 voies de sortie vocale [1]. Les mots et expressions sont enregistrés sous forme numérique réduite et stockés en mémoire de masse. Ce système, comme l'IBM 7772, utilise 100 e.b. par seconde enregistrée. Cette quantité d'informations est 50 fois plus importante que celle restituée par l'écriture.

Il existe de nombreux systèmes opérationnels, mais la réponse vocale automatique n'est pas encore un produit des catalogues et nous aurons une idée plus précise des possibilités actuelles en faisant l'inventaire des travaux effectués dans les laboratoires.

Nous allons présenter les connaissances élémentaires indispensables sur la parole et donner un exemple de synthèse de réponse vocale.

**LA PHONATION ET LA SYNTHÈSE DE LA PAROLE**

On peut considérer que la parole est représentée correctement par un signal de 3 000 Hz de largeur de bande et 40 dB de dynamique. On peut aussi (ce sera plus économique, et indispensable pour la synthèse) considérer que la parole est produite par les organes phonatoires et soumise à un certain nombre de lois.

La parole est le résultat d'une excitation (écoulement d'air venant des poumons ou vibration périodique des cordes vocales) qui est modulée par le conduit vocal (bouche, nez) (fig. 1). Nous admettrons en première approximation que la forme du conduit vocal, et par conséquent l'enveloppe du spectre instantané du signal, sont liés au son prononcé, alors que l'excitation, et par conséquent la structure fine du spectre,

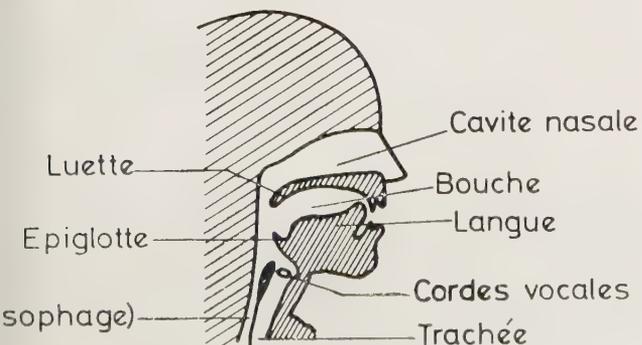


Fig. 1. — Organes phonatoires.

sont liées à l'intonation et à la distinction entre sons voisés (voyelles et certaines consonnes) et non voisés (autres consonnes) : un « a » se prononce en ouvrant la bouche, un « u » en arrondissant les lèvres, tandis que l'on peut prononcer des « a » avec diverses intonations en modifiant la fréquence de vibration des cordes vocales (spectre de raies) sans modifier la forme de la bouche. En résumé, on peut simuler les organes phonatoires par un appareil constitué d'une source d'excitation qui commandera l'énergie et l'intonation et des circuits (filtres, ligne artificielle) simulant la fonction de transfert du conduit vocal ; les caractéristiques de la source et du conduit vocal sont commandées à un rythme correspondant à notre vitesse d'élocution, soit quelques dizaines de hertz (fig. 2).

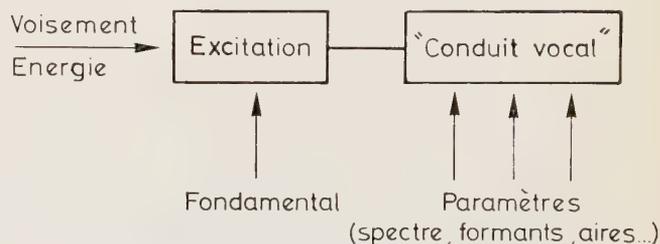


Fig. 2. — Schéma d'un synthétiseur.

Nous donnerons l'exemple du Vocoder à canaux, que le CNET a particulièrement étudié et grâce auquel il a été possible de mettre au point outre le système DECLAM de la CIT une unité de réponse vocale plus élaborée que les systèmes déjà décrits [2, 3]. Ce type d'appareil est également utilisé dans le système IBM 7772 (fig. 3 et 4).

Les systèmes déjà présentés permettent de fournir des indications en nombre limité (messages ou parties

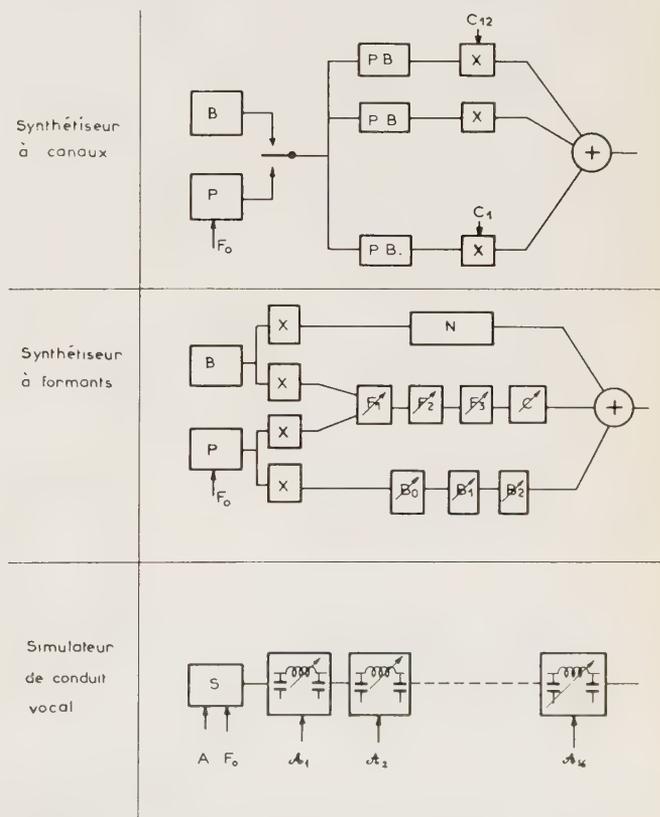


Fig. 3. — Synthétiseurs utilisés en réponse vocale.

adresse mémoire	énergie dans les canaux														periode du fondamental	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
215 21	3	4	3	4	3	2	3	5	6	5	6	7	6	5	0	S
231 21	4	3	5	4	3	4	4	5	6	5	6	6	8	7	0	
245 21	5	6	5	6	5	4	4	5	6	5	5	6	7	7	0	
261 21	5	5	4	5	4	5	4	5	6	5	7	6	9	8	0	IN
275 21	4	5	5	4	4	4	6	7	5	6	6	8	8	0		
311 21	6	6	5	5	5	5	6	7	7	7	7	8	6	0		
325 21	9	10	11	10	10	9	10	9	8	7	6	5	4	147	K	
	12	11	12	12	11	10	9	12	10	9	9	9	8	7		155
	11	10	12	13	11	10	10	12	11	10	9	10	8	7		156
	11	10	12	13	11	10	9	13	11	10	9	9	8	7	158	
	11	9	11	13	11	10	9	12	11	10	10	9	8	7	161	
	11	9	11	12	11	9	9	12	11	10	9	9	7	6	160	
	9	9	11	11	10	9	8	9	12	11	10	9	7	4	159	
	9	9	10	10	9	8	7	8	9	10	8	7	6	3	157	
	9	8	7	8	7	6	5	6	6	5	4	3	4	3	156	
	8	4	3	5	3	2	2	4	4	4	3	2	3	2	0	
	3	2	3	4	3	2	1	3	5	4	4	2	3	2	0	
	2	2	2	3	1	0	0	1	4	3	2	1	3	1	0	
	1	2	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	4	2	0	
	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	1	0		
	2	2	1	1	1	0	2	1	2	1	2	4	2	0		
	6	4	5	6	8	8	7	10	10	6	7	6	6	5	0	
	6	5	5	6	8	8	9	10	10	9	8	7	6	0		
	5	5	5	4	4	3	3	6	6	7	7	5	5	4	0	

Fig. 4. — Données Vocoder pour le mot « Cinq ».

de messages préenregistrés). Or il est possible de prononcer un nombre quelconque à partir d'un nombre de mots réduits : cinq mots permettent de prononcer les nombres 3, 8, 50, 100, 1 000, 1 358, 58 300... 58 803, etc..., une trentaine de mots permettent de prononcer tous les nombres inférieurs à un million, et un seul mot supplémentaire (million) augmente énormément les possibilités. En appliquant ce principe, il n'est pas possible de synthétiser un message quelconque, mais on peut synthétiser un message comportant des nombres quelconques dans un ou plusieurs contextes donnés.

Cependant l'enchaînement pur et simple ne permet pas d'obtenir un résultat satisfaisant : la prononciation d'un mot dépend du contexte (fig. 5). La modification du rythme d'élocution et de l'intonation suffit à fournir une prononciation satisfaisante. Le traitement mis au point consiste en des règles phonétiques empiriques. Les mots sont stockés en mémoire sous forme neutre avec un certain nombre de marquages. Le traitement consiste à accélérer certaines des zones marquées et à superposer à l'intonation stockée l'intonation due au contexte (fig. 6). Cette opération est permise par la séparation du conduit vocal et de l'excitation.

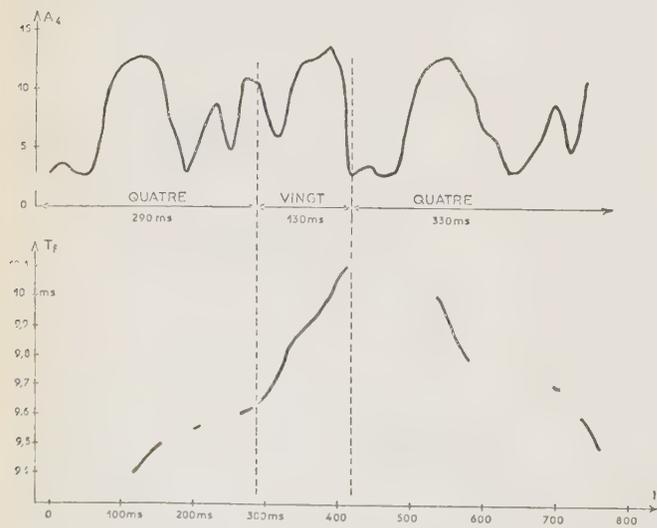


Fig. 5. — Amplitude canal 4 et période du fondamental sur le nombre 84 synthétique. N : normal, R : rapide.

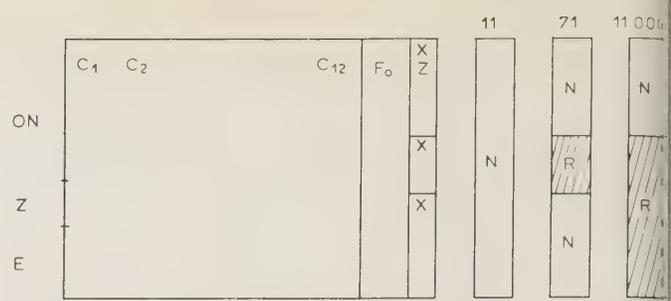


Fig. 6. — Rythme de l'élément ONZE selon le contexte.

La réponse s'effectue alors de la façon suivante : une première partie du programme détermine en fonction de la définition du message les éléments à enchaîner. Une deuxième partie détermine des « octets de rythme » et « octets d'intonation » attachés à chaque élément (morceaux de phrase, mots). Enfin les données sont envoyées au synthétiseur après modification de durée et d'intonation (fig. 7, 8).

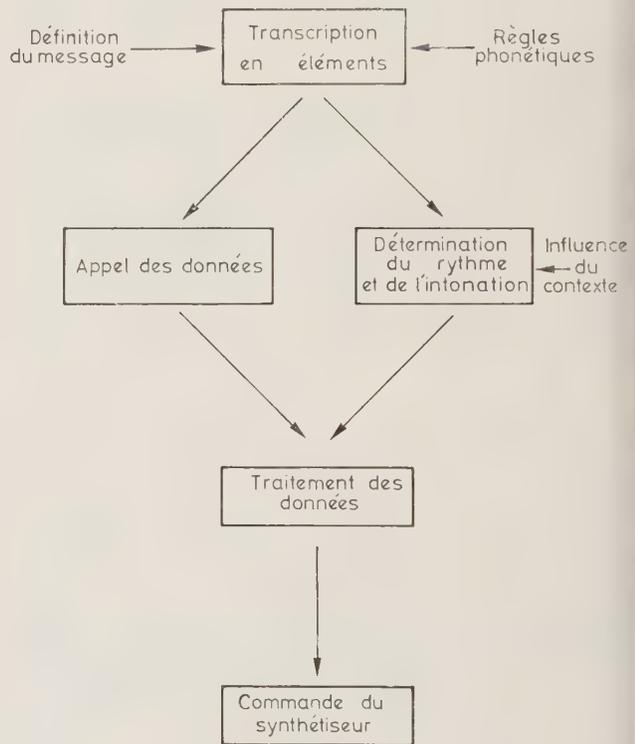


Fig. 7. — Élaboration d'une réponse vocale.

L'URV que nous venons de décrire est utilisable dans un nombre relativement grand d'applications.

Elle a mis en évidence les problèmes posés : choix d'éléments à enchaîner, modification en fonction du contexte, volume des données, temps d'accès... Elle a fonctionné de façon opérationnelle à titre de démonstration dans une application (PTT) à l'indication de taxes et à la dénumérotation d'abonnés.

Une autre application au téléphone vient immédiatement à l'esprit : les renseignements concernant les abonnés. Mais peut-on stocker la prononciation de millions d'abonnés et d'adresses ? Ce n'est pas pensable et il faut envisager d'autres méthodes de synthèse qui au lieu d'être globales se feront par éléments phonétiques. Alors d'autres difficultés surviennent, dues au codage de la parole.

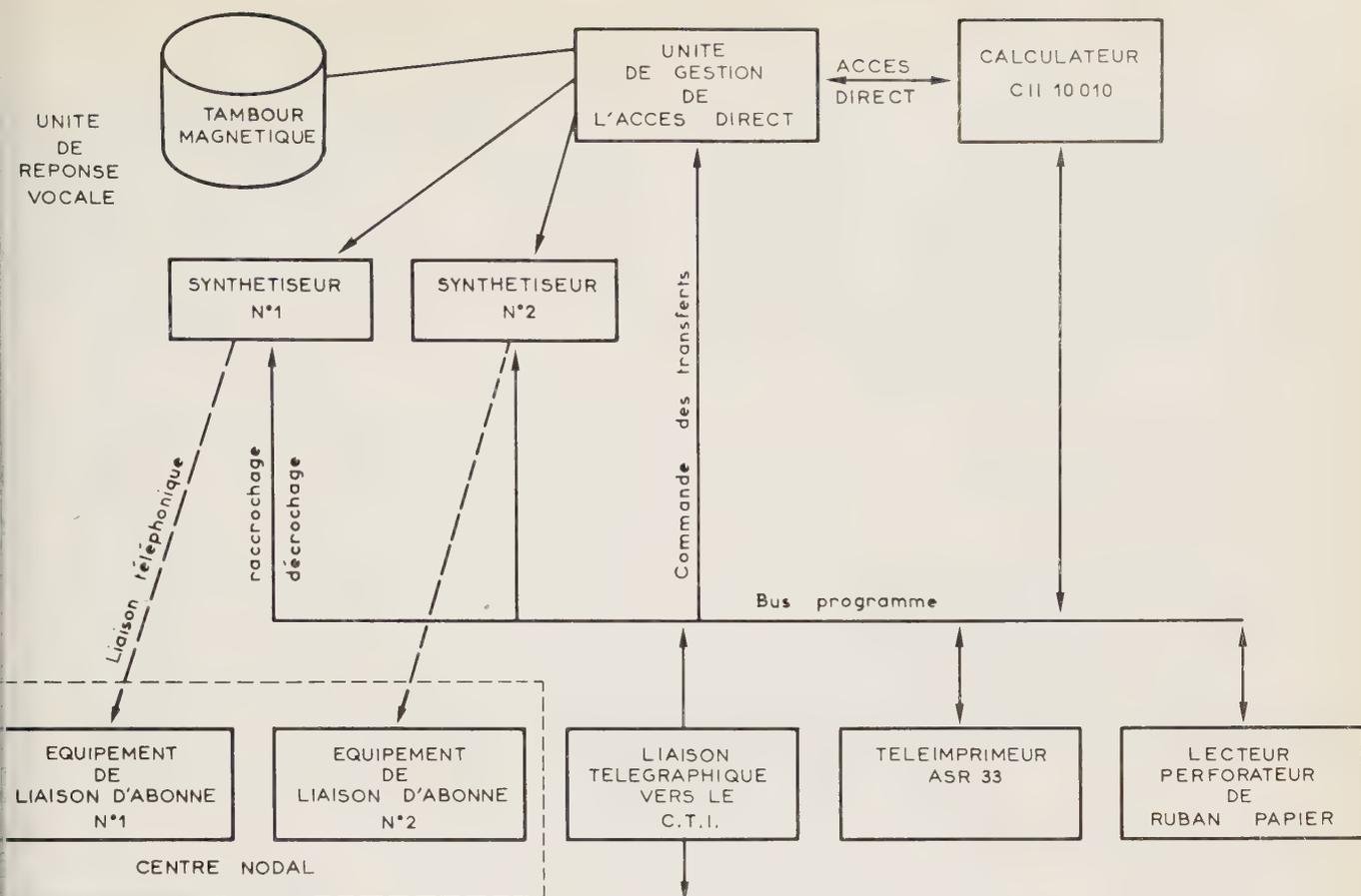


Fig. 8. — Organisation de l'unité de réponse vocale du CNET.

MÉTHODES DE SYNTHÈSES ET SYNTHÉTISEURS

Les méthodes de synthèse

Il n'est pas question de stocker tous les mots, encore moins les noms propres. D'ailleurs le problème des enchaînements se poserait de toutes façons. Le problème est donc de trouver des unités élémentaires dont la juxtaposition produise une parole de bonne qualité, des unités élémentaires indépendantes du contexte ou aisément modifiables. Les solutions acceptables sont fondées sur des possibilités recherchées (fig. 9).

METHODES	OBSERVATIONS
Synthèse par phrases et par mots	Horloge parlante, mots variables dans un contexte donné Bonne qualité, applications limitées Problèmes d'enchaînement et d'intonation relativement simples
Synthèse par éléments phonétiques (enchaînement d'unités sonores stationnaires, transitions, syllabes) b) Synthèse "par règles" (formants, paramètres articulatoires)	Possibilité de vocabulaire illimité. Difficultés d'enchaînement (interactions complexes entre les éléments.)

Fig. 9. — Les différentes méthodes de synthèse.

— L'unité linguistique est le phonème (son). Malheureusement cette unité fonctionnelle ne se traduit pas par une réalité physique unique. On peut pallier en partie cette difficulté en stockant plusieurs aspects d'un même son ainsi que des sons de transition.

— Une optique différente qui aboutit pratiquement au même résultat consiste à considérer comme atomes de parole non pas les sons mais les transitions entre sons. C'est la synthèse par diphtonges ou diphtongèmes (fig. 10) [4, 5].

— Enfin on peut définir pour chaque phonème des « positions cibles » et faire évoluer les paramètres de commande en fonction de ces positions cibles et de contraintes d'évolution entre ces positions. Cette solution a été essayée avec les formants [6] mais il semble qu'elle ne sera satisfaisante qu'appliquée à des paramètres articulatoires qui doivent obéir à des lois relativement simples.

Phrases et mots	/le... Monsieur/ Durand est le/ trente/ huit/ quatre/ vingt/ trois/ soixante/ treize
Syllabes	/le/nu/mé/ /du/ran/ /è/ /le/ tran/ t' /ut/ ka/ tre/ vint/ trwa/ swa/ san/ le/ trèz
Phonèmes	/e/ n/ u/ /d/ u/ r/ an/ /e/ t/ e/ t/ r/ an/ t/ u/ i/ t/ k/ a/ t/ r
Diphtongèmes	/le/en/nu/um/mé/ér/ra

Fig. 10. — Divers découpages de la phrase « Le numéro de Monsieur Durand est le 38.83.73 » selon la méthode employée.

— La synthèse par phrases et par mots a déjà été étudiée.

— L'unité de prononciation serait la syllabe; mais d'une part les syllabes sont très nombreuses, difficiles à définir, d'autre part elles réagissent les unes sur les autres.

2. Codage et synthétiseurs (fig. 11, 3)

Le problème du codage de la parole est double : il doit permettre l'économie maximale de données stockées

	Enregistrement	Synthétiseurs à canaux	Synthétiseurs à formants	Simulateurs de conduit vocal	Codage prédictif
Nature des paramètres de commande	Signal	12 canaux + excitation	3 formants variables + nasalité + excitation	Paramètres articulatoires	?
Intelligibilité et qualité intrinsèques de la parole fournie	Excellentes	Bonnes	Bonnes	Espérées très bonnes	Espérées très bonnes
Quantité d'information nécessitée par la commande	Signal analogique ou 50 keb/s (Mic) ou 20 keb/s ( $\Delta$ )	2400 eb/s	1000 eb/s	Objectif final 50 eb/s	?
Complexité du matériel	Simple	Moyenne	Moyenne	?	?
Méthodes de synthèse	Phrases	X	X	X	X
	Mots	X	X	X	X
	Diphonèmes		X	X	X
	Phonèmes			X	X

←
 Systèmes actuellement réalisables
 →
 Systèmes actuellement à l'étude

Fig. 11. — Les différents matériels de synthèse de parole.

(réduction du débit), les modifications de rythme et d'intonation, et l'interpolation — lissage — entre les éléments enchaînés. La figure 11 met en évidence les divers types de synthétiseurs et leurs possibilités.

Le codage MIC ou  $\Delta$  interdit toute autre opération que l'enchaînement pur et simple.

Le synthétiseur à formants donne une parole plus fidèle, présente les mêmes possibilités et quelques facilités supplémentaires de lissage — quoique limitées. Il est par contre plus difficile d'analyser automatiquement les sons employés.

Enfin la simulation directe du conduit vocal à partir de paramètres articulatoires — et peut-être la prédiction

linéaire — semble être la seule solution satisfaisante à la synthèse automatique d'un texte quelconque (synthèse par règles).

### 3. Quantité et débit d'information

Le volume des données stockées peut être un élément déterminant de la méthode de synthèse choisie. La réduction des données manipulées s'accompagne généralement d'un accroissement de la complexité du traitement. L'indication du nombre d'éléments binaires nécessaires à la synthèse n'est significative que si l'on précise le problème traité et le niveau où l'on se place.

— Une phrase parmi 8 peut être définie par 3 e.

	Quantité d'information	Adressage	Commande du synthétiseur	Stockage
1 phrase parmi 8	3 e.b.		1000 à 10 000 e.b./s	1000 à 10 000 e.b./s
Message par phrases et par mots	10 à 30 e.b./s	50 e.b./s (avec intonation)	"	"
Phonème	5 e.b.			50 e.b.
Diphonème	10 e.b.			100 à 1000 e.b.
Mot (1 parmi 4000)	12 e.b.	25 <sup>8</sup> à 50 e.b.		
Message par éléments phonétiques	50 e.b./s	50 à 200 e.b./s	50 à 5000 e.b./s	1000 à 5000 e.b. pour tous les messages

Fig. 12. — Volumes et débits des données.

ressiter 20 000 e.b. pour un synthétiseur à canaux  
300 000 e.b. pour un codeur PCM.

— La synthèse par phonèmes et sons de transitions  
essite pour une seconde de parole 50 e.b. à la  
mande phonétique, 200 e.b. à l'adressage des  
éments sonores, 2 400 e.b. à la commande d'un  
thétiseur à canaux (IBM) (*fig. 12*).

Le Vocoder à canaux manque un peu de naturel,  
me une qualité acceptable et permet les modifica-  
ns de rythme et d'intonation.

### Implantation et circulation des données

Revenons au schéma d'élaboration d'un message :  
modification des données (longueur, intensité, inton-  
tion) peut se réaliser aisément dans l'unité centrale  
commande les synthétiseurs. Cette solution impose  
pendant des contraintes de temps réel incompatibles  
ec les systèmes standards habituels. C'est la solution  
a été adoptée dans notre prototype, ce qui a amené  
me gestion spéciale de blocs de mémoire avec accès  
ect. La solution optimale semble être — quel que  
t le procédé adopté — la détermination en mémoire  
entrale des adresses des éléments successifs et de  
rquages à partir desquels un bloc de calcul spécia-  
e transforme « en ligne » les données envoyées au  
thétiseur (rythme d'envoi des paramètres, calcul  
la période du fondamental) (*fig. 7 et 8*).

Les paramètres bruts relatifs aux « éléments de base »  
nt obligatoirement stockés, sauf cas particulier, dans  
e mémoire « de masse » ou une mémoire spéciale.  
effet, le volume des données stockées varie entre  
0 000 et 500 000 éléments binaires et peut être  
ttement plus important pour une synthèse par mots  
vocabulaire étendu. On se heurte donc au compromis  
lume-temps d'accès-prix dès que l'on désire alimenter  
sieurs lignes. A titre d'exemple le temps maximum  
accès à un disque standard à têtes fixes est de 20 ms,  
ndis que la cadence de renouvellement de la com-  
nde d'un synthétiseur est de 10 à 20 ms. Un système  
mportant 8 synthétiseurs implique alors une mémoire  
npon de 2 000 e.b. par synthétiseur, et ce volume  
rie comme le carré du nombre de synthétiseurs (ceci  
ur un accès direct au disque, ce qui n'est pas forcément  
cas).

### ÉTAT ACTUEL DES RECHERCHES

Rappelons que les systèmes réellement disponibles  
nt peu nombreux.

Opérationnels ou en cours de développement, nous  
avons le système CNET à mots variables [2]; un  
ystème à phonèmes + sons de transition avec rythme  
intonation [4], de qualité moyenne qui existe depuis  
ans; un système à diphonèmes à entrée phonétique,  
il donne une voix de qualité passable, compréhensible  
utilisable [5]. Aux États-Unis, les Laboratoires BELL  
nt annoncé il y a quelques années un système analo-  
que à tambour [7], puis plus récemment un système  
il énonce les numéros téléphoniques chiffre par chiffre

avec une prononciation très satisfaisante [8]. C'est là  
également que les recherches fondamentales sont les  
plus avancées dans la simulation du conduit vocal.

En France, un système de synthèse par phonèmes  
avec interpolation automatique des formants a été  
étudié. Les recherches les plus prometteuses concernent  
la prédiction linéaire et la simulation du conduit vocal,  
quoiqu'en attendant on puisse espérer bientôt un  
système de synthèse par diphonèmes avec un Vocoder  
à canaux d'assez bonne qualité qui constituerait égale-  
ment un bon outil de recherche sur le rythme et l'into-  
nation de messages quelconques.

### VI. PERSPECTIVES D'AVENIR

On sait actuellement réaliser des synthèses globales  
de bonne qualité, les systèmes correspondants peuvent  
coûter de 200 000 à 1 000 000 F (un synthétiseur  
vaut 10 000 à 20 000 F, la mémoire 50 000 à 100 000 F,  
les circuits de commande 10 000 à 25 000 F par synthé-  
tiseur; à quoi il faut ajouter une configuration minimale  
de calculateur et l'élaboration des données qui, bien  
que quasi automatique, est assez coûteuse).

On peut prévoir l'entrée en service plus répandue  
des systèmes actuellement opérationnels, à partir de  
l'année prochaine.

A plus long terme, les progrès technologiques, en  
particulier ceux des mémoires, permettent d'envisager  
l'avenir de la synthèse « globale » avec une extension  
des possibilités actuelles.

Cependant on peut espérer que d'ici trois à cinq ans  
on saura faire des systèmes capables de fabriquer une  
parole de bonne qualité à partir d'un codage phoné-  
tique (50 e.b./s) et quelques indications prosodiques  
(pauses, intonation). Ces systèmes pourront s'utiliser  
dans deux types d'applications :

— applications autonomes (peu de messages possi-  
bles, stockage d'un vocabulaire sous forme phonétique) :  
unités spécialisées en particulier dans le cas du télé-  
phone;

— applications liées à un calculateur central (rensei-  
gnements, réservations, documentation automatiques...).

Le dernier point à discuter est celui de la qualité  
de la voix de synthèse. Il semble actuellement que les  
utilisateurs admettent facilement une qualité médiocre;  
certains aimeraient même entendre une « vraie voix  
de machine ». Il faut se garder d'un tel optimisme — ou  
pessimisme — car il est évident que l'on trouvera bientôt  
sur le marché une qualité correcte pour un coût équivalent.

La sortie vocale gagnera-t-elle la compétition qui  
l'oppose aux autres modes de présentation de l'infor-  
mation? Nous serions tentés de répondre par l'affir-  
mative, à moins de refuser la réponse à une aussi  
mauvaise question : la circulation orale et la circulation  
écrite de l'information coexistent depuis si longtemps  
qu'on ne saurait privilégier l'un ou l'autre des modes  
de sortie.

## RÉSUMÉ

Cet article décrit brièvement des unités de réponse vocale commercialisées; il décrit un système qui réalise la synthèse d'un nombre quelconque dans divers contextes. Mais de nombreuses applications impliquent la synthèse par règles à partir d'éléments phonétiques : on présente les différentes méthodes. On mentionne les problèmes de stockage et de circulation des données.

On examine les perspectives d'avenir : l'évolution des mémoires va faciliter les réalisations des systèmes à synthèse par mots, tandis que dans quelques années on pourra obtenir, grâce à la synthèse par règles, une bonne qualité dans un champ d'applications plus général.

## SUMMARY

**Present realizations and future prospects  
of audio-response units,**

by M. CARTIER and J. GÉNIN (CNET).

This article briefly describes commercially available audio-response units; a system is described which synthesizes any number in several contexts. But many applications imply synthesis by rules from phonetic elements : different methods

are discussed. Problems of data storage and circulation mentioned.

Future prospects are looked at : the evolution of memory will make synthesis by words easy, and synthesis by rules will provide in all cases good quality within a few years.

## Bibliographie

- [1] LOIZILLON L. et ROGER G. — Unités de réponse vocale. *Communication au Congrès de l'A.F.C.E.T.*, 1970.
- [2] GENIN J. — An Audio Response Unit for Telephone Networks. *IEEE Trans on Audio*, 1973, **21**, n° 3 Juin, pp. 291-292.
- [3] PONCIN J. — Étude d'un système de synthèse de messages vocaux. *Annales des Télécommunications*, 1970, **25**, n° 11-12, pp. 405-412.
- [4] NEMETH A. et BURON R. — Expérience de synthèse de la voix à 200 bits par seconde de parole. *Colloque international sur l'Informatique*, Paris, 1969.
- [5] QUINIO J. et TEIL D. — La synthèse de la parole par ordinateur à partir de diagrammes phonétiques. *Revue d'Acoustique*, 1971, **3**, n° 9, pp. 28-32.
- [6] RABINER L.R. and LEVITT H. — New results in speech synthesis by rules. *6<sup>e</sup> Congrès international d'acoustique*, Tokyo, 1968.
- [7] TRUPP R.D. — Computer controlled message synthesis. *Bell Laboratories Record*, Juin-Juillet 1970.
- [8] RABINER L.R., SCHAFER R.W. et FLANACAN J.L. — Computer synthesis of speech by concatenation of formant — Coded word synthesis. *Bell System Technical Journal*, 1971, **50**, n° 5.
- [9] MASSOT J.J. — Étude et réalisation d'une unité de réponse vocale. *Automatisme*, 1971, n° 12.

# ACTUALITÉS

CONGRÈS AFCET 73

## Informatique et télécommunications :

*Le thème « Informatique et Télécommunications » du dernier Congrès organisé par l'AFCET, la SEE et le CNET, qui s'est tenu à Rennes du 7 au 10 novembre dernier, aura attiré beaucoup de participants. Il est vrai que l'association de ces deux secteurs en pleine expansion, présente un grand intérêt. L'assiduité et la qualité des quelques 700 participants en témoignent.*

Le Ministre des Postes et Télécommunications, M. Hubert Germain, avait rappelé dans son allocution la contribution apportée par les Télécommunications à l'Informatique, c'est-à-dire la transmission de données, dont l'exploitation, a-t-il précisé, relève de son Ministère, et qui fait l'objet d'efforts tout particuliers. Sur le plan français, le réseau actuel introduit devrait être renforcé par la mise en place, en 1980, d'un grand réseau de transmissions de données baptisé Hermès. Ce réseau doit contribuer à l'effort de décentralisation et de développement régional en déplaçant les centres de décision. Le Ministre devait également souligner les nombreux problèmes de programmation et de programmation qui se posent à l'Administration et aux Industries. Il faut, en effet, tenir compte d'une part des évolutions techniques inéluctables dans ces deux secteurs de pointe, et, d'autre part, satisfaire aux impératifs de rentabilité. M. Hubert Germain devait conclure en rappelant la contribution de son Ministère au développement économique de la Bretagne, cette région étant, en effet, acquise, grâce à une politique concertée de décentralisation, une vocation électronique et informatique.

Nous reproduisons ci-après le texte intégral de l'allocution du Ministre des Postes et Télécommunications.

### Allocution de M. Hubert Germain

« En sous-titre de ce congrès « Informatique et télécommunications » de l'AFCET, j'ai pu lire : « Apports de l'informatique aux télécommunications ». J'ai bien reconnu la création traditionnelle des ingénieurs des télécommunications ! Car

d'aucuns pourraient prétendre que l'ancêtre du calculateur est le central téléphonique automatique et la signalisation sur le réseau n'est-elle pas de la téléinformatique ?

Ces quelques réflexions, qui ne se veulent certes pas polémiques, vont bien au-delà de la simple boutade : elles illustrent à mon sens l'étroite imbrication de la philosophie et de la conception des systèmes, tant de télécommunication que d'informatique ! Elles expliquent aussi la qualité et le nombre des participants à ce congrès de l'AFCET dont je tiens à féliciter les organisateurs.

D'une façon classique, et sur laquelle je ne m'étendrai pas, les services des télécommunications font un très large appel à l'informatique sous les formes les plus élaborées, comme outil de gestion et de recherche. Le souci constant de modernisation de notre entreprise s'est traduit par un effort particulièrement soutenu d'équipement en calculateurs.

Je ne m'étendrai pas davantage sur l'introduction de la commutation électronique, qui, plus qu'une révolution, constitue à mes yeux une étape de l'évolution qu'autorisent les progrès réalisés en électronique. Il nous paraît souhaitable que cette étape soit franchie eu égard aux améliorations qu'elle peut apporter sur la nature des services offerts à la clientèle et sur les conditions d'exploitation et de fiabilité des matériels.

Je voudrais davantage vous parler de la contribution que doivent apporter les télécommunications à l'informatique dans le secteur de la téléinformatique. Mon propos ne sera pas de rivaliser avec les techniciens que vous êtes sur l'intérêt de telle solution, mais bien plutôt de vous apporter

les réflexions de l'homme politique, d'un membre du Gouvernement.

Malgré la somme des travaux réalisés en téléinformatique et certaines réalisations qui peuvent déjà être considérées comme exemplaires, il est de constater que nous n'en sommes encore qu'aux premiers balbutiements, au regard des perspectives de développement que nous entrevoions.

Et c'est encore seulement en imagination que la ménagère fait son marché à domicile, à partir d'un petit terminal domestique.

Par ailleurs, la multiplicité des services proposés et le faible degré de normalisation, l'incertitude sur l'étendue du marché et sur les taux réels de croissance à prévoir constituent des caractéristiques habituelles pour un produit nouveau.

Dans cette période d'enfance, la téléinformatique a joui et continue de jouir de nombreuses attentions. En particulier, dans l'ensemble des télécommunications que le VI<sup>e</sup> Plan a considéré comme secteur prioritaire, elle a bénéficié d'une priorité supplémentaire.

Le Directeur Général des Télécommunications a indiqué \* les diverses actions que nous avons entreprises dans ce domaine : les services chargés de la téléinformatique au sein de mon Ministère ont été récemment réorganisés pour améliorer les relations avec notre clientèle et répondre de manière plus efficace à leurs demandes. Le Centre National d'Études des Télécommunications a défini l'architecture du grand réseau général de transmission de données, baptisé Hermès, qui devrait être mis en place à partir de 1980. Parallèlement aux services déjà offerts par le réseau Caducée, deux nouveaux types de prestations sont à l'étude : d'une part, la fourniture de liaisons spécialisées à débits très divers et multiplexées ; d'autre part, l'ouverture d'un réseau de commutation de paquets, service combinant la trans-

\* L'exposé de M. Libois, Directeur Général des Télécommunications, sera publié dans un prochain numéro de "Onde Électrique".

mission et un certain traitement de l'information.

Ces mesures ne sont toutefois à mes yeux que des étapes et mes intentions ne sont pas d'en rester là. En effet, le rôle que doivent jouer les services des télécommunications dans ce domaine ne doit pas se limiter à la satisfaction des besoins exprimés (qui est globalement réalisée actuellement).

Nous pensons en effet que la téléinformatique est une technique qui, donnant une nouvelle dimension à l'informatique, engage l'avenir de notre économie toute entière. La France ne doit pas être en retard dans la deuxième révolution industrielle que nous entrevoyons et où l'essentiel n'est plus de traiter les matières mais de traiter l'information. M. le Délégué à l'Informatique ne me contredira pas, je pense, sur ce point !

La téléinformatique doit aussi permettre dans le cadre de l'Aménagement du Territoire, une redistribution des centres de décisions et des centres d'activités économiques, facilitant en particulier la création de nouveaux emplois de haut niveau en Province.

Notre politique en matière de téléinformatique doit rester souple et pragmatique, au stade actuel de développement de ce secteur, pour répondre à la demande sans risquer de figer une technique encore en plein devenir. Approfondir notre connaissance du marché et promouvoir d'abord les services disponibles doit permettre d'accompagner le développement de l'économie nationale. Adapter progressivement les structures à la croissance de la téléinformatique doit assurer la meilleure efficacité à nos efforts. Développer suffisamment mais sans excès l'infrastructure et les services nouveaux de téléinformatique doit permettre de répondre aux besoins ressentis mais parfois encore inexprimés de notre économie, sans négliger les impé-

ratifs de rentabilité et les limites budgétaires.

Mais surtout, il me paraît fondamental qu'une étroite coordination s'établisse entre les actions de mon administration et les initiatives privées, le réseau général de télécommunications servant de base au développement de tous les services, ouverts au plus large public comme réservés aux cercles d'utilisateurs les plus restreints.

En fait, il m'apparaît également dangereux pour l'avenir de la téléinformatique de manquer d'imagination et d'ambition, ou de vouloir se doter dès maintenant de moyens qui ne seraient réellement nécessaires que d'ici cinq à dix ans.

Enfin, je voudrais profiter de ma présence à Rennes pour rappeler ici l'effort particulier de mon Ministère en faveur de la Bretagne.

Je citerai d'abord l'artère numérique à très grand débit appelée « autoroute électronique de l'Ouest ». Cette liaison semi-expérimentale — je dis semi-expérimentale car elle intervient après l'expérience parfaitement réussie de l'artère Paris-Orléans La Source — reliera l'an prochain à Paris tous les grands centres de Bretagne, en particulier Rennes et Brest, ainsi que Nantes, dans les Pays de la Loire.

Le développement économique de la Bretagne trouvera également un atout précieux dans le développement particulièrement rapide du réseau téléphonique de cette région déclarée « zone pilote ». Cet effort particulier, qui doit être poursuivi, se traduit par un taux d'automatisation qui dépassera 96 % à la fin de 1973, et par un accroissement du parc des abonnés de 18,4 % en un an, chiffre tout à fait remarquable et qui place la Bretagne en tête de toutes les régions.

Le Premier Ministre déclarait ici même à Rennes, il y a moins d'un mois : « l'objectif du VI<sup>e</sup> Plan, soit la création de 100 000 emplois, sera

nettement dépassé et la croissance de l'emploi industriel en Bretagne aura été cinq fois plus rapide que dans l'ensemble des régions françaises ».

Les télécommunications auront puissamment aidé à la réussite de ce pari, soit directement en implantant certains de leurs services, soit surtout en attirant dans cette région les industriels qui sont nos fournisseurs. Sur les 11 000 emplois de l'industrie électronique bretonne à la fin de 1972, à rapprocher de 70 000 en 1962, 6 000 à 6 500 emplois, c'est-à-dire plus de la moitié, ont été créés par les industries des télécommunications.

C'est d'abord le succès exemplaire de l'implantation à Lannion qui est à l'origine de cette réussite : 3 000 de ces emplois des industries des télécommunications ont été créés sur la zone industrielle de Lannion et 1 500 autres à moins de 50 km de cette ville, ce qui montre à l'évidence l'attraction qui a été exercée par le Centre National d'Études des Télécommunications.

J'évoquerai également le Centre Commun d'Études de la Télévision et des Télécommunications qui a été fondé l'an dernier à Rennes par l'ORTF et le Ministère des PTT et qui étudie, à côté du traitement de la transmission de l'image, certains grands réseaux de téléinformatique. L'existence de ce Centre m'a d'ailleurs conduit à proposer que Rennes soit une des quelques villes retenues pour les expériences de télédistribution. L'influence heureuse de CCETT s'est déjà manifestée, puisque Thomson a décidé de créer, à Rennes, un laboratoire de recherches dans le même domaine d'activité.

Je dois d'ailleurs souligner que mes services des télécommunications entretiennent une concertation particulièrement active avec la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale.... »

## Pleumeur-Bodou III

*Le 17 décembre 1973, M. Jacques Maire, représentant M. Hubert Germain, Ministre des Postes et Télécommunications, a inauguré la troisième station (PB III) du Centre de Télécommunication par satellite de Pleumeur-Bodou.*

Rappelons que ce Centre a commencé son activité expérimentale dans la nuit du 10 au 11 juillet 1962, en recevant pour la première fois en direct un programme de télévision provenant des États-Unis retransmis par le satellite Telstar 1 lancé quelques

heures plus tôt, puis son activité d'exploitation le 1<sup>er</sup> juin 1965 avec le satellite Intelsat IV vient d'être mis en service dans cette région pour acheminer le trafic des gros utilisateurs entre eux (États-Unis, Canada, Royaume-Uni, Allemagne, etc.) c'est

ce qui explique la nécessité d'une troisième station destinée à travailler avec ce satellite consacré aux « axes principaux » tandis que PB II restera pointée vers le satellite « primaire » et continuera d'assurer de nombreuses relations avec les pays d'Afrique d'Amérique Centrale, et d'Amérique du Sud.

La nouvelle station (PB III) a été le satellite Early Bird ou Intelsat I. Actuellement les deux stations du Centre travaillent en liaison avec des satellites du système Intelsat IV.

é (PB I) avec le satellite de l'océan Indien, l'autre (PB II) avec celui de l'Océan Atlantique. Mais, compte tenu du trafic considérable dans la région atlantique, un deuxième système est en cours de mise en œuvre. L'antenne de PB III a un diamètre de 30 m, elle est supportée par une structure de type « carrousel », caractérisée par une tour de type « fût » utilisée pour PB I et PB II, sur un socle granitique qui a permis de consolider les fondations et d'implanter l'antenne « au ras du sol ».

L'antenne de PB III a un diamètre de 30 m, elle est supportée par une structure de type « carrousel », caractérisée par une tour de type « fût » utilisée pour PB I et PB II, sur un socle granitique qui a permis de consolider les fondations et d'implanter l'antenne « au ras du sol ».

Le support d'antenne repose sur un rail circulaire, sur lequel il se déplace pour assurer le pointage en azimut; il comporte deux cabines d'antennes horizontales qui contiennent presque tous les équipements de transmission et de réception. Seuls le dispositif d'aiguillage d'émission-réception, la tête de poursuite et les préamplificateurs de réception (préamplificateurs paramétriques refroidis à l'hélium gazeux à 20 °K associés à un équipement de transposition de fréquence intermédiaire) tournent autour d'un axe horizontal pour permettre le pointage en site, en azimut. L'entretien des équipements est assuré par un guide circulaire souple en hyperfréquence pour l'émission, par un câble coaxial pour la réception en fréquence intermédiaire à réception.

L'antenne est du type Cassegrain, le cornet d'excitation, placé au centre du réflecteur principal, illumine celui-ci au moyen d'un réflecteur secondaire supporté par deux bras. La tête de poursuite, montée sur le guide circulaire relié au cornet d'excitation, utilise l'apparition de modes supérieurs dans le guide en cas de dépointage, d'après un prototype réalisé au CNET.



PB III — Antenne en position d'opération.

Les équipements des cabines sont reliés au bâtiment central, situé à

une centaine de mètres, par un équipement de télégestion utilisant un mini-ordinateur Mitra 15 (CII). Le CNET a assuré la maîtrise d'œuvre de l'opération PB III, la réalisation a été confiée à Telspace, avec participation de Thomson-CSF, CIT, Alsthom, Neyrpic, Alsthom CGEE, ainsi que de SAT, MECI et AMAN.

## CONFÉRENCE PLÉNIPOTENTIAIRE DE L'UIT, A TORREMOLINO.

### la nouvelle convention internationale des télécommunications.

La conférence de plénipotentiaires de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), qui s'est tenue du 14 septembre au 25 octobre 1973 à Malaga-Torremolinos (Espagne), s'est terminée avec la signature de la nouvelle Convention Internationale des Télécommunications. Elle aura également été marquée par la présence, au sein de l'Union, d'une majorité de représentants des pays « en voie de développement », ce qui s'est traduit par une forte polarisation des problèmes abordés.

Adoption de la Convention. La conférence de plénipotentiaires, qui est l'organe suprême de l'Union, a pour tâche essentielle l'étude et l'adoption de documents fondamentaux de l'UIT, dont la dernière Convention, mise au point lors des précédentes Conférences, la dernière

s'étant tenue à Montreux en 1965. Après de nombreuses discussions, la Conférence, qui rassemblait 655 délégués représentant 132 pays, a décidé de conserver sous sa forme actuelle la Convention, qui se présente en deux parties : la première,

connue sous le nom de « Dispositions fondamentales » regroupe les articles ayant un caractère de permanence et pourrait devenir la « Constitution » de l'UIT; la seconde, connue sous le nom de « Règlement général », regroupe les règles relatives aux modalités de fonctionnement des différents organes de l'Union.

La nouvelle Convention entrera en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 1975, et il est prévu de réunir la prochaine Conférence de plénipotentiaires dans cinq ans.

La Direction et le Conseil d'Administration. MM. Mohammed Mili (Tunisie) et Richard Butler (Australie) ont été réélus respectivement Secrétaire Général et Vice-Secrétaire Général de l'UIT.

Le nombre des pays membres du Conseil d'Administration a été

porté de 29 à 36, dont 7 pays d'Europe occidentale. La désignation de ces pays a été effectuée, et la France a été réélue avec le plus grand nombre de voix (118 voix sur 130 votants).

**Les organismes de l'Union.** Le nombre des membres du Comité International d'enregistrement des fréquences (IFRB) a été maintenu à cinq : ils seront élus par la Conférence Administrative Mondiale des Radiocommunications Maritimes qui se tiendra à Genève du 22 avril au 7 juin 1974, puis ultérieurement par les futures Conférences de plénipotentiaires.

Aucune modification n'est intervenue en ce qui concerne les autres organismes permanents de l'UIT, à savoir le Secrétariat général, le Comité consultatif international téléphonique et télégraphique (CCITT) et le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR).

**Les langues officielles.** Il a été admis qu'en plus des cinq langues officielles de l'Union (anglais, chinois, espagnol, français et russe) une interprétation simultanée entre ces cinq langues et l'arabe serait assurée aux Conférences de plénipotentiaires et aux Conférences mondiales, mais le problème de l'admission de nouvelles langues officielles a été renvoyé. A Torremolinos, une interprétation simultanée entre les langues officielles et l'allemand a été assurée aux frais de l'Allemagne.

**Les pays membres.** La tendance à la politisation s'est manifestée notamment par le fait que les territoires dépendant de la France, du Royaume-Uni, des États-Unis d'Amérique, de l'Espagne et du Portugal (ainsi que la Rhodésie, considérée comme territoire dépendant du Royaume-Uni) ont été exclus de l'Union, dont ils étaient Membres, et seront représentés par le pays dont ils dépendent. En outre, l'Afrique du Sud et le Portugal ont été jusqu'à nouvel ordre exclus des Conférences et réunions de l'Union, alors que les organisations de libération reconnues par les Nations Unies seront autorisées à y envoyer des observateurs.

Bien que la Papouasie - Nouvelle Guinée, territoire dépendant de l'Australie, ait été récemment admise comme Membre associé de l'UIT, cette catégorie des Membres associés a été supprimée, ce qui ne doit pas poser de problème, la Papouasie-Nouvelle Guinée devant accéder à l'indépendance avant la mise en vigueur de la nouvelle Convention.



Le secrétaire général de l'UIT M. M. Mili, réélu secrétaire général, prête serment. À droite, le vice-secrétaire général, M. Richard Butler, également réélu vice-secrétaire général. Assis, M. Léon Herrera, Président de la Conférence.

**Les Conférences mondiales.** Les prochaines conférences mondiales figurant au calendrier de l'UIT, en plus de la Conférence maritime d'avril-juin 1974 citée ci-dessus sont :

— une conférence aéronautique pour la révision du plan d'allotissement du service mobile aéronautique, en 1976 ;

— une conférence de radiodiffusion pour la planification de la bande 11,7-12,2 GHz (11,7-12,5 en Europe) avant avril 1977 ;

— une conférence générale pour réviser les règlements des radiocommunications, en 1979.

#### Les contributions financières.

Le système actuel de contribution aux dépenses de l'Union, fondé sur des contributions volontaires, chaque Membre ayant le choix entre 15 classes

de contributions, a été maintenu mais de nombreuses discussions ont eu lieu à ce sujet, et on étudie pour la prochaine Conférence plénipotentiaire d'autres systèmes (par exemple celui fondé sur le produit national brut, comme à l'Organisation des Nations Unies, ou le trafic international de télécommunication).

Afin d'éviter l'accumulation de contributions arriérées impayées, il a été décidé que tout Membre en retard dans ses paiements perd son droit de vote lorsque ce retard sera au moins égal à deux ans.

Un Fonds spécial de coopération technique, alimenté par des contributions volontaires, en espèces ou en nature, a été institué, pour satisfaire les besoins urgents des pays en voie de développement.

Le palais des Congrès de Torremolinos.



# N BREF...

— THOMSON-CSF a dénoncé le 28 novembre l'accord qu'elle avait signé avec la Compagnie Générale d'Électricité. Cet accord était destiné à coordonner les activités des deux sociétés en reconnaissant la prédominance de chacune d'elles dans des secteurs d'activité bien délimités. Cette rupture qui entrera en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 1975 aurait pour origine le secteur des télécommunications.

— LE MONTANT DES EXPORTATIONS JAPONAISES aura connu durant l'année fiscale 1972 (1<sup>er</sup> avril 1972-31 mars 1973) un accroissement de 19 % par rapport à celui enregistré dans les mêmes conditions durant l'année fiscale précédente.

— Dans le cadre du contrat qui a été signé entre PENTAPOL, Société créée spécialement pour la circonstance par LMT et la CGCT, et la firme polonaise ELECTRIM, une réunion de travail s'est tenue à Paris du 5 au 13 décembre dernier. Cette réunion avait pour objet la fourniture D'UNE USINE DE TRAITEMENT GALVANOPLASTIQUE. Les contrats ont été attribués aux entreprises suivantes :

- 7 MF pour la société LEFEVBURE (usine galvanoplastique),
- 1,6 MF pour la société PERRIER de Saint-Étienne (traitement des eaux usées),
- 0,6 MF pour la société SERCHIM (traitement thermique),
- 1,5 MF à la société CMTM (four de traitement thermique).

Les unités de phosphorisation et de peinture seront construites par des entreprises polonaises selon des indications qui seront fournies par PENTAPOL.

Rappelons que le contrat signé le 28 septembre 1972 entre PENTAPOL et ELECTRIM prévoit la fourniture à la Pologne de deux usines produisant sous licence des centraux téléphoniques du type Crossbar Pentaconta dont la capacité de production sera de 600 000 lignes ou équivalent par an. La valeur de ce contrat est de 200 MF.

— LMT ANNONCE LA CONSTRUCTION DE DEUX NOUVELLES USINES dans la région ouest de la France qui permettront la création de 1 550 emplois. La construction de l'usine de Redon commencera en 1974 et celle de Vannes en 1975. D'autre part, la Direction des Fabrications de la Division Téléphonie et des services d'Études de Commutation Électronique sera transférée à Nantes en 1974.

— MESUCORA ET L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE auront lieu du 10 au 17 juin 1976, au Palais des Expositions de la porte de Versailles à Paris. Le rythme des deux manifestations sera désormais triennal.

— RTC-La Radiotechnique-Compelec a annoncé la sortie fin novembre DU 2 MILLIONIÈME TUBE IMAGE COULEUR produit à l'usine de Dreux depuis l'origine de cette activité en 1967.

— A l'occasion de la présentation d'une nouvelle machine à écrire, fabriquée pour elle en République Démocratique Allemande, la firme japonaise SANYO annonce la sortie prochaine de DEUX CALCULATRICES DE POCHE similaires aux deux modèles Hewlett-Packard, mais à un prix deux fois inférieur.

— La Société américaine IVC (International Video Color) intente une action en dommage et intérêt contre la société AMPEX pour violation de la LOI ANTITRUST.

# ACTIVITÉ DES LABORATOIRES

## ÉVALUATION DES PERFORMANCES OBTENUES DANS DES CIRCUITS LOGIQUES RÉALISÉS EN TECHNOLOGIE « IDÉAL »

**J. Borel, J. B. Suat et B. Ducollet.**

Cette étude avait pour objectif la réalisation d'une décade Johnson dont la fréquence maximale d'utilisation était fixée à 10 MHz. La technologie MOS employée devait utiliser l'implantation ionique de manière à obtenir des transistors fonctionnant en appauvrissement avec des grilles alignées (technologie « IDÉAL »).

La première partie de l'étude a porté sur l'ajustage de la tension de seuil des transistors fonctionnant en appauvrissement en vue d'optimiser les conditions technologiques.

La mise au point de la technologie « IDÉAL » a été ensuite effectuée. Les paramètres électriques nécessaires à l'utilisation de la CAO \* ont été déterminés.

Un inverseur, puis chacun des circuits élémentaires de la décade (bistable, horloge interne à trois phases, amplificateur de sortie) ont été simulés et optimisés.

Enfin, le circuit a été réalisé et ses performances mesurées. Les mesures font apparaître les principaux résultats suivants :

- temps de propagation par porte :  $\tau_p = 25$  ns ;
- facteur de mérite par porte :  $f = 12$  pJ.

Ces résultats sont à comparer avec ceux obtenus à partir de la technologie MOS classique où l'on obtient typiquement :

$$\tau_p = 25 \text{ ns} \quad \text{et} \quad f = 25 \text{ pJ.}$$

\* Conception Assistée par Ordinateur.

**Organisme contractant :**  
CEN Grenoble, CEA.

**Laboratoire effectuant la recherche :**

LETI,  
BP 85 Centre de Tri,  
38041 Grenoble Cedex,  
Tél. (76) 97.41.11.

Contrat DGRST n° 72.70.537.

## ÉTUDE DES POSSIBILITÉS DE DOPAGE DU TELLURE DE ZINC PAR IMPLANTATION IONIQUE,

**J. Marine.**

Une première étude avait montré qu'il était possible de changer le type de conductivité d'un semiconducteur de la famille des II-VI, en l'occurrence ZnTe, et de réaliser ainsi des diodes électroluminescentes. Cependant, le comportement des défauts créés dans ce matériau lors du bombarde-

ment ionique étant peu connu, l'objectif principal des travaux a été de clarifier ce point et d'évaluer les possibilités de l'implantation ionique en tant que méthode de dopage d'un semiconducteur de la famille des II-VI.

La recherche s'est déroulée selon trois axes :

- caractérisation du matériau et recherche des conditions d'obtention de lumière verte pure ;
- étude de l'évolution des défauts dans les couches implantées ;
- caractérisation des jonctions obtenues.

L'étude du matériau ZnTe a montré que, pour avoir une luminescence verte pure à 300 °K, il était nécessaire soit d'éliminer l'oxygène responsable d'une luminescence rouge très intense, soit de doper le matériau au phosphore. Dans ce dernier cas, les rendements quantiques obtenus sont de l'ordre de 1,4 % à 5 400 Å. De plus, l'étude des couches implantées avec des ions aluminium a montré qu'il y avait un stade de recuit à 350 °C pour des doses implantées faibles ( $5 \cdot 10^{13}$  at/cm<sup>2</sup>), deux stades de recuit respectivement à 350 et 550 °C pour des doses moyennes ( $5 \cdot 10^{14}$  at/cm<sup>2</sup>) et qu'au-delà d'une dose de  $10^{15}$  at/cm<sup>2</sup>, et après le premier stade à 350 °C, les défauts évoluent d'une façon monotone et restent présents en quantité mesurable même pour un recuit jusqu'à 800 °C.

Enfin la caractérisation des jonctions implantées montre qu'elles sont d'un type PIN et que la largeur de la zone intrinsèque évolue avec le dopage du substrat jusqu'à disparition complète lorsque l'implantation est faite sur des matériaux fortement dopés.

**Organisme contractant :**  
CEN Grenoble, CEA.

**Laboratoire effectuant la recherche :**

LETI,  
BP 85 Centre de Tri,  
38041 Grenoble Cedex,  
Tél. (76) 97.41.11.

Contrat DGRST n° 72.70.088.

## ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN DISPOSITIF A TRANSFERT DE CHARGES (DTC) EN TECHNOLOGIE MOS A L'AIDE DE L'IMPLANTATION IONIQUE,

**M. J. Borel et M. G. Merckel.**

L'objectif de cette recherche était la démonstration de faisabilité, la mesure des performances et la comparaison théorie-expérience, d'un DTC en technologie MOS réalisé en partie à l'aide de l'implantation ionique et la comparaison des performances à celles obtenues pour un DTC-3 phases classique.

Les circuits étudiés comprennent 4 registres dont deux 3 phases (3 bits, 10 bits) et deux 2 phases (5 bits, 15 bits). Ils sont réalisés sur un substrat de type N, de résistivité  $5 \Omega \times \text{cm}$ , d'épaisseur d'oxyde mince 1 000 Å pour les registres 3 phases et 500 Å pour les registres 2 phases.

La distance moyenne inter-électrode est de 2,7  $\mu$  et la surface d'une grille élémentaire de  $20 \times 50 \mu^2$ .

Pour des fréquences de 1 à 300 kHz, on obtient une inefficacité de transfert  $\epsilon \approx 10^{-2}$  sans « fat zero » pour les registres

3 phases. Avec un « fat zero » de 50 on obtient une inefficacité de transfert  $\epsilon \leq 3 \cdot 10^{-3}$  sur ces mêmes registres.

La recherche entreprise a permis progrès considérables au niveau de maîtrise des techniques de gravure et de la compréhension des phénomènes liés à l'implantation ionique oblique. La réalisation du dispositif deux phases est en cours.

**Organisme contractant :**  
CEN Grenoble, CEA.

**Laboratoire effectuant la recherche :**

LETI,  
BP 85 Centre de Tri,  
38041 Grenoble Cedex,  
Tél. (76) 97.41.11.

Contrat DGRST n° 71.7.2853 GR 770.0

## DISPOSITIF D'AFFICHAGE MONOLITHIQUE A CRISTAL LIQUIDE SUR CIRCUIT INTÉGRÉ,

**M. Monnier, F. Gharadjedaghi et J. Robert.**

Les dispositifs d'affichage à cristaux liquides nématiques ne demandent que des tensions de commande réduites : 15 v dans le cas de la diffusion dynamique et la lumière (DSM) et 1,5 à 5 volts dans le cas de la structure « nématique twistée » ou à effet de champ. Ces tensions sont compatibles avec celles utilisées dans les circuits à transistor MOS. L'étude a été portée sur la réalisation d'un circuit monolithique à transistors MOS comportant le même substrat les circuits d'adressage et de mémorisation (registre à décalage) et l'affichage à cristal liquide.

Le programme de recherche a comporté :

- la définition et la description du circuit composé d'un registre à décalage de 35 bits par caractère ;
- la mise au point de technologies particulières nécessitées par le nombre important de niveaux, par la qualité optique de certains états de surface, par les problèmes posés par le scellement de la cellule à cristal liquide ;
- la caractérisation de chaque état technologique ;
- la réalisation d'un ensemble électronique de commande d'un tel dispositif.

Des techniques originales ont donc été étudiées, tels le scellement et l'encapsulation du cristal liquide par soudure et le dépôt de murs d'aluminium de 100 Å de haut. Des résultats concernant la compatibilité du cristal liquide avec le circuit intégré, sur l'efficacité optique du dispositif ont été obtenus.

La grande complexité de ce dispositif conduit à un rendement technologique faible. Il semble plus intéressant de réaliser un circuit monolithique dont les caractéristiques seraient définies par 7 segments et le programme mémoire et d'adressage par deux transistors MOS seulement.

**Organisme contractant :**  
CEN Grenoble, CEA.

**Laboratoire effectuant la recherche :**

LETI,  
BP 85 Centre de Tri,  
38041 Grenoble Cedex,  
Tél. (76) 97.41.11.

Contrat CRI n° 72.

# NOUVEAUTÉS TECHNIQUES

## ARRANGEMENT LOGIQUE PROGRAMMABLE

### Intel modèle PLA 15900

Réalisé en technologie SSI (Silicium sur substrat isolant) ce dispositif est destiné au calcul de sommes à partir d'une fonction s'y trouve inscrite (programme). Il comporte 128 lignes de 46 colonnes et peut fonctionner jusqu'à 15 MHz.



Les équations sont écrites comme des termes de produits et chaque terme du produit occupe une ligne.

Ce dispositif permet dans certains cas de réduire de manière considérable le nombre de composants constituant des circuits logiques, ainsi un seul boîtier Intel 15900 s'avère nécessaire pour le rôle d'un système à 22 variables exprimé sous la forme d'une somme de 128 produits ; on avait utilisé un système TTL équivalent il aurait fallu employer 400 boîtiers contenant chacun 8 portes.

Notons enfin que la programmation de ce dispositif s'effectue chez le constructeur.

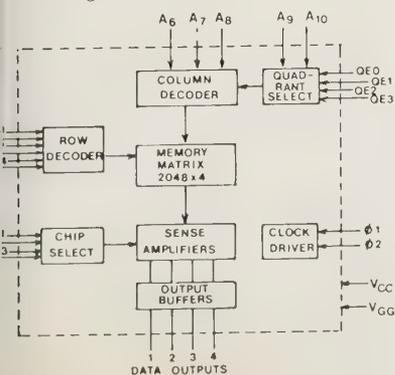
INTEL INTERNATIONAL, PO BOX 6809, Anaheim, California 92803, USA.

Fiche renseignement : inscrivez le n° 151.

## GÉNÉRATEUR STATIQUE DE CARACTÈRES

### General Instruments modèle RO-5-5184

Ce générateur de caractères est constitué d'une mémoire morte de 5184 bits. Chaque caractère est constitué par une matrice de 9 x 9 points. Ce dispositif peut générer jusqu'à 64 caractères. Il comporte tous les circuits de commande pour l'adressage.



RO-5-8192

La sélection des caractères est effectuée par adressage à 6 bits (64 caractères) et la sortie du caractère séquentiellement colonne par colonne sur 9 lignes de sortie.

Le générateur a été conçu de manière à faciliter le couplage avec d'autres générateurs portant la même référence et ceci sans nécessiter de circuits externes (jusqu'à 4 boîtiers = 256 caractères) les sorties étant, en effet, du type déconnectable (tristate).

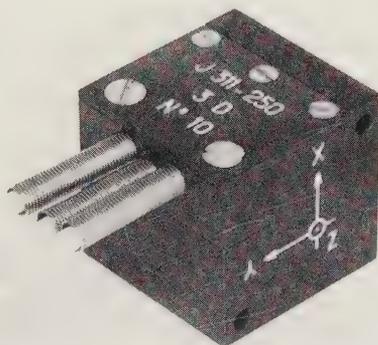
GENERAL INSTRUMENTS, 11-13, rue Gandon, 75013 Paris (tél. 588.74.31).

Fiche renseignement : inscrivez le n° 152.

## ACCÉLÉROMÈTRES TRIAXIAUX

### JPB série J 310 3D

Ce dispositif, dérivé des accéléromètres à grande raideur de la série J 310, permet de prendre en un même point des informations selon 3 axes de référence.



Du type piézorésistif, ces accéléromètres présentent les particularités suivantes :

- alimentation séparée des ponts,
- amortissement sur chaque voie,
- coefficient transverse de l'ordre de 1 %.
- possibilité d'avoir pour chacun des axes des étendues de mesure différentes.

JPB, 11, rue La Pérouse, 78390 Bois-d'Arcy (tél. 460.13.55).

Fiche renseignement : inscrivez le n° 153.

## OSCILLATEURS YIG HYPERFRÉQUENCES

### Philips

Les oscillateurs transistorisés à fréquence accordée par filtre YIG (grenat d'indium et d'yttrium), modèle PM 7020 L et S, délivrent une puissance de 15 mW dans des bandes de fréquence comprises entre 1-2 et 2-4 GHz.

Un amplificateur transistorisé incorporé permet d'augmenter la puissance de sortie et de ne pas utiliser d'isolateur externe.



Le modèle SL 15430 comprend un oscillateur du type Gunn dont la fréquence est accordée par un filtre YIG entre 8 et 10 GHz. La puissance de sortie atteint 5 mW.

L'utilisation de sphères YIG permet d'obtenir une bonne stabilité et une caractéristique de bruit supérieure à celle des oscillateurs commandés par varactors.

La linéarité de ces oscillateurs est de  $\pm 0,25\%$  entre 2 et 4 GHz.

PHILIPS, 105, rue de Paris, 93000 Bobigny (tél. 845.27.09).

Fiche renseignement : inscrivez le n° 154.

## ENSEMBLE IMAGE-PLUMBICON POUR PRISE DE VUES COULEUR

### RTC-La Radiotechnique- Compelec modèle 41 X Q

Cet ensemble est destiné à équiper les caméras couleur de classe radiodiffusion et à faciliter les prises de vues couleur en extérieur.

Ce dispositif comprend un intensificateur d'images couplé par fibres optiques à un tube Plumbicon de 25 mm de diamètre et une unité de déviation comportant également un étage préamplificateur équipé d'un transistor à effet de champ spécial.



Le tube intensificateur d'images possède une photocathode trialcaline de grande sensibilité. Le tube Plumbicon a un canon anticômète permettant de supprimer les effets dus aux suréclaircissements, et une source de lumière de polarisation destinée à éliminer le trainage lors des faibles éclaircissements.

L'encombrement de cet ensemble est identique à celui d'un tube Plumbicon de 30 mm de diamètre associé à son unité de déviation.

Une caméra couleur, équipée de trois ensembles 41 x Q présentera une sensibilité accrue équivalente à un gain d'au moins 2 diaphragmes, des performances d'ensembles correspondant aux normes radio-diffusion, une procédure de mise en œuvre sans modification.

**RTC-LA RADIOTECHNIQUE-COMPELEC**  
130, avenue Ledru-Rollin, 75012 PARIS  
(tél. 354.69.30).

*Fiche renseignement : inscrivez le n° 155.*

## THERMOMÈTRE NUMÉRIQUE

### Hewlett-Packard modèle HP 2802 A

Cet appareil, utilisable avec diverses sondes, est destiné à un usage général. Alimenté par batteries et disposant de sorties analogique et numérique, il trouve sa place dans de nombreuses applications.



#### Caractéristiques :

- affichage : 4 1/2 digits à diodes électroluminescentes;
- 2 gammes de températures : — 200 à + 600 °C (résolution : 0,1 °C), — 100 à + 200 °C (résolution : 0,001 °C);
- précision :  $\pm 0,25\%$  de la lecture  $\pm 0,5$  °C;
- sortie : analogique, numérique (option);
- alimentation : par batterie d'accumulateurs incorporée;
- autonomie : 6 h;
- nombreux types de sonde en option.

**HEWLETT PACKARD FRANCE**, BP 70,  
91401 Orsay (tél. 907.78.25).

*Fiche renseignement : inscrivez le n° 156.*

## FRÉQUENCEMÈTRE NEWPORT LABORATORIES

### Modèle 730

Cet appareil de faible encombrement est caractérisé par un prix et des performances intéressants.



#### Caractéristiques :

- 3 fonctions : fréquencemètre, compteur, chronomètre;
- compteur totalisateur : capacité  $10^6$ ;
- fréquencemètre jusqu'à 50 MHz en 5 gammes avec une ouverture de porte réglable de 1 à 10 ms;
- chronomètre :  $1 \cdot 10^{-3}$  à  $10^7$  s en 5 gammes;
- sensibilité d'entrée : 50 mV<sub>eff</sub> sous 1 M $\Omega$  shunté par 30 pf;
- affichage 6 chiffres à diodes électroluminescentes;
- indicateur de dépassement;
- base de temps à quartz, stabilité :  $2 \cdot 10^{-7}$  °C;
- température de fonctionnement : 0-50 °C;
- alimentation : 110/220 volts  $\pm 10\%$  de 50 à 400 Hz;
- dimensions : 7 x 14 x 18 cm.

**Newport Labs (USA)**, Représentation en France : **EUROTRON**, 7, avenue du Général-Leclerc, 94600 Choisy-le-Roi (tél. 680.54.79).

*Fiche renseignement : inscrivez le n° 157.*

## MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE DE POCHE

### Hewlett-Packard modèle 970 A

De conception originale, ce multimètre numérique se présente sous la forme d'un gros stylo de 45 mm de diamètre, avec une pointe de touche solidaire et orientable. Il peut être manipulé d'une seule main et il est entièrement autonome et automatique. Il est destiné à un usage général. Les caractéristiques de cet appareil lui permettent d'être également employé en téléphonie.



#### Caractéristiques :

- changement de gamme : automatique;
- nombre de mesures : 3 par seconde;
- impédance d'entrée : 10 M $\Omega$ ;
- dépassement : 10% maximum;
- protection contre les surtensions : 1 000 V crête;
- alimentation : par batteries rechargeables (autonomie : 14 h);
- affichage : 3 1/2 digits par diodes électroluminescentes. Deux présentations de valeurs mesurées sont possibles selon que le multimètre se trouve orienté vers le haut ou vers le bas;
- mesures : tensions continues, tensions alternatives, résistances, courants continus et alternatifs (avec adaptateur spécial);
- tensions continues : 100 mV pleine échelle à 500 V pleine échelle (précision 0,9%);
- tensions alternatives : 100 mV eff pleine échelle à 500 V eff pleine échelle (précision : 5% dans le cas le plus défavorable, gamme de fréquence 45 Hz à 3,5 kHz);
- résistance : de 1 k $\Omega$  pleine échelle à 10 M $\Omega$  pleine échelle (précision 1,7%);
- dimensions : 45 x 30 x 165 mm;
- poids : 200 g.

**HEWLETT PACKARD FRANCE**, BP 91404 Orsay (tél. 907.78.45).

*Fiche renseignement : inscrivez le n° 158.*

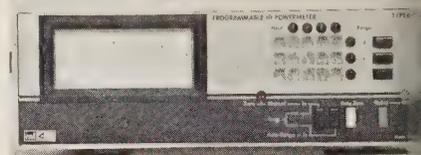
## MESUREUR DE PUISSANCE PROGRAMMABLE

### Marconi-Sanders modèle 6550 A

Cet appareil utilise des têtes du type « tft » (thin film thermoelectric : film mince thermoélectrique) qui permettent d'obtenir une précision élevée et une gamme de fréquence très large. Ces têtes fabriquées sous licence de la Société « General Microwave », peuvent être de deux types :

- type 6420 : série standard;
- type 6430 : série miniature à haute sensibilité, à grande stabilité thermique et à bruit réduit.

Le changement de gamme est soit manuel, soit automatique, soit programmable (code BCD 1-2-4-8). Des sorties analogiques sont prévues et peuvent alimenter un enregistreur analogique.



#### Caractéristiques :

- Gammes de puissance : les gammes de puissance indiquées sont obtenues avec des têtes coaxiales « tft ».

Selon les têtes, on obtient les groupes suivants :

- 0,01 à 1 mW (— 20 à 0 dBm);
- 0,1 à 10 mW (— 10 à + 10 dBm);
- 1 à 100 mW (0 à + 20 dBm);
- 100 mW à 3 W (+ 20 à + 35 dBm);
- Fréquence : la bande passante pour les têtes « tft » coaxiales est de 10 MHz à 12,4 GHz. Des versions spéciales « tft » permettent des mesures à partir de 10 MHz. D'autre part, des têtes « tft » spéciales contenues dans des guides d'ondes permettent d'atteindre 40 GHz.
- Changement de gamme : manuel, programmable (BCD 1-2-4-8, compatible TTL), automatique (option).
- Zéro : manuel ou automatique (option).
- Précision :  $\pm 2\%$  sur l'indicateur analogique incorporé,  $\pm 0,5\%$  sur la sortie analogique (+ 10 à + 50 °C).
- Coefficient de température de l'appareil :  $10^{-3}$  à  $5 \cdot 10^{-3}$  selon les gammes.
- Indicateur : analogique.
- Alimentation : réseau 240 V (45 à 400 Hz).

**MARCONI INSTRUMENTS**, 32, avenue des Écoles, 91600 Savigny-sur-Orge (tél. 921.93.86).

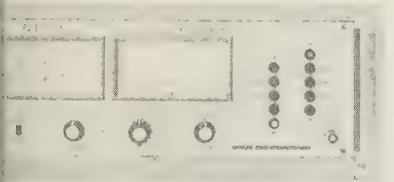
*Fiche renseignement : inscrivez le n° 159.*

## STUOMÈTRE

## Le modèle ME 105

Cet appareil sert à la mesure des fluctuations de vitesse dans les systèmes enregistreurs et reproducteurs de son ou de vidéos analogiques utilisant un entraînement mécanique (tourne-disques, magnéto-cinéma, projecteurs de cinéma, etc.).

Le principe de la mesure est simple : une fréquence étalon normalisée de 3 150 Hz est mesurée ou non par l'appareil ME 105, enregistrée sur le support de son. A la lecture, comme à l'enregistrement, les variations de vitesse du support dues aux irrégularités mécaniques se traduisent par des variations de fréquence qui sont mesurées et indiquées sur les indicateurs du ME 105 sous la forme de  $\%$ . Les variations lentes de fréquence sont appelées glissement (drift) et les variations rapides fluctuations (flutter). Les mesures peuvent être pondérées selon les recommandations CEI ou DIN. Cet appareil peut également faire les mesures de fréquence à 10 Hz qui est l'ancienne norme. Notons que l'utilisation d'un filtre extérieur de type 01, permet la localisation immédiate des défauts défilants du système d'entraînement.



**Caractéristiques :**  
Oscillateur à quartz, 3 150 et 3 000 Hz ;  
Tension d'étalonnage : 1 V<sub>eff</sub> sur BNC sous 600  $\Omega$  et 10 mV sur la borne phono sous 10 k $\Omega$  ;  
Etalonnage :  
Mesure sur 3 000 et 350 Hz commu-

Tension d'entrée : 3 mV à 20 V ;  
Gamme de mesure : glissement :  
 $\pm 0,3\%$  ;  $\pm 1\%$  ;  $\pm 3\%$  ;  
Fluctuations :  $\pm 0,03\%$  ;  $\pm 0,1\%$  ;  
 $\pm 1\%$  ;  $\pm 3\%$  ;  
Circuit de protection contre les surtensions incorporé ;  
Pondération : DIN et CEI ;  
3 sorties : hauteur absolue du ton, impulsions alternatives, valeur de la déviation ;  
Indicateurs à cadran ;  
Alimentation réseau : 110/220 V.

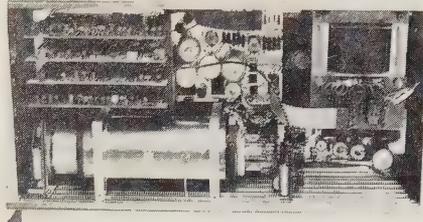
KE. Représentation en France : DIRAC, 10, rue Feydau, 75002 Paris (tél. 236.33.17).

Fiche renseignements : inscrivez le n° 160.

BOITIERS ANALOGIQUES  
à 200 MHzmodèles  
ME 01 et 02

Ces appareils sont construits à partir d'un tube mémoire d'image dans lequel se trouve mémorisée sur une cible, une image issue d'un unique canon à électrons servant à la fois à la lecture, à l'écriture et à l'effacement.  
Le modèle 01 mémorise uniquement une image vidéo. Le modèle 02 acquiert

une image en balayage cavalier et restitue un signal compatible avec le standard des moniteurs de télévision ; il constitue un élément de base essentiel pour réaliser une console de visualisation graphique d'ordinateur en supprimant la tâche de l'entretien de l'image par l'ordinateur et permet également le mélange d'une image vidéo et d'une image synthétique.



## Caractéristiques :

- résolution : 800 lignes de 800 points ;
- lecture : non destructrice ;
- durée de mémorisation : 10 mn min ;
- balayage : indifférent ;
- entrée analogique : 0,1 V sur 50  $\Omega$  ;
- entrée numérique : 0,5 V sur 50  $\Omega$  ;
- entrée balayage :  $\pm 5$  V sur 50  $\Omega$  ;
- haute tension externe de 800 à 1 500 V selon le modèle de tube ;
- entrée synchronisation externe ;
- bande passante à  $\pm 3$  dB de l'amplificateur de lecture-écriture : 0-12 MHz ;
- sorties : numérique ; analogique selon les normes TV sous 0,1 V avec une tension de synchronisation de 0,3 V.

TITN, 28, rue Maurice-Tenine, 94260 Fresnes (tél. 666.83.80).

Fiche renseignements : inscrivez le n° 161.

SYSTÈME DE MESURE  
DE TEMPS DE PROPAGATION  
DE GROUPE

## LEA

Cet ensemble se compose de deux appareils : un émetteur du type MTE 1 et un récepteur du type MTR 1. Le système a particulièrement été étudié pour le contrôle des lignes utilisées pour la transmission de données. Il permet la mesure simultanée du temps de propagation de groupe, de l'affaiblissement, de l'amplitude et de l'écart de fréquence.



## Caractéristiques :

- fréquence de mesure : 200 Hz à 20 kHz ;
- indicateurs de mesure : analogiques à cadran ;

— temps de propagation de groupe : 7 gammes de  $\pm 100 \mu\text{s}$  à  $\pm 10$  ms pleine échelle (précision  $\pm 3\%$  du calibre) ;

— mesure des affaiblissements : 4 gammes de  $\pm 2$  dB à  $\pm 50$  dB pleine échelle (précision :  $\pm 2\%$  du calibre) ;

— écart de fréquence :  $\pm 200$  Hz à  $\pm 20$  kHz pleine échelle (précision  $\pm 2\%$  du calibre) ;

— sortie enregistreur : temps de propagation, affaiblissement, écart de fréquence  $\pm 2,5$  V sur 600  $\Omega$  (pleine déviation) ;

— alimentation réseau : 110/220 V (50 Hz) à commutation automatique.

LEA, 5, rue Jules-Romain, 92500 Rueil-Malmaison (tél. 967.27.85).

Fiche renseignements : inscrivez le n° 162.

COLLOQUES  
ET RÉUNIONSSYMPOSIUM  
SUR LES FONCTIONS DE WALSH,  
Washington, 18-20 mars 1974.

Un symposium, patronné par l'US Naval Research Laboratory et le Groupe « Electromagnetic Compatibility » de l'IEEE se tiendra à l'Université Catholique de Washington au mois de mars et sera probablement le dernier organisé dans cette ville.

Ces fonctions ont été découvertes vers les années 1920 par M. Walsh. Ce sont des fonctions orthogonales dérivant des matrices d'Hadamard qui trouvent des applications dans le domaine de la théorie de la communication. Elles se prêtent bien à l'emploi des méthodes numériques dans le traitement et la production de signal.

Renseignements : CIT Alcatel, P. M. Cardot, BP 6, 91620 La-Ville-Du-Bois (tél. 920.88.90).

5<sup>e</sup> COLLOQUE INTERNATIONAL  
SUR LA RADIO ÉLECTRICITÉ,  
Sofia, 15-19 juin 1974.

Ce colloque est organisé par de nombreuses associations techniques et scientifiques bulgares. Les sujets suivants seront abordés :

— Les systèmes de commutation électroniques et quasi électroniques.

— Les applications des ordinateurs dans la conception et la commande des systèmes radioélectriques.

— Les ondes métriques — applications aux systèmes de relais radioélectriques, à la radio localisation, à la télévision et aux systèmes de multiplexage.

Notons qu'une exposition de matériel est également prévue.

Renseignements : Scientific and Technical Union of Electroengineering, Sofia, Rakovski str. 108, P.O.B. 612, Bulgarie

# LIVRES

## Taschenbuch der Unterhaltungselektronik,

C. REUBER,

*Schiele und Schön*, edit. Berlin 1973, 418 p.

C'est un livre en format de poche (11 × 15,5 cm), présenté sous une couverture plastique. Cette présentation est en elle-même l'indice d'une volonté de faire un livre pratique, d'usage courant. Il est donc destiné à un large milieu de radioélectriciens praticiens qui y chercheront les descriptions des grandes nouveautés des années 1973-1974 et des données pratiques pour leur travail journalier sur des appareils d'une génération moins moderne.

C'est donc un livre dense, varié, contenant énormément d'informations dans le domaine des techniques de radiodiffusion et de télévision vues par l'exploitant du studio mais plus encore par le praticien de la réception et des installations audiovisuelles.

C'est ainsi que 65 pages sont consacrées à la description de tous les modèles de microphones avec leurs caractéristiques externes, mais en restant très élémentaire sur la théorie électromécanique de cet organe.

C'est peut-être un peu long, comparé aux 22 pages qui survolent immédiatement après ce chapitre les divers systèmes de reproduction des images de télévision.

On retrouve ensuite un chapitre plus technologique sur les circuits caractéristiques du récepteur de télévision en couleur en ne faisant référence, bien sûr, qu'au système PAL. Il s'agit de descriptions générales donnant la description des fonctions sans entrer dans les détails.

On retrouve dans le chapitre suivant l'aspect « moderne » de la technique par une description en 40 pages du système vidéodisque de Téléfunken avec un aperçu sur les autres systèmes et du système magnétoscope à cassette VCR avec,

également, quelques descriptions générales très succinctes des autres systèmes d'enregistrement pour grand public.

Un bref chapitre sur les systèmes auto-radio qui sont expérimentés en Allemagne.

Suit un ensemble un peu disparate de chapitres sur la constitution et même une approche de calcul de circuits intégrés analogiques, suivi d'un chapitre très technologique sur la soudure des résistances et autres informations très pratiques pour le radioélectricien.

Les normes de protection, des données pratiques sur quelques circuits logiques, et, à la suite de ces chapitres, un chapitre « moderne » traitant de la très nouvelle technologie des ondes mécaniques de surface et des circuits électromécaniques qui se développent sur ces principes. Certes, c'est la technique de demain et c'est très bien d'en parler. Il est alors surprenant de terminer par un court chapitre sur le développement du disque sonore depuis 1950 et quelques aperçus très succincts sur la quadriphonie.

Reste encore à rappeler la définition du décibel, ce qui semble encore utile et à terminer par un « who is who » qui, curieusement, semble ignorer l'existence de personnalités telles que le Dr Bruch, le père du système PAL et du videodisque et le Pr Theile, le Directeur de l'Institut für Rundfunktechnik. De tels oublis laissent quelques doutes sur l'intérêt des 24 pages de noms terminant ce livre. Mais il s'agit probablement d'un milieu professionnel plus spécialisé.

Notons que les chapitres de cet ouvrage sont rédigés par des personnes différentes qui sont nommées, ce qui explique l'impression de déséquilibre entre ces divers chapitres et l'ordre quelque peu déroutant des sujets traités. Incomplet, certes, souvent descriptif d'une manière excessivement délayée, ce livre a toutefois l'intérêt de la grande variété des sujets traités et des descriptions de certaines techniques très nouvelles. On y trouve un peu de tout, à un niveau technologique très modeste,

mais par là même s'entretient la connaissance technologique du praticien et la présentation très agréable de ce petit livre, certainement utile, souligne cette intention très louable.

## Cours de BASIC. Analyse et programmation,

D. LAUTIER et J. P. LERNER,

*Masson et Cie*, édit., Paris, 1973, 144 p., 32 F.

Le BASIC est un langage évolué simple qui peut rendre de nombreux services aux scientifiques non spécialistes de la programmation des ordinateurs. Il s'apprend en quelques jours, son caractère conversationnel facilite par ailleurs cet apprentissage et rend son utilisation aisée.

L'ouvrage de MM. Lautier et Lerner « Cours de Basic » décrit dans la première partie ce langage. Les notices sur les principales instructions BASIC y sont bien exposées. On peut noter l'orientation quelque peu trop scientifique pour les sous-programmes des fonctions, et l'utilisation des fichiers est donnée de manière peu attrayante.

Les exemples de calcul sont clairs, toutefois celui concernant les chaînes de Markow exige un niveau mathématique élevé et ne s'adresse qu'aux spécialistes du problème.

La seconde partie traite de la simulation et semble trop ambitieuse. En effet, les problèmes d'échantillonnage, de files d'attente et de gestion des stocks ne sont pas des « exercices d'école » mais des problèmes de recherche opérationnelle très complexes et sont absolument insolubles en BASIC.

D'une manière générale cet ouvrage qui nécessite un certain niveau général en mathématiques et en statistique (bien que des rappels de formules y soient mentionnés), est une présentation claire et graduée du BASIC appuyée par de très nombreux exemples et problèmes concrets. Le langage est toutefois un peu trop orienté vers un type de matériel particulier (version Honeywell Bull).

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

# POSTEZ CES CARTES DÈS AUJOURD'HUI pour être documenté gratuitement dans les meilleurs délais



à votre service

pour obtenir toute la documentation désirée, il vous suffit d'inscrire les numéros de références, de les adresser la carte.

N'oubliez pas d'indiquer votre adresse complète et de la rendre lisible.

Les cartes doivent être utilisées dans un délai maximum de 6 mois.

Si vous désirez un supplément supplémentaire, vous pouvez vous abonner à votre adresse personnelle :

Vous pouvez remettre ce bulletin à votre libraire, ou directement à votre éditeur, avec votre paiement à :

return this order to your usual subscription or mail it, with your payment to:

SEISSON et Cie S.A.  
100 Boulevard Saint-Germain  
75000 PARIS CEDEX 06

## E Carte information L'ONDE ELECTRIQUE 1974

Nom et Prénom : \_\_\_\_\_  
 Fonction : \_\_\_\_\_  
 Société ou laboratoire : \_\_\_\_\_  
 Adresse professionnelle N° Rue  
 ou personnelle Code postal Ville Pays  
 Votre spécialisation : \_\_\_\_\_

Veillez me faire adresser dans les meilleurs délais une documentation plus complète sur les produits ou nouveautés portant les numéros suivants :


## E Carte information L'ONDE ELECTRIQUE 1974

Nom et Prénom : \_\_\_\_\_  
 Fonction : \_\_\_\_\_  
 Société ou laboratoire : \_\_\_\_\_  
 Adresse professionnelle N° Rue  
 ou personnelle Code postal Ville Pays  
 Votre spécialisation : \_\_\_\_\_

Veillez me faire adresser dans les meilleurs délais une documentation plus complète sur les produits ou nouveautés portant les numéros suivants :


## E Bulletin d'abonnement

1 AN (1974) 10 NUMÉROS FRANCE 120 F ETRANGER 145 F

Je désire souscrire un abonnement à L'ONDE ÉLECTRIQUE

Nom, prénom / Name, Surname

Organisme / Organization

Adresse / Address

Code postal, ville, pays / City, Zip Code, Country

Je vous règle la somme de \_\_\_\_\_ F par :

Please find enclosed the sum of :

- Mandat
- CCP (599 Paris) joindre les 3 volets
- Chèque / Cheque
- Ordre de virement / Transfer Order
- Mandat postal international / International Postal Order

Date

Signature

Les abonnements sont payables à la souscription / Subscriptions should be paid when entered

Je désire également recevoir des renseignements sur la S.E.E.

# **l'onde électrique** au service de ses lecteurs

Affranchir

## **l'onde électrique**

MASSON et Cie, Éditeurs  
120, Bd Saint-Germain  
75280 PARIS, Cedex 06

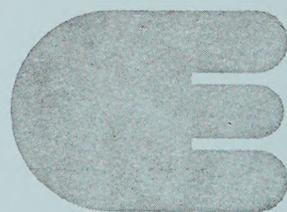
Si  
vous désirez  
des renseignements  
complémentaires  
sur les  
produits annoncés,  
ou sur les  
nouveautés de  
notre documentation  
technique,  
**utilisez**  
**les cartes-réponses**

Affranchir

## **l'onde électrique**

MASSON et Cie, Éditeurs  
120, Bd Saint-Germain  
75280 PARIS, Cedex 06

VOYEZ  
AU RECTO  
LE MODE  
D'EMPLOI



**INFORMATION**

Affranchir

## **l'onde électrique**

*Service Abonnements*  
MASSON et Cie, Éditeurs  
128, Bd Saint-Germain  
75280 PARIS, Cedex 06

Si  
vous désirez  
un abonnement  
supplémentaire  
le bulletin ci-joint  
est à votre  
disposition.



**Les éditions masson & cie  
vous proposent ...**

# **masson sciences**

**bulletin de nouveautés  
3 n° par an**

... Masson-Sciences regroupe les analyses et les indications bibliographiques concernant nos plus récentes publications dans le domaine scientifique.

D'une lecture agréable, la présentation détaillée des ouvrages est accompagnée de leurs fac-similés ou d'illustrations et de croquis. Des informations concernant les collections permettent de mieux situer les livres dans l'ensemble des publications de l'année. On trouve, en outre, dans ce bulletin, l'annonce des prochaines parutions et une documentation utile sur les périodiques pouvant intéresser le monde scientifique.

Masson-Sciences est remis gracieusement aux étudiants, enseignants, techniciens, ingénieurs et chercheurs...

Pour recevoir gratuitement le bulletin Masson-Sciences, il vous suffit de remettre ce bon à votre libraire ou de l'adresser à

**masson et cie**

120 bd St-Germain 75280 Paris Cedex 06

Je souhaite recevoir le bulletin  
Masson-Sciences.

Nom, prénom .....

Adresse .....

.....

Organisme .....

Fonction .....

Nos diodes électro-luminescentes s'adaptent à votre problème particulier

# Des voyants rouges rouges



Les diodes électroluminescentes de R.T.C. ont une durée de vie très supérieure à 100.000 heures, un MTBF de  $2.10^6$ . De forte brillance, résistant aux chocs, compatibles avec les circuits intégrés logiques TTL, faciles à monter, les CQY 24, CQY 46;

CQY 47, CQY 53 de R.T.C. suppriment les problèmes de maintenance. Ainsi R.T.C. améliore la qualité de votre vie professionnelle.

R.T.C. c'est aussi l'optoélectronique



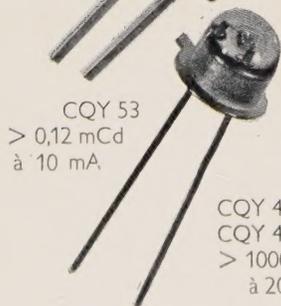
R.T.C. LA RADIIOTECHNIQUE - COMPELEC - 130, av. Ledru-Rollin  
75540 - PARIS CEDEX 11, tél. 357.69.30.



CQY 24  
> 0,5 mCd  
à 20 mA



CQY 46  
CQY 47  
> 1000 Cdm<sup>-2</sup>  
à 20 mA



CQY 53  
> 0,12 mCd  
à 10 mA