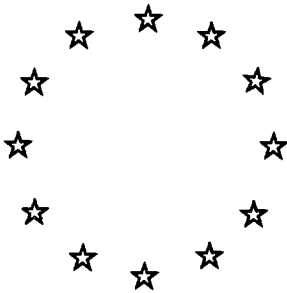




CEI-LETI-RA-1988

PRG00510



DIVISION
leti

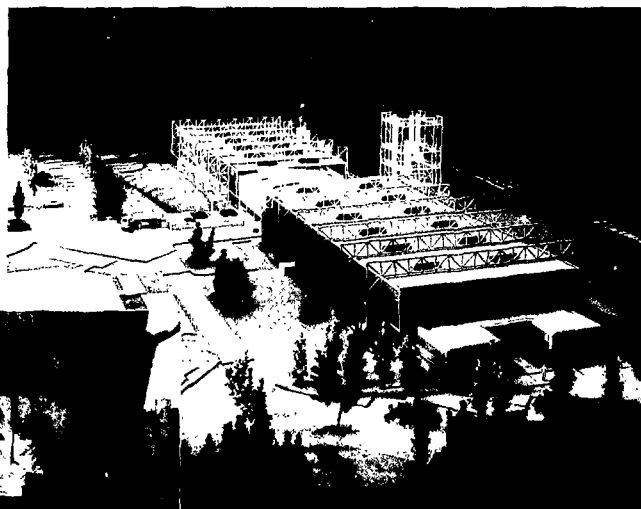
Rapport d'Activité
88

Division d'Electronique de Technologie et d'Instrumentation

RAPPORT D'ACTIVITE 88

Juin 1989

*Départ de la caméra à
émission de positons
pour Caen.*



▲ *La construction des nouvelles installations de
micro-électronique et d'optronique est décidée.*



Signature des accords avec SGS-THOMSON Microelectronics.

Sommaire

Editorial	page 4
Avant propos	5
Activités matériaux et composants	9
Présentation des programmes matériaux et composants	
Programme mémoires silicium non volatiles	
Programme silicium sur isolant	
Programme technologies des circuits intégrés	
Programme atelier expérimental commun	
Programme mémoires de masse	
Programme photodétecteurs	
Programme lasers	
Programme capteurs microniques	
Programme écrans plats	
Actions thématiques matériaux	
Action thématique composants	
Activités instrumentation et systèmes	75
Présentation des programmes instrumentation et systèmes	
Programme instrumentation biologique et médicale	
Programme instrumentation physique	
Programme instrumentation et systèmes industriels	
Programme instrumentation et systèmes nucléaires	
Programme systèmes sûrs	
Services généraux	119
Thèses - Publications - Communications	125

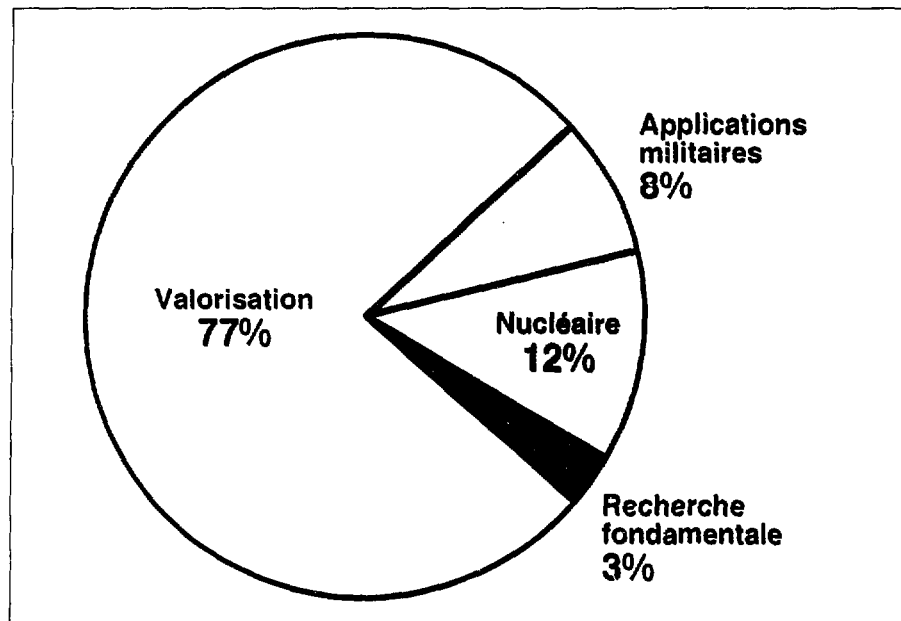
Editorial

Depuis sa création en 1967 la Division LETI était tenue de rendre compte de ses activités et recueillir les avis d'un Conseil d'Orientation Scientifique, le COS, qui se réunissait chaque année au mois de mai. Celui-ci était constitué par les représentants des grandes directions du CEA, des ministères concernés, des grands organismes de recherche et du syndicat professionnel (le GIEL) représentant l'ensemble des industriels du domaine de l'électronique. Afin d'encourager le couplage de la Division LETI avec l'industrie, il a été décidé de faire évoluer la structure de son conseil en accueillant en son sein des industriels avec lesquels il collabore ou pourrait collaborer : les représentants du CEA ne feront plus partie du conseil mais participeront aux débats auprès de la Division LETI.

Que les membres du nouveau CORES, Comité d'Orientation et d'Evaluation pour l'Electronique et les Systèmes, soient remerciés d'avoir accepté notre invitation. Je leur souhaite la bienvenue et notamment à Mr. THERY qui a bien voulu en assurer la présidence.

J. LACOUR

Figure 1
Répartition des activités
de la Division LETI
suivant les grandes
missions du
Commissariat.



N.B. : Ce rapport ne fait état que des résultats appartenant en propre à la Division LETI et de ceux que nos partenaires nous ont permis de publier.

Avant-propos

En introduction au compte-rendu d'activité de 1988, il n'est pas inutile de rappeler brièvement l'identité de la Division LETI.

Position de la Division LETI entre la recherche de base et l'industrie

Dans la chaîne qui va de l'apparition d'une idée jusqu'à son exploitation industrielle il y a schématiquement trois maillons qui correspondent à des métiers différents qui ont chacun leur langage, leurs critères de succès, en un mot, leur propre culture. Très schématiquement la Division LETI occupe le maillon central. Elle doit donc gérer deux interfaces : l'un avec la recherche de base, l'autre avec l'industrie. Le transfert des connaissances tout au long de cette chaîne se fera d'autant mieux que l'on aura su trouver des méthodes de communication efficaces et que les différentes parties, tout en restant elles-mêmes, trouvent avantage à travailler ensemble.

Le transfert de personnes peut faciliter beaucoup l'efficacité du transfert des connaissances. D'une manière générale la constitution d'équipes mixtes est de nature à accroître de façon considérable l'efficacité de ces transferts. Il favorise le retour d'expérience dont on pourra d'autant plus tirer parti que, dans le domaine des techniques de pointe, les générations technologiques se succèdent à un rythme élevé.

■ Avec les équipes de recherche de base (CNRS et universités françaises), la Division LETI a actuellement en vigueur plus de 100 contrats de collaboration.

■ Avec l'industrie il faut distinguer les actions de recherche contractuelles et les actions de transfert de connaissances dans le cadre de contrats de cession de licence.

La Division LETI collabore avec des entreprises de toutes tailles, essentiellement françaises, mais elle s'ouvre systématiquement sur l'Europe depuis plusieurs années.

Le métier de la Division LETI consiste à mener à bien une recherche appliquée pour le compte de l'industrie et à en assurer le bon transfert au niveau industriel.

Ce sont ces objectifs qui conditionnent l'état d'esprit de la Division LETI et de chacun de ses membres. C'est à leur accomplissement que l'on peut juger la Division LETI.

Place de la Division LETI au sein du CEA

La Fig. 1 montre la répartition des activités de la Division LETI suivant les grandes missions du Commissariat. Avec plus de 75 %, la mission de "valorisation" est de loin la plus importante. Il s'agit de valoriser dans l'industrie les ressources humaines et matérielles ainsi que le savoir-faire et les connaissances acquis par le CEA.

Pour travailler avec l'industrie la Division LETI a dû optimiser ses méthodes, son organisation. Cette activité est devenue depuis longtemps un métier spécifique qui se développe selon les impératifs des collaborations avec les partenaires industriels.

Organisation interne de la Division LETI

Pour être efficace, il faut que la Division LETI puisse répondre sans retard aux besoins très variés, parfois ponctuels, émanant d'un grand nombre d'industriels appartenant à des secteurs d'activités différents.

Il lui faut aussi, ce faisant, éviter la dispersion et concentrer ses efforts dans les domaines techniques où il excelle.

Ces deux exigences ont conduit à une organisation bidimensionnelle :

- une organisation opérationnelle très simple constituée de quatre départements dispose de l'ensemble des moyens. Elle a en outre la responsabilité du maintien et du développement des compétences techniques et scientifiques,

- la programmation est assurée par des responsables de lignes de programmes qui sont chargés de faire l'adéquation entre les ressources internes de la Division LETI et les besoins du marché. Chaque affaire contractuelle est suivie par un chef de projet. Dans le cadre d'un budget préalable, celui-ci est chargé de mener à bien l'étude en faisant appel aux ressources mises à sa disposition par les différents départements,

Ce dispositif permet un bon contrôle à court terme de la Division LETI. Il fallait en plus mettre au point une organisation particulière pour établir un plan à moyen terme (5 ans) qui prenne le plus en compte les idées nouvelles (propositions de chercheurs) qu'il faut placer dans le cadre des possibilités futures pour les mener à bien.

Les moyens

Ressources humaines

La Division LETI dispose de 830 agents auxquels il faut ajouter 70 agents de l'industrie et 50 thésards et stagiaires de haut niveau, ce qui permet d'établir un contact efficace aussi bien avec l'amont qu'avec l'aval.

On constate que 30 agents en moyenne quittent la Division LETI chaque année, essentiellement pour poursuivre leur carrière dans l'industrie. Certains d'entre eux quittent la Division LETI pour participer à la création d'une entreprise découlant d'une recherche menée à la Division LETI ou pour créer leur propre entreprise. Actuellement plusieurs projets de création sont à l'étude.

Locaux

La Division LETI dispose aujourd'hui de plus de 25 000 m² de laboratoires. Compte tenu de l'activité dans le domaine des technologies de pointe, l'investissement principal, pour rester compétitif, a été consacré aux salles blanches.

Partant de 250 m² de salles de classe 1000 en 1978 il a fallu pour le laboratoire INFRAROUGE construire de 1979 à 1984 plus de 1000 m² supplémentaires. A partir de 1984 l'activité micro-électronique silicium avec THOMSON SC puis avec SGS-THOMSON ainsi que l'activité magnétique ont nécessité la construction de plus de 2500 m² de salles de classe 100 et 10 dans le centre de micro-électronique (Bât. 40).

Enfin pour contribuer au programme européen JESSI qui vise à maîtriser des technologies 0,3 μm dans les huit années à venir, la construction de nouvelles installations avec l'aide du ministère de l'industrie comprenant 2500 m² de salles blanches a été décidée en 1988 et donnera à la Division LETI une position unique en Europe en 1990.

Budgets

La dépense totale, hors nouveau bâtiment et frais généraux, s'est élevée en 1988 à 634 MF. HT. se répartissant comme suit :

- Main d'œuvre 36,6 %
- Fonctionnement 43,2 %
- Investissement 20,2 %

Produits et métier de la Division LETI

Les compétences de base de la Division LETI peuvent schématiquement se répartir en deux grands domaines :

■ l'un concerne les technologies d'élaboration des matériaux et les procédés technologiques de base qui font la Division LETI une grande centrale technologique opérationnelle pour assembler des filières et développer des composants destinés à la plupart des secteurs de pointe : CIRCUITS INTEGRÉS SILICIUM, INFRAROUGE, ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE, CAPTEURS, ECRANS PLATS...

■ l'autre concerne l'acquisition de données en provenance de phénomènes physiques variés : Rayonnement X, Rayonnement γ , Positons, Résonance Magnétique Nucléaire, Photons dans le visible et l'infrarouge, etc. souvent sous forme d'images ou de pseudo-images.

L'algorithme de reconstruction, le traitement, la reconnaissance de formes, l'utilisation de l'intelligence artificielle, permettent l'intégration de grands systèmes électroniques performants dans les secteurs tels que l'IMAGERIE MÉDICALE, la PRODUCTIQUE, la ROBOTIQUE, le NUCLEAIRE.

Un effort important est actuellement entrepris pour que ces deux grands secteurs de compétence de la Division LETI soient le plus possible valorisés d'une manière complémentaire dans le cadre de grands projets.

Les produits de la Division LETI

La Division LETI peut transférer le produit de sa recherche à l'industrie à des niveaux d'avancement très variés suivant les sujets. Aucune règle rigide n'a été définie afin de pouvoir s'adapter aux besoins et aux contraintes du client :

- on peut par exemple vendre le produit d'une recherche sous la forme d'un dossier contenant uniquement des résultats préliminaires et sans aucun accompagnement,
- on peut à l'inverse être amené à pousser jusqu'à la réalisation de prototypes industriels qui sont vendus à l'utilisateur final,
- on peut enfin dans le cadre d'un processus de transfert continu avec un industriel servir de relais intermédiaire entre la recherche fondamentale et l'industrialisation.

La Division LETI répartit moitié-moitié son activité entre recherche proprement dite et transfert à l'industrie. Celui-ci le plus souvent se fait d'une manière bilatérale. Depuis quelques

années, des actions coopératives avec plusieurs industriels ont été développées. Ceci est possible si le programme se situe au niveau PRECOMPETITIF.

Politique de propriété industrielle

Il est indispensable que tout transfert de connaissance à un industriel s'accompagne, dans le cadre du contrat de cession de licence, d'un solide portefeuille de brevets qui le garantira de la concurrence : c'est pourquoi, une politique de dépôts de brevets très volontariste est menée (Fig. 2). Actuellement 60 brevets par an sont déposés et une croissance à court terme est prévue. Le portefeuille de brevets est important et le nombre de brevets ayant fait l'objet d'une cession de licence peut être considéré comme honorable (121 sur 206).

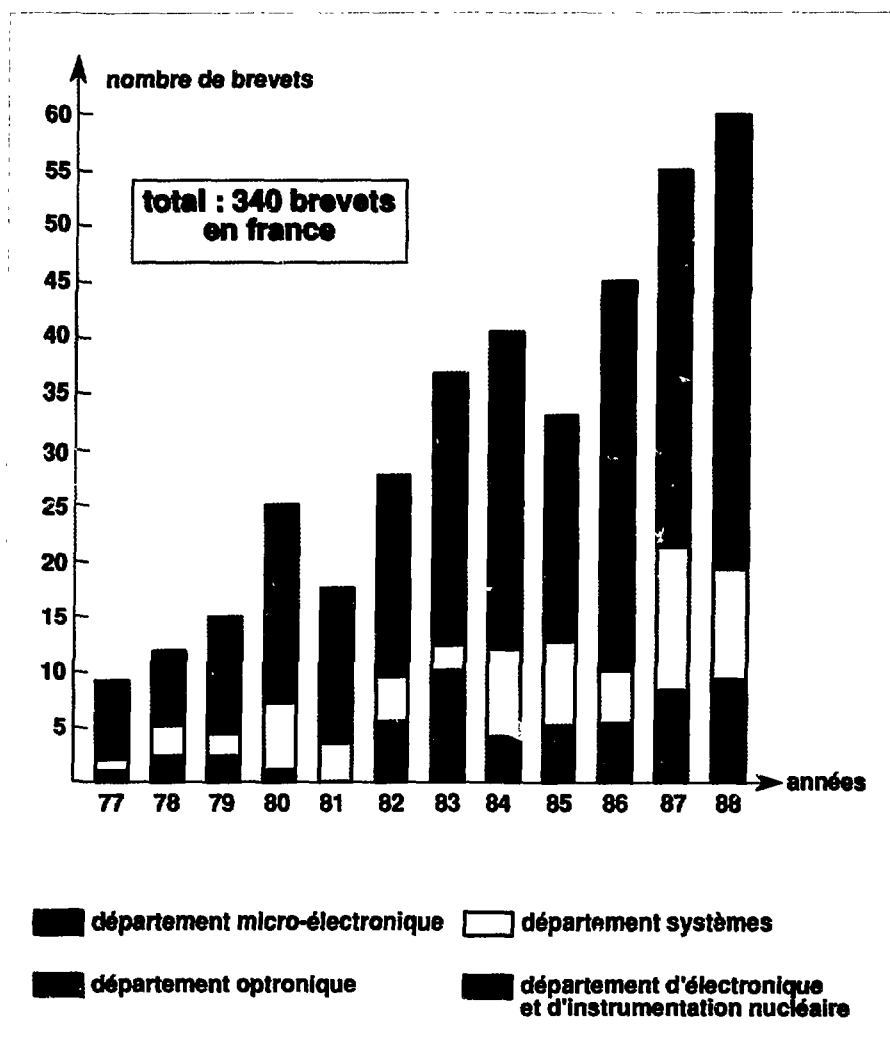


Figure 2
Nombre de brevets de la
Division LETI en
France par année
d'origine et par
département.

Activités matériaux et composants

Présentation des programmes matériaux et composants	page 10
Programme mémoires silicium non volatiles	14
Programme silicium sur isolant	21
Programme technologies des circuits intégrés	29
Programme atelier expérimental commun	35
Programme mémoires de masse	40
Programme photodétecteurs	45
Programme lasers	52
Programme capteurs microniques	55
Programme écrans plats	60
Actions thématiques matériaux	64
Action thématique composants	73

Présentation des programmes matériaux et composants

L'orientation générale des programmes de ce secteur n'a pas subi de modifications majeures en 1988. En ce qui concerne les lignes de programme, on notera seulement que le programme Circuits Intégrés Silicium, très lourd, a été scindé en deux parties : Mémoires Silicium non Volatiles (Responsable J. HARTMANN), et Technologies des Circuits Intégrés (Responsable P. JEUCH). Cela est indiqué sur le tableau (Fig. 3).

L'année écoulée a été marquée par la dimension européenne, conduisant la Division LETI à s'impliquer à tous les niveaux pour préparer le moyen terme européen. En effet, les grands programmes se mettent en place et, parmi eux, JESSI se distingue par son ampleur : l'accord de principe signé entre PHILIPS, SIEMENS et SGS-THOMSON prévoit le démarrage en janvier 1989 d'un programme de 26 milliards de francs sur 8 ans devant conduire à la production de mémoires en technologies 0,5 puis 0,3 μm . La participation active de la Division LETI parmi les équipes chargées de définir et d'animer le programme JESSI est déjà acquise et entraînera une contribution de fait importante de la Division LETI dans ces programmes. Ce projet va conforter le programme micro-électronique silicium de la Division LETI et favoriser le développement des autres lignes de programme micro-électronique et optronique : Mémoires de Masse, Photodétecteurs, Capteurs, Lasers, Ecrans Plats.

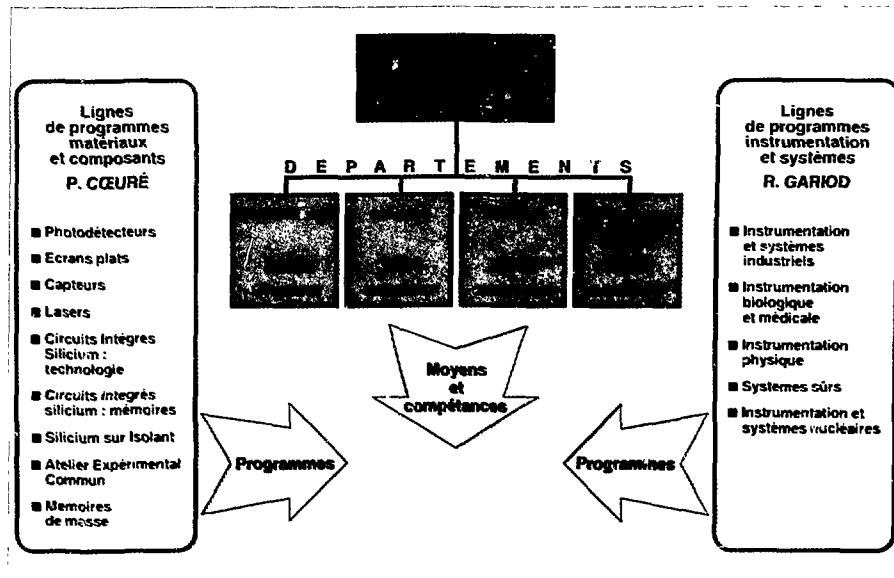


Figure 3
Organisation de la
Division LETI.

La mise en chantier d'une extension du centre de micro-électronique (bâtiment 41), les accords passés en 1988 avec SGS-THOMSON d'une part, avec la Branche Composants Spéciaux de THOMSON d'autre part, et enfin l'accord de licence signé entre SOFRADIR et AEG-TELEFUNKEN montrent que nous sommes sur la bonne voie et que nos atouts sont importants.

Faits marquants de l'année 1988

Infrarouge - IRCCD

Le transfert des technologies Infrarouge de la Division LETI vers SOFRADIR s'est achevé en 1988 dans d'excellentes conditions. Il comprenait trois volets :

- Technologie photovoltaïque HgCdTe pour les gammes de longueur d'onde 3-5 μm et 8-12 μm
- Fabrication de couches minces HgCdTe par épitaxie en phase liquide
- Technologie d'hybridation par plots métalliques.

L'accord de licence signé entre SOFRADIR et AEG-TELEFUNKEN, et l'intérêt manifesté par des compagnies américaines démontrent la compétitivité de la Division LETI dans ce domaine.

Signature d'un accord avec THOMSON TMS pour la mise au point d'une filière CCD pour applications dans le visible et l'infrarouge.

En 1988, les règles de dessins provisoires pour des dimensions minimales de 1,5 μm et l'empilement technologique ont été définis.

Micro-électronique Silicium

Mémoires et Technologies des circuits intégrés

L'année 1988 a été marquée par le démarrage du programme de Recherche et Développement pour la Société SGS-THOMSON et la signature d'un accord de principe entre SGS-THOMSON, PHILIPS et SIEMENS pour commencer le programme JESSI (Joint European Submicron Silicon Initiative) dès janvier 1989. Au niveau technologique, des progrès sensibles ont été faits pour valider des dessins de cellules mémoires EPROM. Rappelons que l'objectif est de réaliser des mémoires de 16 Mbit avec des géométries élémentaires de 0,5 μm .

Silicium sur Isolant

L'année 1988 a débuté par la mise en place du programme de collaboration entre le CEA/Division LETI et THOMSON TMS sur les filières CMOS/SOI. Cette action pluriannuelle prévoit le transfert depuis la Division LETI vers TMS d'une filière HSOI3R (CMOS/SOI) à largeur de traits de 1,25 μm fin 1989 et d'une filière HSOI4R (largeur de trait de 0,8 μm) fin 1991. L'année 1988 a vu la réalisation de nombreux lots d'études et de circuits tels que micro-processeurs 16 bit 29 C101, mémoires statiques 16 Kbit.

Des résultats très encourageants ont été obtenus au niveau de ces mémoires puisque des temps d'accès de 11 ns ont été mesurés, ce qui constitue une nette amélioration par rapport à la même technologie sur silicium massif.

De même, dans le cadre de la collaboration avec le CEA/DAM des résultats très intéressants de durcissement des composants ont été obtenus.

Atelier Expérimental Commun

Le travail effectué en 1988 consistait en une étude de faisabilité du WAFEC (Wafer Air Flow Environment Container).

On rappelle que l'idée de base est d'assurer le confinement des plaques dans un environnement ultra-propre et ceci durant toute la vie de la plaque dans la chaîne de fabrication ; ce qui signifie pendant le stockage, pendant le transport d'un équipement à un autre, et même jusqu'au réacteur à l'intérieur de l'équipement.

L'ergonomie de ce nouveau concept a été démontrée sur des maquettes appropriées.

Des maquettes des différents sous-ensembles du WAFEC ont été réalisées en vue d'une évaluation en vraie grandeur dans l'Atelier Technologique de la Division LETI.

Les Sociétés SGN, NEU SOFRAIR, SGS-THOMSON et CEA/Division LETI collaborent à ce projet soutenu par le Ministère de l'Industrie.

Mémoires de masse

La Division LETI mène depuis deux ans en collaboration avec la Société THOMSON-LCC un projet de développement sur les têtes magnétiques intégrées sur tranches de silicium.

Cette approche originale conduit à des performances supérieures et à des coûts réduits en raison de l'utilisation des technologies de la VLSI.

Des prototypes opérationnels ont été fabriqués et testés avec succès en 1988. Les performances atteintes permettent de prévoir que l'année 1989 sera marquée par une phase de stabilisation de la technologie suivie d'une phase d'échantillonnage client par le partenaire industriel.

Capteurs

Industrialisation des premiers capteurs en technologie optique intégrée sur silicium

La société CSO (Compagnie des Senseurs Optiques) qui avait été créée en 1987 pour industrialiser un interféromètre optique intégré développé par la Division LETI, a pu livrer en 1988 ses premiers produits industriels.

Un capteur de déplacement d'une résolution de 0,1 μm , incorporant l'interféromètre CSO a notamment été présenté pour la première fois par la Société ROCH à l'exposition Microtechnique 88 de Zurich.

Signature avec SFENA d'un accord de licence concernant des micro-accéléromètres en quartz

Les moyens de production de l'accéléromètre ont été mis en place à la SFENA et les premiers produits industriels ont pu être échantillonnés.

Lasers

Un laser à LNA pompé par diodes GaAlAs a été réalisé. Ce laser, monomode transverse et longitudinal utilise la longueur d'onde de 1,083 μm du LNA. Utilisé à la Division LETI pour polariser des atomes d'hélium, c'est le premier élément d'un nouveau magnétomètre.

Ecrans plats

Signature d'un accord avec VIDÉOCOLOR établissant une collaboration destinée à mettre au point des Ecrans Plats Fluorescents à Micropointes (EFM) en couleur pour des marchés grand public et démarrage du programme correspondant.

Prix Foucault

Le prix Foucault, décerné par la Société Française de Physique pour un travail de physique appliquée, a été attribué à Gérard DESTEFANIS (DOPT/SLIR) pour ses travaux de recherche sur le matériau $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$.

Programme mémoires silicium non volatiles

Introduction

L'objectif principal de cette ligne de programme est le développement d'une technologie EPROM permettant la réalisation d'une mémoire de capacité 16 Mbit, dans le cadre du "JOINT PROGRAM" entre CEA/Division LETI et la société SGS-THOMSON MICROELECTRONICS. Il est également annoncé par cette société comme un des grands objectifs à atteindre dans le cadre du programme JESSI Technologie.

Les grandes étapes de ce programme sont :

■ étude des briques de base technologiques :	1988-1989
■ assemblage de la technologie concrétisé par une démonstration de faisabilité sur véhicule :	décembre 1989
■ définition des règles de dessin objectives 0,6 μm :	décembre 1989
■ premier silicium de la mémoire 16 Mbit avec règles 0,6 μm :	décembre 1990
■ définition des règles de dessin objectives 0,5 μm :	mars 1991
■ premier silicium de la mémoire 16 Mbit avec règles 0,5 μm :	décembre 1991

Plus précisément, les activités technologiques de la Division LETI en 1988 ont porté sur l'étude de la cellule EPROM en damier (encore appelée Checker Board ou SPEAR) et sur les briques de base associées. L'objectif était d'apporter à la fin de l'année une réponse sur la validité de ce concept de point mémoire, avant d'entreprendre la phase d'assemblage complet de la technologie.

Etude du point mémoire Checker Board

Cette cellule proposée par Texas Instruments en 1986 (Fig. 4) permet en effet potentiellement d'obtenir la taille de cellule la plus petite, puisqu'une cellule élémentaire est déterminée par l'intersection d'une ligne de mot (Word Line) et d'une ligne de bit (Bit Line). Cette dernière est dans ce cas réalisée en diffusion N^+ auto-alignée par des bandes de silicium polycristallin. La surface minimum d'une cellule mémoire EPROM est alors donnée par le produit du pas du réseau de bandes de polycristallin n° 1 (poly 1) (pitch bit line) et par le pas du réseau de bandes de polycristallin n° 2 (poly 2) (pitch word line).

Cette surface minimum n'est en fait que théorique car même si ce type de cellule est sans contact, il est toujours nécessaire de reprendre des contacts de bit ligne (au moins toutes les 16 cellules) et qu'en conséquence, le pas en X de la cellule est limité par le pas du métal et non par le pas du poly 1.

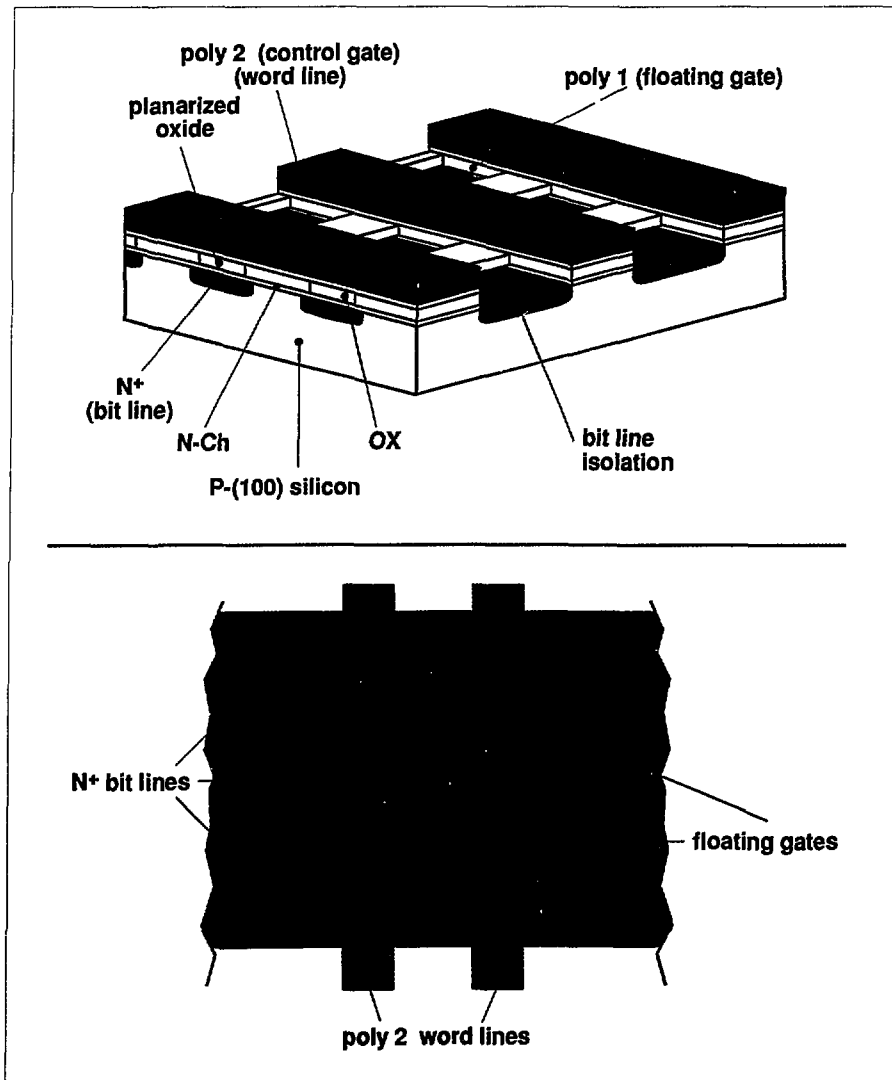


Figure 4
Cellule mémoire -
Checker board.

Au niveau adressage, ce type de point mémoire peut être considéré de deux façons : Full Checker Board ou Half Checker Board. Dans le cas Full Checker Board, la cellule est totalement symétrique et pour l'adresser, il est nécessaire de décoder à la fois la Source et le Drain de la cellule (c'est la solution adoptée par Texas Instruments dans la mémoire EPROM 1 Mbit à cellule SPEAR).

Dans le cas Half Checker Board, un point mémoire est formé de deux cellules Checker Board. Dans ce cas, il est possible, comme dans le cas des cellules classiques, d'identifier la source et le drain de chaque point mémoire puisque la symétrie est rompue.

La surface de ce type de point mémoire est alors définie par le produit du pas du poly 2 par le double du pas du poly 1. Dans ce cas le pas du métal n'est pas limitatif, mais la surface du point mémoire est plus importante que dans le cas de la cellule Full Checker Board.

L'assemblage technologique de ce type de point mémoire est spécifique et comporte les particularités suivantes par rapport à une cellule classique :

- Pas d'isolement LOCOS dans le plan mémoire.
- Isolation entre lignes de bit par oxyde déposé planarisé.
- Siliciuration des lignes de bit N⁺ pour minimiser le nombre des reprises de contacts de lignes de bit.
- Faible facteur de couplage de la cellule (facteur de couplage = 0,5) car la capacité poly 1/bulk est sensiblement égale à la capacité poly 2 / poly 1.

Les études des différents modules technologiques ont permis l'assemblage de deux lots de cellules Checker Board.

A l'issue de leur caractérisation, les conclusions suivantes ont pu être tirées :

- Le faible facteur de couplage des cellules Checker Board ou Half Checker Board pénalise fortement les caractéristiques de programmation de la cellule : temps de programmation 2 à 3 ordres de grandeur plus important qu'avec une cellule avec facteur de couplage normal.

- Le phénomène de "turn-on" (couplage parasite de la grille flottante avec le drain de la cellule) est en conséquence plus important et induit des courants de fuite de ligne de bit significatifs, liés au courant de drain des cellules non programmées mais se trouvant sur la même ligne de bit que la cellule programmée. Ces courants sont générés par la tension qui apparaît sur la grille flottante de ces cellules au cours de la programmation d'une ou des cellules adjacentes.

- Pour réduire sensiblement ce "turn-on" qui contribue aussi à réduire l'efficacité de programmation d'une cellule, il faudrait augmenter la dose d'implantation d'ajustement de seuil de la cellule mémoire. Mais à l'inverse, dans ce cas, le courant de lecture des cellules effacées deviendrait beaucoup trop faible. Ce dernier point sera vérifié sur le deuxième lot Checker Board en cours de process.

Le point mémoire classique étant plus important en surface, les actions technologiques portent sur :

- la lithographie et la gravure plasma pour lesquels les dimensions critiques sont plus faibles que dans le cas du Checker Board,
- le remplissage des contacts par réalisation de "plugs" en tungstène de manière à réduire la distance contact-grille,
- l'étude de procédés d'auto-alignement des contacts par rapport à la grille de telle sorte que le pas en Y de la cellule soit réduit au minimum.

Etude des modules technologiques

Pour réaliser les cellules en damier, les études technologiques ont porté sur les modules suivants :

- isolation de champ,

- diélectrique interpoly,
- planarisation entre lignes de bit,
- fluage, activation des jonctions,
- lithographie,
- gravure plasma.

Isolation de champ

Le cahier des charges du thème isolation de champ comporte 3 spécifications précises :

- obtention d'un bec d'oiseau $\leq 0,2 \mu\text{m}$
- pente de la marche de l'oxyde champ fini $\leq 60^\circ$
- tenue en tension des MOS parasites poly $\approx 13 \text{ V}$

Le premier point est nécessaire pour diminuer le pas du niveau zones actives.

Le deuxième est indispensable pour éviter tout problème de formation de liserets au pied des marches d'oxyde de champ lors de la gravure du poly 1.

Le troisième est dû au fait qu'une technologie EPROM est une technologie haute tension et que dans notre cas la tension de programmation sera comprise entre 10 V et 12 V.

Pour satisfaire le premier point, nous nous sommes rapidement orientés vers le procédé SILO par Nitruration qui permet d'obtenir un bec d'oiseau d'environ $0,15 \mu\text{m}$.

Pour répondre au deuxième point, il a fallu modifier le procédé classique d'élimination chimique du sandwich oxyde-nitride-oxyde et développer un procédé de gravure sèche.

De plus, pour réduire la topographie du circuit, nous avons développé un procédé d'isolation de champ permettant d'enterrer partiellement l'oxyde (topographie résiduelle $2000 \text{ \AA}$) appelé SUPERSILO.

Enfin, le troisième point fait l'objet d'optimisation de conditions d'implantations de bore (isolation substrat) sur des lots électriques.

La figure 5 illustre le résultat topographique obtenu avec le procédé SUPERSILO.

Diélectrique interpoly

L'objectif de cette étude consiste à mettre au point un isolant interpoly d'épaisseur équivalente SiO_2 de 20 nm répondant aux critères suivants :

- champ de claquage d'au moins 10 MV/cm ,
- hauteur de barrière aussi haute que possible ($\geq 2 \text{ eV}$),
- charge cumulée au claquage (QBD) aussi élevée que possible ($\text{QBD} > 10 \text{ mC/cm}^2$),
- durée de mémorisation compatible avec les spécifications des produits EPROM : $\text{TGL Vt} < 50 \text{ mV}$ après 1000 h à 250°C .

L'étude a porté dans un premier temps sur 4 axes principaux :

- influence de la température de dépôt et du mode de dopage de la première couche de silicium polycristallin,
- influence des conditions d'oxydation du premier oxyde du tricouche oxyde-nitride-oxyde

- influence de l'épaisseur de la couche de nitrure,
- influence de l'épaisseur de la réoxydation du nitrure.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec du silicium polycristallin dopé phosphore par implantation ionique, puis avec du silicium amorphe dopé *in situ*.

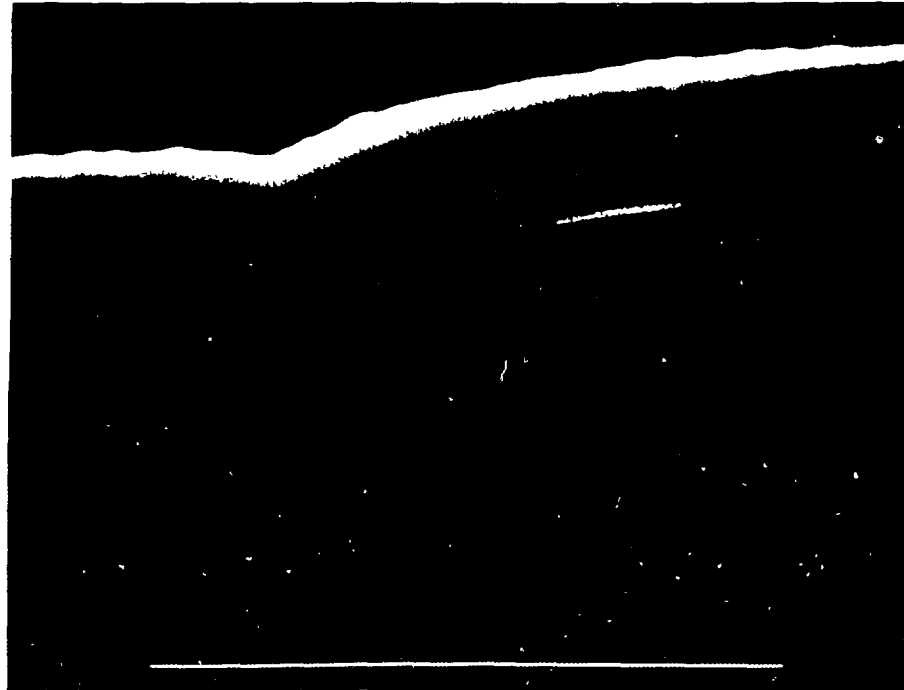


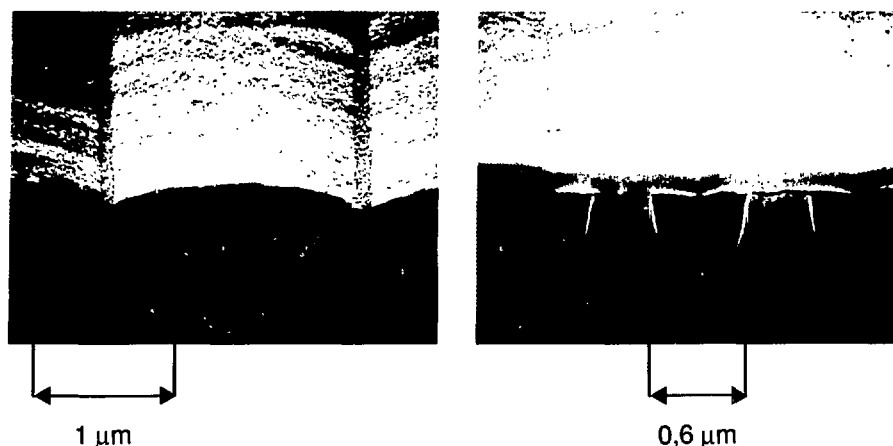
Figure 5
Observation en coupe
par microscopie
électronique à balayage
de la structure
"SUPERSILO" après
gravure des couches de
marquage
(bec d'oiseau : 0,1 μm).

Planarisation

L'objectif de cette étude consistait dans le cadre de l'étude des cellules Checker Board à mettre au point un procédé de planarisation de l'isolant entre bit line et word line. En effet, les cellules Checker Board ne possédant pas d'isolement par LOCOS et les jonctions de lignes de bits étant réalisées en milieu de procédé, il était indispensable de trouver un procédé de dépôt à relativement basse température qui évite donc la redistribution des dopants. Ce matériau devrait aussi être gravé pleine tranche et planarisé après dépôt de façon à ne laisser de l'isolant qu'au-dessus des bit line et permettre à la ligne de mot de bit de venir contacter la grille flottante surmontée de son diélectrique interpoly.

Cette planarisation a été obtenue avec succès grâce à l'utilisation d'un dépôt d'oxyde épais ($> 1 \mu\text{m}$) suivi d'une gravure pleine tranche (sans masque de résine) qui permet de remplir des espaces entre motifs allant de 0,5 à 1,2 μm de dimension (Fig. 6).

*Figure 6
Planarisation des
cellules mémoire
checker board avec
réalisation d'espaces
d'oxyde TEOS suivis
d'un dépôt de verre
dopé au bore (BSG).*



Fluage-activation des jonctions

Pour réduire la topographie du circuit avant les étapes de réalisation des contacts et des métallisations, nous avons remplacé l'ancien isolant entre poly 2 et métal en verre dopé phosphore par un verre dopé bore et phosphore (BPSG) qui permet, à traitement thermique identique, de mieux planariser le circuit.

Ce procédé de dépôt a été associé à un procédé de fluage rapide par lampe (RTA) permettant de conjuguer l'activation des dopants et le fluage du BPSG tout en assurant une profondeur de jonctions N⁺ et P⁺ minimum ($x_j \text{ N}^+ = 0.2 \mu\text{m}$ et $x_j \text{ P}^+ = 0.3 \mu\text{m}$).

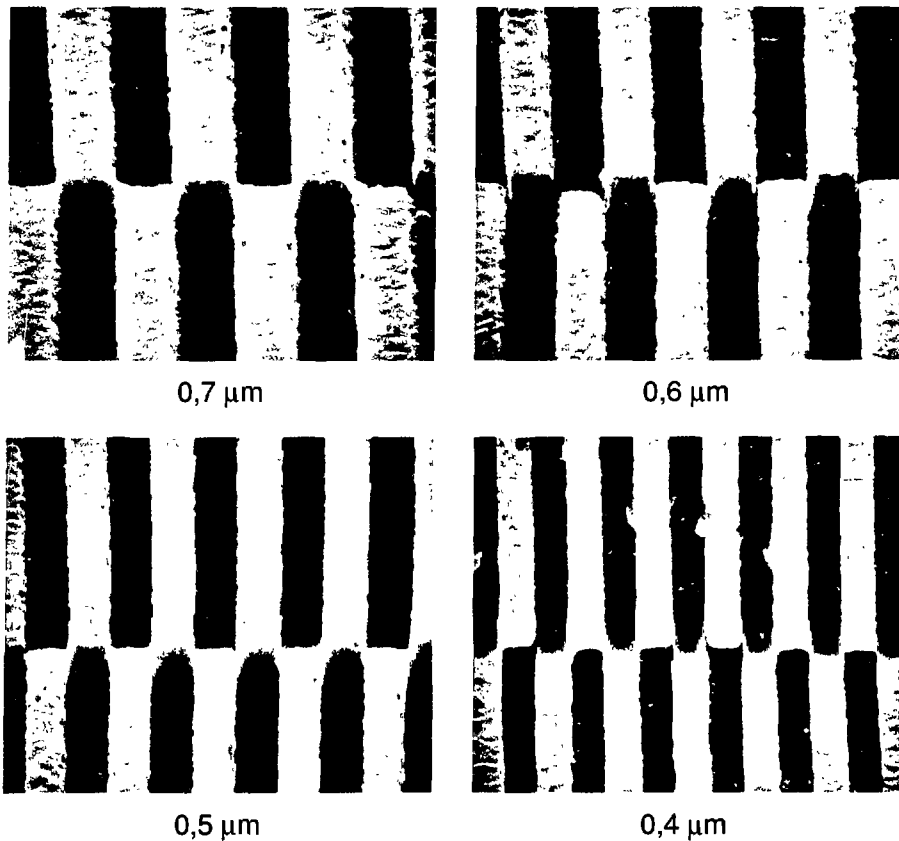
Lithographie

Les études ont porté sur les procédés de lithographie permettant d'atteindre une résolution minimum de 0.6 µm. Pour cela, nous avons mené en parallèle une étude comparative de deux photorépétiteurs Excimère raie I (365 nm) ainsi que l'optimisation d'un procédé de résine adapté à cette longueur d'onde.

Le photorépétiteur choisi sera l'outil d'assemblage photolithographique de la technologie 16 Mbit EPROM. Du point de vue procédé, la figure 7 illustre les possibilités en résolution d'une nouvelle résine sur substrat aluminium : il est en effet possible de résoudre des motifs de 0.5 µm au pas de 1 µm sur substrat plan de façon satisfaisante.

Gravure plasma

Les procédés de gravure plasma étudiés cette année ont porté essentiellement sur la gravure du "stack" (empilement poly 1 + diélectrique interpoly + poly 2) dans les cellules Checker Board, ainsi que sur la gravure de l'aluminium qui constitue une étape critique et primordiale dans l'assemblage de la technologie 0.6 µm puisque le pas en X de la cellule est donné par le pas du métal. Il est donc important de résoudre en photolithographie ce pas (largeur et espace entre pistes) mais aussi de réduire au minimum la perte de côte des pistes au moment de leur gravure.



*Figure 7
Résolution obtenue en
lithographie raie I sur
photorépétiteur ASM PAS
2500/40 sur une couche
d'aluminium.*

Conclusion

Les études menées au cours de l'année 1988 sur le programme 16 Mbit EPROM se sont concrétisées par les résultats suivants :

- choix de l'outil de photolithographie pour l'assemblage de la technologie.
- mise au point d'un diélectrique interpoly oxyde-nitride-oxyde d'épaisseur équivalente 20 nm,
- développement d'un procédé de dépôt et de fluage rapide de BPSG (isolant entre poly 2 et métal),
- étude de la faisabilité de la cellule EPROM Checker Board : mise en évidence des limites de cette cellule ; choix de la cellule standard à la fin de l'année 1988 et définition d'un cahier des charges précis de la technologie à développer en 1989,
- réalisation d'un véhicule de test complet prenant en compte tous les paramètres édités dans ce cahier des charges. Ce véhicule de test sera utilisé tout au long de l'année 1989 et 1990 pour assurer l'assemblage de la technologie 16 Mbit EPROM en règles de dessin 0,6 μm.

Programme silicium sur isolant

Introduction

L'objectif principal de ce programme est de développer le matériau SIMOX et les filières de circuits intégrés pour les applications :

- militaires et spatiales,
- circuits intégrés rapides.

Le programme Silicium sur Isolant de la Division LETI s'est concrétisé en 1988 par :

- un accord CEA/Division LETI - THOMSON TMS sur les filières CMOS/SOI : HSOI3 et HSOI4, programme soutenu par la DGA,
- la réalisation de la salle blanche de l'atelier de fabrication de substrats SIMOX et l'arrivée de l'implanteur d'ions oxygène à très fort courant,
- la réalisation de circuits complexes en filière HSOI3 (1,25 μm deux niveaux de métal) : une mémoire RAM statique 16 Kbit a été réalisée. Le temps d'accès de 17 à 20 ns est meilleur que celui de la même mémoire réalisée sur silicium massif,
- la fin du programme SOI3D (cadre Esprit I) qui s'est concrétisé par la réalisation à la Division LETI des circuits mezzanine smart-power commandant des moteurs pas à pas et d'un vrai empilement 3D.

En 1988, la ligne de programme se divise en quatre projets :

- projet Matériau SIMOX
- projet Filières CMOS/SOI
- projet SOI Laser 3D
- projet Outils Informatiques pour le SOI

Matériau SIMOX

Les deux axes principaux de l'action 1988 sont :

- mise au point des méthodes de caractérisation et de contrôle des plaquettes SIMOX,
- mise en place de l'Atelier de fabrication de substrats SIMOX.

En 1988, les études filières de circuits intégrés sur SOI ont nécessité l'utilisation d'environ un millier de plaques de SOI/SIMOX de 100 mm de diamètre. La mise au point d'une filière nécessite de disposer d'un substrat de départ sinon homogène du moins caractérisé de façon à pouvoir établir les corrélations entre paramètres électriques sur dispositifs et caractéristiques du substrat. Nous avons donc en 1988 porté un effort important sur le développement des méthodes de caractérisation, en visant une automatisation de celles-ci. En effet, notre expérience prouve qu'il est indispensable aujourd'hui de disposer pour chaque plaquette d'un relevé cartographique de l'épaisseur de silicium et de l'épaisseur de l'oxyde enterré. L'automatisation de la mesure d'épaisseur du silicium représente un effort particulièrement important ; en effet l'interprétation du spectre de réflectivité du bicouche silicium mince oxyde de silicium sur silicium massif n'est pas facile en raison du couplage entre les deux couches minces et de l'absorption dans la couche de Si. Un exemple de spectre est donné sur la figure 8.

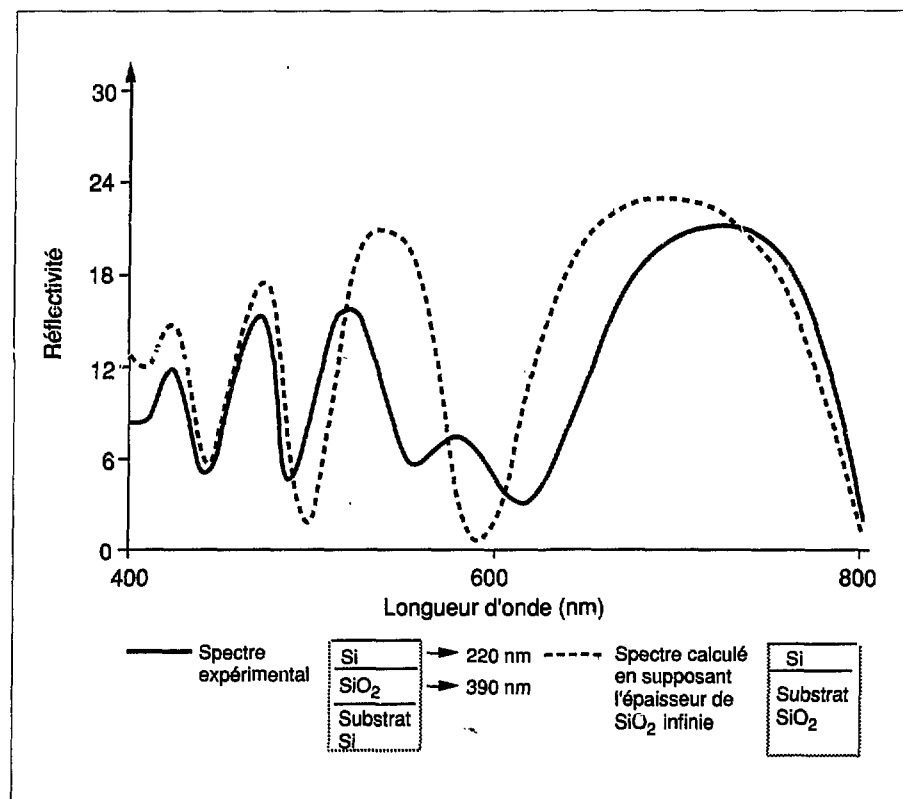


Figure 8
Exemple de spectre.

L'atelier de fabrication de substrats SIMOX (AS2) a reçu en 1988 la majorité de ses équipements, en particulier l'implanteur d'ions oxygène fort courant NV 200. Cette machine est capable grâce à l'intensité de son faisceau d'ions (50 à 100 mA) d'implanter une dose de $1,7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ d'ions oxygène à 200 keV d'énergie en une période de 8 heures. La température des plaquettes pendant l'implantation doit être maintenue à 600°C, ceci est réalisé grâce au flux de puissance apporté par le faisceau d'ions lui-même en conjonction avec un système de chauffage

à lampes pendant les périodes transitoires. L'homogénéité de dose sur la plaquette est assurée par l'utilisation d'un faisceau large à profil "plat" et d'un défilement des plaquettes sous le faisceau dû à la rotation du tambour portant les 25 plaquettes.

Ce type de machine, (Fig. 9) bien que par sa structure ressemble à un implantateur classique, pose des problèmes très spécifiques dus :

- à la puissance transportée par le faisceau d'ions (20 kW),
- au couplage total entre homogénéité de dose, température de cible, transport de faisceau,
- à la durée de l'implantation et au problème de contamination particulaire.

Pour l'exploitation de l'Atelier Substrat, la Division LETI a donc décidé de faire appel au personnel le plus expérimenté.



Figure 9
Implanteur à oxygène
très fort courant.

Filières CMOS/SOI

L'année 1988 a débuté par la mise en place du programme de collaboration entre le CEA/Division LETI et THOMSON TMS sur les filières CMOS/SOI. Cette action pluri-annuelle prévoit le transfert depuis la Division LETI vers TMS d'une filière HSOI3R (CMOS/SOI) à largeur de trait de 1,25 μm fin 1989 et d'une filière HSOI4R (largeur de trait de 0,8 μm) fin 1991. L'année 1988 a vu la réalisation de nombreux lots d'études et de circuits tels que microprocesseurs 16 bit 29 C101, mémoires statiques 16 Kbit (Fig. 10).

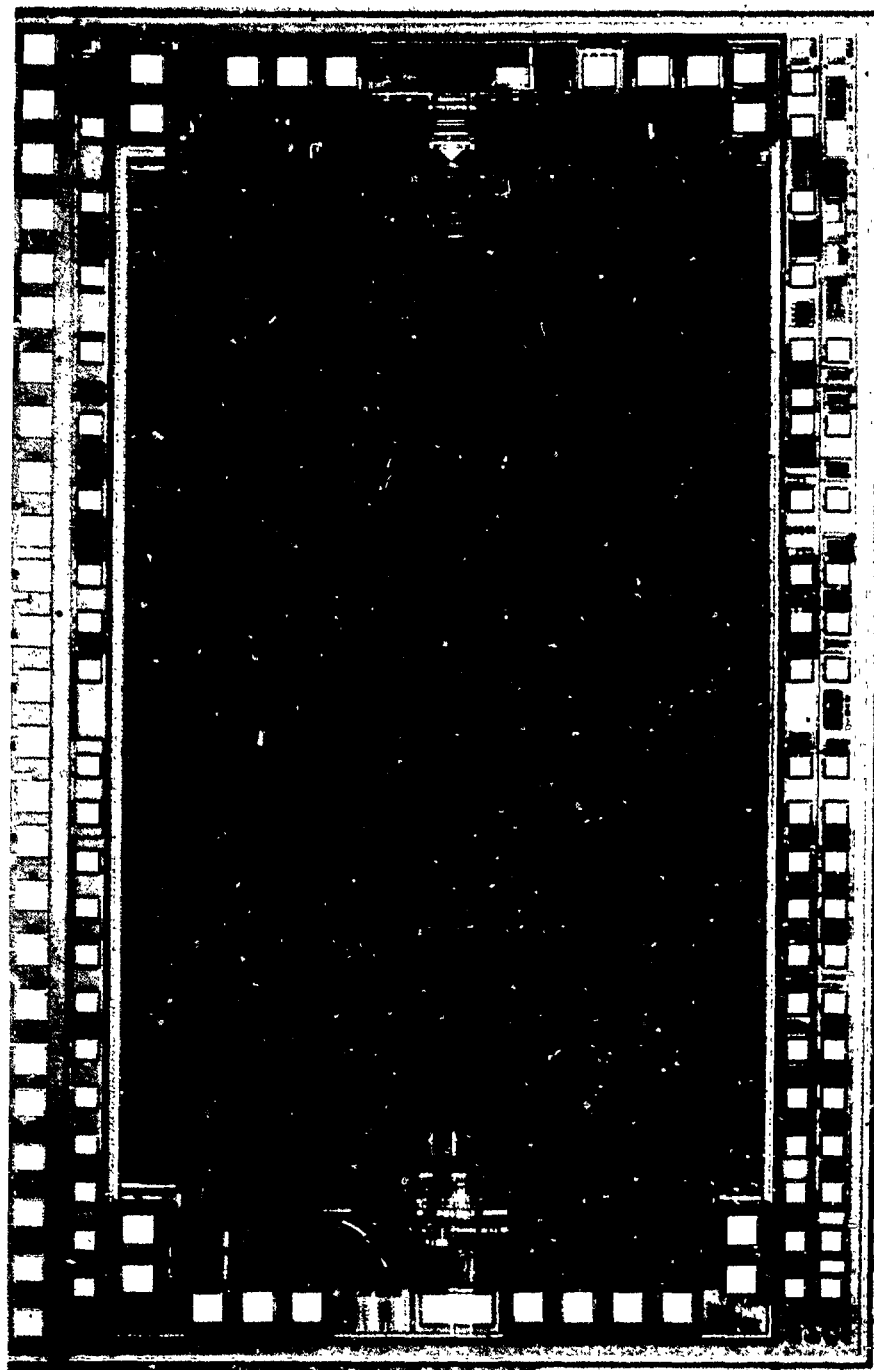


Figure 10
Microprocesseur -
Mémoires statiques
16 Kbit.

Des résultats très encourageants ont été obtenus au niveau de ces mémoires puisque des temps d'accès de 11 ns ont été obtenus, ce qui constitue une nette amélioration par rapport à la même technologie sur silicium massif.

Les filières SOI sont entrées en 1988 dans une phase semi-industrielle puisque les lots ont été fabriqués principalement dans l'Atelier de Prototypes de la Division LETI, ce qui nous a permis de débiter la phase de stabilisation des procédés et ce qui a mis aussi en évidence que le substrat SOI peut être traité dans une chaîne de production de circuits intégrés de façon tout à fait similaire aux substrats de silicium massif.

Parallèlement à cette action technologique, les travaux de la Division LETI se sont concrétisés en 1988 par la modélisation phénoménologique du transistor CMOS/SOI en couche mince. En particulier, la tenue en tension des transistors a pu être reliée aux effets de substrat flottant, de bipolaire parasite ; les actions correctrices ont pu être déduites et concrétisées dans les choix des paramètres technologiques. Cette action place la Division LETI dans le petit groupe des leaders en SOI ; notons que notre avance dans ce domaine résulte aussi de la découverte très tôt de ces problèmes dus à l'excellente qualité de notre matériau. En effet ces effets sont masqués ou annihilés lorsque la qualité du matériau est insuffisante.

En conclusion, on peut noter que, au niveau des filières, l'année 1987 a été celle des circuits/SOI à 10 000 transistors, 1988 a été l'année des circuits à 100 000 transistors.

SOI Laser 3D

Rappelons que l'activité SOI Laser est basée sur la méthode de recristallisation par fusion de zone d'une couche de silicium polycristallin déposée sur une couche d'oxyde. Des ouvertures dans la couche de SiO_2 (germes) permettent au silicium fondu de se recristalliser en monocristal par le contact avec le silicium monocristallin sous la couche d'oxyde.

L'activité de ce thème s'inscrit dans le cadre d'une collaboration européenne.

Les circuits démonstrateurs du projet ESPRIT n° 245 (dit "3D") avec mixage circuit logique sur SOI recristallisé Laser et dispositifs de puissance sur silicium massif fonctionnent sur un grand nombre de puces issues du lot fabriqué dans l'Atelier de Technologie. Ceci assure un plein succès à ce projet européen dont il est le résultat tangible. Les circuits sortis de l'Atelier de Technologie ont assuré réellement le pilotage de moteurs pas à pas puisque tel était leur fonction. Il s'agit du premier circuit "smart power" (puissance intelligente) non japonais avec mixage de fonctions sur SOI et sur silicium massif (Fig. 11). Il est à signaler que nous sommes le seul laboratoire sur les deux engagés à avoir réussi cet objectif.

Le deuxième objectif du projet ESPRIT était l'intégration 3D complète : avec des transistors fonctionnant dans une couche de SOI recristallisée, au-dessus de transistors sur silicium massif. Le lot 3D fabriqué avec succès à l'Atelier Technologique (malgré de nombreuses innovations) montre que les transistors sur SOI "3D" sont fonctionnels et que les transistors sur silicium massif ne sont que faiblement dégradés par l'ensemble du processus 3D (Fig. 12).

Cette action se termine donc par un succès complet sur le plan de la collaboration entre les équipes européennes et sur le plan scientifique.

Circuit "Mezzanine"

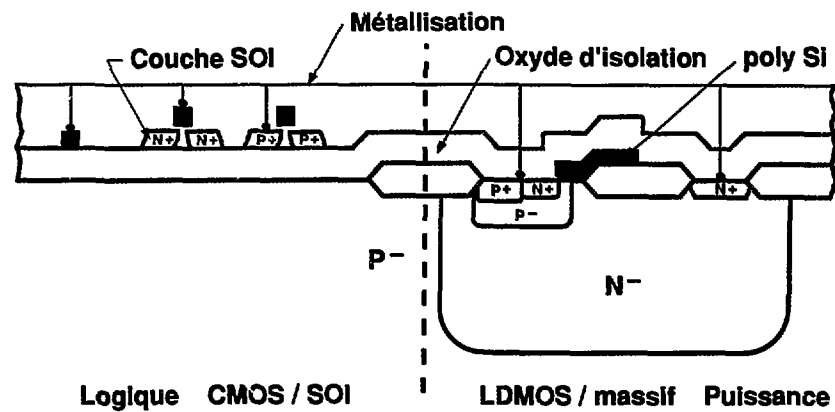
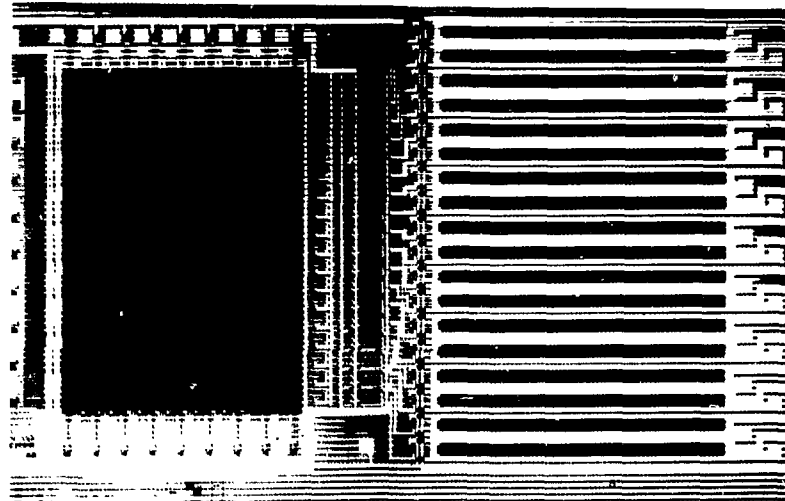
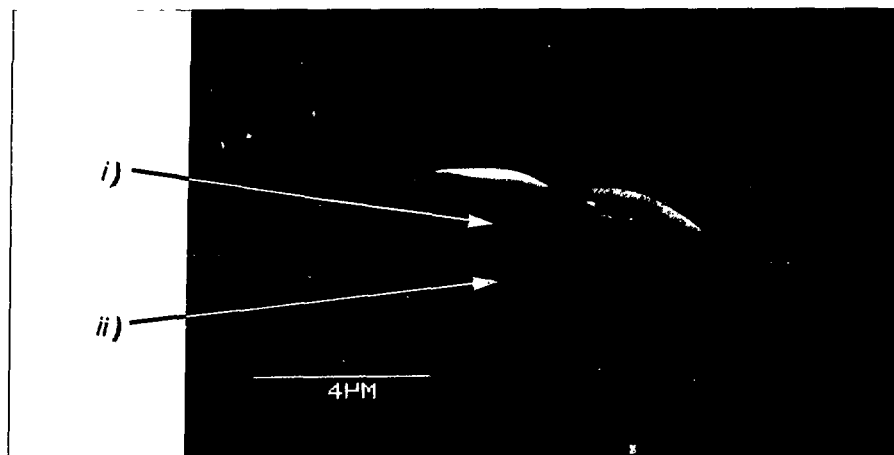


Figure 11
Circuit "SMART
POWER".

Figure 12.a
Intégration en
3 dimensions.

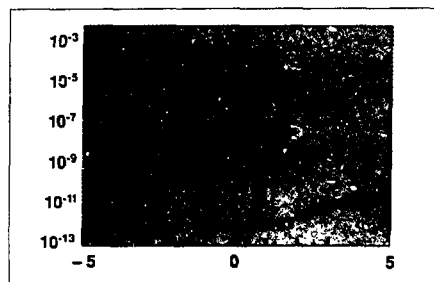
Vue en coupe ►



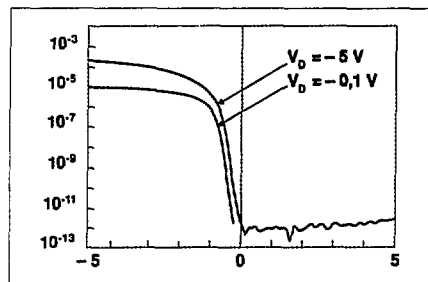
Vue de dessus ►



Figure 12.b
Caractéristiques
 $I_D(V_G)$.



i) n ou p.MOS sur couche SOI recristallisé par laser.



ii) p.MOS sur silicium massif.

Outils informatiques pour les filières SOI

Chaîne d'exploitation et de suivi statistique des résultats de tests électriques

La version complète de traitement systématique en batch a été livrée. Cette version est exploitée quotidiennement par les ingénieurs filières. Il a été défini un cahier des charges pour la partie interactive. L'analyse de ce document a été faite et a permis de mettre en place les moyens disponibles pour la réalisation en 1989. Une nouvelle structure de fichier a été définie et mise en place fin 1988.

Règles de dessin

Le programme de calcul des règles de dessin a été mis en service ainsi que l'exploitation graphique de ses résultats.

Conclusion

L'achèvement du projet SOI Laser 3D, la mise en place de l'Atelier Substrat ainsi que la nécessité de développer la conception de circuits de validation des technologies nous ont amené fin 1988 à proposer une autre organisation de la ligne de programme. Cette organisation intègre verticalement l'ensemble des activités depuis le matériau jusqu'à la conception de dispositifs ou circuit permettant de valider les choix technologiques.

Les projet seront donc dans l'avenir :

- Matériau SIMOX
- Filières logiques CMOS/SOI
- Circuits Intégrés linéaires/SOI
- Conception/SOI

Programme technologies des circuits intégrés

Introduction

La ligne programme Technologies des Circuits Intégrés s'inscrit dans la continuité des Technologies pour les Circuits Intégrés Silicium développées en 1987. Elle regroupe 7 projets dont les objectifs généraux sont les suivants :

- mise au point de filières Circuits Intégrés Silicium submicroniques,
- mise au point de techniques de microconnectique,
- étude de nouveaux réacteurs, de gravure et de dépôt,
- mise en place d'outils de test (méthodes et moyens).

Filière CMOS 0,5 μm

Les premiers assemblages de cette filière ont été réalisés en 1988 à partir de la filière HCMOS 4 (0,8 μm) développée en 1986 et 1987.

Les points clés ayant permis la maîtrise de cette technologie sont :

- l'optimisation des dispositifs,
- la réalisation des jonctions N et P fines,
- la lithographie mixée (optique - masqueur électronique),
- le fluage par traitement thermique rapide de l'oxyde (BPSG),
- la pseudo-planarisation de l'isolant intermétal.

Les principales caractéristiques électriques des transistors sont les suivantes :

Paramètres	NMOS	PMOS
Longueur effective (μm)	0,35	0,40
Tension de seuil (V)	0,8	-0,72
Transconductance (mS/mm)	145	90
Profondeur de jonction (μm)	0,16	0,20
Résistance de couche S/D ($\Omega/\square$)	60	86

Les problèmes de fiabilité liés aux dispositifs largement submicroniques imposent une tension de service de 3 V.

L'interprétation des différentes études menées sur cette filière nous a permis de réaliser un démonstrateur de plus de 100 000 transistors : une mémoire SRAM 16 K ayant un temps d'accès de 6 ns pour une tension d'alimentation de 3.3 V (Fig. 13).

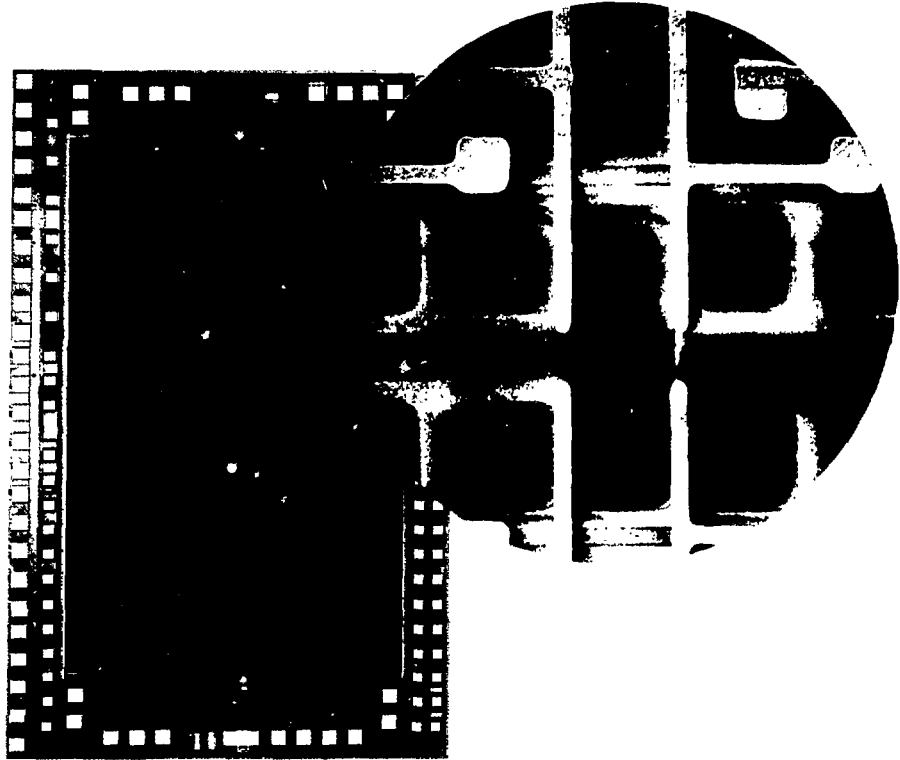


Figure 13
Mémoire SRAM 16 K
réalisée en technologie
CMOS 0,5 μ m.

Etudes de fiabilité des circuits intégrés

Il est reconnu que l'analyse et la suppression des risques de non-fiabilité prendra de plus en plus d'importance pour les nouvelles générations de technologies micro-électroniques. Ceci est dû à l'augmentation de la densité des circuits, des puissances dissipées et des champs électriques internes ainsi qu'à l'émergence de nouveaux phénomènes liés à l'approche des limites physiques des dispositifs. Il est donc impératif d'intégrer ces études dès les premières étapes de définition d'une filière. En 1988 un gros effort a été fait pour la mise en place des moyens d'analyse de fiabilité.

L'ensemble des risques potentiels sont étudiés, notamment les porteurs chauds, l'électromigration, les effets d'injection dans les oxydes minces, le latch-up, les effets des décharges

électrostatiques, de l'humidité et de la corrosion, des chocs thermiques. Un système de test en fiabilité de circuits complexes (mémoires et processeurs que nous développons à la Division LETI) est opérationnel et permettra de donner toutes les assurances de fiabilité à nos filières.

Microconnectique sur silicium

Technologie de reconfiguration

En 1988 les recherches orientées vers la reconfiguration de circuits intégrés, occupant la surface totale d'une tranche de silicium Ø 4 pouces (Wafer scale intégration) se sont concrétisées par la réalisation de circuits démonstrateurs dans le cadre du contrat ESPRIT 824.

La figure 14.a représente une mémoire SRAM de 4,5 Mbit entièrement intégrée sur une tranche de 4 pouces. Ce circuit comporte 138 puces de 64 K SRAM reliées par un réseau d'interconnexion. La technologie de reconfiguration laser développée à la Division LETI permet d'isoler les puces mauvaises par coupure de leurs liaisons aluminium et de connecter les puces bonnes par métallisation localisée. La figure 14.b montre que 72 puces suffisent à réaliser la capacité de la mémoire. Des rendements de 99,99 % sont obtenus sur les opérations de coupure et de reconnexion.

Interconnexions Si sur Si

Cette action vise à généraliser l'utilisation de la technologie d'hybridation développée à la Division LETI.

Une collaboration avec Thomson TMS comme partenaire a débuté en 1988 avec pour objectifs de tester la faisabilité de cette technologie, de l'adapter aux normes militaires (-55 à +125°C) et de préparer un transfert industriel en 1991.

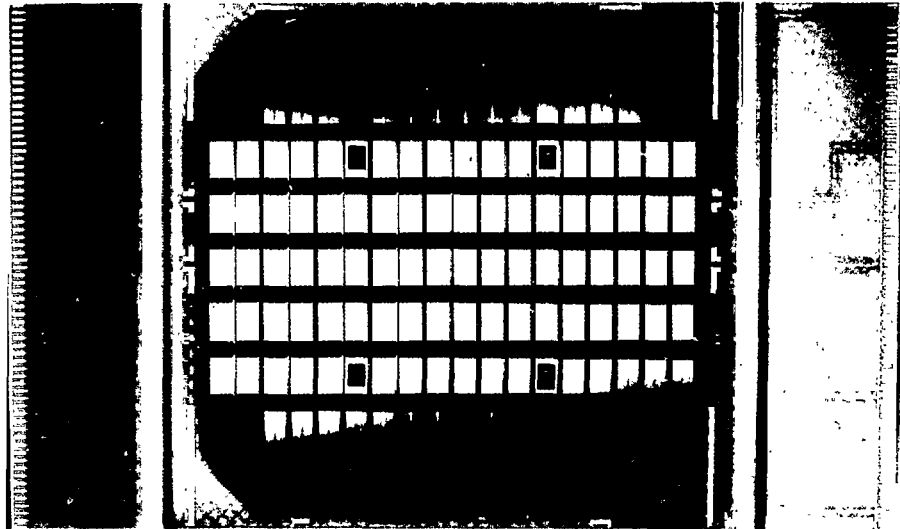
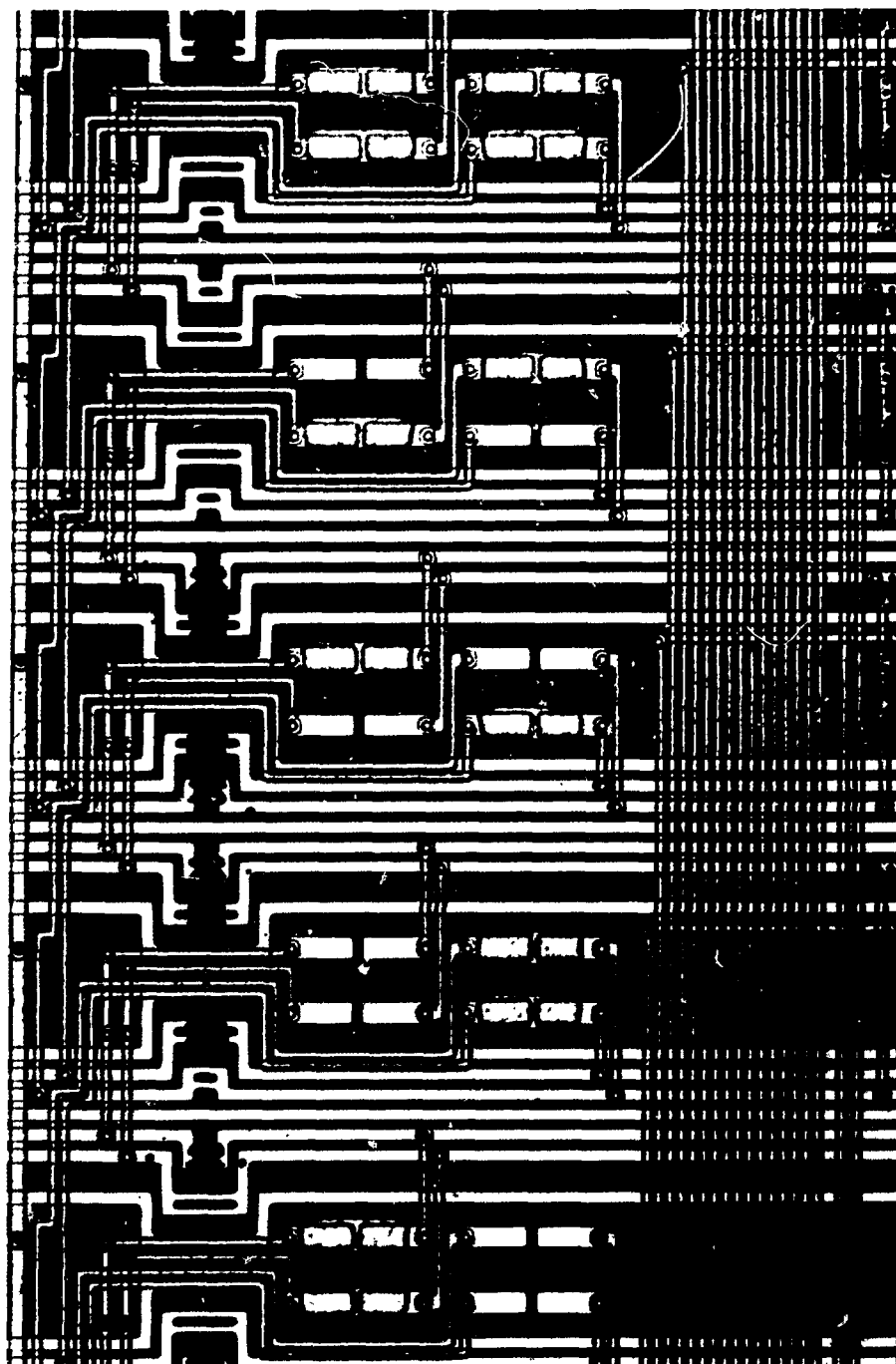


Figure 14.a
Mémoire WSI
de 4,5 Mbit SRAM.
WSI Ø 4 pouces. Boîtier
céramique CIMSA
SINTRA.

Figure 14.b
Mémoire WSI
de 4,5 Mbit SRAM.
Détail de coupures et
reconnexions sur circuit
démonstrateur HYETI
(Microprocesseur
reconfigurable).

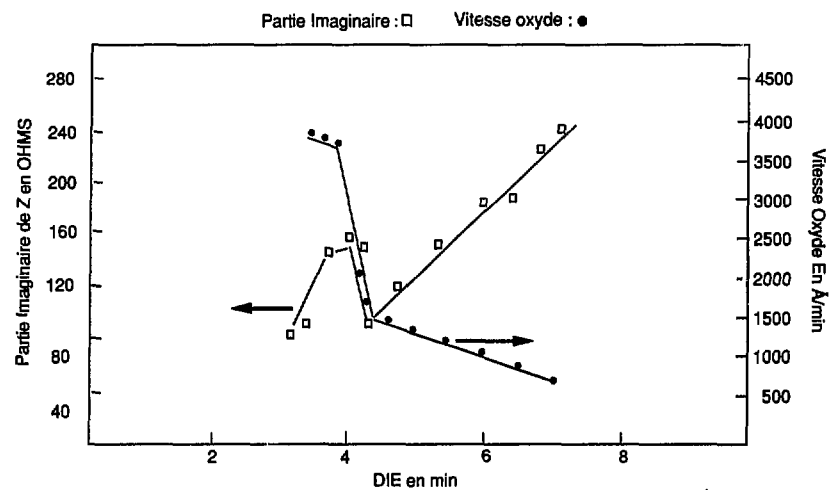


Cette technologie, associée à la reconfiguration laser laisse entrevoir la conception de nouveaux produits, véritables systèmes sur silicium, capables de repousser les limites de l'intégration, comme par exemple :

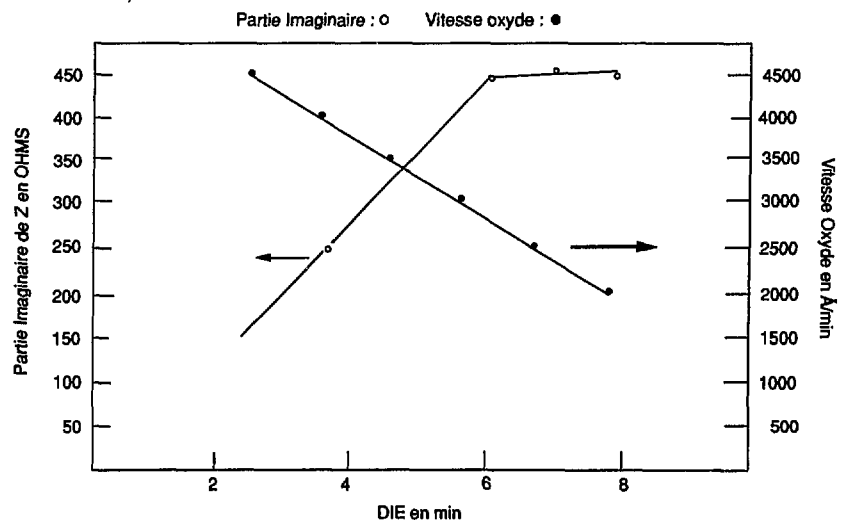
- des mémoires de masse silicium de plusieurs centaines de Mo,
- des modules de mémoires statiques très rapides, de quelques Mo.

Figure 15
Influence de la distance
inter-électrodes (DIE).

a)
Ancienne structure
(réacteur 150).



b)
Structure de réacteur à
électrodes rapprochées.



Réacteurs de gravure ou de dépôt

Dans le cadre de la collaboration avec CIT Alcatel, des progrès significatifs ont été faits en 1988, sur la maîtrise des réacteurs de gravure haute pression à électrodes rapprochées utilisés pour la gravure de SiO_2 . La figure 15 illustre à la fois l'intérêt de la méthode de mesure d'impédances mise au point à la Division LETI et l'amélioration du contrôle des performances obtenues avec la nouvelle structure de réacteur. La discontinuité pour une DIE de 4 mm sur l'ancien réacteur est caractéristique d'une instabilité conduisant à des inhomogénéités et à des dérives de performances dans le temps.

Dépôt d'oxyde de silicium

La Division LETI a mis au point un réacteur monoplaque pour le dépôt d'oxyde de silicium. La technologie utilise le procédé CVD assisté d'un plasma généré par une source hyper-fréquence, en mode "propagatif". Un dépôt de très bonne qualité peut être effectué à température inférieure ou égale à 300°C, avec une vitesse d'environ 1,5 $\mu\text{m}/\text{min}$ (Fig. 16).

Grâce à un dispositif original d'injection, le dépôt est uniforme à $\pm 3\%$.

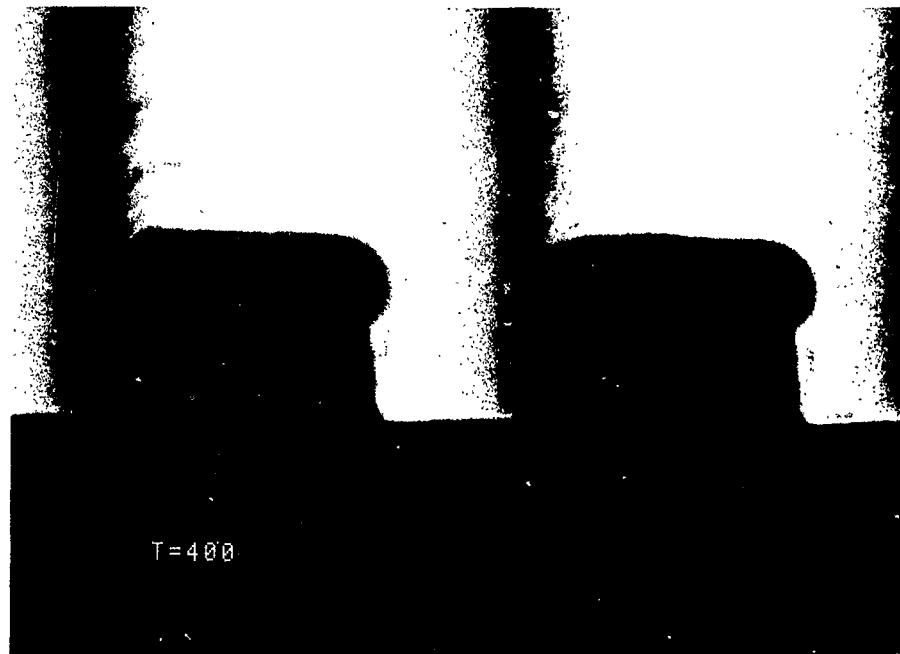


Figure 16
Dépôt d'oxyde de
silicium.

Programme atelier expérimental commun

Introduction

Le point fort de l'année 1988 est sans aucun doute le démarrage des travaux de construction du bâtiment 41 de la Division LETI, devant abriter l'Atelier Expérimental Commun, atout technologique, indispensable pour aborder la prochaine décennie de la Micro-électronique Européenne élaborée dans le cadre du programme européen JESSI (Joint European Submicron Semiconductor Initiative) (Fig. 17).

Cette structure, ouverte à la Communauté Européenne, accueillera les fabricants de circuits intégrés, les fabricants d'équipements et les chercheurs des différents laboratoires de recherche appliquée européens, seule solution pour progresser vers les filières submicroniques (0,5 μm puis 0,3 μm) et être capable de produire de tels circuits dans de bonnes conditions de productivité afin d'assurer une compétitivité satisfaisante de l'industrie européenne par rapport aux Etats-Unis et au Japon.

L'Atelier Expérimental Commun sera un véritable espace technologique flexible où seront mises au point les "briques de base" des filières submicroniques et où sera vérifiée leur fonctionnalité dans un premier assemblage filière, avant d'être transférées dans les lignes pilotes des fabricants de circuits intégrés européens.

Cet espace technologique jouera également le rôle de "plate-forme de mise au point et de qualification d'équipements", en intégrant les équipements en vraie grandeur sur la ligne technologique et en associant étroitement les fabricants d'équipements à ces essais. Il devrait devenir une "vitrine du savoir produire", où seront mis en œuvre les concepts les plus avancés au niveau de l'ultra-propreté, de la supervision de production et de l'automatisation.

WAFEC (Wafer Air Flow Environment Container)

Démarrée depuis 18 mois, dans un contexte industriel regroupant 4 partenaires : NEU-SOFRAIR, SGN, SGS-THOMSON et la Division LETI, cette étude a abouti à la réalisation d'un ensemble de prototypes de ce nouveau concept d'ultra-propreté (Fig. 18).

Confinant les tranches de silicium dans un environnement ultra-propre (mini-salles blanches portables) (Fig. 19), et assurant la qualité de l'environnement jusqu'au réacteur de la machine, ce nouveau concept semble permettre des classes de propreté meilleures que la classe 1.

A ces qualités intrinsèques, s'ajoutent deux paramètres économiques importants : la réduction très significative du coût de fonctionnement. Rappelons que des millions de m^3 d'air doivent être filtrés chaque heure dans les installations conventionnelles.

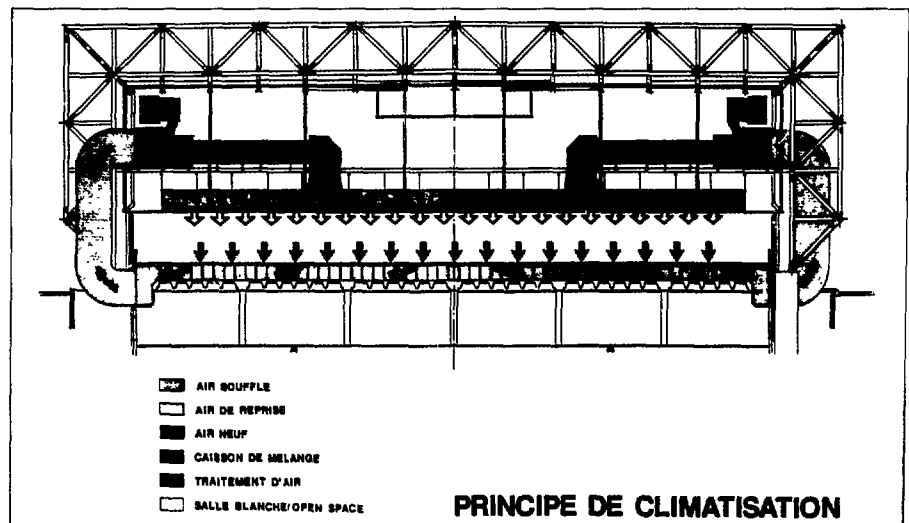
Le concept, après avoir été testé sur le plan ergonomique, est en évaluation dans l'Atelier Technologique de la Division LETI. Les fonctions "qualité de l'isolement" et "amélioration du rendement" sont particulièrement analysées. Un îlot de photogravure comprenant un photo-répéteur, une piste de couchage résine, une piste de développement résine et une machine de gravure a été adapté pour cet essai.

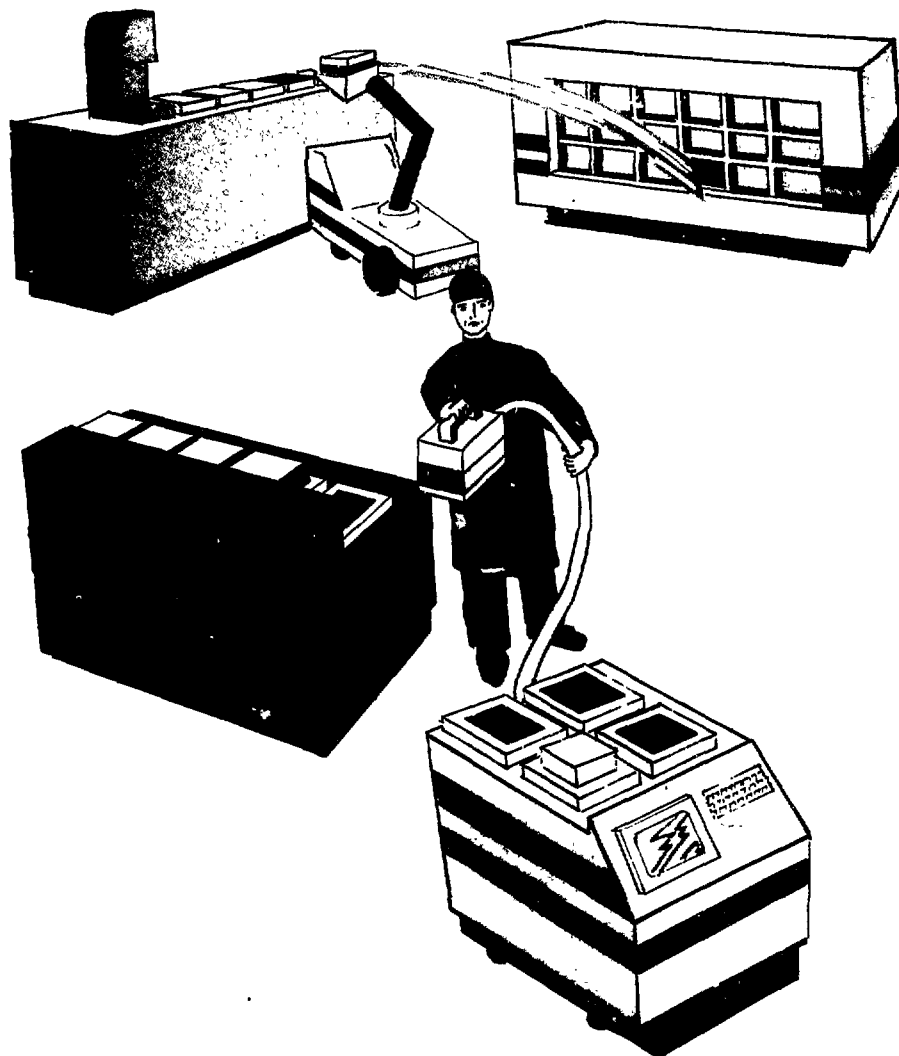
Figure 17
Nouveau Bâtiment de
Micro-électronique
(B 41).

a)
Vue d'ensemble
(maquette).



b)
Principe "OPEN
SPACE" de l'AEC.





*Figure 18
WAFEC : Le concept
d'ultra-propreté de
l'atelier expérimental
commun.*

Machine d'inspection automatique

Un autre volet de l'activité concerne le MONITORING du RENDEMENT de PRODUCTION. Élément clé de cette stratégie, la machine d'inspection automatique capable d'élaborer, après chaque étape technologique, un diagnostic permettant de laisser poursuivre le lot, de le recycler ou carrément de le retirer de la fabrication si le seuil de probabilité de le sortir avec un rendement trop faible est atteint (Fig. 20).

Fruit d'une collaboration de plus de 3 ans avec la société MICROCONTROLE, le premier prototype de la machine d'inspection automatique a permis de valider les méthodes développées à la Division LETI et de confirmer le savoir-faire de MICROCONTROLE pour les aspects optiques et mécaniques.

Des résultats particulièrement satisfaisants ont été obtenus dans le cadre d'essais, où notre machine a permis de détecter des défauts de $0,3 \mu\text{m}$ avec un taux de détection de près de 90 % et une probabilité de fausse alarme inférieure à 1 % (Fig. 21).

Ces essais se sont soldés par une commande d'un industriel.

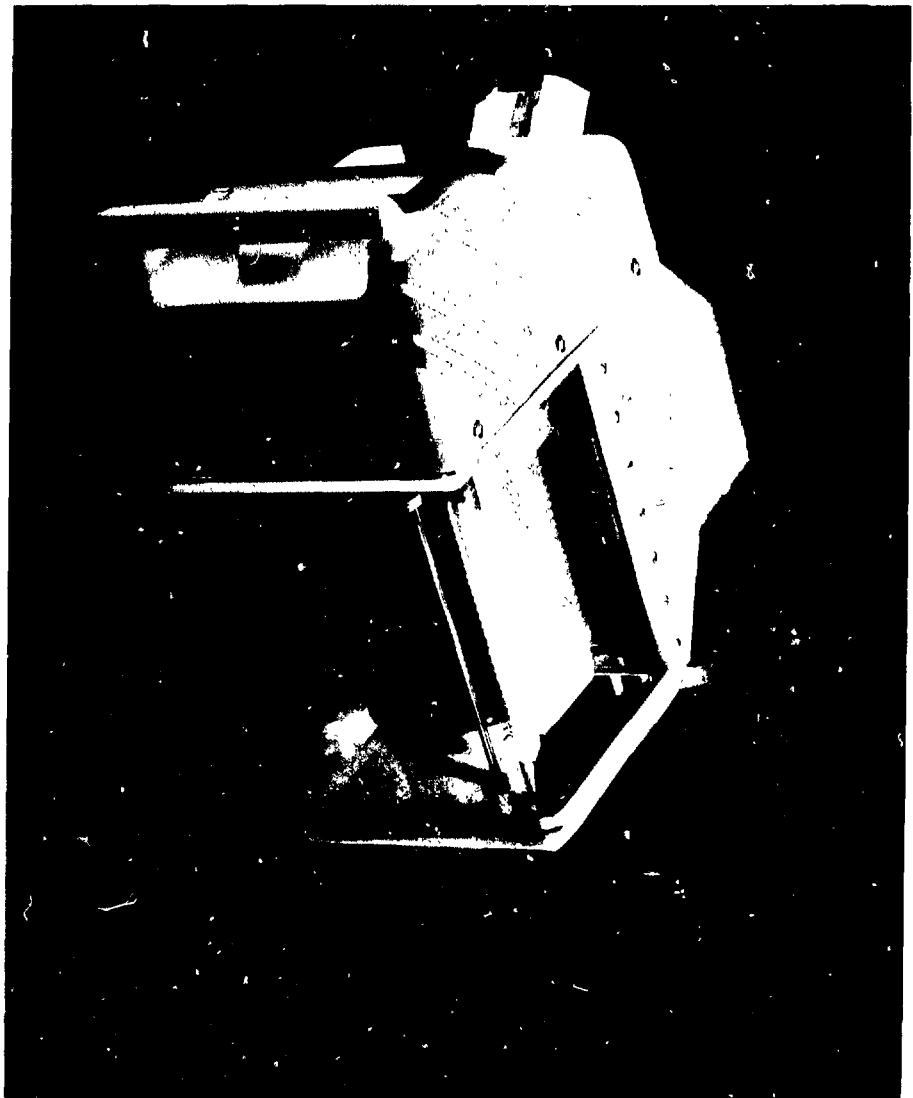


Figure 19
Container mini-salle
blanche.



Figure 20
Machine d'inspection
IDIS.

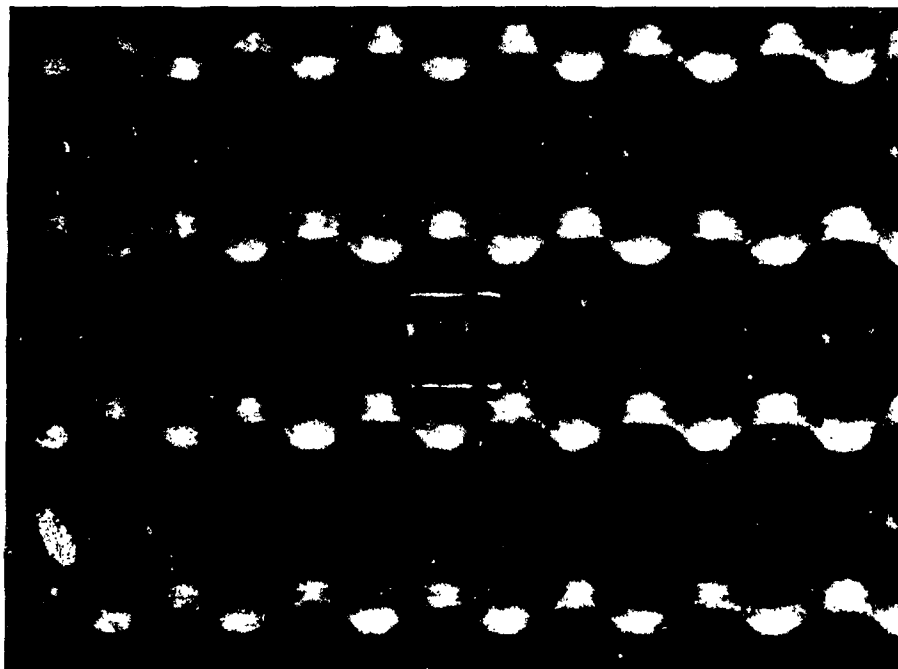


Figure 21
Image d'un défaut de
0.3 μm détecté par la
machine.

Programme mémoires de masse

Introduction

La Division LETI possède des compétences bien établies dans le domaine de la Micro-électronique et du Magnétisme des Couches Minces. Le marché du stockage de masse est fortement demandeur de technologies intégrées collectives permettant de réduire les coûts de fabrication des composants magnétiques et d'améliorer leurs performances. La Division LETI est le seul laboratoire à utiliser d'une manière systématique les technologies de la Micro-électronique Silicium pour l'élaboration des composants magnétiques.

Cette activité est entrée dans une phase de stabilité au niveau des moyens et des effectifs et toute une série de résultats significatifs ont été obtenus dans les différents axes de recherche en cours.

Cette maturité se traduit aussi par l'impact de la Division LETI dans les programmes européens puisque la Division LETI est un partenaire majeur des deux projets de type A qui ont été lancés par ESPRIT dans le domaine du stockage de l'information.

Les principales collaborations industrielles sont aujourd'hui avec les Sociétés THOMSON-LCC et SAGEM. A terme, l'objectif est d'élargir ce partenariat à d'autres sociétés européennes présentes dans ce secteur.

Parmi les événements majeurs de l'année 1988 on peut citer en premier lieu la réussite technique des têtes magnétiques sur Silicium qui va se concrétiser en 1989 par la création d'une société industrielle pour leur fabrication et leur commercialisation.

Un autre événement important qui concerne des recherches plus en amont a été la mise sur pied d'un projet multi-partenaires incluant outre la Division LETI, SAGEM et quatre laboratoires du CNRS sur le thème de recherche des Mémoires à Lignes de Bloch.

Les projets techniques qui sont abordés dans la ligne de programmes concernent à la fois les mémoires état solide telles que les "Mémoires à Lignes de Bloch" et les systèmes électromécaniques tels que les lecteurs de disques magnétiques ou de disques optiques.

Un recentrage des activités a eu lieu en 1988 avec le double objectif d'utiliser au maximum les technologies du Silicium pour les composants magnétiques et également de choisir des thèmes de recherche sur lesquels nous avons une position de leader.

Atelier de micro-électronique magnétique

Dans le cadre de notre collaboration avec LCC, l'atelier de Micro-électronique Magnétique a tourné à plein régime en 1988 pour réaliser des échantillons de têtes magnétiques sur tranches de Silicium et de Disques Magnétiques Couches Minces.

Pour les disques magnétiques, un premier produit dénommé MD 950, c'est-à-dire ayant une coercivité de 950 Oe a été utilisé par LCC pour tester le marché auprès de certains clients privilégiés. Ces disques ont été fabriqués et testés sur la chaîne pilote de la Division LETI. Du point de vue technique, cette première confrontation avec le client a permis d'améliorer la fiabilité de nos composants et en particulier de progresser sur les propriétés tribologiques de ces disques en améliorant les étapes de rainurage et de lubrification. Du point de vue commercial, cette opération a conduit à mieux cerner les besoins et les comportements des clients ainsi que les tendances techniques du marché.

En ce qui concerne les têtes magnétiques qui concentrent la majeure partie de l'effort, une étape très importante a été franchie par la réalisation d'échantillons ayant des caractéristiques magnétiques et électriques dans les spécifications que nous nous étions fixées. En particulier des têtes magnétiques ayant l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles, amplitude du signal, rapport signal à bruit, réponse en fréquence, densité d'enregistrement, supérieures ou égales aux têtes du commerce fabriquées par la concurrence ont été réalisées et reproduites à différentes reprises (Fig. 22).

Une analyse technico-économique a également été menée à partir des équipements utilisés dans l'atelier pilote de la Division LETI pour mieux définir le coût de fabrication en milieu industriel. La prévision faite au lancement du projet d'un gain d'un facteur 10 pour une fabrication en grande quantité a été vérifiée. Sur la base de ces éléments, un montage de caractère industriel est en cours d'élaboration entre LCC et le CEA.

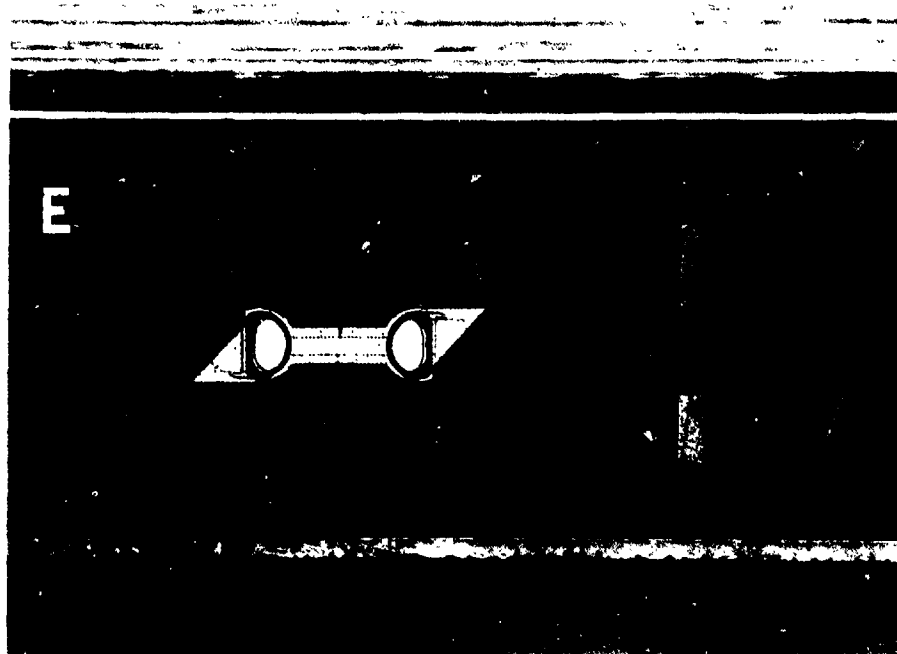


Figure 22
Tête Mimag.

Enregistrement magnétique perpendiculaire

L'enregistrement magnétique perpendiculaire est une voie très prometteuse pour augmenter la densité linéique d'informations qui est limitée dans le mode longitudinal par des effets physiques dus aux champs démagnétisants.

Il s'agit d'un projet qui fait partie d'ESPRIT I dans lequel la Division LETI est associée avec THOMSON, BULL, BASF et BOGEN.

Sa contribution consiste à étudier des têtes magnétiques couches minces de type monopôle et des disques magnétiques comprenant une couche magnétique de CoCr sur une sous-couche de matériau doux type FeNi (Fig. 23). Les travaux réalisés ont permis de définir les paramètres physiques importants pour ce mode d'enregistrement et en particulier l'épaisseur de la couche de CoCr et celle du FeNi. Parmi ces paramètres, il s'avère que des densités d'enregistrement $> 50\,000$ KCI peuvent être obtenues si la hauteur de vol est inférieure à $1\,000$ Å. Ce sont des valeurs qui sont peu compatibles avec les conditions tribologiques que l'on sait réaliser aujourd'hui à un coût raisonnable pour les têtes et les disques. Aussi, il est probable que les premières applications de ce type d'enregistrement se trouveront sur les disquettes magnétiques et les bandes magnétiques qui fonctionnent selon un mode dit au contact. En particulier, une des meilleures solutions d'enregistrement vidéo pour la télévision digitale et la télévision haute définition est le mode perpendiculaire à partir de bandes magnétiques de CoCr et de têtes monopôles au contact.

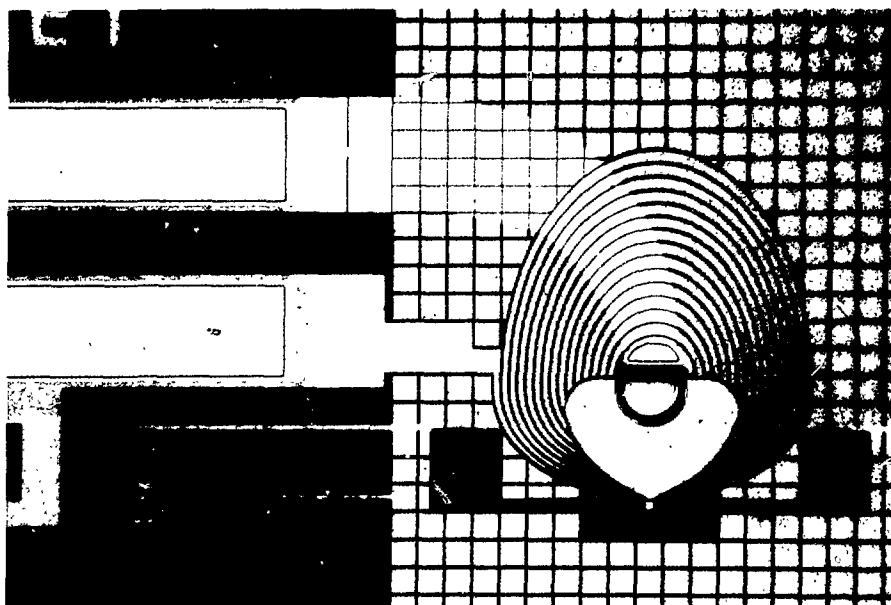


Figure 23
Tête pour
enregistrement
perpendiculaire.

Têtes à pistes étroites

La réduction des largeurs de pistes qui sont aujourd'hui de l'ordre de $20\,\mu\text{m}$ dans les systèmes les plus avancés est l'autre possibilité qui existe pour augmenter la densité dans les lecteurs de

disques magnétiques. La Division LETI a entrepris des études avancées sur des têtes magnétiques de largeur de piste de $2\text{ }\mu\text{m}$ avec des dimensions d'entrefer de l'ordre de $0,3\text{ }\mu\text{m}$ (Fig. 24). Il s'agit donc d'un composant qui permet un gain en densité d'un facteur 10 par rapport à l'état de l'art actuel. En 1988, des premiers prototypes de ces têtes ont été fabriqués et testés en écriture et en lecture.

En 1989 le travail va être poursuivi dans cette voie pour aller à terme à la réalisation du couple tête-disque optimisé, en incluant des solutions pour le suivi de piste qui permettront d'exploiter pleinement les performances des composants en cours de développement.



Figure 24
Tête en U.

Mémoires à lignes de Bloch

La perspective de pouvoir réaliser des mémoires non volatiles à état solide de capacité 100 M à 1 Gbits/cm^2 explique les activités de la Division LETI sur cette technologie en cours de mise au point.

La recherche coordonnée qui a été mise en place en 1988 permet de placer l'effort de recherche en France sur ce sujet au même niveau quantitatif que celui qui est fait aux U.S.A. et au JAPON, avec l'avantage d'une meilleure synergie entre les différentes techniques. Les procédés technologiques pour la réalisation des circuits d'essais ainsi que les équipements de test sont aujourd'hui bien établis. Des progrès importants ont été accomplis en 1988 sur les différentes fonctions nécessaires à la réalisation d'une mémoire, citons l'écriture, la lecture, le confinement des bandes, la propagation des lignes.

La figure 25 montre un exemple de réalisation de circuit complet intégrant ces différentes fonctions qui sert de véhicule de test pour valider l'ensemble. L'objectif des travaux du Consortium Français est de réaliser à échéance de deux ans une puce prototype d'une capacité de 1 kbit, connectable électriquement.

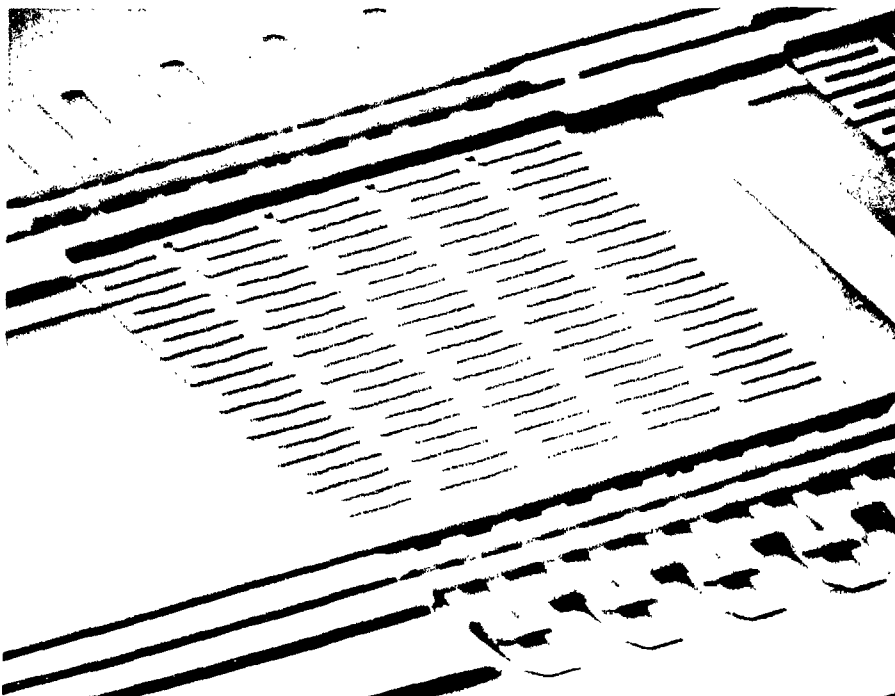


Figure 25
Démonstrateur lignes
de Bloch.

Programme photodétecteurs

Introduction

Actuellement, l'activité de la Division LETI dans le domaine de la photodétection couvre presque exclusivement la gamme spectrale infrarouge comprise entre 2 et 17 μm .

Les composants de détection infrarouge sont développés à la Division LETI depuis maintenant 10 ans. La continuité de l'effort entrepris avec le soutien de la DGA a permis à la Division LETI de mettre au point une technologie très performante qui met aujourd'hui la Division en position de répondre aux cahiers des charges de grands programmes internationaux militaires ou civils.

Les faits marquants de cette année 1988 concernent tout d'abord le transfert de cette technologie à SOFRADIR, l'action de la Division relative au développement d'une filière DTC et enfin les améliorations apportées dans plusieurs axes de recherche où la Division a souvent su relever les défis technologiques.

Transfert vers SOFRADIR

Le transfert des technologies IR vers SOFRADIR a été motivé par la mise en place du projet européen AC3G (Antichar de 3ème génération) dans lequel des composants IR très performants sont nécessaires à l'imagerie d'une part et au guidage de missiles d'autre part.

Le transfert couvre trois aspects de la technologie de fabrication des détecteurs : la réalisation de couches CdHgTe par épitaxie en phase liquide (EPL), la fabrication de détecteurs photovoltaïques sur ces couches et enfin la technique d'hybridation par billes d'indium sur un circuit de lecture en silicium (Fig. 26).

L'historique de ce transfert se présente ainsi :

■ 1987 : Soutien de la Division LETI à SOFRADIR (fourniture de composants IR). Début du transfert (technologie photovoltaïque).

■ 1988 : Transfert des technologies EPL et hybridation. Cette opération s'est déroulée pour le mieux et s'est achevée le 30 mai 1988.

De plus, SOFRADIR a pu transférer ces technologies vers AEG-TELEFUNKEN avant la fin de l'année 1988. La cession d'une sous-licence à cet industriel allemand directement impliqué dans la visionneuse de l'AC3G marque définitivement la réussite de la Division LETI dans ce domaine au plan européen.

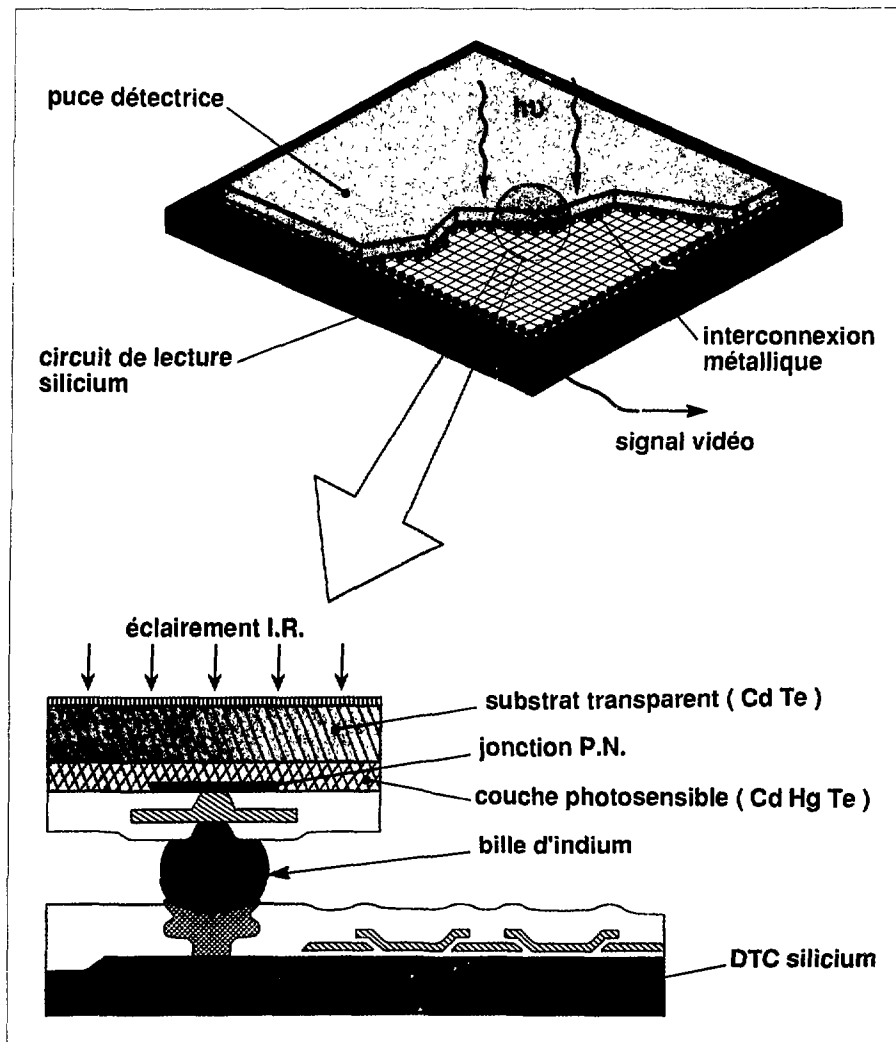


Figure 26
Schéma de la
technologie développée
à la Division LETI.

Filière technologique dispositifs à transfert de charges

Les dispositifs à transferts de charges (DTC) sur silicium sont utilisés comme circuits de lecture par la Division LETI et comme circuits de détection du visible par THOMSON. Les deux partenaires ont mis en commun leurs compétences respectives afin de mettre au point une filière technologique DTC industrialisable (règles de conception à 1,5 μm).

L'accord signé officiellement en 1988 stipule que la Division LETI est en charge de l'étude et de la mise au point de cette filière avec l'aide de personnel détaché à la Division LETI par THOMSON. Ultérieurement, THOMSON assurera la fabrication et la commercialisation des dispositifs réalisés dans une filière industrielle issue de cette action

L'année 1988 a été marquée par la mise au point des derniers équipements de salle blanche (Fig. 27) et la définition d'un processus technologique $1,5\ \mu\text{m}$. Ce processus a été mis en place sur motifs de tests et développé sur circuits opérationnels de détection visible et de lecture IR.

L'industrialisation de la filière commencera en septembre 1989, ce qui devrait permettre de disposer en France de circuits DTC de haut niveau permettant d'améliorer notablement les possibilités en photodétection.



Figure 27
Filière technologique
DTC $1,5\ \mu\text{m}$ -
Salle de gravure.

Mosaïques IRCCD

Au cours de cette année, la Division LETI a démontré la capacité de sa technologie à réaliser des mosaïques de complexité 64×64 . Des images ont été réalisées et ont validé de manière spectaculaire la qualité de nos produits.

C'est ainsi que dans la gamme spectrale $3\text{-}5\ \mu\text{m}$, on a pu montrer une image ne présentant que quelques défauts, et que dans la gamme $8\text{-}12\ \mu\text{m}$ on a pu obtenir un composant avec moins de 2 % de défauts (Fig. 28). Ce dernier résultat est remarquable et situe la Division LETI au meilleur niveau mondial dans le domaine.

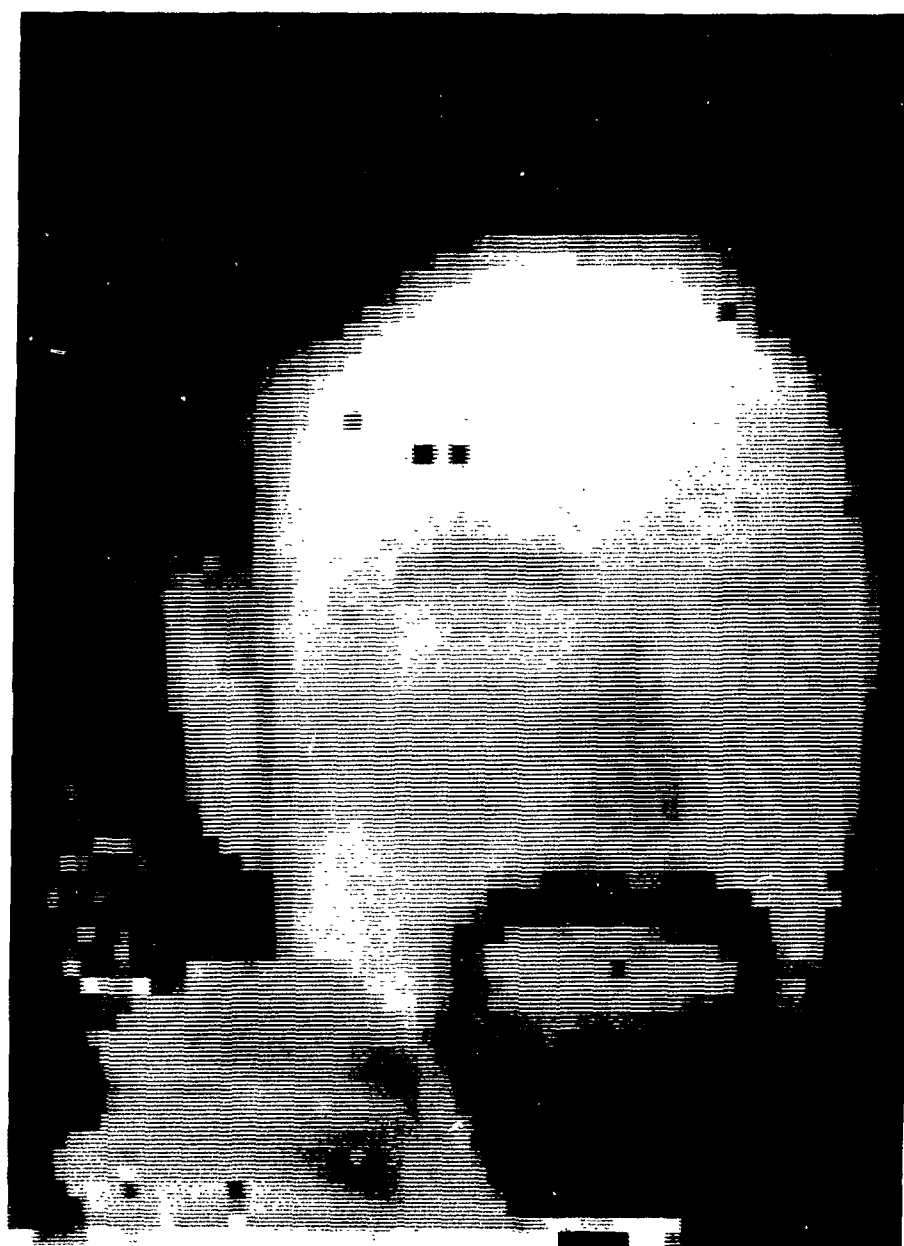


Figure 28
Image 64 x 64 obtenue
dans la gamme
8-12 μm .

Dans un futur proche, le développement de mosaïques fixes de plus grande complexité (128 x 128 en 1989) devrait permettre de répondre à certains besoins opérationnels : missiles et caméras de milieu de gamme.

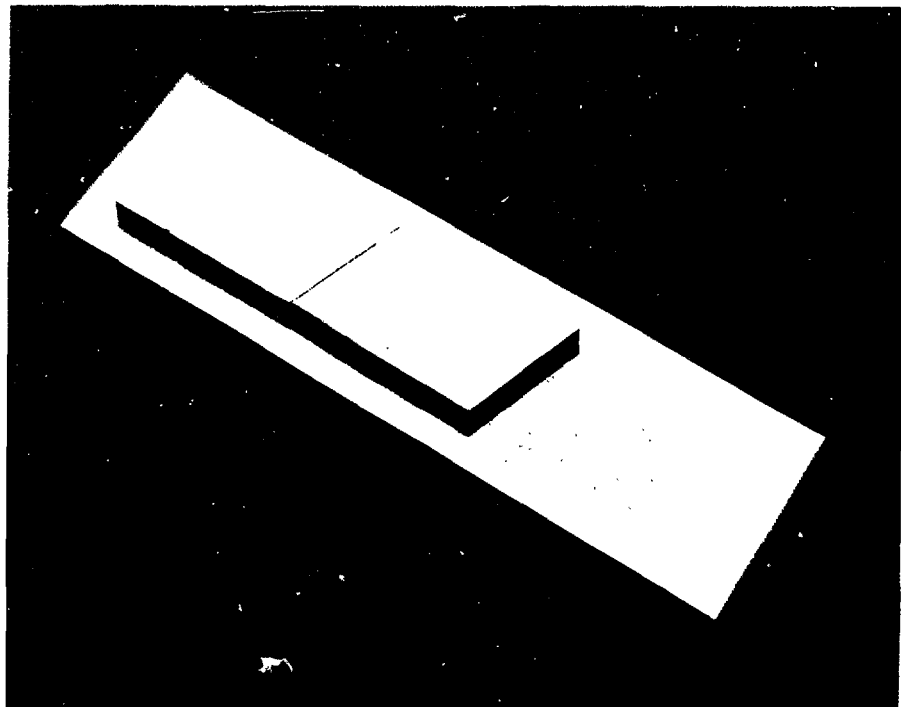
Barrettes à grand nombre de points

Ce type de composant est utilisé pour l'observation de la terre à partir de satellite en mode "pushbroom" (mode dans lequel le balayage est assuré dans une direction par le déplacement du satellite).

Cette action répond à une forte demande et un partenariat varié soutient l'effort de recherche : DRET, DEn, CNES.

Grâce à l'acquisition de la technologie d'hybridation par billes d'indium, la Division LETI a pu proposer en 1988 une technologie originale dite "de raboutage", un support de silicium pouvant recevoir plusieurs modules de détection raboutés après plusieurs hybridations successives (Fig. 29).

Le développement de cette technique devrait aboutir à la fabrication de composants complexes très performants.



*Figure 29
Modules PV raboutés
par hybridation sur
support silicium.*

Avantages potentiels :

- optimisation de modules de dimensions raisonnables linéaires ou à structure TDI,
- "raboutage" d'un grand nombre de modules,
- remplacement éventuel de modules défectueux.

Détecteurs pour l'astronomie

L'astrophysique est un domaine dans lequel la demande est très forte en composants de détection infrarouge de haute résolution. En effet, les objets à observer dans le ciel sont d'une variété quasi infinie : sources ponctuelles ou étendues, sources fortes ou excessivement faibles, fond de ciel très variable, etc. Seuls des composants très performants peuvent répondre aux spécifications inhérentes aux projets dans ce domaine. Le satellite ISO (Infrared Space Observatory) est un de ceux-ci.

La Division LETI développe le détecteur qui sera utilisé dans la caméra de ce satellite. En 1988, les premiers composants ont été livrés (modèle de qualification) (Fig. 30) et les caractéristiques mesurées sont proches des spécifications très contraignantes du cahier des charges.

La livraison des modèles de vol aura lieu fin 1989.

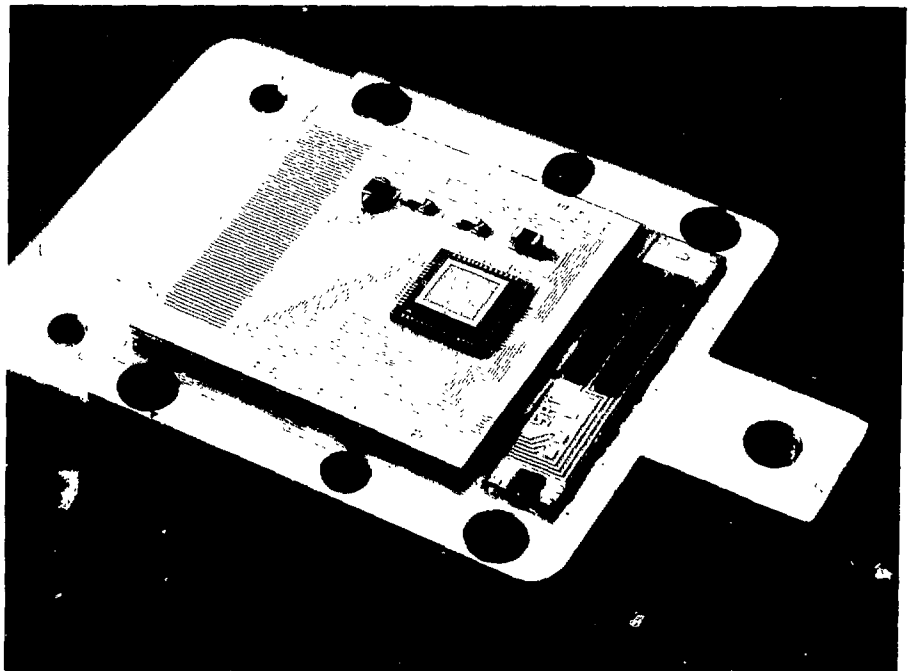


Figure 30
Composant ISO sur
platine d'intégration.

Détecteurs à température ambiante

Les domaines d'application des détecteurs IR à faible coût (et aussi faiblement performant) n'avaient jamais été abordés jusque-là. 1988 a permis à la Division LETI de bâtir les éléments d'une technologie de détection par effet pyroélectrique qui devrait voir son aboutissement en 1989 sous la forme d'une mosaïque 32 x 32.

Autres sujets

■ Intégration de briques CMOS dans le circuit de lecture DTC silicium : l'intérêt de cette action est évident quand on imagine l'augmentation en complexité des composants et des informations à traiter dans le futur.

■ Validation de la technologie d'hybridation par billes d'indium pour la fabrication de mosaïques de grande complexité.

En 1988, nous avons validé cette technique sur une maquette mécanique 256 x 256 au pas de 50 μm (aucun défaut d'interconnexion).

Programme lasers

Introduction

Ce programme a pour objectif la réalisation de Lasers à Solides originaux : lasers à haut rendement et lasers accordables en longueur d'onde. Il s'appuie sur les compétences de la Division en cristallogénèse et en technologie des Couches Minces Optiques.

Lasers haut rendement

L'année 1988 a vu la poursuite de la mise au point du procédé de croissance de monocristaux de LNA en vue du transfert vers l'industrie. Les cristaux tirés selon l'axe optique ont été améliorés en qualité et en dimensions : diamètre 25 mm, longueur 80 mm (Fig. 31) et diamètre 45 mm, longueur 50 mm.

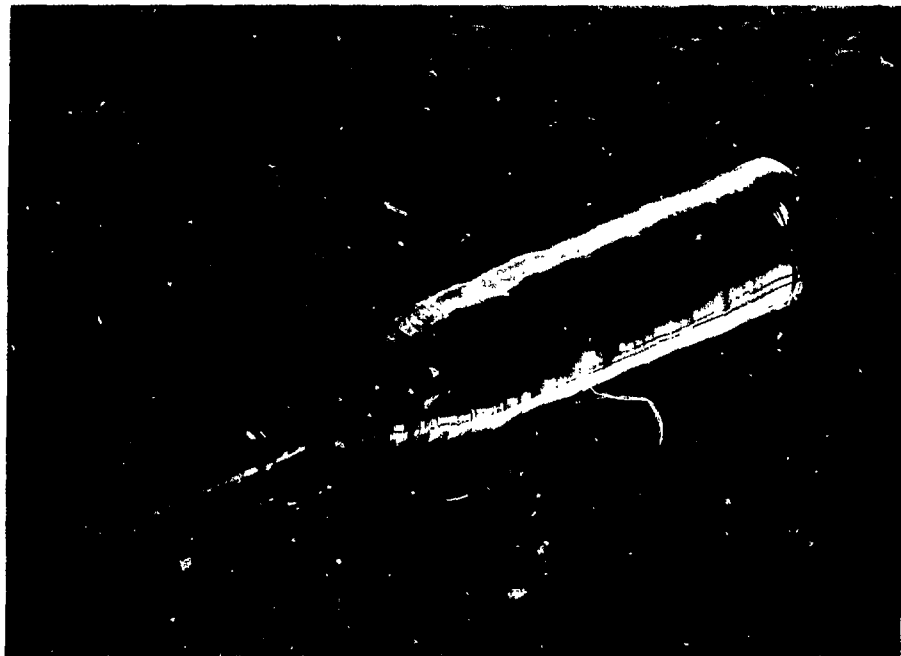


Figure 31
Cristal LNA tiré selon
l'axe optique.

Des cristaux de potassium titanyl phosphate ou KTP ont été obtenus pour la première fois en grandes dimensions par la méthode dite TSSG (Top Seeded Solution Growth) (Fig. 32).

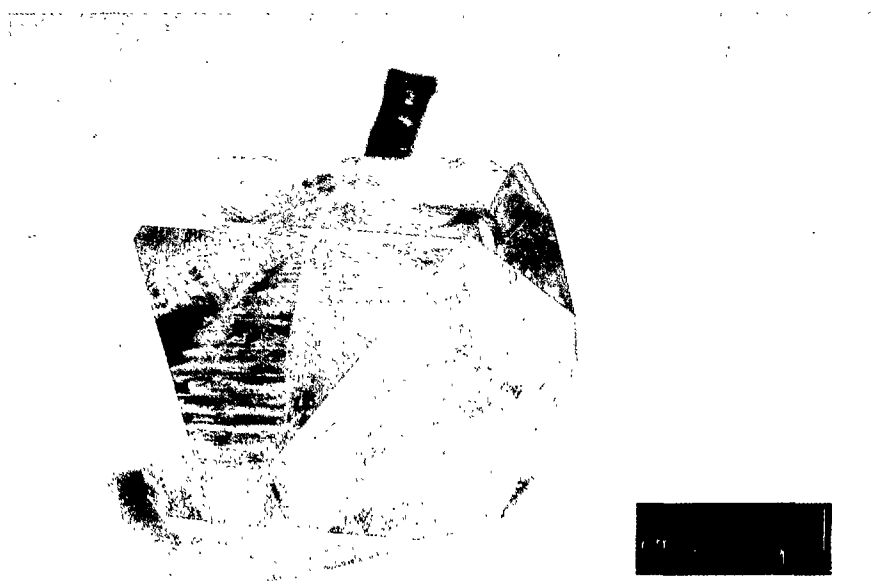


Figure 32
Cristal de KTiOPO_4 .

Couches minces optiques

Souhaitant améliorer la compétitivité des industriels français dans le domaine des traitements des optiques, c'est en 1986 que la DRET décide de provoquer la création d'un laboratoire de développement technologique des couches minces pour l'optique. La Division LETI est choisie pour implanter ce laboratoire de Couches Minces Optiques (CMO).

Les missions confiées au CMO peuvent être résumées en quatre phrases :

- travailler en amont de l'industrie, en s'appuyant sur les laboratoires universitaires,
- développer des technologies et les transférer, sans exclusivité, à l'industrie,
- réaliser des prototypes qualifiés pour valider les technologies,
- mettre à la disposition de tous une compétence en caractérisation et expertise des couches minces pour optique.

L'exploitation des données rassemblées au cours de l'enquête menée en 1987 nous a amené à faire des choix technologiques. Tout d'abord, profitant de matériel immédiatement disponible à la Division LETI, nous avons pris contact avec les matériaux bien connus SiO_2 , TiO_2 , ZnS , MgF_2 réalisés soit au canon à électrons soit par pulvérisation plasma. Un canon à ion a été choisi et installé de façon à tester, dès le début, les possibilités de l'assistance ionique

(IAD : Ion Assisted Deposition), méthode qui semble en plein développement. Le deuxième choix technologique a consisté à définir et commander une machine de dépôt par pulvérisation et assistance ionique (DIBS : Dual Ion Beam Sputtering). Cette machine, en cours d'installation, possède une chambre d'environ un mètre cube, deux portes de façon à permettre une intégration en salle blanche en séparant les fonctions chargement et entretien.

Au cours de cette première année de mise en route du CMO, un effort important a été fait sur la caractérisation optique des couches. Les mesures spectrophotométriques sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre Cary informatisé au laboratoire et dépouillées en utilisant des logiciels que nous avons développés.

Une action a aussi été entreprise vers les calculs des empilements de couches ceci avec l'intention d'être capable, à terme, de réaliser des calculs de "synthèse", c'est-à-dire de définir l'empilement répondant à une fonction optique donnée. Les calculs de couches minces sont aussi associés à l'utilisation des contrôles optiques *in situ*, le but étant de pouvoir contrôler, pendant la croissance, des structures dont les couches ne seraient pas nécessairement quart d'onde.

La phase de mise en place du CMO est maintenant terminée.

Les travaux actuels du CMO sont tournés vers les couches possédant une bonne tenue au flux laser, en particulier dans l'infrarouge à 10,6 μm et aussi dans le visible pour les applications au procédé de séparation isotopique par laser (SILVA).

Des progrès dans ces domaines viendront probablement de recherches effectuées sur la préparation des surfaces, sur les machines et leur intégration en salle blanche ainsi que sur l'évaluation de matériaux préparés dans de nouvelles conditions technologiques. Le CMO mènera en 1989 une action vigoureuse dans ces domaines.

Programme capteurs microniques

Introduction

L'électronique est de plus en plus utilisée pour contrôler notre environnement (production, défense, transport, santé...). Il est donc devenu indispensable de disposer de capteurs fiables, peu encombrants et peu coûteux.

L'une des solutions les plus communément admises pour résoudre ce problème, est d'essayer d'appliquer aux capteurs, les technologies habituellement réservées aux circuits intégrés en les adaptant à la réalisation de composants non seulement électroniques mais également mécaniques, optiques ou chimiques.

La Division LETI contribue à cette évolution technologique en exploitant au mieux ses ressources technologiques très variées. Elle collabore pour cela avec l'industrie des capteurs qui souhaite maîtriser ces nouvelles technologies mais ne dispose généralement pas des moyens de recherche et développement nécessaires.

En 1988, huit industriels ont collaboré avec la Division LETI pour la mise au point de six capteurs de types différents :

- capteur de pression à jauges de contrainte silicium sur isolant (SIMOX),
- capteur de déplacement à base d'interféromètre optique intégré sur silicium,
- gyromètre optique intégré sur silicium,
- accéléromètre asservi en quartz,
- capteur de poids à jauge de contrainte couche mince,
- capteur de méthane à couche mince de platine auto-portée.

La différence entre le nombre de capteurs étudiés et le nombre d'industriels est liée à l'existence d'études multipartenaires (5 en pression silicium, 2 en gyrométrie) ainsi qu'à la participation de certains industriels à plusieurs études en parallèle.

Capteur de pression à jauges de contrainte SIMOX

Financée par le CEA, 5 industriels et le MRT, cette étude a démarré en 1988. Elle a pour objectif le développement de capteurs de pression silicium haute température à partir de la technologie silicium sur isolant SIMOX.

Une première filière technologique a été assemblée (Fig. 33). Les essais effectués ont montré que SIMOX suivait parfaitement la sensibilité théorique du silicium aux contraintes jusqu'à 400°C (Fig. 34).

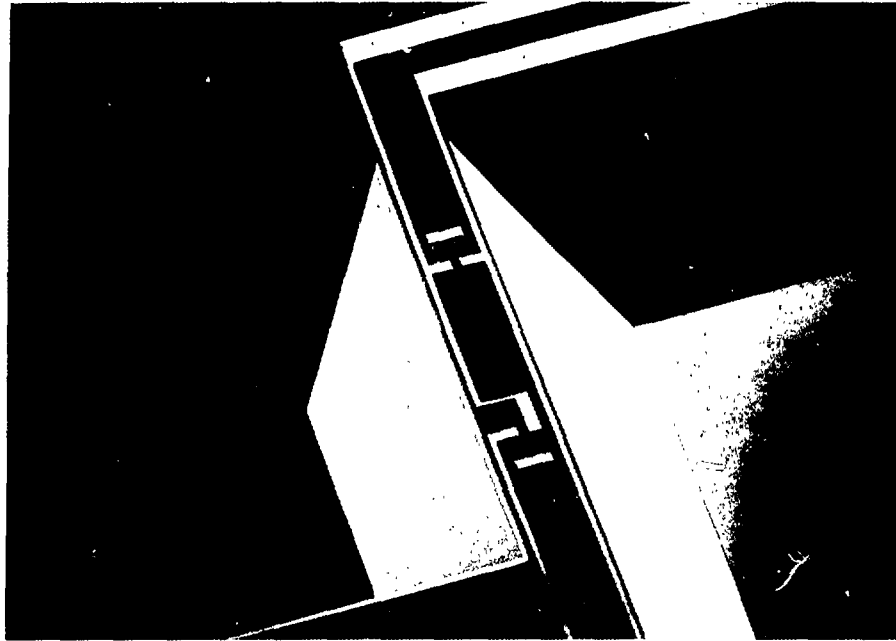


Figure 33
Structure de base d'un capteur de pression comprenant des poutres, une membrane et des jauges de contrainte en silicium monocristallin sur isolant (SIMOX).

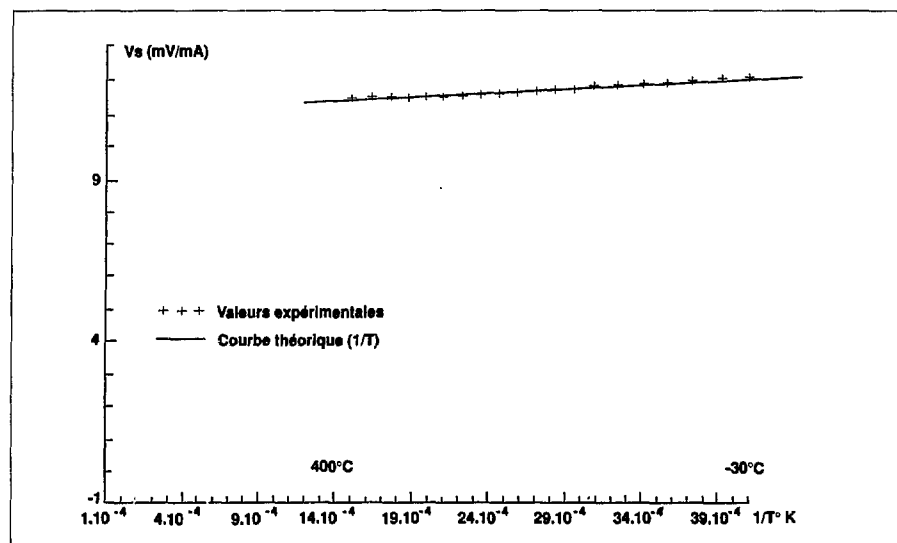


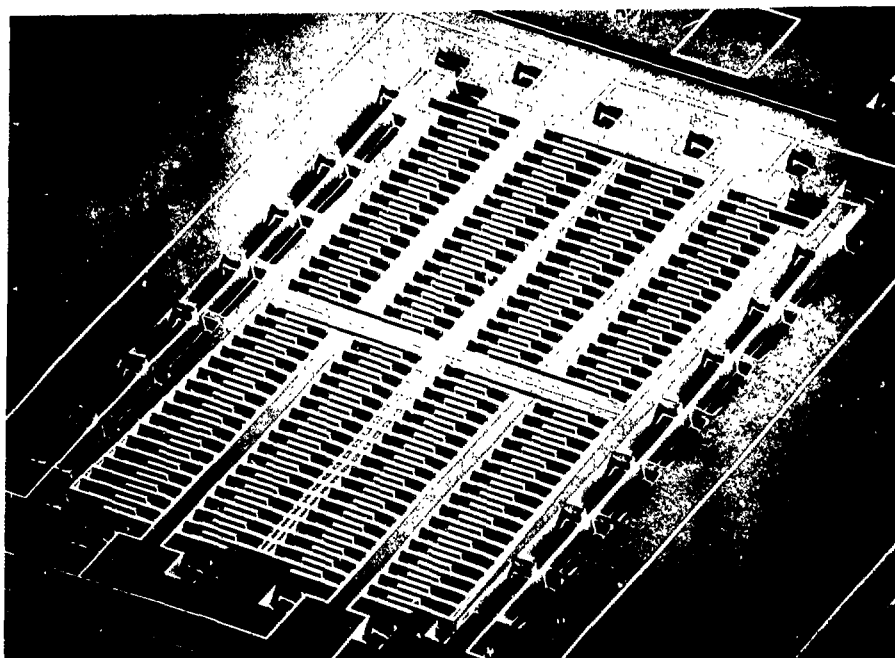
Figure 34
Sensibilité d'une jauge SIMOX en fonction de la température.

Accéléromètre intégré à quartz

Fabriqué par gravure chimique anisotrope du quartz, cet accéléromètre est étudié à la demande de la SFENA depuis 1983. 1988 a été consacrée à :

- la mise en place des moyens de production à la SFENA,
- la livraison des premiers produits industriels (accéléromètre de classe 10^{-3} et de gamme ± 1 à ± 100 g),
- la poursuite des études d'amélioration de la technologie à la Division LETI,
- l'étude d'une nouvelle version à moteur électrostatique (Fig. 35).

Figure 35
Structure en quartz
micro-usiné pour accé-
léréromètre à moteur
électrostatique. Les
lames de suspension
étant flexibles dans une
direction parallèle au
substrat, il est possible
d'avoir des détecteurs
capacitifs à réponse
linéaire (variation de
surface et non
d'écartement).



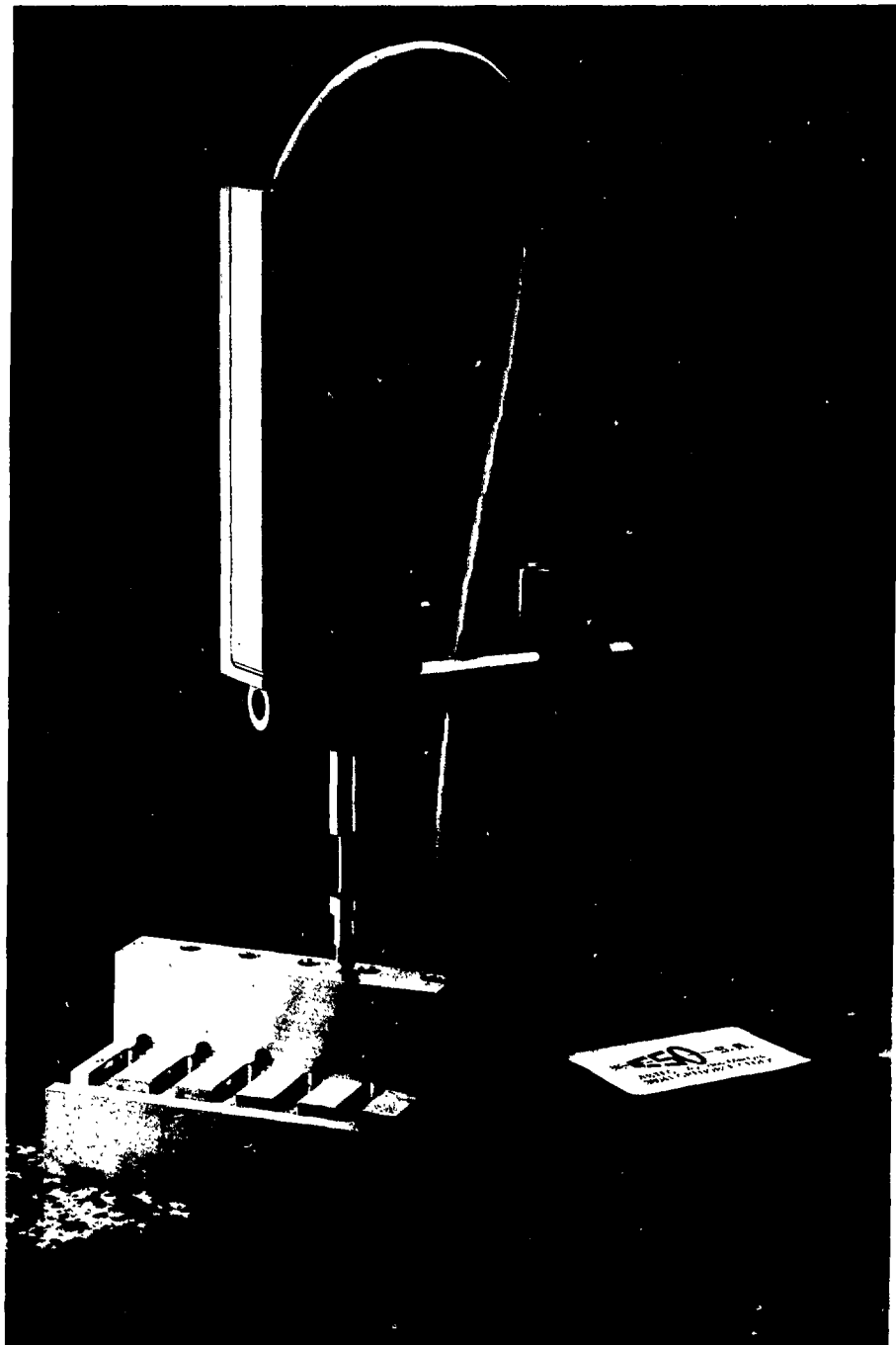
Capteur de déplacement intégré sur silicium

Ce capteur est constitué d'un interféromètre de Michelson dont les composants optiques passifs (lentilles, miroirs, déphaseurs, guides de lumière...) sont déposés en couche mince sur silicium. La source lumineuse (diode laser GaAlAs) et les photodétecteurs sont hybridés sur la puce.

Les faits marquants de 1988 sont :

- l'aboutissement du transfert à CSO (Fig. 36),
- le démarrage des études pour une version connectable en bout de fibre,
- l'accord de coopération avec HOMMELWERKE pour la mise au point d'une version haute précision.

Figure 36
Capteur de déplacement
incorporant un inter-
féromètre intégré CSO
et présenté à l'exposition
Microtechnik de Zürich
par la société Roch.



Capteur de pesage à jauges de contrainte couche mince

Depuis 1979, les sociétés TERRAILLON puis SCAIME collaborent avec la Division LETI pour la mise au point et l'amélioration de la technique des jauges de contrainte en couche mince. Les travaux effectués en 1988 ont été suffisamment porteurs d'innovations pour que leur poursuite en 1989 soit décidée.

Capteur de méthane

Ce capteur est développé en collaboration avec le CERCHAR. Il fonctionne selon le principe de la combustion catalytique sur filament de platine.

Les études de la stabilité de la couche mince de platine (température de fonctionnement de 900°C) démarrées en 1988 seront poursuivies en 1989.

Gyromètre optique intégré

Menée en coopération avec des industriels français, cette étude a pour objectif de démontrer la faisabilité d'un gyromètre en optique intégrée sur silicium.

Les résultats obtenus permettent d'espérer atteindre l'objectif de sensibilité visé de 0,5°/s.

Programme écrans plats

Introduction

L'activité de la Division LETI dans le domaine des écrans plats à cristaux liquides entreprise dès 1970, a abouti à la mise au point de deux technologies originales :

- les écrans à multiplexage direct BCE/CSH en cours de développement industriel chez notre partenaire STANLEY ELECTRIC CO. au Japon,

- les écrans smectiques chiraux ferro-électriques qui nous ont permis de démontrer (première mondiale) le fonctionnement en mode télévision en octobre 1988.

Une autre voie originale a été poursuivie avec la démonstration de faisabilité d'écran fluorescent à micropointes (EFM). Cette technologie est basée sur le principe de l'émission d'électrons par effet de champ à partir d'une matrice de micropointes.

L'année 1988 a été marquée par la réalisation d'un écran prototype de 6" de diagonale fonctionnant en mode télévision.

Notre effort principal portera dans l'avenir sur la réalisation d'écrans plats EFM pour la télévision couleur au cours des prochaines années.

Ecran fluorescent à micropointes

L'écran EFM est un tube cathodique plat qui présente les caractéristiques suivantes :

- émission électronique à partir d'une matrice de micropointes à effet de champ (basse tension, faible consommation),

- adressage matriciel (modulation de la tension cathode-grille),

- chaque point d'image (pixel) possède environ 1 000 pointes élémentaires (redondance des micro-émetteurs) (Fig. 37),

- épaisseur de l'écran d'environ 2 mm.

L'année 1988 a été marquée par la démonstration de faisabilité d'écrans monochromes de 6" de diagonale constitués de 256 x 256 points.

Les différentes étapes du procédé de fabrication ont été validées et en particulier :

- la réalisation des trous de 1,4 μm de diamètre dans la grille,

- l'évaporation et la mise sous vide des écrans à partir de deux lames de verre minces (1 mm) (Fig. 38).

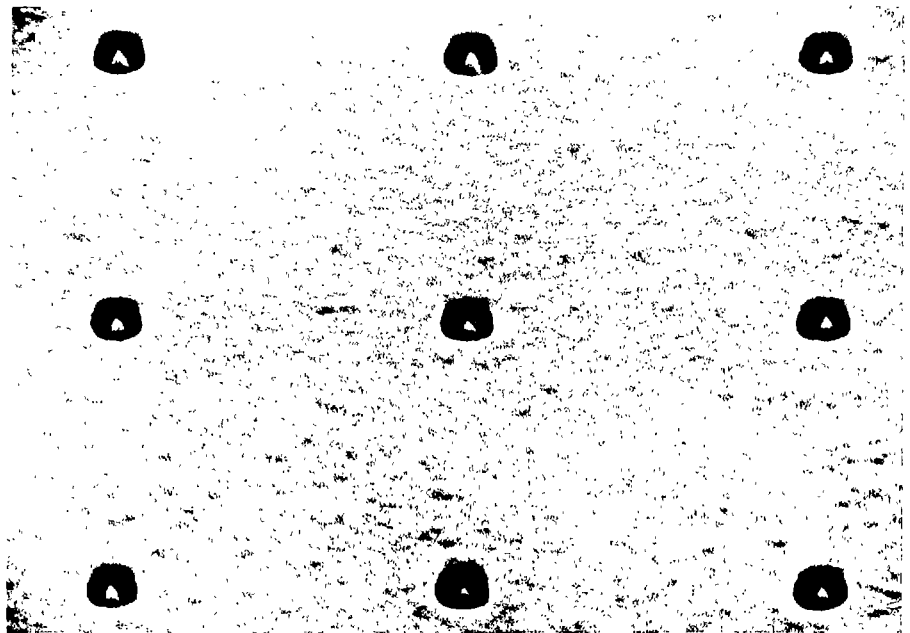


Figure 37
Photographie au micro-
scope à balayage d'un
réseau de micropointes.

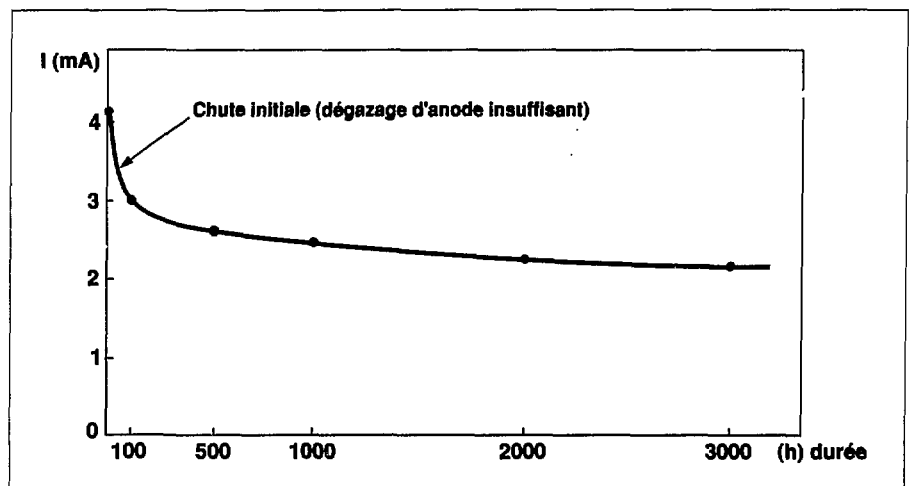


Figure 38
Stabilité d'émission en
vide statique.

Une maquette d'écran de télévision fonctionnant avec 16 niveaux de gris a été réalisée au cours de cette année. Les performances en terme de brillance, de contraste, d'angle de vue et de temps de réponse sont proches de celles du tube cathodique conventionnel.

Des progrès décisifs ont été faits dans la mise au point de la technologie :

- meilleure homogénéité de l'émission à partir des micropointes,
- reproductibilité meilleure de la caractéristique d'émission d'un écran à l'autre,
- directivité accrue du faisceau d'électrons permettant d'améliorer la résolution,
- optimisation du rendement lumineux des luminophores à basse tension d'excitation (≤ 500 volts).

La fiabilité démontrée est actuellement de quelques milliers d'heures en fonctionnement. En utilisant des getters appropriés, il sera possible de dépasser 10 000 heures.

Le procédé doit maintenant être stabilisé ; la prochaine étape sera le passage à l'écran EFM couleur.

Les paramètres de fonctionnement visés pour un écran EFM couleur sont les suivants :

- brillance : 300 Cd/m²
- courant d'anode : 1 μ A/mm²
- tension d'anode : 400 volts
- consommation maximum : 4 Watts/dm²

Ecrans à cristaux liquides smectiques ferro-électriques

En 1988, l'évaluation de la technologie à cristaux liquides ferro-électriques s'est poursuivie au sein de la Division LETI.

Ces cristaux liquides qui présentent la particularité d'avoir des temps de réponse extrêmement court de l'ordre de 10 à 100 μ s à température ambiante ont de grandes potentialités pour l'avenir. En effet, ils permettent de supprimer une limitation actuelle des afficheurs complexes réalisés à partir de cristaux liquides nématiques, à savoir la cadence de changement d'image souvent insuffisante.

L'effort de recherche a porté essentiellement :

- sur la maîtrise de la technologie : l'alignement et le contrôle d'épaisseur de cristaux liquides de 1,5 μ m sur des surfaces de l'ordre du décimètre carré,
- sur l'amélioration de la cadence : des temps d'écriture ligne de 60 μ s, donc compatibles avec un signal vidéo, ont été obtenus sur un écran balayé,
- sur la faisabilité d'une image vidéo avec échelle de gris en mode télévision. Cette démonstration constitue une première mondiale dans le domaine.

Deux écrans prototypes de 6" de diagonale et de 250 x 320 points ont été réalisés :

- un écran graphique et alphanumérique fonctionnant en noir et blanc avec temps d'écriture ligne de 80 μ s (Fig. 39),
- un écran télévision monochrome avec neuf niveaux de gris (Fig. 40).

Le potentiel de cette technologie se trouve donc confirmé et des solutions originales pour ajouter la couleur à ces écrans semblent possibles compte tenu de la très grande rapidité de l'effet électro-optique.



Figure 39
Prototype d'écran noir
et blanc
alphanumérique.



Figure 40
Prototype d'écran noir
et blanc télévision avec
échelle de gris.

Actions thématiques matériaux

On rend compte dans ce chapitre des résultats obtenus dans le cadre de recherches sur les matériaux qui ne sont pas intégrées dans les lignes de programmes. Les matériaux sont les suivants :

- Scintillateurs
- Couches minces magnéto-optiques
- Semi-conducteurs composés III-V
- Supraconducteurs
- Polymères pour l'optique et polymères électro-actifs

Matériaux scintillateurs

L'objectif de cette action est la recherche de nouveaux matériaux scintillateurs pour la détection nucléaire, X et γ .

Nouveaux scintillateurs denses et rapides

Ils sont recherchés afin de concurrencer le GSO (oxyorthosilicate de gadolinium dopé cérium). De nombreuses familles de matériaux ont été étudiées parmi les silicates, tantalates, niobates ou gallates de terres rares dopés Ce^{3+} , Tb^{3+} ou Bi^{3+} . Les candidats retenus sont en cours d'évaluation.

Scintillateurs couches minces

Des couches minces monocristallines de YAG dopé cérium-terbium ont été préparées par épitaxie en phase liquide avec des propriétés et des qualités améliorées. Ces couches ont permis à THOMSON/DTO de réaliser des prototypes d'écrans TRC haute résolution qui sont en cours de caractérisation.

Couches minces magnéto-optiques

Une structure double couches de grenat magnéto-optique épitaxié a été mise au point (couche profonde à aimantation plane et couche de surface à aimantation perpendiculaire). Cette structure a permis à THOMSON/LCR d'améliorer les performances du transducteur magnéto-optique à haute résolution étudié pour la lecture des bandes magnétiques.

Matériaux semiconducteurs III-V

Les études sur les matériaux semiconducteurs III-V ont commencé à la Division LETI en 1981. L'objectif principal de ces recherches était de mettre au point des procédés industriels compétitifs dans le but de transférer à un fabricant de matériau français ou européen. Cette action était soutenue par la DRET et le Ministère de la Recherche. Depuis 1981, de nombreux contacts et collaborations ont été établis avec des industriels : CRISMATEC, THOMSON, RHONE-SILTEC, IMETAL, ICI (GB), PECHINEY/METAUX SPECIAUX PREUSSAG (RFA), WACKER (RFA), CHEMETAL (RFA). Ces contacts ont conduit à la mise en place d'unités pilotes de production de substrats de GaAs, et de projets à long terme dans le cadre du programme ESPRIT. Malgré ces efforts, et malgré les résultats originaux et d'excellent niveau obtenus à la Division LETI, la recherche permanente d'un partenaire industriel n'a pas abouti, pour les raisons suivantes :

- GaAs est un matériau très risqué ; le marché des substrats de GaAs semi-isolant est limité (40 M\$ en 1988) et très en-dessous des prévisions. Actuellement, aucun fabricant dans le monde ne fait de profits. La compétition avec le silicium est de plus en plus dure ; les fabricants de Ci sur GaAs utilisent actuellement des substrats de qualité moyenne voire mauvaise (inhomogène, 10^4 défauts/cm²). Leur seule exigence est d'abaisser le prix des substrats.

- La tendance est plus au développement des tranches épitaxiées (MOCVD, MBE) qu'à l'amélioration de la qualité des substrats par des procédés sophistiqués (dopage Indium, recuits, tirage sous champ magnétique...) tels qu'ils sont développés à la Division LETI. Il faut tenir compte également de l'épitaxie de GaAs sur silicium.

Les études à la Division LETI se situent très en amont des besoins actuels des utilisateurs. L'état actuel défavorable du marché et l'absence d'un intérêt industriel immédiat ont amené la Division LETI, en accord avec la DRET, à prendre la décision d'arrêter cette activité à la fin de l'année 1989.

Les résultats suivants, d'excellent niveau, ont été obtenus en 1988 :

- mise au point des procédés de tirage Czochralski (CZ) de GaAs et de GaAs dopé In, de diamètre 2", avec et sans champ magnétique,
- fabrication de tranches 2" conformes aux normes THOMSON, tranches utilisées par cette société dans la chaîne de fabrication de CI,
- automatisation des procédés,
- modélisation de la croissance CZ sous en capsulanti,
- conception et réalisation d'une nouvelle machine de tirage CZ sous champ magnétique,
- mise au point des procédés de conditionnement du matériau et de fabrication des substrats 2",
- mise au point des appareils et des procédés de caractérisations électriques, optiques et structurales,
- mise au point des recuits d'homogénéisation,
- des études physiques et des résultats scientifiques de niveau international sur les mécanismes de création des dislocations et la compréhension des interactions entre les dislocations, les précipités et les défauts ponctuels.

Les résultats les plus récents portent sur :

■ Tests fonctionnels effectués par THOMSON : les matériaux Division LETI seraient meilleurs en ce qui concerne certains effets ("Side gating"), mais ces résultats ne permettent pas de conclure sur la supériorité de GaAs dopé In sur GaAs standard.

■ Validation des résultats de modélisation numérique du tirage CZ par des résultats expérimentaux de mesures thermiques.

■ Etude de l'influence du champ magnétique sur la thermique et la qualité du matériau (Fig. 41). Les fluctuations de température enregistrées à l'interface de croissance diminuent très sensiblement (1/10) sous champ magnétique (1000 - 3000 Gauss), par blocage des convections thermiques. Ceci a pour effet de faire disparaître la structure anarchique des striations de dopage (fluctuations microscopiques de la concentration d'In de 1-2 % sur 10-200 μm) observées dans GaAs dopé In, et de ne laisser subsister que des striations régulières, de moindre importance et d'origine mécanique bien identifiée. La conséquence pratique est l'obtention d'un matériau très homogène.

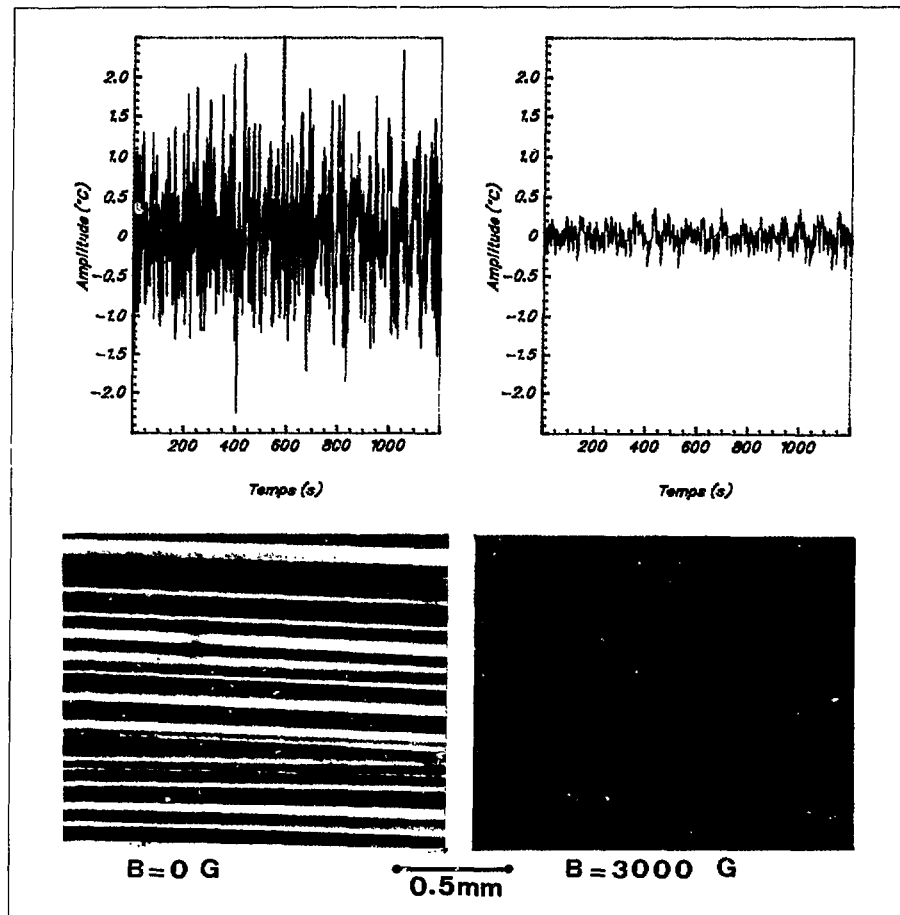
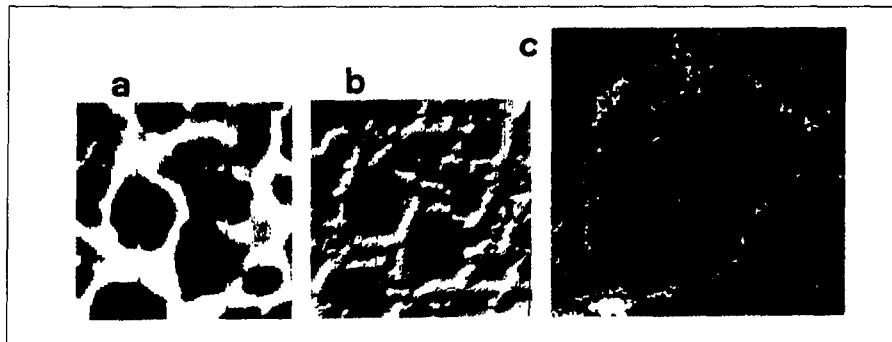


Figure 41
Effet du champ magnétique sur les fluctuations de température au voisinage de l'interface (en haut) et sur les striations de dopage indium dans GaAs:In (en bas) révélées par attaque chimique sous lumière.
 $B = 0$ (à gauche) et $B = 3\,000$ Gauss (à droite).

• Origine des inhomogénéités dans GaAs et compréhension des interactions entre les dislocations, les précipités et les défauts ponctuels (Fig. 42). Pendant le refroidissement après la croissance, l'excès d'arsenic précipite localement et préférentiellement sur les dislocations créées par les contraintes thermiques. Cette précipitation a pour effet de laisser une zone (100 μm) vierge en défauts ponctuels non radiatifs, au voisinage des dislocations, qui se manifeste par une forte intensité de photoluminescence autour des dislocations. Ce mécanisme est à l'origine des inhomogénéités électriques et optiques à l'échelle microscopique, observées dans GaAs et qui sont néfastes pour le rendement de fabrication des CI. On peut obtenir un matériau homogène par élimination des dislocations et des précipités en mettant en œuvre des techniques telles que : tirage sous faible gradient thermique, tirage sous champ magnétique, dopage In, contrôle de la stoechiométrie, contrôle du refroidissement, recuit en tubes scellés.

Enfin, il faut noter la signature d'un accord de licence avec la Société CYBERSTAR.

Figure 42
Corrélations entre
l'image de photo-
luminescence (2 x 2 mm)
(a) la distribution des
dislocations et de leur
atmosphère de Cottrell
révélés par attaque
chimique sous lumière
(2 x 2 mm) (b) et la
distribution des
précipités d'arsenic
observés par tomogra-
phie infrarouge (0,85 x
0,85 mm) (c) sur un
même échantillon de
GaAs et dans les mêmes
zones (1, 2 et 3).



Programme 1989

La dernière année de l'activité concerne l'optimisation des techniques citées ci-dessus, déjà réalisée en partie, afin d'obtenir un matériau homogène et sans défaut, dans le cadre d'un contrat DRET. En parallèle, la recherche de partenaires va continuer dans le but de terminer le projet dans les meilleures conditions possibles.

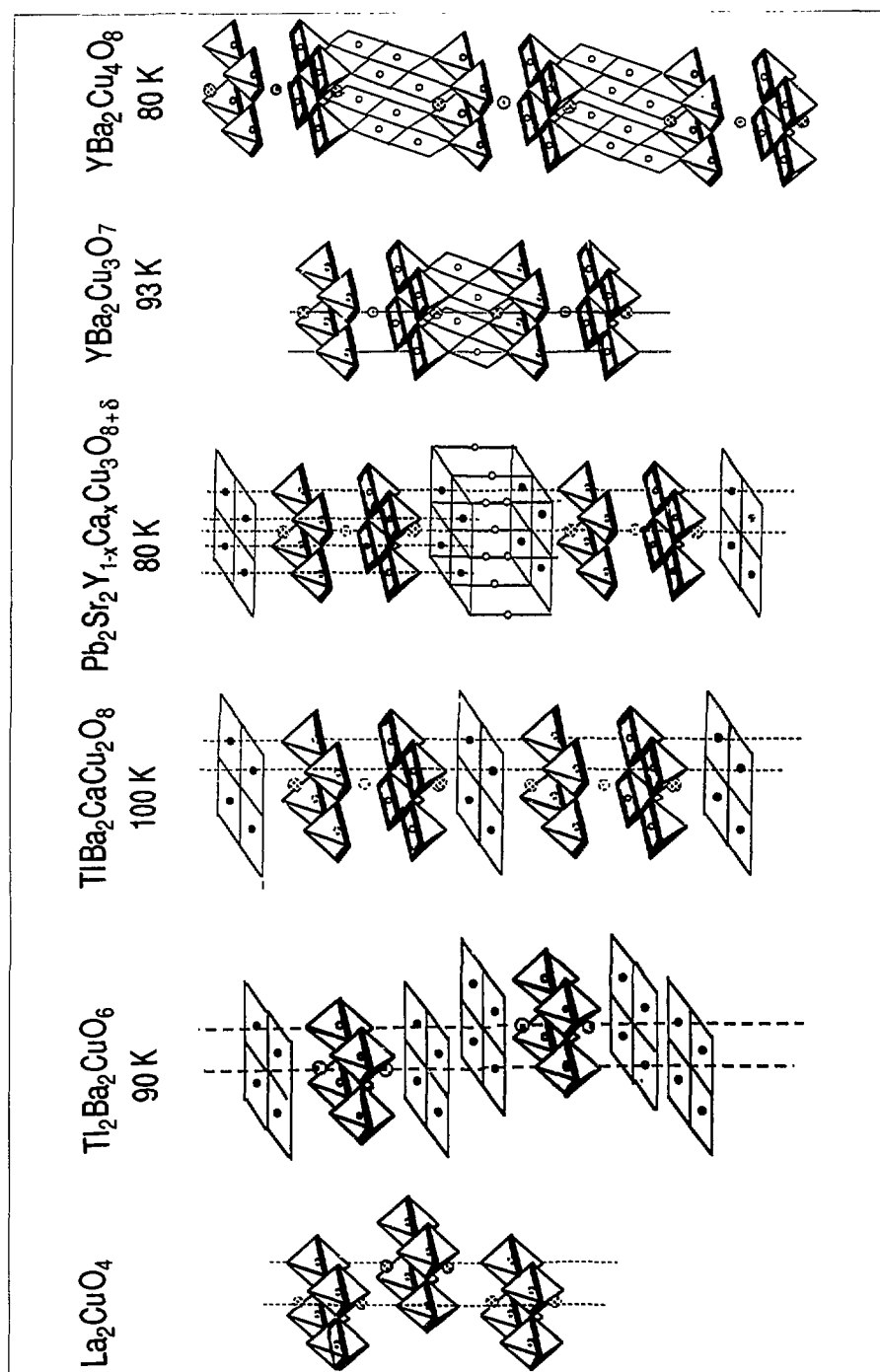
Supraconducteurs

L'effervescence observée en 1987 sur la recherche de nouveaux matériaux supraconducteurs a été suivie en 1988 par la mise en place de programmes porteurs au Japon et aux Etats-Unis concernant leurs applications possibles en électronique et électrotechnique. D'autre part, de nouvelles familles d'oxydes de cuivre ont été découvertes durant l'année (Fig. 43.a).

La Division LETI a initié, en 1988, un programme de recherche exploratoire concernant l'application de ces matériaux à l'opto-électronique et à l'électronique.

L'activité, établie en concertation avec différentes unités du CEA (DRFG, DMG...), a été concernée par le dépôt de couches minces propres à la réalisation de composants électroniques intégrés. En parallèle, un accord pour l'échange d'informations entre le CEA et THOMSON/CSF sur l'utilisation des nouveaux supraconducteurs a été signé en 1988 et a permis de réunir un groupe de travail composé de représentants de la Division LETI et du LCR.

Figure 43.a
Principales familles de
cuprates mixtes supra-
conducteurs dont les
phases ont été étudiées
en 1988.



Programme de recherche

Le programme de recherche qui a été initié en 1988 pour la mise en place de moyens propres, comporte deux volets qui concernent d'abord la maîtrise des couches minces puis des composants.

La technique de pulvérisation cathodique convient particulièrement à la réalisation des multicouches comportant plusieurs niveaux de films supraconducteurs très minces (~ 200 nm) qui composent les circuits supraconducteurs.

La DRET soutient cette action avec comme objectif : la maîtrise de films $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ supraconducteurs $T_c > 40$ K déposés par le procédé pulvérisation basse température (650°C) sur substrat de corindon qui permet de s'affranchir de recristallisations proscrites dans les multicouches.

L'action pulvérisation doit être renforcée durant l'année 1989 par l'arrivée d'un équipement multicibles devant permettre de réaliser *in situ* des multicouches intégrant couches tampons, couches supraconductrices, couches de passivation et de contact, ainsi que des jonctions tunnel Josephson et des transistors supraconducteurs.

Une seconde technique de croissance de films par Epitaxie en Phase Liquide a été initiée en 1988.

La réalisation de couches $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ de très bonne qualité cristalline sur des substrats de Zircane yttrié (Fig. 44) de SrTiO_3 et LaAlO_3 est un premier succès.

Cette technique est développée en liaison avec des industriels : AIR LIQUIDE, SAT, SAGEM et des laboratoires du CNRS, dans le cadre d'une action MRT, portant en particulier sur les actions CVD ; elle doit se poursuivre en 1989 par l'exploitation des potentialités de cette technique. Une technique de dépôt de supraconducteurs par ablation laser de cibles de composition définies, doit être engagée en 1989 de façon à mieux comprendre les mécanismes

Figure 43.b
Les études de la Division
LETI en microscopie
électronique à haute
résolution de cristaux
 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$
ont permis de mettre en
évidence des ondes de
distorsion de la position
des atomes de Bismuth
suivant la direction b de
la structure ainsi que le
plan de clivage corres-
pondant à un plan BiO_x
en surface.

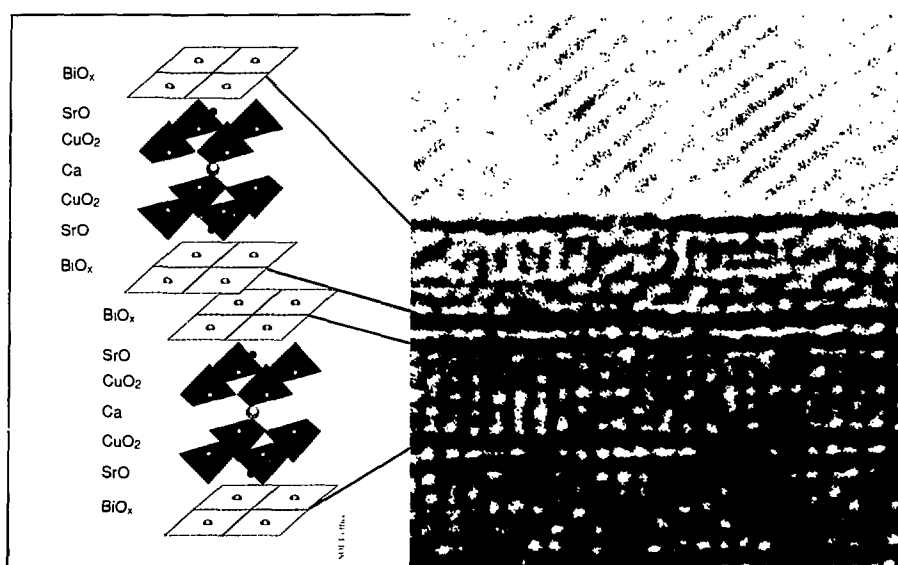


Figure 44
 Mesure résistive
 de la transition supra-
 conductrice ($T_c = 81K$)
 de films Bi_2Sr_2Ca
 Cu_2O_{8+x} obtenus par
 dépôt en Epitaxie en
 phase liquide sur des
 substrats de zircone
 yttrié. La phase et sa
 texture (001) sont iden-
 tifiées dans l'encart par
 diffraction de rayons X :
 tous les pics d'amplitu-
 de significative corres-
 pondent à la texture
 d'axe c perpendiculaire
 au film.

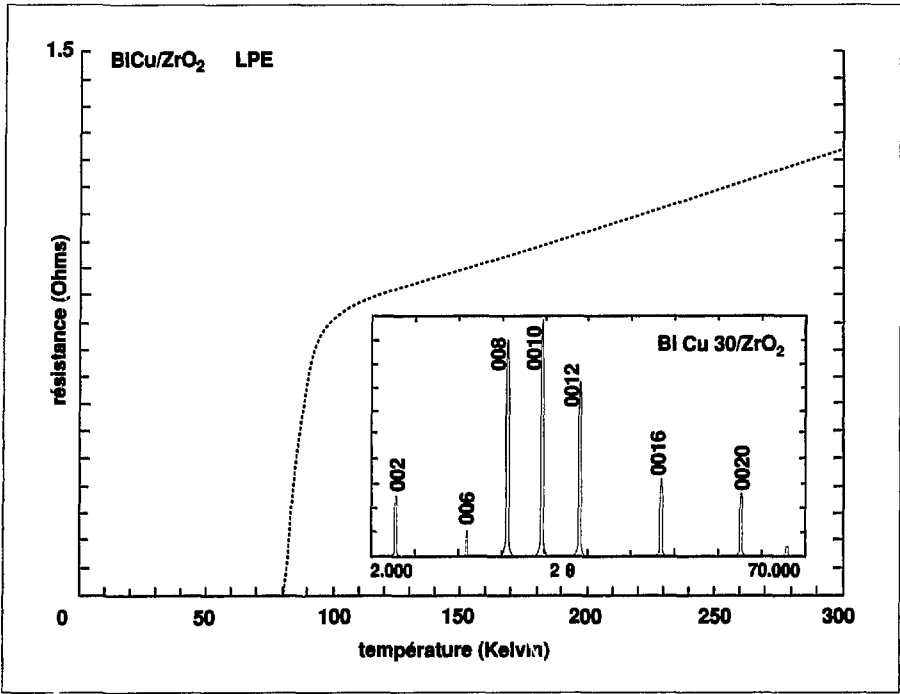
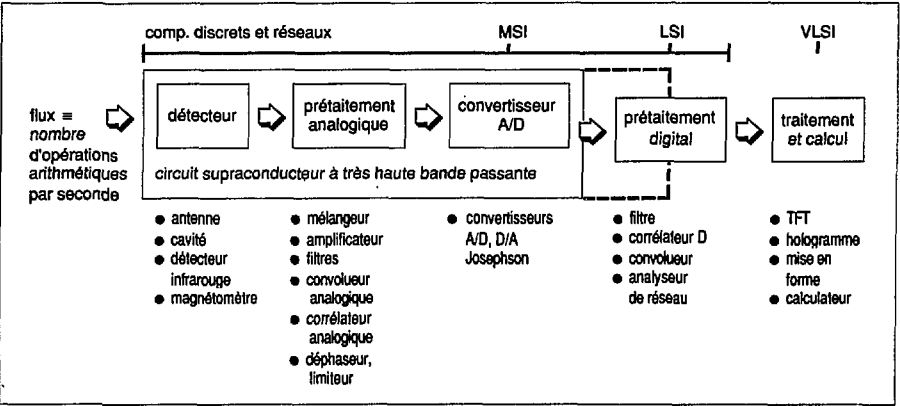


Figure 45
 Chaîne de traitement du
 signal en télécom-
 munications, imagerie,
 radar, électronique
 rapide.



de naissance de ces nouvelles phases et d'explorer les potentialités de leurs propriétés électroniques. L'analyse des applications potentielles des supraconducteurs à l'opto-électronique et à l'électronique a permis à la Division LETI d'identifier un certain nombre de composants supraconducteurs de complexité limitée pouvant être réalisés dans un avenir relativement proche (5 ans) et présentant un intérêt significatif dans des applications de photodétection et de traitement du signal.

Les composants supraconducteurs, dans des chaînes de traitement du signal de très haute rapidité, présentent une très grande sensibilité (Fig. 45).

L'évaluation et la conception de tels composants doit être approfondie en 1989.

L'année 1988 a également permis de poursuivre l'expertise des nouvelles phases supraconductrices.

Des études de structure, de sur-structure et d'identification de défauts par microscopie électronique à haute résolution (HRTEM) ont été réalisées avec succès à la Division LETI, en collaboration étroite avec le Laboratoire de Cristallographie du CNRS-Grenoble (Fig. 43.b). D'autre part, des techniques d'analyse *in situ* par spectrométrie d'électrons Auger et de photo-électrons (XPS) associés à des traitements plasma ont permis d'étudier l'interface entre un film d'argent très mince (6 nm) et un supraconducteur $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.

On a montré qu'il est possible de contrôler la résistance de contact $Ag/YBa_2Cu_3O_{7-x}$ par un traitement plasma d'oxygène à travers le film d'argent et de passer de façon réversible d'une interface isolante à une interface conductrice.

Cette étude est très importante pour la maîtrise d'interfaces qui gouvernent le fonctionnement des dispositifs actifs (jonctions tunnel, transistors...) qui seront étudiés par la suite.

Polymères

Matériaux organiques semiconducteurs pour l'optique non linéaire

Certains types de polymères organiques, tels que les polythiophènes, les polydiacétylènes, etc. ont des coefficients optiques non linéaires très élevés. On sait maintenant former avec ces matériaux des couches minces de bonne qualité optique permettant leur utilisation en optique

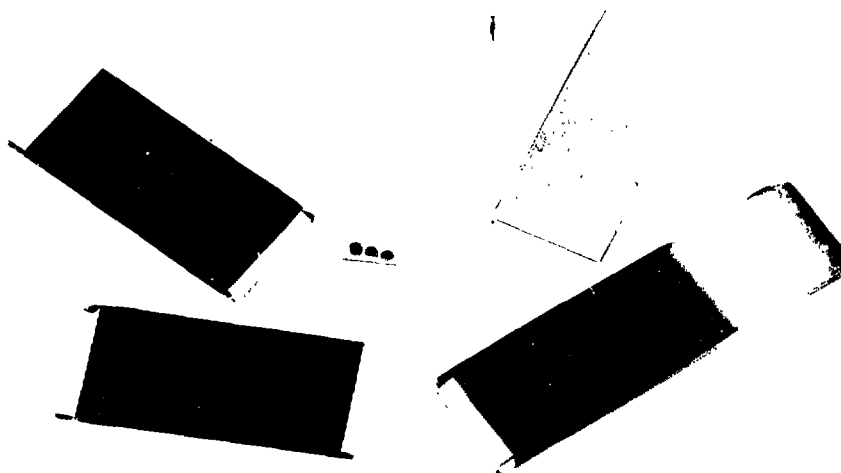


Figure 46
Couches minces
obtenues avec des
polymères organiques.

intégrée (Fig. 46) dans des dispositifs électro-optiques (Fig. 47). On peut également obtenir ces matériaux sous forme de gels amorphes, de volume important, utilisables dans des systèmes à conjugaison de phase ayant des temps de réponse très courts.

Dans le cadre d'un programme européen ESPRIT, la Division LETI participe à la réalisation en optique intégrée de modulateurs électro-optiques et de doubleurs de fréquence.

Par ailleurs, on a réalisé un capteur de champ électrique, entièrement optique.

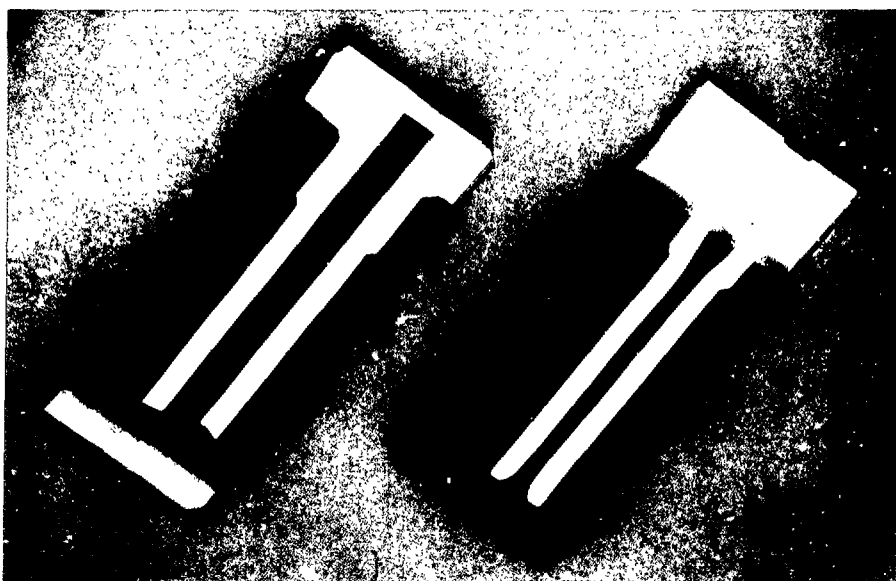


Figure 47
Application de couches
minces à base de
polymères organiques
pour l'optique intégrée.

Polymères électro-actifs

Les recherches sur les polymères conducteurs ont été menées d'une part en vue de la compréhension des mécanismes fondamentaux du dopage - séparation des charges capacitatives et des charges faradiques, établissement d'un modèle - d'autre part en vue de l'amélioration de la processabilité - synthèse de polymères solubles ou fusibles.

En ce qui concerne le stockage d'énergie, on a pu confirmer les propriétés intéressantes du système Polypyrrole/DMSU/Lithium, pour lequel on observe l'insertion simultanée de l'anion et du cation : ceci permet de doubler la capacité de stockage des électrodes de polypyrrole. Les études se poursuivent pour déterminer les conditions d'application aux batteries électrochimiques dans le cadre d'un contrat BRITE, en collaboration avec BASF, VARTA et DRF.

L'étude de l'emploi des polymères conducteurs dans les condensateurs électrochimiques est menée en collaboration avec LCC. Le but recherché est l'amélioration des performances haute fréquence des condensateurs par l'utilisation d'un électrolyte solide à base de polymères conducteurs.

En collaboration avec la DAM, on a étudié et réalisé des composites polymères/polymères conducteurs, pour l'application au blindage électromagnétique.

Action thématique composants

L'année 1988 a été une année charnière pour les actions Composants reposant sur les technologies d'optique intégrée.

L'événement clef a été la réussite du transfert de la filière OIS1 et du capteur de déplacement interférométrique vers la Compagnie des Senseurs Optiques (CSO).

Ce transfert a été conforté par des actions industrielles avec des partenaires allemands (HOMMELWERKE pour la métrologie) et français (PSA - SFENA : étude d'anneaux résonants pour des applications gyrométriques) qui doivent se poursuivre en 1989.

Dans le domaine des communications optiques, le démarrage en 1988 d'un programme RACE permet de pénétrer un domaine d'application privilégié de l'optique intégrée.

Une action dans le cadre des projets Prometheus doit renforcer cet axe en 1989. Ces deux programmes reposent sur la nouvelle filière technologique OIS2 dont les retombées dans le domaine des capteurs devraient, à terme, être très importantes.

Enfin, la concrétisation d'un programme ESPRIT dans le domaine des mémoires optiques (réalisation de têtes de lecture-écriture pour disques magnéto-optiques) devrait donner à l'action Composants Optiques Intégrés une assise solide pour les prochaines années. Le projet doit officiellement démarrer en avril 1989.

Activités instrumentation et systèmes

Présentation des programmes instrumentation et systèmes	page 76
Programme instrumentation biologique et médicale	79
Programme instrumentation physique	85
Programme instrumentation et systèmes industriels	92
Programme instrumentation et systèmes nucléaires	109
Programme systèmes sûrs	115

Présentation des programmes instrumentation et systèmes

Jusqu'en 1988 l'activité du Secteur était définie selon les lignes de programmes suivantes :

- Instrumentation Biologique et Médicale
- Instrumentation pour la Physique
- Productique
- Robotique
- Instrumentation pour l'Environnement
- Instrumentation Nucléaire
- Intelligence Artificielle et Génie Logiciel
- Architecture et Intégration

Une optimisation des lignes de programmes a conduit courant 1988 à une concentration :

- Instrumentation Biologique et Médicale
- Instrumentation Physique
- Instrumentation et Systèmes Industriels
- Instrumentation et Systèmes Nucléaires
- Systèmes sûrs

Certains programmes sont très conditionnés par leur adaptation aux besoins des domaines d'applications : biologique et médical, physique nucléaire, systèmes industriels (en particulier robotique, productique et contrôle).

La ligne Systèmes Sûrs répond aux besoins pressentis surtout des domaines nucléaires et de l'espace.

Les programmes du Secteur Instrumentation et Systèmes doivent trouver leur équilibre par rapport aux activités de valorisation de l'IRDI (génie biomédical, robotique, productique, contrôle non destructif, etc.) et par rapport aux activités du Secteur Matériaux et Composants (micro-électronique, optronique).

Une recherche de synergie optimale dans ces 3 types d'activités a été menée en 1988 et sera intensifiée avec les unités correspondantes.

Si les programmes peuvent être caractérisés par leur cible, il est bon également de préciser les principales spécialités techniques mises en œuvre.

Les métiers caractérisant l'activité du secteur Instrumentation et Systèmes sont :

- la magnétométrie haute résolution,
- la détection des rayonnements,
- l'informatique temps réel (architectures et logiciel),
- l'imagerie et la visionique,
- la sûreté de l'électronique et de l'informatique (tenue aux rayonnements, tolérance aux pannes),
- l'instrumentation de contrôle des réacteurs et usines de retraitement.

Faits marquants

Instrumentation biologique et médicale

La Division LETI a livré 3 tomographes à émission de positons aux centres de recherches médicales de médecine nucléaire des hôpitaux d'Orsay (IRF/Département de Biologie/SHFJ), de Lyon, de Caen. Les premières images médicales obtenues au SHFJ confirment les performances attendues de la machine.

La société SOPHA MEDICAL a commercialisé la gamma caméra étudiée à la Division LETI. 40 systèmes ont été vendus aux Etats-Unis.

Dans le cadre d'une collaboration avec la société ODAM, un cytofluorimètre de haut de gamme (ATC 3.000) a été développé et son succès commercial a déterminé ODAM et la Division LETI à étudier un nouveau cytofluorimètre de plus grande diffusion (ACR 1.000). Le point dur de ce développement vient d'être vaincu par la mise au point d'un nouveau système de déflexion laser.

Une collaboration étroite est bien établie avec l'IPSN pour les composantes biologiques de ces projets.

Instrumentation physique

Les recherches en magnétométrie avaient jusqu'alors permis à CROUZET de répondre aux besoins de la Marine Nationale en lutte anti-sous-marine. Notre technique est maintenant la base d'un accord international (US NAVY/Marine Nationale).

Un principe nouveau d'accélérateur bien adapté aux problèmes de l'irradiation alimentaire et de la stérilisation avait été proposé pour rendre compact ce type de machine.

Le premier prototype "RHODOTRON" vient d'être "mis sous tension" avec succès.

Instrumentation et systèmes industriels

Les essais d'un rondier de surveillance ont été effectués avec succès dans une raffinerie de ELF et concrétisent les études en robotique mobile, en particulier en vision et pilotage automatique.

L'activité déployée en traitement d'images, reconnaissance des formes, a été concrétisée par une réalisation industrielle d'un concept de reconnaissance des formes. Ce dispositif permettant

la reconnaissance automatique des caractères d'identification de produits défilants a été validé industriellement (société SOLLAC).

Systèmes sûrs

Une activité d'essais sous irradiation des composants et systèmes s'est organisée en liaison avec la DAM. Elle peut prendre en compte l'irradiation gamma, électrons, neutrons, ions lourds, et s'intéressera à l'immunité électromagnétique.

C'est l'activité complémentaire aux actions engagées dans la Division LETI (Composants Durcis et Systèmes Sûrs).

Programme instrumentation biologique et médicale

Tout d'abord, l'année 1988 a été caractérisée par un effort très soutenu pour terminer la réalisation des trois tomographes à positons et assurer leur installation sur les trois sites.

L'année écoulée a été une année charnière : on peut noter une diminution de l'activité (projets arrivant à leur terme ou abandon de projet) dans les secteurs considérés comme traditionnels, et parallèlement l'émergence de nouveaux thèmes. Cette observation est d'ailleurs le reflet des réorientations de programme entraînées par l'évolution du tissu industriel.

Pour l'essentiel, les nouvelles orientations s'articulent autour des axes suivants :

- Diagnostics, gestes et soins assistés par ordinateur s'appuyant sur les compétences en imagerie, lasers, biocapteurs, systèmes experts.
- Instrumentation sur le thème de l'alternative à l'hospitalisation et de la surveillance à domicile : capteurs et systèmes sûrs.
- Microbiologie : séquençage ADN, ingénierie des protéines, instrumentation avec l'ESRF.

Instrumentation pour la médecine nucléaire

Gamma caméra

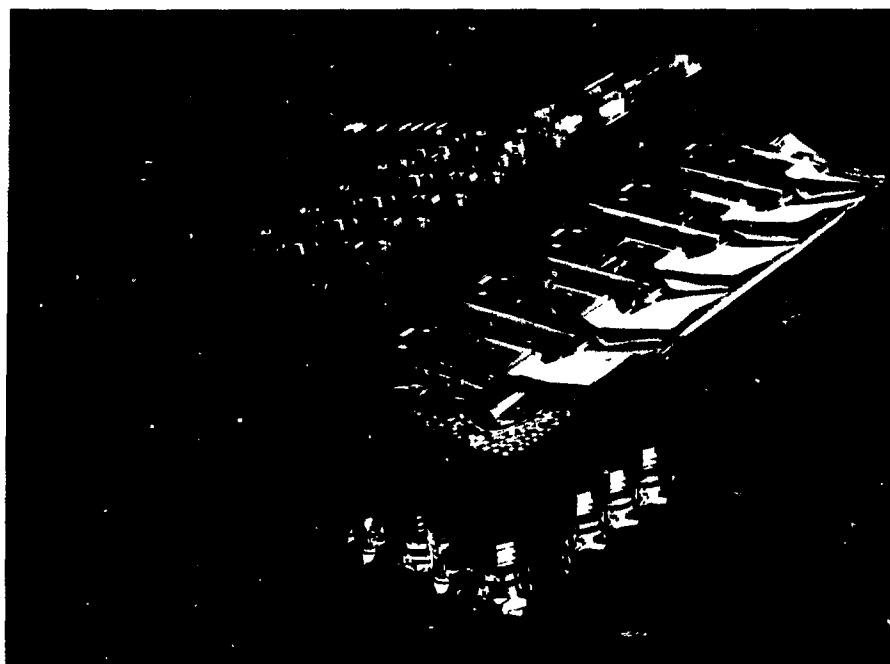
Dans le cadre d'un contrat de collaboration avec SOPHA MEDICAL, la Division LETI a étudié et réalisé un détecteur et une électronique de localisation pour gamma caméra destinés à être couplés au système de traitement de données SOPHY développé par SOPHA MEDICAL.

Le nouveau détecteur (Fig. 48) a un très grand champ rectangulaire (550 mm x 420 mm) optimisé pour les examens du corps entier, et comporte un dispositif original de correction automatique de dérive de gain des tubes photomultiplicateurs. La correction de gain est réalisée par un circuit hybride à report de puces pour chaque PM qui permet de réduire l'encombrement et le prix de revient industriel. Ce dispositif permet d'obtenir des images tomographiques de très bonne qualité et facilite les problèmes de maintenance.

Le transfert industriel a eu lieu fin 1988 dans d'excellentes conditions grâce au détachement d'un ingénieur de SOPHA MEDICAL à la Division LETI pendant la durée de l'étude. La production en série de ces détecteurs aura lieu dans le premier semestre 1989.

En 1988, SOPHA MEDICAL a fabriqué une centaine d'appareils (SOPHY CAMERA) incluant l'électronique de localisation de la Division LETI, déjà étudiée dans le cadre d'une précédente collaboration ; une trentaine de ces appareils sont installés aux Etats-Unis. 5 brevets avaient été déposés par la Division LETI pour cette étude.

Figure 48
Détecteur rectangulaire
de la gamma caméra en
cours de montage.



Tomographie par émission de positons

L'année 1988 a vu l'installation, sur les trois sites utilisateurs, des trois tomographes à émission de positons, conçus et réalisés par la Division LETI, qui avait la responsabilité de la maîtrise d'œuvre totale de ce projet, dont une part importante a été sous-traitée aux sociétés suivantes :

- CYBERSTAR pour les modules détecteurs
- NOVELEC pour l'électronique de détection
- SFEC-I2E pour la mécanique et les asservissements
- CAP SOGETI pour le logiciel d'exploitation
- APSIS pour le logiciel d'acquisition
- IMSTAR pour le logiciel de traitement clinique

Dates marquantes :

- février 1988 Première image "fonctionnelle" sur le fantôme d'HOFFMAN (collaboration SHFJ). Cette image a permis de vérifier les performances attendues de la machine.
- mai 1988 Test d'acceptance et installation d'une machine à CAEN (centre CYCERON).
- juin 1988 Installation de la machine du CERMEP à LYON (Hôpital Neuro Cardio).

Ces deux machines livrées avec deux couronnes de détecteurs, étaient par ailleurs complètement opérationnelles en ce qui concerne les fonctionnalités physiques, ce qui a permis aux équipes d'utilisateurs de se familiariser avec ce nouvel équipement.

Les deux dernières couronnes de ces machines ont été installées en fin d'année.

- octobre 1988 Livraison et installation au SHFJ d'une machine complète à 4 couronnes de détecteurs. La première image sur patient a été obtenue en novembre 1988.

Les essais et mesures du fantôme, ainsi que les tests cliniques ont montré tout l'intérêt d'une machine à fort taux de comptage pour les études dynamiques rapides.

La société Européenne SCANDITRONIX, après la formation de son personnel à la Division LETI, est chargée de la maintenance de ces tomographes et de la promotion commerciale de ce type de machines.

Radiologie

Tomographie par rayons X

La collaboration avec GE/CGR portant sur l'étude d'un nouveau type de détecteurs à haute résolution spatiale a été interrompue au mois de février 1988.

Toutefois, nous avons poursuivi dans le cadre de nos études propres (travail de thèse) l'étude d'un convertisseur analogique numérique à grande dynamique en technologie CMOS. Les éléments critiques ont été testés et les résultats sont encourageants. Des contacts industriels sont en cours pour son développement.

Imagerie tridimensionnelle

En collaboration avec le CNES l'étude d'un système d'imagerie 3D (Fig. 49) de la minéralisation des vertèbres lombaires (projet TRIDIMOS) permet de reconstruire une cartographie tridimensionnelle du contenu minéral osseux pour en évaluer la valeur moyenne sur une zone d'intérêt.

L'objectif a été de construire une maquette et de développer les logiciels afin de tester la méthode proposée.

Nous présentons sur la figure la maquette expérimentale le bloc source (comportant le tube à rayonnement X), les filtres et le collimateur primaire, le fantôme et la gamma caméra.

La maquette est pilotée par une console SOPHY CAMERA. L'automatisation des acquisitions et le transfert des données ont été développés en collaboration avec la Société SOPHA MEDICAL.

D'une part, un logiciel de simulation a été étudié grâce auquel nous avons pu élaborer et tester notre stratégie d'acquisition.

D'autre part, un logiciel de traitement spécialement adapté aux mesures en double énergie et réalisant les reconstructions 3D avec la méthode de l'algorithme éventail généralisé a été développé.

Par ailleurs, un projet de radiologie 3D a été élaboré dans le cadre du plan Etat-Région 1988-1993.

Ce projet fédérateur réunit les compétences de plusieurs équipes des deux régions Bretagne et Rhône-Alpes et doit être réalisé en collaboration avec GE/CGR.

Enfin, dans le cadre des études prospectives des capteurs pour l'imagerie de rayons X, nous avons poursuivi l'étude des propriétés de transport ionique de certains diélectriques liquides, en particulier le tétraméthyl-étain et le tétraméthyl-Ge (travail de thèse).

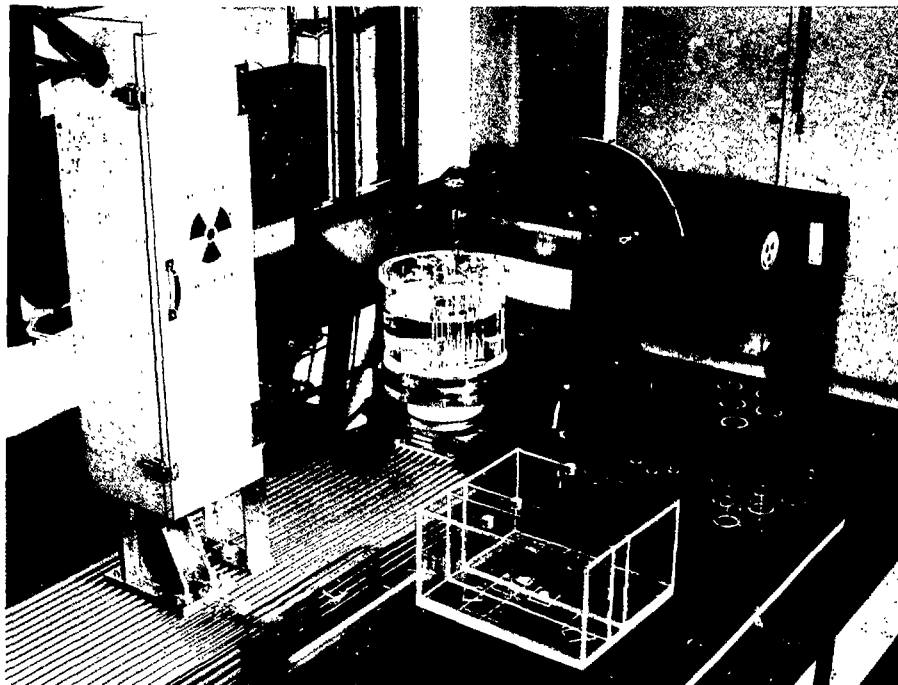


Figure 49
Dispositif expérimental
pour l'étude d'un
ostéodensitomètre.

Résonance magnétique nucléaire

Spectroscopie RMN

La caractérisation par RMN de tissus irradiés a été l'objet d'une collaboration avec le Laboratoire de Radiologie Appliquée de l'IPSN. Cette action est arrivée à son terme en juin 1988. L'étude effectuée pendant 3 ans a montré que la RMN est un moyen de diagnostic précoce et unique pour la localisation de lésions provoquées par des irradiations gamma.

Aimant permanent pour l'imagerie RMN

A partir du savoir-faire acquis pendant les années précédentes, un prototype à échelle 1/4 de 0,24 Tesla utilisant du matériau magnétique du type Ferrite a été construit et testé.

Une méthode originale de réglage de l'homogénéité de champ a été élaborée. Elle permet d'obtenir un plus grand volume homogène que les méthodes classiques. Un logiciel détermine la position et l'intensité des aimants de correction à disposer.

Un système de gradients plats spécialement adapté à la structure de l'aimant a été réalisé. Ses bonnes caractéristiques de commutation permettent d'envisager favorablement l'emploi des techniques d'imagerie rapides.

Analyse biologique

Cytométrie en flux

- Etude d'une tête de mesure pour analyseur de routine (monobloc monobuse).
- Etude, réalisation et transfert industriel auprès d'ODAM d'un circuit prédiffusé amplificateur logarithmique 4 décades, comprenant une stabilisation de la ligne de base.
- Développement et transfert industriel auprès d'ODAM du logiciel système de l'analyseur de routine permettant l'acquisition et le traitement de 8 paramètres en temps réel.

Séquençage de l'ADN

- Etude d'un projet d'instrumentation dédiée au séquençage de l'ADN qui peut être étendue plus généralement à l'analyse de macromolécules intervenant dans les biotechnologies.
- Proposition d'une alternative originale aux méthodes analytiques appliquées actuellement dans ce domaine, par l'utilisation d'isotopes stables en guise de marqueurs. Cette étude ouvre un nouvel axe de recherche et développement dans le domaine des méthodes analytiques de haute sensibilité.
- Montage d'un projet d'étude de faisabilité, objet d'une demande d'aide ministérielle (MRT).

Partenaires associés :	■ Sté NERMAG ■ SMM/DB ■ Laboratoire des Sciences Analytiques du CNRS (LYON)
------------------------	---

Ces travaux portent essentiellement sur la faisabilité du couplage en ligne d'un système électrophorétique et d'un spectromètre de masse, ainsi que sur l'étude de différentes méthodes d'introduction de micro-échantillons.

- Prises de contact avec le CEPA et la Sté BERTIN intéressés par la réalisation de ce nouveau concept analytique. Discussions sur les éventuelles possibilités d'intégrer ces travaux dans le cadre d'un projet EUREKA (LABIMAP 2001) en vue de l'automatisation complète d'un nouvel instrument pour la biologie moléculaire.

Instrumentation pour la surveillance ambulatoire et signaux physiologiques

Surveillance cardiaque ambulatoire

- Validation classique du Holter numérique CARDYNAM.
- Test sur des signaux enregistrés agréés par l'American Heart Association, en liaison avec la société ELA MEDICAL.

Hospitalisation à domicile

Elaboration d'un projet portant sur le concept d'alternative à l'hospitalisation et s'intégrant dans le projet DOMO-SANTE Ile-de-France portant sur 400 patients. Compte tenu des compétences de la Division LETI, notre participation porterait sur l'étude et le développement des capteurs, ainsi que sur la sûreté des systèmes de transmission.

Oculométrie

Le système de mesure de la direction du regard, étudié en collaboration avec la CSEE et destiné à des études d'ergonomie d'un système de visée anti-aérien, a été installé à la SEFT, au début de l'année 1988. Les expériences qui sont réalisées avec ce matériel doivent conduire à une meilleure conception du système de visée, et à plus long terme, à l'utilisation de la direction du regard pour la désignation d'objectif.

Un oculomètre nouvelle génération est en cours de définition. Composé d'une tête de mesure miniaturisée, équipée des nouvelles caméras CCD, et d'opérateurs de traitements d'image, mettant en œuvre des circuits intégrés spécifiques, cet instrument permettra d'aborder des applications nouvelles nécessitant des mesures précises de la forme et de l'orientation du globe oculaire.

Programme instrumentation physique

L'objectif prioritaire est de consolider le thème "magnétométrie" en apportant les améliorations requises par les développements industriels en cours. Les applications civiles et militaires de la magnétométrie des champs faibles seront amplifiées.

Les applications du nouveau principe d'accélérateur compact (RHODOTRON) apparaissent prometteuses.

Implicitement la mission de la division est de maintenir l'avance du CEA en matière de détecteurs. Le thème de recherche choisi est : dispositifs à base de photoconduction rapide.

Détection magnétique et instrumentation

Recherche amont en résonance magnétique nucléaire

Dans le but de préparer une future génération de magnétomètres à RMN, une recherche amont, soutenue par la DRET, est en cours. Elle porte d'une part sur la meilleure compréhension du phénomène physique de polarisation dynamique qui est le principe de ce type de magnétomètre. Une thèse sur ce sujet a débuté cette année.

D'autre part, la recherche amont porte sur les matériaux (Fig. 50) qui sont des molécules organiques radicalaires centrées sur un atome de phosphore. Cette étude de matériaux est conduite en collaboration avec l'Université de Provence, à Marseille. Une thèse sur ce sujet a débuté cette année.

Résonance paramagnétique électronique

Dans le cadre d'un contrat DRET, une étude d'un magnétomètre a été menée, portant sur les matériaux d'une part, et sur la faisabilité d'une maquette de magnétomètre d'autre part.

Trois familles de matériaux (Fig. 51) ont été étudiées : des sels de radicaux cations, des sels de radicaux anions et des radicaux neutres.

Une maquette de magnétomètre RPE a été réalisée selon les spécifications du contrat.

Un spectromètre RPE bas champ a été développé pour caractériser les matériaux.

L'avenir de la magnétométrie RPE est la poursuite de la recherche amont sur les matériaux (DRET) et le développement de maquette spécifique avec un industriel : des contacts ont été pris.



Figure 50
Synthèse de matériaux
pour la magnétoétrie
à RMN.



Figure 51
Croissance de
matériaux radicalaires
par RPE.

Magnétométrie à hélium

Les travaux de développement d'une maquette à He4 pompé par laser ont démarré en 1988 à la Division LETI.

Le banc de remplissage des cellules est opérationnel. Sa définition originale permet des mesures de pression d'hélium variable. Une procédure de dégazage assez longue a été mise en place afin de garantir la pérennité des cellules.

Le conditionnement des atomes métastables est réalisé par une décharge électrique haute fréquence. Les paramètres, tant au niveau de la cellule que de l'excitation, ont été optimisés et la consommation diminuée à quelques dizaines de milliwatts.

Les mesures de résonance magnétique réalisées en laboratoire démontrent la nécessité d'effectuer les essais de sensibilité en blindage ou à la station de mesures du Mont-Rachais.

Magnétométrie RMN

Le manipulateur amagnétique, développé pour l'étude du comportement dynamique de la sonde RMN, est opérationnel à la station du Mont-Rachais. Il a permis de valider l'extension aux mouvements de l'hélicoptère (grandes vitesses, grandes amplitudes) des formules de correction des effets gyromagnétiques.

Nous avons démontré que la limitation de précision de la mesure du champ terrestre en présence de gradient magnétique élevé (500 nT.m^{-1}) est imputable à la compensation d'anisotropie quel que soit le capteur.

Une nouvelle méthode de désoxygénation des solutions radicalaires a été mise au point. Les avantages de cette méthode, soulignés par la perspective d'industrialisation, sont un gain en temps, en qualité et en reproductibilité ainsi qu'une minimisation des coûts.

Un logiciel d'optimisation multiparamétrique des conditions d'excitation du phénomène de polarisation dynamique a été développé. Il apparaît plus intéressant d'exciter le phénomène à une fréquence correspondant à nos latitudes plutôt qu'aux bas champs, afin de minimiser l'influence de l'inhomogénéité des paramètres dans la sonde ou leur variation en température.

Instrumentation magnétique en forage

La magnétométrie en puits de forage (Fig. 52) se poursuit actuellement sous forme d'un développement de méthodes et d'instruments associés.

Les objectifs se situent dans les domaines minier, pétrolier et géotechnique. Ils se déterminent sur des problèmes de :

- trajectographie.
- datation-corrélation,
- analyse de structure.

Les essais *in situ* de la sonde de trajectographie TRF terminent la phase de développement de cet outil conçu pour puits miniers de faible diamètre. La précision en inclinaison est de $0,1^\circ$, en azimut de 1° pour un mode de mesure continu. Cette sonde sera proposée sur le marché courant 1989 par la société ARPE (Grenoble).

La sonde différentielle SD, conçue sur la base du capteur directionnel SINOMAG (Grenoble), privilégie les sources magnétiques réparties sous forme de plan recoupant le puits. Sa résolution verticale permet actuellement de distinguer des sources distantes de 25 mm dans un rayon de 20 cm. Une étude sur site minier a été menée dans le Nord Limousin courant de l'année : diagraphie sur les 700 mètres du sondage, modélisation préliminaire de quelques structures type (schistosité, fracture, zone de cisaillement).

Dans le domaine pétrolier, nous collaborons avec la Compagnie Française des Pétroles.

Le magnétomètre RMN est rendu opérationnel jusqu'à 125°C. En parallèle, nous avons réalisé une sonde de susceptibilité magnétique suivant des contraintes en opération identiques.

Un banc d'analyse magnétique, conçu autour du magnétomètre à squid de la Division LETI, permet d'analyser en continu les paramètres magnétiques des roches directement sur carotte de forage. A titre d'exemple, 700 mètres de carotte furent examinés lors du 1er semestre avec un pas d'échantillonnage de 5 mm.

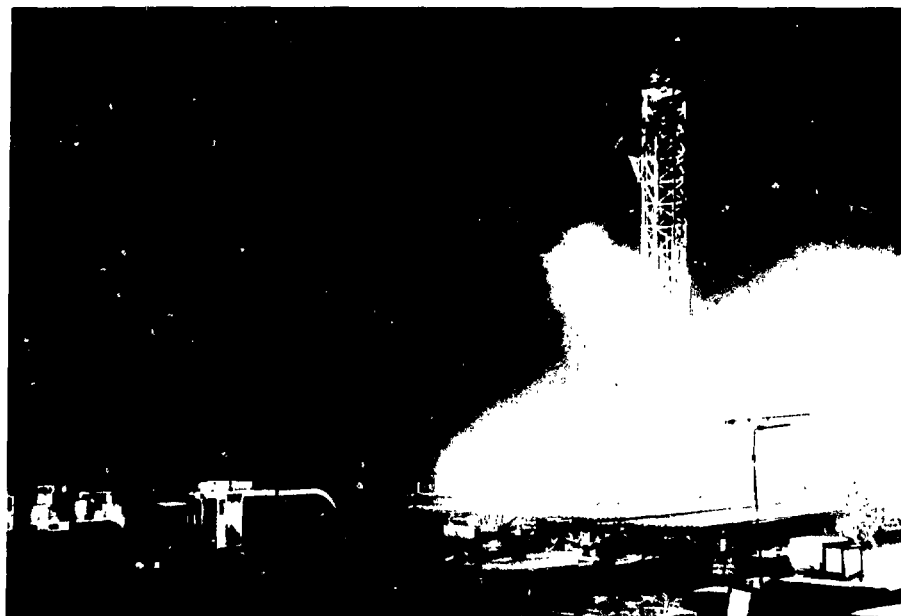


Figure 52
Diagraphies
magnétiques -
Puits pétrolier dans la
Brie (novembre 1988).

Application géophysique et technologie offshore

La partie la plus significative a été le développement d'un système hélicoptère de mesure RMN du champ magnétique avec l'intention de gagner un facteur important par rapport aux systèmes existants.

Il se caractérise par :

- une mesure simultanée, à deux altitudes, du champ magnétique dans des oiseaux tractés sous l'hélicoptère.

- une technique de positionnement absolu des mesures, faisant intervenir une localisation radio-électrique de l'hélicoptère, et un système de vision stéréoscopique pour localiser les oiseaux,
- un ensemble embarqué d'aide à la navigation d'acquisition et de traitement des données au sol.

Les premiers essais du nouveau système ont été effectués en novembre 1988 à proximité d'Albertville.

Ces développements intéressent DAMN, COGEMA, ANDRA, au sein du CEA. Un projet européen en préparation intègre cette composante.

- **En technologie offshore** un système multicateur a également été développé avec un degré de sophistication moindre et expérimenté dans le Golfe de Gascogne dans un cadre contractuel.
- **Modélisation magnétique** un effort de modélisation des phénomènes magnétiques et électromagnétiques dans les milieux naturels a été engagé pour soutenir diverses finalités des applications géophysiques.

Accélérateurs compacts

Irradiateur agro-alimentaire électrons et rayons X

L'aménagement à Saclay des locaux dans le sous-sol du Bâtiment 607D s'est achevé au mois de mars.

Le montage de la machine probatoire a débuté au mois de juin et s'est poursuivi toute l'année. Des essais préliminaires ont commencé (mise sous vide de la cavité accélératrice, système d'asservissement de la puissance HF...).

L'étude de la conversion du faisceau en rayons X a été réalisée.

Collaboration au projet d'accélérateur pour laser à électrons libres de la DAM

La Division LETI a participé à la réalisation de la chaîne d'amplification du générateur HF. L'étude du commutateur du pulseur de la cathode du canon à électrons a été engagée.

Détecteurs et photodétecteurs rapides

Nouveaux détecteurs

L'étude des milieux solides détecteurs de rayons X a porté sur les matériaux GaAs, CdTe, InP, BiC₁₂DGeO₂₀ et HgI₂. Le mode de fonctionnement retenu est la photoconduction en volume qui permet d'atteindre des temps de réponse de l'ordre de la nanoseconde.

Les tests de linéarité sont réalisés sous faisceau X pulsé de 80 keV d'énergie moyenne et de 20 nanoseconde de durée. Une dynamique de trois décades a été obtenue.

L'étude de ces milieux s'est portée aussi sur la réduction des temps caractéristiques (durée de vie des porteurs) par des bombardements neutroniques. La forte réduction des traînées et du

courant d'astreinte permet d'envisager des dispositifs de détection plus rapides que ceux existant actuellement pour analyser les impulsions de rayonnement et obtenir de plus grandes dynamiques. On peut ainsi voir sur le graphe ci-joint la réponse en courant avant et après une irradiation neutrons d'un détecteur GaAs de 1 mm d'épaisseur.

L'étude du milieu CdTe polycristallin sur substrat céramique ou silice fondue a permis de mettre en évidence des durées de vie de porteurs de quelques dizaines de picosecondes. Ces couches obtenues en phase vapeur ont permis de valider une structure d'autocorrélation pour le faisceau pulsé de rayons X présents dans le rayonnement synchrotron du LEP.

La réalisation, en structure hybride, d'un multidétecteur de 13 voies pour obtenir directement en monocoup la fonction d'autocorrélation a été réalisé sur substrat dynasil (silice fondue). Les motifs de détection pour les impulsions de 150 ps 100 keV sont réalisés à partir de couches de 10 μm d'épaisseur (voir photo jointe).

Ce contrat a permis le dépôt de brevets en copropriété avec le CERN (M. ROSSA) (Fig. 53).

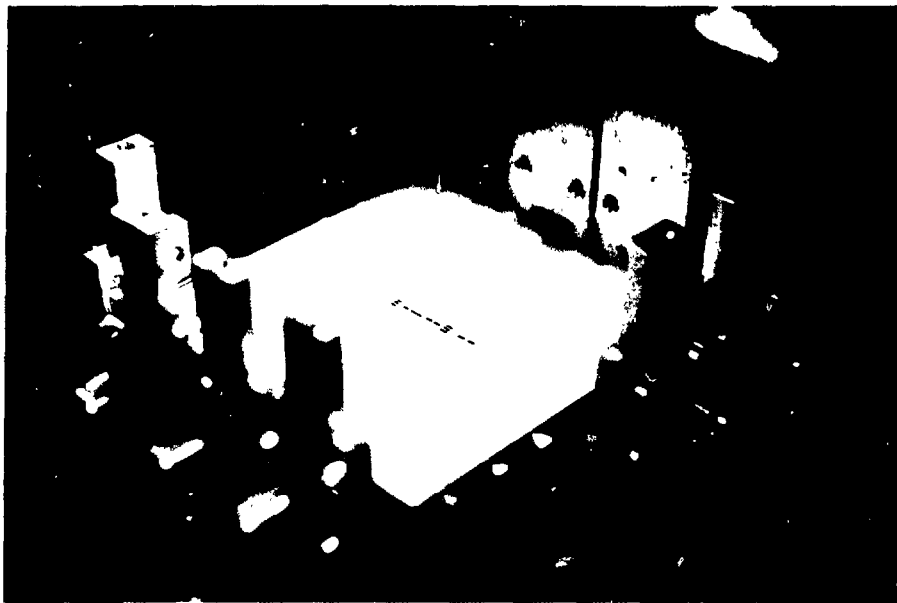


Figure 53
Dispositif CERN
d'autocorrélation à
photoconducteur.

Photodiodes HgI_2

En vue du développement de photodiodes HgI_2 de grande surface et à très faible bruit destinées à être couplées à un scintillateur (CSI TI) pour la réalisation de sondes à scintillation très compactes (sans PM), on a poursuivi l'étude d'une électrode transparente sur HgI_2 :

- par dépôt ionique secondaire à basse température d'oxyde mixte d'étain et d'indium (ITO) en présence d'oxygène,
- par dépôt, en solution aqueuse, de polymère conducteur à base d'alcool polyvinylique et d'acide phosphorique.

Photodétecteurs "picoseconde" GaAs et InP : Fe

Différents modèles de photodétecteurs ultra-rapides en GaAs (n) de haute résistivité destinés à l'analyse de la forme temporelle et de l'intensité d'impulsions très brèves. (γ , X, lasers ou protons) ont été étudiés et réalisés pour la DAM/ESSAIS/CEM.

Les performances obtenues avec l'arséniure de gallium dont la durée de vie des porteurs est réduite et ajustée par irradiations neutroniques sont remarquables :

- réponse temporelle du domaine de la dizaine de picosecondes,
- dynamique de linéarité de la réponse en intensité dépassant six décades dans certains cas.

Les photodétecteurs X présentent cependant une saturation du courant crête de sortie aux très fortes intensités de rayons X mous. Ceci est dû à la très forte densité d'ionisation superficielle (parcours inférieur à 1 μm) et des photodétecteurs en semi-conducteurs à numéro atomique faibles sont en cours d'investigation pour améliorer la dynamique de linéarité dans cette gamme d'énergie.

Injecteur de courant pour laser à électrons libres

Des mesures préliminaires sur les photodétecteurs GaAs ultra rapides attaqués par une impulsion laser picoseconde à 1,06 μm de quelques dizaines de μWatts montrent que ces dispositifs devraient permettre d'obtenir des impulsions de courant de quelques dizaines de picosecondes de largeur et dont l'intensité crête dépasse une centaines d'ampères.

Programme instrumentation et systèmes industriels

L'objectif a été de développer les créneaux techniques reconnus par nos partenaires : transmission en milieu difficile, perception de l'environnement, visionique, nouvelles architectures cellulaires et neuronales, supervision de processus industriels, imagerie des rayonnements appliquée au contrôle non destructif.

Un effort a été fait pour maîtriser directement nos programmes, en particulier avec les partenaires extérieurs impliqués (Industrie, Spatial, Militaire, ...).

La ligne de programme Instrumentation et Systèmes Industriels créée fin 1988 regroupe les activités qui se sont déroulées dans le courant de l'année sous les rubriques :

- Robotique
- Productique
- Génie logiciel et Intelligence Artificielle

et en partie :

- Instrumentation pour l'environnement
- Architecture et intégration

Le but est de concevoir de nouveaux instruments, de nouveaux systèmes informatiques et électroniques pour automatiser des tâches en vue d'améliorer la sécurité, la qualité ou le rendement, et de les transférer vers un industriel.

Les projets dans cette ligne de programme font appel à des compétences bien identifiées à la Division LETI et plus particulièrement au DEIN et au DSYS :

- Traitement du signal et des images
- Intelligence artificielle et génie logiciel
- Architecture et intégration
- Electronique analogique et numérique
- Capteurs dont les capteurs intégrés

En robotique

La Division LETI a eu la maîtrise d'œuvre ou a participé à différents projets finalisés dont le thème fédérateur est la robotique mobile.

- Le Rondier de surveillance ELF

- La famille de robots de nettoyage industriel
MA 23 dans APM (bras manipulateur dans l'atelier prototype de Marcoule)
PARC (Robots d'intervention en milieu nucléaire)
SYROCO (Système de Robots coopérants)
Robotique de salle blanche

- Positionnement 3 dimensions Laser des assemblages pour EDF

A travers ces projets, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux sous-ensembles télécommunication, positionnement, perception d'environnement, vision, interface avec le monde extérieur.

En productique

Les travaux concernent le contrôle non destructif utilisant les rayons X. La mise au point du prototype industriel du tomographe 420 kV, étudié en collaboration avec la société INTER-CONTROLE s'est achevée et les images fournies sont de grande qualité.

L'intérêt de la tomographie à haute énergie, avec accélérateur a été démontré et les travaux se sont poursuivis avec la SNPE (Société Nationale des Poudres et Explosifs) en parallèle avec une activité de recherche sur des nouvelles techniques de détection et de formation d'image soutenue par les militaires.

En vision, la machine SYMPATI 2 est passée en phase de réalisation.

Une action coopérative réunissant les industriels français de la vision est mise sur pied permettant de valoriser plus largement les études visioniques de la Division LETI.

Les travaux sur la Supervision de processus industriels ont donné lieu à des transferts notamment à la DERDCA à l'UDIN et à des collaborations à travers deux programmes ESPRIT.

En instrumentation pour l'environnement

Surveillance des scènes naturelles pour la prévention des risques.

L'année 1988 a permis de préparer l'instrumentation : container étanche pour recevoir une caméra vidéo et ultérieurement une caméra infra-rouge et d'aborder le traitement d'image associé.

En intelligence artificielle et génie logiciel

Les travaux se sont orientés vers les applications de l'intelligence artificielle au pilotage des robots et à la conduite d'instruments complexes.

Une machine temps réel multiprocesseur (moniteur temps réel ASTERIX) est étudiée en relation avec la société DUNE pour les applications dans le contrôle commande industriel et militaire.

En architecture et intégration

Des travaux sont conduits concernant d'une part l'architecture parallèle à base de transputer et d'autre part les architectures parallèles neuronales et cellulaires.

Deux circuits intégrés pour la vision ont été réalisés.

Robotique

MA 23 Durci pour APM

Le projet MA 23 dans APM concerne le développement de l'électronique et de l'informatique nécessaire à l'utilisation d'un télémanipulateur à retour d'effort en cellule de retraitement.

La solution retenue met en œuvre :

- une boucle de commande numérique composée d'un calculateur sol relié au bras esclave par une liaison à fibres optiques véhiculant à 3 Mbauds les informations numériques de consigne et position,
- un système de transmission par radio-fréquence des images et du son recueillis en cellule. Nous avons fourni l'ensemble émetteur son et image double en bande K (11 500 et 11 750 MHz) ainsi que l'ensemble de réception et les antennes.

La Division LETI est responsable, dans ce projet, du développement de l'ensemble de l'électronique embarquée en milieu actif (dose intégrée 10^7 rad et température ambiante 60°C) et des moyens de transmission sol et bord (RF et FO).

Les essais effectués en 1988 sur un ensemble complet Mécanique MA 23 et informatique et électronique sol et bord ont démontré un fonctionnement parfaitement conforme au cahier des charges initial. La phase d'industrialisation du produit par la société SNE LA CALHENE a été lancée dès le 4^{ème} trimestre.

Programme SYROCO (Système de robots coopérants)

Le CEA s'est engagé en 1988 dans un programme de Recherche et Développement avancés, d'une durée de 5 ans, dont l'objectif est de progresser de façon significative dans le domaine de la Robotique Nucléaire, par la levée de verrous technologiques.

La participation de la Division LETI dans ce programme est focalisée sur les thèmes :

- Transmission d'information (en milieu difficile) : Radio-fréquences et fibres optiques
- Perception d'environnement évoluée : capteurs, algorithmie, IA
- Contrôle commande : Electronique Informatique en temps réel
- Durcissement des composants électroniques
- Moyens d'essais électroniques

L'année 1988 a été consacrée à la définition globale du projet et aux études préliminaires dans chacun des domaines cités. Les développements effectués dans ce cadre sont soumis à l'approbation d'un comité d'orientation qui regroupe, entre autres, les opérateurs majeurs de l'industrie nucléaire (COGEMA, EDF, FRAMATOME, SGN, TECHNICATOME).

Au terme de ce programme, des démonstrateurs partiels seront réalisés, prouvant la validité des concepts retenus. L'intégration de l'ensemble des sous-systèmes développés par toutes les unités du CEA impliquées dans SYROCO sur des engins complets devrait permettre l'exécution de missions type d'intervention en milieu nucléaire.

Pour les transmissions de données numériques à l'intérieur de bâtiments, une approche par la technique d'étalement de spectre a été retenue. La mesure des caractéristiques du canal de

transmission d'un BAN (mission EDF) doit être réalisée prochainement et permettra de définir le débit effectif.

En ce qui concerne la perception de l'environnement, l'effort porte sur le développement des capteurs et la mise en œuvre de méthodes.

En télémétrie active, la réalisation d'un télémètre laser par mesure de temps de vol a débuté. La reconstruction géométrique de l'environnement supportant la fusion des données de distance sera réalisée par accumulation de probabilités d'occupation. Un système à base de connaissances de type "blackboard" pilotera la perception en mettant en œuvre des stratégies d'exploration et assurera la fusion de capteurs.

En vision passive, le système proposé met en œuvre une tête de mesure composée de plusieurs caméras CCD couleur, permettant de couvrir à la fois un large champ de vision, et un champ étroit, désigné par l'opérateur ou par programme. Il comporte également une description 3D de l'environnement, basée sur un modèle de type CAO. La mise en œuvre d'une caméra mobile et d'une description CAO de la scène, permet de bâtir une stratégie d'exploration de la scène, choisie par l'opérateur ou par le système de planification de la perception en fonction de la mission à effectuer.

Les premiers éléments de la maquette de faisabilité sont en cours de montage et de tests sur scène réelle.

Panorama

Un programme ESPRIT II concernant la robotique mobile a été accepté. Il vise à développer un système de perception/navigation pour robots mobiles autonomes mettant en œuvre une planification automatique de chemin et un déplacement en continu avec un maximum de sécurité, dans un environnement extérieur partiellement connu et structuré.

Projet RONDIER

Le Rondier est un robot de surveillance de raffinerie issu d'une collaboration ELF/CEA. Son rôle est de remplacer l'homme dans la surveillance d'une unité de raffinage (surveillance de machines tournantes en particulier) par la réalisation de rondes programmées. Trois équipes du CEA contribuent à sa réalisation : le DGMT (Saclay), l'UGRA (FAR) et la Division LETI.

La Division LETI a en charge :

- le système de positionnement permettant au robot de se repérer sur le site. Système basé sur l'utilisation d'un laser tournant et de balises réfléchissantes, sa recette a été prononcée le 31 mai,
- le système de transmission permettant des échanges d'information entre le rondier d'une part et le poste de contrôle et d'exploitation d'autre part (canal vidéo, canal son, canal transmission de données numériques). Après des essais sur site fin novembre, la recette de ce sous-ensemble a été prononcée le 4 décembre,
- le système de mesure de température par infrarouge (thermopoint et système de visée associé) objet d'un contrat particulier ELF/Division LETI. La recette de ce sous-ensemble a été prononcée le 9 juin,
- le poste de contrôle commande, de programmation, de pilotage, de communication des informations et diagnostics réalisant l'interface avec l'exploitant. Les logiciels constitutifs sont

en fin d'année en phase finale de test ; leur réception par l'équipe projet est prévue dans la première quinzaine de 1989.

Projet RATP

A partir des retours d'expériences obtenus sur les capteurs maquettes livrés en 1987, également des évolutions techniques formulées par le groupe projet, nous avons poursuivi des études techniques et réalisé des capteurs (Fig. 54).

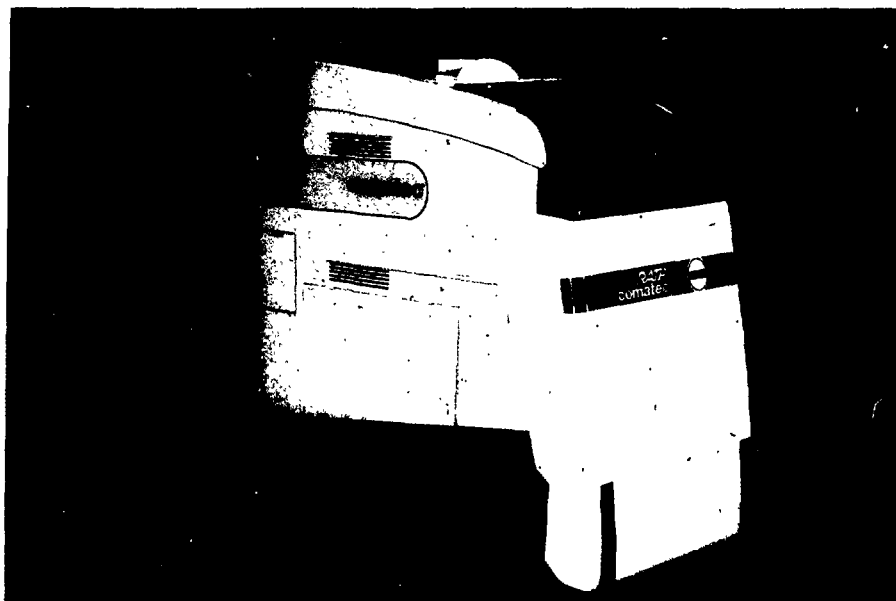


Figure 54
Robot de nettoyage
CAB 001 pour la RATP.

Etudes techniques

- Les circuits de détection à partir de chip à effet Hall ont été conçus et une présérie de composants hybrides réalisée.
- la largeur de capture des capteurs magnétiques a été portée de 28 à 38 cm utiles ; par ailleurs, ces derniers ont été améliorés dans le sens d'une plus grande immunité magnétique et électromagnétique vis-à-vis de l'environnement de travail.

Réalisation

- 2 capteurs MAGHZ 03/04 ont été livrés en juillet.
- 2 capteurs MAGHZ 05/06 sont livrés début 1989.

Ces capteurs sont réalisés par la société ICAP à qui licence de fabrication devrait être accordée.

Un brevet a été déposé au nom du GIE PROTEE en 1988, portant le titre Système et procédé de navigation de la marche d'un véhicule autonome.

Projet PARC - Véhicule VERI

La Division LETI a fourni deux émetteurs vidéo + son dans la bande S (1235 et 1285 MHz) les caméras couleur et les optiques télécommandées.

Les émetteurs - durcis aux radiations - ont une puissance de 2,5 W. La réception a été construite autour de matériel de réception satellite.

Robotique salle blanche

WAFEC* par échange de cassettes

Participation à :

- l'étude et conception d'un prototype,
- la réalisation de maquettes prototype,
- le suivi de la réalisation du prototype,
- les essais fonctionnels du concept aérolitique et de la contamination apportée par le WAFEC,
- la qualification du WAFEC polyvalent sur quatre équipements en atelier technologique dans la configuration réelle d'utilisation, c'est-à-dire avec chariot de transport (caddie) et armoire de stockage.

Etude et réalisation d'un banc d'essais fonctionnels mécanique reproduisant le plus fidèlement possible les manœuvres d'un opérateur humain.

- Automatisation de ce banc pour essais de fatigue
- Réflexions sur les problèmes de robotique en salle blanche
- Collaboration industrielle : SGS-THOMSON, NEU-SOFRAIR, SGN

* Wafer Air Flow Environment Container

Dimensionométrie 3d

Nous avons démarré début 1988 une étude avec EDF/SEPTEN pour équiper les futures tranches nucléaires de systèmes de vision afin d'aider les manutentions d'assemblages de combustible lors de l'évacuation de ceux-ci vers l'usine de retraitement (Fig. 55).

L'opérateur qui manutentionne son assemblage se trouve à 16 m au-dessus du château de plomb prêt à le recevoir et voit assez mal à travers 16 m d'eau un alvéole de 200 mm de côté à remplir. Nous avons donc imaginé de coupler une caméra située à côté de l'opérateur et "voyant la scène de haut" et une caméra étanche en fond de fosse situant l'assemblage dans l'espace, constituée d'un plan laser et d'un CCD regardant le profil de l'assemblage coupé par le plan laser sous une incidence de 30° environ. Ces deux caméras sont couplées à un micro-ordinateur de type PC et le traitement d'images permet de reconstruire les 2 vues et les afficher à l'opérateur sous une forme d'interprétation facile. Cette année, nous avons réalisé la caméra étanche dont on voit la photo et le traitement de la vue inférieure.

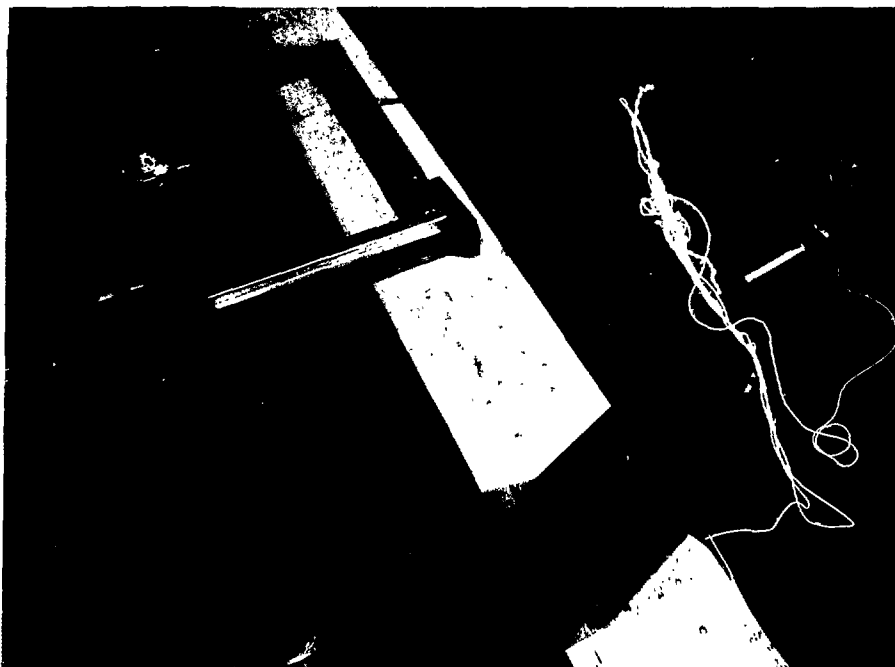
L'année 1989 permettra la réalisation de la caméra supérieure, la mise en correspondance des 2 vues et l'installation sur un site (vraisemblablement Cattenon I).

Le travail est effectué pour les utilisateurs qui sont les exploitants des centrales EDF, commandité

4

par EDF/SEPTEN (Service Etudes et Projets Thermiques et Nucléaires) et en collaboration avec ICAP (Instrumentation et Capteurs) qui réalise les caméras (mécanique, mise en forme plan laser) et le logiciel autor d'une configuration mise au point à ICAP (VISICAP).

L'ensemble du dispositif fait l'objet actuellement d'une étude à EDF en vue de la breveter.



*Figure 55
Positionnement
d'assemblage de
combustibles par vision
3 dimensions.*

Productique

Tomographie

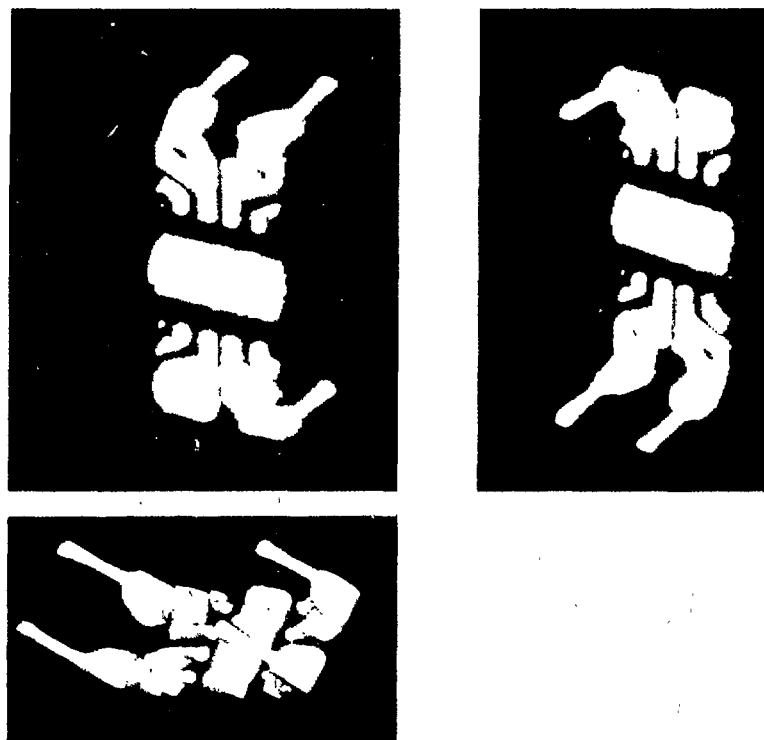
La mise au point de la maquette de tomographe industriel (420 kV) développé en collaboration avec Intercontrôle dans le cadre d'un contrat ANVAR est actuellement terminée. Les premiers essais sur pièces réelles ont donné entière satisfaction. Les éléments de cette maquette vont être rassemblés par Intercontrôle sur un nouveau banc mécanique pour en faire un tomographe de démonstration (Fig. 56).

Dans le domaine des hautes énergies, la collaboration avec le SNPE et la DRET portent d'une part sur les aspects de détection et de méthodes de reconstruction adaptés à des pièces de grande dimension ou partiellement vues.

Les essais de simulation, et les tests sur fantôme de propulseur (SNPE) ont permis d'évaluer les méthodes adaptées à ce type d'objets, pour lesquels les méthodes de reconstruction classiques ne peuvent être utilisées.

Les études de détecteurs semiconducteurs conduits dans le cadre d'un contrat DRET permettent à terme d'envisager la réalisation d'un multidétecteur solide dédié au contrôle industriel utilisable aux énergies élevées (16 MeV).

Un projet européen (action BRITE) visant à l'étude d'un instrument d'inspection en volume des céramiques techniques vient de recevoir l'accord des communautés.



*Figure 56
Reconstruction en
volume (3 dimensions)
d'un circuit intégré.*

Radiographie numérique

Le système EIDOMATIX est toujours en phase de qualification chez FBFC à Romans. Au cours de l'année 1988 nous avons participé à l'examen des résultats et, sur demande de FBFC, nous avons étudié et implémenté un complément de méthode pour la caractérisation des défauts de type micro-fissures.

Au cours de la même période, nous avons mis en place un contrat d'étude avec CERCA pour le contrôle des combustibles laminés. Après quelques essais préliminaires nous avons engagé les études de faisabilité qui se poursuivront en 1989.

Visionique

La visionique à la Division LETI se développe suivant les directions suivantes :

Développement de composants de base sous forme de circuits intégrés type INP20 et type CC30.

Le transfert industriel de ces composants et le développement de circuits futurs se fera à travers une action coopérative réunissant les principaux industriels français de la vision, la Division LETI et le soutien du Ministère de l'Industrie.

Etude d'architecture de machines pour la vision type SYMPATI.

Etudes algorithmiques en traitement des images. Nous avons déposé un programme ESPRIT II concernant la vision avancée VIDIMUS qui a été accepté.

Ce projet de développement d'un système de vision générique couvrant un large champ d'application en inspection industrielle réunit BRITISH AEROSPACE, PHILIPS, THOMSON, AEG, l'Université de STRATH-CLYDE et la Division LETI. Ce système pourra être utilisé pour construire des machines de vision "cibles" automatiquement ou avec un temps de développement minimisé.

Applications de la vision pour l'inspection automatique en micro-électronique (voir chapitre AEC)

Processeur de traitement d'image SYMPATI 2

Dans le cadre des activités Productique, nous réalisons un processeur vectoriel pour le traitement d'images et la perception de l'environnement en robotique.

Nous avons conçu et simulé un ASIC précaractérisé de 22000 portes intégrant 4 processeurs élémentaires : EPA4. Le dossier de fabrication a été transmis à ATT et les échantillons seront disponibles fin 1988.

Par ailleurs, la conception et l'intégration de la carte Unité de commande de SYMPATI 2 est en cours et comportera des circuits programmables à haute densité (LCA 9000 portes).

Un compilateur de langage 4LP adapté à cette structure, ainsi qu'un simulateur fonctionnel du système a été réalisé. Les résultats obtenus sur des algorithmes de traitement classiques (convolution, extraction de contour, morphologie mathématique, analyse du mouvement, transformée de Hough, connexité, ...), font apparaître des performances en vitesse d'un rapport supérieur à 100 par rapport à une structure conventionnelle (type PC-AT).

Le Benchmark de la croix d'Abington (Carnegie Mellin University) classe SYMPATI 2 dans le facteur 6, ce qui correspond au meilleur facteur de qualité des machines de vision en cours d'étude (Fig. 57).

Supervision de processus industriels

Les techniques de base maîtrisées par le groupe sont : la modélisation de processus industriels, le traitement statistique du signal et l'intelligence artificielle.

Les recherches et les projets du groupe s'articulent autour de deux axes :

- La gestion des interactions opérateur-systèmes
- Le contrôle et la planification d'opérations industrielles

Les principaux résultats obtenus en 1988 sont :

- la livraison à la DERDCA de CORSER : un système expert d'aide à la conception et au diagnostic d'installations susceptibles d'être soumises à des phénomènes de corrosion. Ce système intègre actuellement environ 2500 règles réparties en 60 bases de connaissances spécialisées,
- la mise au point, en liaison avec l'UDIN, d'une première version d'un système expert destiné à planifier les opérations de démantèlement d'installations nucléaires et à en estimer le coût prévisionnel,
- en liaison avec CISI-ingénierie, le développement d'une version portable de NEPTUNIX : progiciel d'aide à la conception et au développement de simulateurs de processus industriels. Cette version est maintenant disponible sur la gamme DEC/VAX et bientôt SUN,
- dans le cadre du projet ESPRIT n° 932, et d'une collaboration avec SGN, TITN, et le laboratoire d'informatique appliquée de Chambéry, sur la mise au point d'une méthodologie et le développement d'une maquette d'environnement informatique permettant la mise au point et la modélisation de systèmes de supervision de processus industriels,
- dans le cadre du projet ESPRIT n° 64, la réalisation d'un système de contrôle d'accès par identification de la signature vocale. Ce système fonctionne sur IBM-PC et permet de multiplier par 100 la fiabilité d'un système de contrôle d'accès traditionnel.

Projet européen KBCIM :

Ce projet de développement de technique de l'intelligence artificielle pour la conception et l'automatisation des chaînes industrielles de production en micro-électronique réunit PHILIPS, CGE, ALCATEL, FIAR, BICC et la Division LETI. L'atelier expérimental de la Division LETI a été proposé comme site d'application.



Figure 57
Masque SYMPATI 2.

Projet DASIQ (ESPRIT 1136)

L'objectif est l'étude et la réalisation d'un système distribué pour l'inspection et le contrôle qualité de pièces mécaniques usinées dans une cellule d'atelier flexible.

Le projet réunit les partenaires suivants :

- SAGEM - FRANCE (contractant principal)
- MICROTECNICA - ITALIE
- VISITEC et PEGARD - BELGIQUE
- UNIVERSITE DE HANOVRE - ALLEMAGNE

Le rôle de la Division LETI dans ce projet est la maîtrise d'œuvre et la réalisation d'un des trois sous-systèmes d'inspection : CODIQ.

Les différents modules de ce sous-système sont les suivants :

- contrôle global de conformité en vision 2D,
- contrôle dimensionnel moyen utilisant un système de vision 3D conçu par la Division LETI et industrialisé par la SAGEM,
- mesure de l'état de surface associant les systèmes de vision 2D et 3D.

Les techniques de l'Intelligence Artificielle sont largement utilisées dans ce projet. Elles interviennent dans les parties suivantes :

- modélisation (pièce, processus),
- mise en correspondance modèle,
- données,
- gestion globale du système,
- aide à l'utilisation des systèmes de vision.

Le projet prévu sur 4 ans en est à sa 3ème année : phase de réalisation des différents modules (Fig. 58).

Instrumentation pour l'environnement

Système de vision télé-opéré pour la surveillance de scènes dangereuses

Etude et réalisation de deux prototypes de tourelle dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- étanchéité et tenue à un environnement hostile (gaz corrosifs),
- plages de 360° en site et azimut,
- deux caissons indépendants permettant l'utilisation simultanée d'une caméra CCD et d'un système autre (infra-rouge, pyromètre...).

Début positif d'une étude d'analyse de scènes naturelles en VAO : Applications des techniques Markoviennes à la segmentation d'images suivant des critères de texture.

Contrat Asian Development Bank

Mission d'expert auprès du Volcanological Survey of Indonesia dans le domaine des volcans actifs (géomagnétisme et VAO).



Figure 58
Inspection et contrôle.

Intelligence artificielle et génie logiciel

Technique de base - Apprentissage

L'application support de cette étude est la tomographie industrielle (système d'aide au réglage). Le transfert vers Intercontrôle d'une version préliminaire du système est en cours de négociation.

Ces techniques très prometteuses, permettent de faciliter le transfert d'expertise et d'assurer la cohérence des bases de connaissances des systèmes experts.

Applications des systèmes experts au contrôle non destructif

Le prototype de système expert EIDO-DIAG (Fig. 59) a été amélioré (Note technique n° 1540 du 30 mai 1988). Les points caractéristiques, outre l'aspect diagnostic, sont l'interface utilisateur et les capacités d'explications. Il est écrit en SPIRAL.

D'autres applications dans le domaine de l'aide au réglage ont été initialisées :

- aide au réglage de la machine d'inspection pour la micro-électronique.
- aide au réglage de la caméra 3D SAGEM/Division LETI (le prototype est opérationnel).

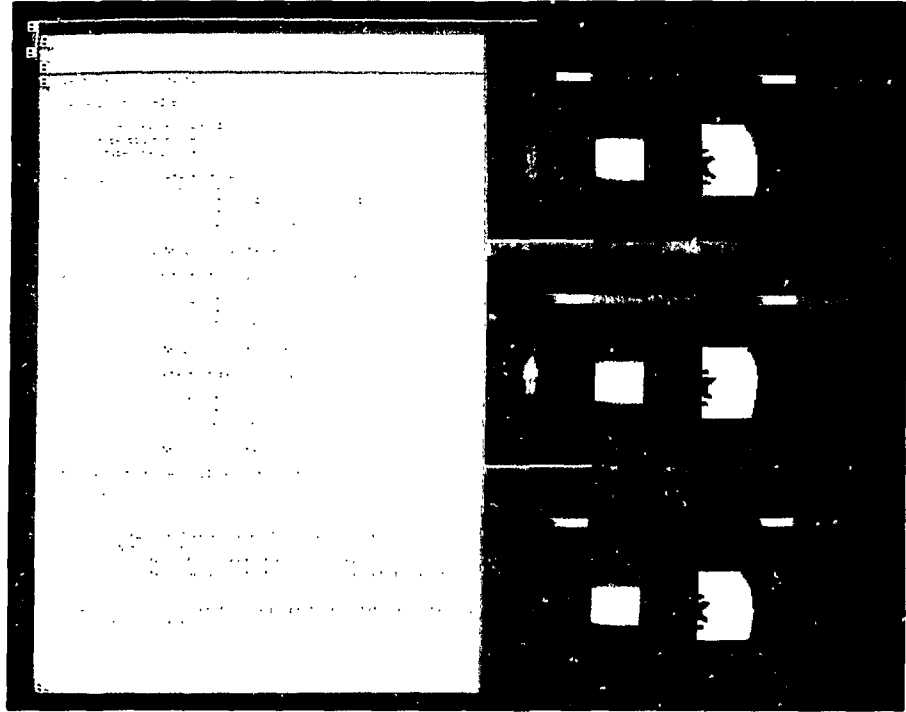
Application de l'IAA la commande de robots : TRAM

Les études sur TRAM en 1988 ont essentiellement porté sur l'adjonction de capacités temps réel à l'outil.

Un module temporel a été ajouté au système.

L'objectif est de pouvoir prendre en compte des événements extérieurs, de pouvoir exécuter des tâches à des dates fixées ou de manière périodiques. Le module temporel fonctionne en parallèle avec le contrôle de base et gère l'activation de ces tâches datées.

En 1988 deux communications ont été effectuées sur nos recherches.



*Figure 59
EIDO-DIAG
Système expert de
caractérisation des
défauts pour
EIDOMATIX- Ecran
d'information de
l'opérateur.*

Machine temps réel multiprocesseur

L'année 1988 a vu le démarrage de la collaboration entre l'équipe ASTERIX du DEIN et la société DUNE Technologies pour la réalisation d'une gamme de machines temps réel à architecture multiprocesseurs à base de micros Motorola 68030 sur bus VME. La première version intégrée de 1 à 4 micros travaillant en mémoire partagée avec le système ASTERIX multi-micros. Construite à partir de carte du commerce, elle correspond à la solution bas de gamme.

La solution milieu de gamme comportera des cartes spécifiques avec un bus mémoire rapide et une répartition dynamique des interruptions.

Traitement du signal et architecture

Une étude a été menée sur une architecture parallèle, basée sur le microprocesseur 32 bits d'INMOS : le TRANSPUTER. Ce processeur est adapté à la réalisation d'architectures

parallèles et au langage de programmation parallèle OCCAM. Dans des applications de traitement du signal une telle architecture présente deux inconvénients :

- le transputer, microprocesseur à but général, est moins performant que des processeurs spécialisés (ex. DSP).
- les liens séries ne permettent pas un important débit d'informations.

L'architecture proposée : ATILA, conserve le transputer et le langage de programmation parallèle, mais associe d'une part une unité de traitement spécialisée, d'autre part une unité d'échange entre les modules par un "macro-lien" à haut débit (Fig. 60). Cette architecture parallèle a fait l'objet d'une demande de brevet.

Un module équipé d'une unité d'acquisition et de visualisation d'image est en cours d'étude.

Le module de base de cette architecture, équipé d'une unité de traitement du signal (DSP), sera industrialisé par IN2 : Architecture ATILA.

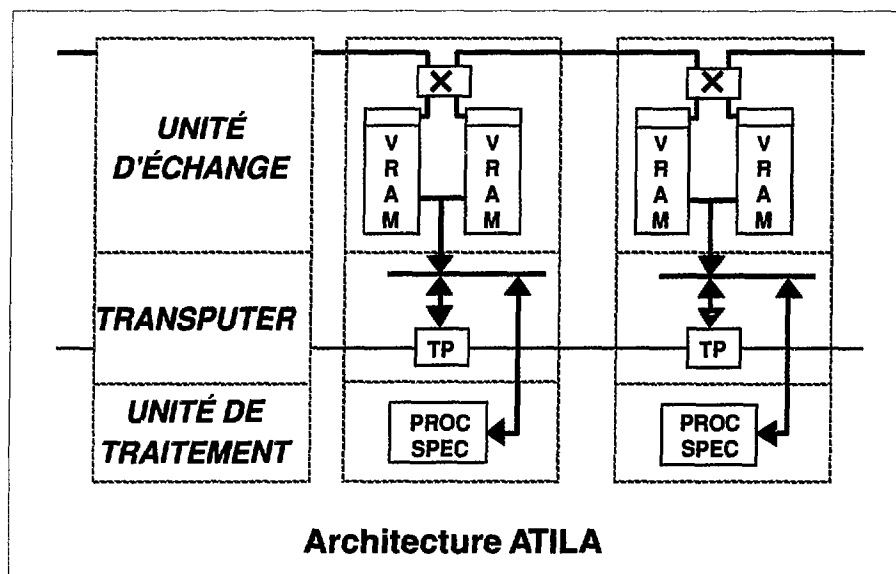


Figure 60
Architecture parallèle
utilisant le transputer.

Architecture parallèles neuronales en cellulaires

Le travail de simulation initié en 1987 sur l'application des réseaux d'automates à l'écoulement hydrodynamique s'est poursuivi en 1988 avec pour résultat marquant une maîtrise des paramètres algorithmiques et l'ébauche de la conception de structures VLSI aptes à implanter ces algorithmes.

Par ailleurs, l'activité réseaux de neurones initiée cette année a donné lieu à deux contrats, l'un avec les Communautés Européennes (contrat BRAIN) se rapportant à l'étude d'architectures de machines neuronales, et l'autre avec THOMSON sur l'état de l'art des réalisations VLSI.

Cette activité se concrétise de surcroît par le démarrage d'une thèse portant sur l'application des réseaux de neurones à la vision bas niveaux.

Processeurs programmable de traitement d'image INP 20

Des travaux de recherches menés à la Division LETI dans le domaine de la vision ont permis de définir une architecture systolique novatrice résultant d'une étude algorithmique poussée des fonctions de prétraitement d'image les plus usitées.

Un brevet a été déposé concernant cette architecture et un processeur programmable de traitement d'image INP 20 de 50 000 transistors (Fig. 61) a été réalisé par le procédé d'écriture directe d'ES2 (European Silicon Structure).

Ce composant, de par la gamme des traitements offerts (morphologie, convolution, opérations diadiques) et la taille des voisinages traités à la cadence vidéo (jusqu'à 20*20) permet de résoudre les problèmes de la vision industrielle.

Convolueur cascadable CC33

La réalisation par l'atelier prototype de la Division LETI du circuit convolueur bidimensionnel cascadable CC33 (Fig. 52) a permis sa mise en œuvre dans un module de validation, concrétisant ainsi l'aboutissement de cette étude.

Il s'agit d'un composant d'un niveau de complexité de 150 000 transistors sur une surface de 56 mm² en technologie HCMOS III dont l'étude architecturale, la conception et l'implantation ont été réalisées au sein de la Division LETI, validant ainsi la maîtrise de toute la chaîne de conception, de l'environnement système au procédé de fabrication du composant.

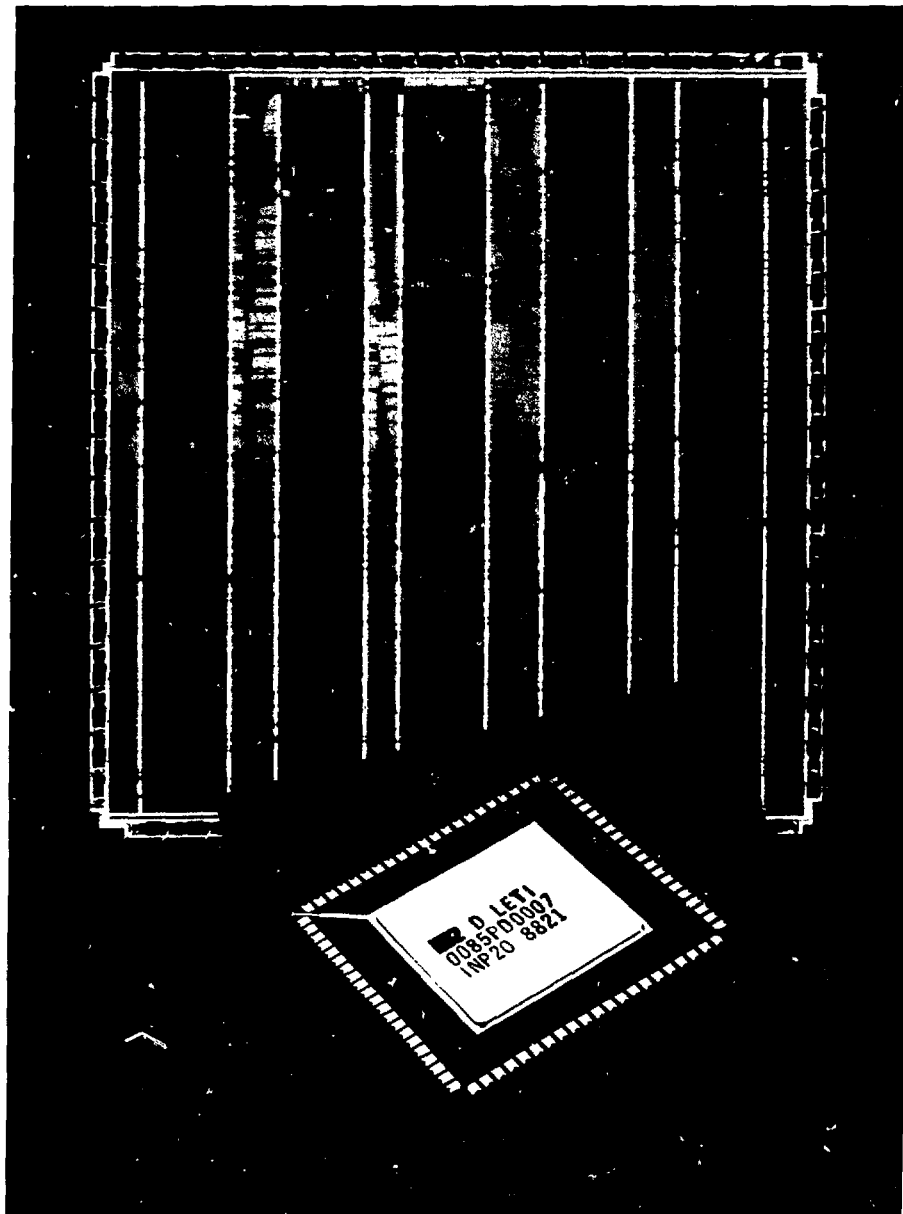


Figure 61
Processeur
programmable de
traitement d'image
INP 20.

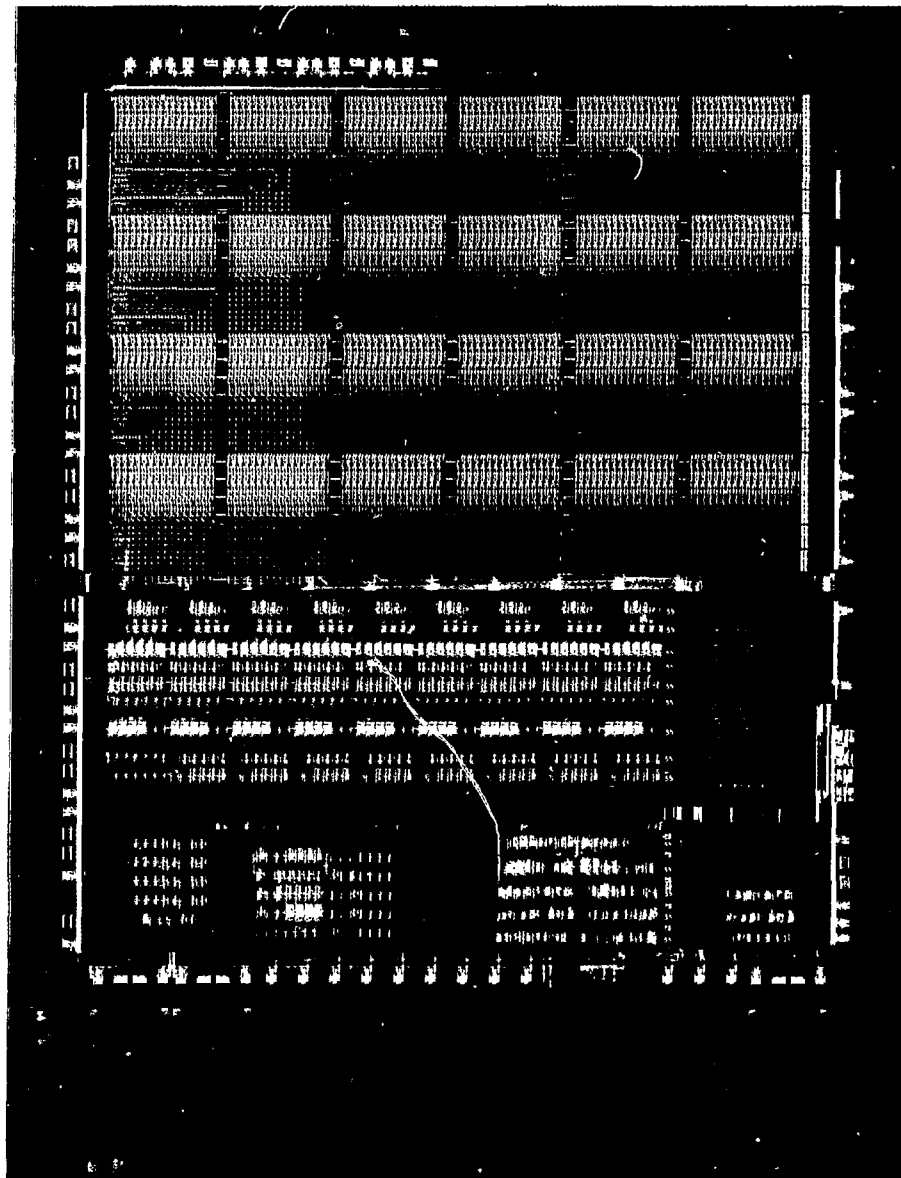


Figure 62
Convolveur cascable
CC 33.

Programme instrumentation et systèmes nucléaires

Les réacteurs nucléaires

Réacteurs à eau sous pression

- Poursuite des essais dans OSIRIS des chambres à fission régénérables (diamètre : 1,5 mm) dans le cadre de l'action de coopération entre CEA (Division LETI et DRP) et FRAMATOME.
- Les résultats obtenus sont encourageants : fonctionnement correct dans des conditions proches de celles des REP jusqu'à une fluence de 3.10^{21} n.cm⁻². Les essais seront complétés en 1988 par des essais de linéarité et d'endurance (expérience MICADO) à OSIRIS.
- L'essai d'une canne prototype comportant 6 chambres à fissions est prévue dans une chaudière REP/EDF en 1990.
- L'action de coopération avec FRAMATOME pour la validation d'algorithmes de protection performants (projet PROSPER) s'est poursuivie avec l'exploitation des traitements effectués à l'aide de la maquette multiprocesseurs installée par DEIN sur le réacteur EDF SAINT ALBAN 2.

Surveillance des détecteurs neutroniques (action CEA/EDF)

L'examen du retour d'expérience relatif au fonctionnement des détecteurs a conduit à définir une méthodologie des tests périodiques à effectuer qui permettent de diagnostiquer l'évolution de leurs caractéristiques.

Réacteurs à neutrons rapides

Les travaux de mise au point d'une chambre à fission rapide (temps de montée des impulsions de l'ordre de quelques dizaines de monosecondes) se sont poursuivis. Les résultats d'essais d'une nouvelle maquette effectués sur le réacteur expérimental MELUSINE ayant montré une stabilité de la forme des impulsions signal en fonction de la température, mais néanmoins quelques anomalies de fonctionnement, un prototype de détecteur CFUC 07 a été défini et sera testé en 1987. Rappelons que ce détecteur de hautes performances est destiné au système de contrôle et de protection de l'EFR.

Projet SIREX

Les efforts faits pour la standardisation d'ensembles de mesure neutronique pour la protection des réacteurs expérimentaux ont permis d'aboutir à une solution retenue par les exploitants pour la rénovation des réacteurs EOLE (DEDR) et OSIRIS (DERPE).

Projet ERATO

Objectif

Etudes de générateurs nucléaires spatiaux de 20 KWe :

- participation à la conception d'ensemble des générateurs,
- participation à la coordination des études,
- conception des sous-systèmes :
 - réseau électrique de puissance
 - contrôle commande du générateur.

Etude comparative de divers générateurs spatiaux de 20 KWe

- participation.

Activités

Les études des générateurs électronucléaires spatiaux ont essentiellement été consacrées à approfondir la définition de 3 solutions de générateurs de 20 KWe, représentatives des technologies envisageables à ce niveau de puissance :

- réacteur à crayons UO_2 , avec structure en acier inoxydable, refroidi au sodium ou au NaK ($T < 700^\circ\text{C}$),
- réacteur à particules UC_2 ou UO_2 avec structures en super-alliage, refroidi en cycle direct par le gaz de travail du circuit de conversion ($T < 250^\circ\text{C}$),
- réacteur à crayons UN gainés en alliage Mo-Re, refroidi au lithium ($T < 1150^\circ\text{C}$).

Par ailleurs, a été commencée l'étude d'un générateur équipé d'un réacteur à particules UC_2 ou UO_2 avec modérateur ZrH et structures en super-alliage, refroidi en cycle direct par le gaz de travail du circuit de conversion (850°C)

- Plusieurs perfectionnements ont été apportés à la modélisation numérique des générateurs électronucléaires étudiés en prenant en compte :

- une meilleure définition du réseau électrique de puissance,
- le dimensionnement des réserves auxiliaires d'énergie nécessaire au premier démarrage et à quelques redémarrages conditionnels après arrêts intempestifs.

Dans le cadre de l'étude comparative de différentes solutions de générateurs d'énergie électrique de 20 KW, une étude qualitative de fiabilité a été entreprise en pratiquant une AMDEC qui a permis de mettre en évidence la nécessité de pratiquer une restructuration de certains sous-systèmes et de compléter la démarche par une analyse quantitative afin de valider et préciser la nature de certaines redondances.

Les essais effectués sur des stators réalisés par la société AUXILEC ont permis de contrôler la validité d'isolation minérales pratiquées sur l'induit et les inducteurs ; l'utilisation de ces matériaux confère à l'alternateur du groupe convertisseur, une fiabilité accrue par rapport à celle qui serait obtenue en mettant en service des isolants organiques.

- Deux communications relatives au projet ont été préparées pour le 23ème IECEC d'août 1988 à Denver (Colorado).

Conception des salles de commande et interface homme-machine dans les centrales nucléaires

L'expertise de la conception des salles de commande et de l'interface homme-machine pour l'exploitation et la surveillance des centrales nucléaires effectuée dans le cadre d'un contrat AIEA "Mission de consultant" s'est poursuivie. Des travaux d'évaluation ont été effectués sur la Centrale de PAKS en Hongrie, les centrales AGR au Royaume-Uni, les centrales PHWR au Canada, les centrales à chaudières REP et REB au Japon et aux Etats-Unis.

Usines de retraitement

Atelier AD2 (UP3-La Hague)

L'installation des postes de mesures α , β , γ pour le contrôle de l'activité des conteneurs de déchets technologiques ainsi que celle des postes de spectrométrie gamma a été achevée.

La mise au point sur automate programmable SMC des logiciels d'acquisition, demandée par le client Technicatome a été effectuée.

La recette définitive de l'installation est prévue prochainement.

Modernisation et rénovation des usines

Une réflexion a été engagée sur :

- les améliorations à apporter aux modules électroniques de la série G, pour permettre une simplification des opérations de test et de calibration et une meilleure communication avec la salle de contrôle (couplage des capteurs par réseau local industriel),
- l'analyse en ligne et l'amélioration de certains capteurs par l'utilisation de quartz scintillants.

Contrôle des déchets

Contrôle des déchets par mesure neutronique passive

- Mise au point définitive et industrialisation des divers modules analogiques qui permettent pour chaque cas de choisir le module assurant le meilleur compromis entre la réjection des photons gamma dans le cas des déchets irradiants et la sensibilité de détection dans les autres cas.
- Conception, réalisation et étalonnage de deux chambres de mesure neutronique dont la sensibilité de détection est constante dans la majeure partie du volume interne. Ces deux chambres ont été livrées à deux unités opérationnelles.
- Application des possibilités du module SCRD à la détection des coïncidences neutroniques corrélées d'ordre 2 ou 3 et application à la détermination de l'isotope émetteur. Ce travail en cours se poursuivra par la quantification de l'effet de la matrice sur les mesures. La précision des mesures pourra être améliorée.

Poste de mesure des déchets α

Pour préparer les prochaines réalisations des postes de mesure des déchets alpha associant les techniques neutroniques (passive et active) à la spectrométrie gamma, le DEIN a entrepris la

réalisation du prototype complet de l'électronique incluant des modules qu'il développe (amplificateurs analogiques pour les voies neutrons, multiplexeurs,...) et des modules existants.

La solution retenue aboutira à un appareil complet, perfectionné, compact et automatique, dont le coût sera réduit au maximum.

Equipped d'un laboratoire souterrain expérimental pour le stockage des déchets (projet CEE/HAW). A la demande de l'ANDRA qui collabore au projet CEE d'équipement d'un laboratoire souterrain à ASSE (RFA), la Division LETI a étudié et réalisé un système de mesure destiné :

- aux mesures de dose dans les conteneurs de déchets avant entreposage dans les puits (température 250°C),
- aux mesures de dose autour du puits de stockage à différents niveaux à l'aide d'un treuil spécifique.

MA 23 dans Atelier Pilote de MARCOULE

Une liaison numérique à fibre optique durcie aux rayonnements d'une capacité de transmission de 3 Mbit/s tolérant une dose intégrée de 10^5 Gy a été réalisée, testée et livrée à l'UGRA dans le cadre du projet MA 23. Ce résultat a pu être obtenu grâce :

- au choix du mode de modulation optique qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet,
- à l'utilisation de composants bipolaires ou GaAs sélectionnés pour leurs tolérances au rayonnement gamma,
- à l'utilisation du phénomène de photodécoloration dans les fibres optiques.

Activités dans le domaine de la sûreté et du bilan des matières nucléaires

Tolérance au rayonnement gamma de composants électroniques et optroniques

Dans le cadre du programme ECEFOR/IPSN et de l'action commune CEA/FRA, les travaux sont orientés vers : l'étude de l'influence du débit de dose et de la température (20 et 50°C), les essais de vérification de tolérance de 103 Gy (sur 20 ans) d'une large gamme de composants de différentes technologies (CMOS, TTL, ECL) et de fibres optiques à cœur de silice pure.

Les résultats déjà obtenus sont les suivants :

- pour une même dose intégrée, l'effet du débit de dose n'est généralement notable qu'au-dessus de 100 Gy.h^{-1} , aussi bien pour les composants électroniques que pour les fibres optiques à cœur de silice pure,
- l'effet de la température (50 - 60°C) est soit positif (CMOS, composants bipolaires de puissance), soit négatif,
- le phénomène de photodécoloration dans les fibres optiques à cœur de silice pure peut être mis à profit pour durcir des liaisons numériques jusqu'à une dose de 10^5 Gy.

Outils d'Aide aux Tests de Logiciels (OST)

Le début d'une collaboration avec la société CGEE/Alsthom s'est amorcée, un ingénieur de cette société a été accueilli en formation pendant 15 jours et le produit est à l'essai chez CGEE/Alsthom. De nouveaux types de micros ont été adaptés à l'outil et les spécifications de la version multi-micro qui sera réalisée en juin 1989 ont été définies.

Dans le cadre du projet ESPRIT SMART, une étude sur les métriques applicables aux logiciels et aux architectures temps réel a été fournie. Un premier modèle de description d'architectures dont l'objectif est de fournir les bases pour les analyses de systèmes critiques a été présenté.

Appareillages pour les procédés de séparation isotopique

Deux appareils ont été étudiés :

- Bilan de masse

Les procédés de contrôle des déchets alpha ont été appliqués au bilan de masse en portant une attention particulière à la qualité de la chambre de mesure et au traitement du signal.

- Système de sécurité pour four à bombardement électronique à balayage

L'instrumentation réalisée a pour but de détecter en moins d'une milliseconde l'arrêt intempestif du balayage du faisceau d'électrons servant à l'évaporation de la matière à enrichir et d'éviter ainsi le perçage du creuset de l'enceinte à vide.

L'instrumentation suit en permanence la position du point d'impact en détectant le rayonnement de freinage produit. Les capteurs - scintillateurs associés à des collimateurs - et l'électronique sont terminés : l'ensemble est prêt à être installé.

Contrôle de l'enrichissement en ^{235}U des conteneurs UF_6

Le travail a pour objet l'étude et la réalisation d'un nouvel appareil de mesure non destructive de l'enrichissement de l' UF_6 stocké dans des conteneurs 30 B et 48 Y.

L'évaluation de l'ancien appareil a été effectuée :

- choix des paramètres de réalisation mettant en œuvre le procédé physique de mesure.
- fonctionnement de l'ensemble électronique associé.

Les calculs neutroniques, réalisés avec l'aide du DMT/SERMA, ont montré la nécessité d'une nouvelle conception de la tête de mesure afin d'améliorer le rapport signal sur bruit d'un facteur deux. La nouvelle disposition permettant, de plus, son positionnement en bout de conteneur.

Des améliorations en cours de l'électronique de détection permettra d'obtenir la stabilité indispensable des résultats des comptages neutroniques.

Radioprotection

Moniteur Individuel de Contamination par les Aérosols (MONICA)

Les essais en actif des prototypes ont été effectués en collaboration avec l'IPSN/DPT.

Le transfert technologique vers la société MERLIN-GERIN-PROVENCE a été réalisé et une présérie de 40 appareils est en cours de réalisation.

Balise à Filtre Séquentiel pour la mesure des aérosols Alpha et Bêta dans l'environnement (BFSAB)

Cette balise a subi les essais en actif qui ont permis l'amélioration du logiciel de traitement.

Quatre balises en essais au CEN de Saclay sont reliées au réseau de protection de l'environnement du CEA. Seize autres seront mis en service dans le courant de l'année 1989.

Centralisateur pour tableau de contrôle de Radioprotection

Un nouveau type de centralisateur adapté au point de vue coût et exploitation aux installations moyennes (50 voies), bâti autour d'un microprocesseur compatible PC a été défini et spécifié.

Programme systèmes sûrs

La décision de créer cette nouvelle ligne de programme repose sur plusieurs éléments favorables :

- Existence de relations confirmées avec des interlocuteurs du spatial, du militaire et du nucléaire qui requièrent tous une telle spécificité de sûreté des systèmes.
- Compétences de la Division LETI dans des technologies intrinsèquement durcies (micro-électronique SOI en particulier).
- Développement d'architectures spécifiques et pouvant inclure des dispositifs sécuritaires.
- Compétence dans l'étude de logiciels de conception de systèmes déjà tournés vers la sûreté (expérience dans le domaine nucléaire).
- Développement des essais d'irradiation en cours avec la DAM.

Essais de durcissement de composants et systèmes

En collaboration avec la DAM, un programme d'essais de composants électroniques d'usage courant a permis d'enrichir une base de données sur leur comportement sous rayonnement en fonction de la dose reçue. Un effort coordonné avec la DAM a permis d'établir de nombreux contacts avec différents laboratoires extérieurs (EDF, CNES, Industries).

La mise au point d'un banc de tests de composants a permis d'effectuer ces mesures en cours d'irradiation, en soumettant de plus ces composants à des cycles thermiques contrôlés.

Application à un système durci

Système de commande d'un télémanipulateur pour une cellule de retraitement de combustibles radioactifs.

Pour une part du projet MA 23, l'électronique embarquée sur le télémanipulateur et la liaison à cette électronique, ont fait l'objet d'une étude de durcissement :

- étude système.
- sélection des composants.
- étude et réalisation des circuits et du système.
- essais et validation sous irradiation.

Hormis les composants électroniques, la liaison par fibres optiques a permis de trouver une solution originale lui permettant de supporter des doses intégrées de 10^7 rad à des températures ambiantes de 60°C.

Moyens d'irradiation disponibles

Moyens d'irradiation

Rayonnement γ

Débit de dose	Température	Volume	Utilisation	Nom Activité ^{60}Co
0,2 à 2 Rh^{-1}				
1 à 40 Rh^{-1}				
10 à 100 Rh^{-1}				
10^2 à $5,10^4$ Rh^{-1}				
jusqu'à 10^6 Rh^{-1}				

Rayonnement β

40 Rh^{-1}	ambiante		Composants	BETA 100 mCi (^{90}Sr)
---------------------	----------	--	------------	---

Particules chargées

Saturne

- protons	150 MeV à 2,9 GeV 10^5 à 10^{10} p/cm ²
- deutons, α , He3	de 60 MeV à 1,15 GeV/uma
- ions lourds	C, Ar, Kr : 1,15 MeV/uma

Sûreté des logiciels

L'année 1988 a été une année de transition, permettant de focaliser plusieurs recherches en logiciels vers la sûreté des logiciels :

Test de logiciels (OST = Outil de Simulation de Test)

OST, opérationnel depuis 1987, est un programme de simulation événementielle dont l'originalité est de pouvoir simuler le fonctionnement de codes temps réel non instrumentés en interaction avec un environnement simulé. Ceci permet très facilement d'injecter des fautes matérielles et de vérifier le comportement du logiciel. Ces types de tests sont difficiles à mettre en œuvre : habituellement et très souvent, les équipes de validation n'ont pas la possibilité de les effectuer. Par exemple, le testeur en ligne des systèmes de sûreté des centrales nucléaires n'effectue pas ces essais.

OST a permis à nos partenaires de l'IPSN d'effectuer une mesure de la couverture des tests en ligne et une étude est en cours pour évaluer les autotests des systèmes microprogrammés de sûreté nucléaire.

OST peut en outre simuler tout processus parallèle modélisable par des processus asynchrones indépendants déclenchés par des événements. Il sera utilisé dans la vérification de réseaux industriels (réseaux à jetons, Ethernet déterministe...).

Actuellement, c'est un produit mieux adapté pour la validation que pour le test en cours de développement.

Dans l'état OST est en cours d'évaluation par un partenaire industriel intéressé.

Tolérances aux pannes de systèmes temps réel

Le projet ESPRIT SMART avait pour but initial de fournir un moyen intégré d'évaluation de systèmes temps réel tolérants aux fautes, destiné au concepteur et comprenant un système de description fonctionnelle et architecturale, des métriques et des procédures de validation intégrées, et des liaisons avec des outils d'évaluation. Les métriques ont été définies (rapport SMART (24)), mais ne sont pas encore implémentées dans le produit et le système de description n'est que partiel : il permet cependant d'assurer une interface interactive et graphique utilisée par les programmes et de faire le lien entre les trois lignes d'outils d'évaluation qui seront opérationnelles, à savoir :

- un simulateur de réseau de Pétri (RTAS),
- un analyseur d'arbres de défaillances, coupes minimales et formes additives tiré de OLAF (21),
- un système d'analyse de chaînes de Markov (METFAC).

Dans le cadre du projet Esprit SMART, seuls les aspects évaluation sont implémentés, ce projet ne prend en compte les méthodes de développement que comme un paramètre des métriques.

Les techniques de tolérance aux fautes appliquées à la conception sont prises en compte par leur évaluation vis-à-vis des spécifications.

Le produit OST sera interfacé avec SMART et en particulier, les analyses de systèmes fourniront des éléments pour générer les tests individuels ou intégrés, et une modélisation par réseaux de Petri est directement traduisible sous forme de procédures coupleurs de OST.

La preuve d'architecture

Les problèmes de preuve ont été esquissés dans SMART par le biais des procédures de validation intégrées dans la description. La projet Esprit ATES, pour lequel nous sommes chargés, à la demande de CISI Ingénierie, d'effectuer une validation dans le domaine des systèmes temps réel parallèles, nous permet d'une part de nous appuyer sur les compétences et les résultats développés dans ATES.

Services Généraux

Section de logistique de l'instrumentation

page 120

Section de logistique de l'instrumentation

La Division LETI est chargée de travaux d'Assistance Technique et de Logistique, dans le domaine de l'Instrumentation Electronique Nucléaire, Laboratoire, Mesures : Maintenance, Approvisionnements, Réception technique et suivi industriel, Banque de données MINITEL, Catalogue, Location.

Son activité s'exerce, au profit de toutes les Unités du CEA-R et des Filiales.

GLAM - Groupe Location et Approvisionnements de Matériels

Approvisionnements de matériels d'électronique "Catalogue CEA" DEIN/GEC au profit des Unités implantées au CEN/S, avec contrôle réception à l'arrivée.

C.A. = 10 MF	88/87	- 20 %
Clients	IRDI	59 % dont 10 % DEIN
	IRF	18 %
	DIR/SAC	20 %
	IPSN	2 %
	DIV	1 %

Approvisionnements de composants spéciaux :

C.A. = 1,1 MF	88/87	+ 25 %
Clients	DEIN	50 %
Autres	U.O. SAC	50 %

Location Matériels :

C.A. = 15,6 MF	88/87	Stable
Clients	IRDI	44 %
	DAM	22 %
	IRF	6 %
	IPSN	3 %
	AUTRES	5 %
	EXTERIEUR	20 %

- PARC 45 MF pour 2500 appareils - Investissement matériels nouveaux : 6,4 MF
- CATALOGUE LOCATION 1988
- Laboratoire évaluation, conseil et assistance technique.

GME - Groupe de Maintenance Electronique

Maintenance préventive et organisée avec planification des interventions, suite enquête annuelle auprès des unités clientes Saclay et hors Région Parisienne.

Maintenance Corrective

Elaboration et gestion des contrats de sous-traitance, suivi, conseil et Assistance Technique - 45 contrats divers.

C.A. 17 MF	88/87	+ 5 %
8000 Interventions/An	Profits annuels	56 %
Autres et MC		44 % (sous-traitance 90 %)

- PARC : 5000 appareils

Clients	MAC	70 %
	INB	12 %
	INP	10 %
	INR, EVA, BIPRO	7 %
	INB	47 % dont 19 % DEIN
	INP	16 %
	INB	16 %
	INP	4 %
	CENADIR	12 %
	FINALES	5 %

- Interventions sur site, agents GME : 10 %
(Instrumentation Radioprotection, INB, Vide, Périphériques).

- Principales activités :

Instrumentation Scientifique, Instrumentation	35 %
Mesure	25 %
Nucléaire, Radioprotection	14 %
Divers Laboratoire	15 %
Vide, Electronique	10 %
Périphériques	9 %

GEC - Groupe Evaluation et Coordination pour l'Electronique et l'Instrumentation

■ Sélection de matériels d'électronique recommandés figurant au Catalogue Electronique CEA (Banque de données MINITEL et catalogue papier)

3170 écrans	2220 matériels	88/87	+ 6,7 %
	380 tableaux de sélection		
	570 informations techniques, GT, fournisseurs, synoptiques...		

- Taux de renouvellement annuel = 15 % - 220 matériels.
- 420 mots de passe (abonnés) pour 4500 appels.

■ 12 Groupes de Travail, chargés d'examiner les matériels (caractéristiques, données d'exploitation, de maintenance, essais, expertises...) et faire des propositions pour mise à jour du catalogue.

7 en Instrumentation Nucléaire, 5 pour la Mesure.	88/87	- 30 %
170 participants, spécialistes ou experts.		
20 réunions/an.		
23 essais et/ou expertises technologiques avec le Laboratoire Essais et Métrologie (LEM).		

- Assistance technique et conseils pour les utilisateurs, CdE, SCAC/Siège.
- 17 correspondants du GEC dans les Centres CEA-R et les Filiales.
- Réception technique des matériels en usine, suivi industriel, action qualité.

8700 matériels proposés en recette par les industriels	40 MF	88/87	+ 18 %
5300 appareils recettés	35 MF	88/87	+ 30 %
146 Actions Correctives pour maintien Qualité			+ 4%

- Principales familles de matériels recettés et suivis :

Radioprotection	56 %
Détecteurs	41 %
Contrôle en usines	2 %
ILR, Divers	1 %

- Centres demandeurs (tous Instituts ou Filiales)
- CEA-R : SACLAY, VALRHO, DAM, CAD, GRE, FAR
FILIALES : LH, MARC, PIER, USSI, EURODIF, ORIS, STMI.

Malgré une légère baisse d'effectif, le bilan 1988 est très satisfaisant.

Seule l'activité approvisionnements a diminué. La location s'est maintenue tandis que les activités de maintenance et surtout de recettes chez les industriels ont enregistré une croissance de la demande.

Un début de réorganisation avec une adaptation des moyens aux objectifs a été entrepris. Le réajustement de nos structures sera poursuivi en 1989 pour tenir compte de la décroissance de certaines activités "classiques", des moyens à mettre en place pour répondre à la demande des utilisateurs, et des départs de personnel prévus dès 1990.

Thèses - Publications - Communications

Thèses

page 126

Département d'électronique et d'instrumentation nucléaire
Département micro-électronique
Département optronique
Département systèmes

Publications

130

Département d'électronique et d'instrumentation nucléaire
Département micro-électronique
Département optronique
Département systèmes

Communications

135

Département d'électronique et d'instrumentation nucléaire
Département micro-électronique
Département optronique
Département systèmes

Thèses

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE

Service d'Instrumentation pour les Applications Industrielles

PAREY Christine	<i>Logique majoritaire trivalente et réseaux neuronaux Application à l'analyse de fiabilité Université Paris-Sud 4 juillet 1988</i>
-----------------	---

DÉPARTEMENT DE MICRO-ÉLECTRONIQUE

Service de Micro-Electronique Magnétique

THIAVILLE André Docteur ès Sciences	<i>Lignes de Néel dans les films de grenats à anisotropie perpendiculaire : observation et propagation Université Paris-Sud 21 septembre 1988</i>
--	---

Service de Micro-Electronique Semi-Conducteurs

DA COSTA Camargo José Docteur Ingénieur	<i>Réalisation de couches minces de nitrure de silicium et d'oxyde de silicium nitruré par plasma réactif d'ammoniac en vue d'applications pour les technologies de circuits intégrés submicroniques INP Grenoble 21 avril 1988</i>
--	---

LOUIS Didier Docteur Ingénieur	<i>Optimisation des rendements par analyse systématique des défauts en microlithographie CNAM Grenoble 25 février 1988</i>
-----------------------------------	--

RAYNAUD Christine
Docteur Ingénieur

*Contribution à la caractérisation et à la modélisation
de transistors NMOS submicroniques
en haute fréquence micro-électronique
INP Grenoble
20 décembre 1988*

LEROUX Charles
Docteur Ingénieur

*Contribution à l'étude et phénomène
de latchup dans les technologies CMOS
INSA Lyon
21 décembre 1988*

DÉPARTEMENT OPTRONIQUE

Service Couches Minces et Microtechniques

EBEL Christine
Docteur d'Etat
Sciences Physiques Chimie

*Etude des cristaux liquides smectiques C
chiraux en vue de la réalisation d'écrans plats
Université Joseph Fourier Grenoble I
18 août 1988*

GUFFLET Didier
Docteur Micro-électronique

*Etude d'Etats localisés du silicium amorphe hydrogéné
et de leur stabilité par des mesures de courants
thermostimulés dans des transistors couches minces
INP Grenoble
19 octobre 1988*

MULATIER Laurence
Ingénieur CNAM Electrochimie

*Etude de la polarité des surfaces
d'orientation des cristaux liquides
CNAM Grenoble
24 mai 1988*

Section Matériaux pour Applications Opto-électroniques

MENARD Jean-Claude
Docteur Ingénieur

*Etude du potentiel électrocinétique de ZnS
et de CdS dans des solutions aqueuses contenant
des sels de zinc de cadmium et des sulfures alcalins
CNAM Grenoble
29 mai 1988*

Service Infrarouge

DI CIOCCIO Léa
Docteur Ingénieur
Sciences des Matériaux et Métallurgie

*Etude par microscopie électronique en transmission
de semi-conducteurs II-VI épitaxiés
par jets moléculaires
INP Grenoble
30 novembre 1988*

DÉPARTEMENT SYSTEMES

Service d'Electronique pour Systèmes d'Intervention

ANTOINE Mathieu
Docteur Ingénieur Informatique

*Les techniques algorithmiques du codage
octree appliquées à l'analyse de volumes
tridimensionnels de données numériques*
Université Grenoble I
27 avril 1988

POCACHARD Jacques
Docteur ès Sciences Naturelles

*Structures de la roche et effets magnétiques :
mesures et interprétation*
USM Grenoble
15 décembre 1988

Service d'Electronique pour Systèmes d'Acquisition

CHABERT Christine
Docteur Ingénieur
Sciences des Matériaux

*Contribution à l'étude de nouveaux détecteurs
pour l'imagerie en médecine nucléaire*
INP Grenoble
5 juin 1988

GLASSER Francis
Docteur Ingénieur Instrumentation
et Mesures

*Méthodes de détection de rayonnement X
pulsé pour la tomographie par transmission
avec accélérateur linéaire*
Université Joseph Fourier Grenoble
1 juillet 1988

GABERT Patrick
Docteur Ingénieur CNAM

*Modélisation du signal nucléaire et étude d'une
solution numérique à la mesure de fréquence*
CUEFA Grenoble
21 octobre 1988

JACQUET Isabelle
Docteur Ingénieur CNAM

*Reconstruction d'image 3D
par l'algorithme Eventail généralisé*
septembre 1988

LUTHON Franck
Docteur Systèmes Electroniques

*Filtrage et analyse spectrale paramétriques
Applications en spectroscopie et magnéto-métrie RMN
Eléments de synthèse pour analyseur paramétrique*
INP Grenoble
26 septembre 1988

MARTIN Jean-Luc
Docteur Ingénieur CNAM
Electronique

*Etude d'un convertisseur analogique numérique
à grande dynamique intégré en technologie CMOS
ENSER Grenoble
21 octobre 1988*

MERCIER Anne
Ingénieur IPSOI

*Synthèse de nitroxydes pyrrolidiniques B-Phosphores
Application à la magnétométrie des champs faibles
Université de Provence Marseille
17 juin 1988*

Service d'Electronique et d'Information pour Systèmes de Traitement

MOISAN Frédéric
Docteur Mention Physique
Spécialité Micro-électronique

*Optimisation du contraste image en microscopie
optique : application à l'inspection micro-électronique
Université Joseph Fourier Grenoble 1
28 septembre 1988*

SKORDAS Thomas
Docteur INPG Informatique

*Mise en correspondance et reconstruction stéréo
utilisant une description structurelle des images
INP Grenoble
7 octobre 1988*

Publications

DIRECTION

Matériaux et Composants

CŒURÉ Philippe

*Applications des effets JOSEPHSON
Techniques de l'Ingénieur*

DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE ET D'INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE

Laboratoire de Physique Electronique des Matériaux

CHARRA F
NUNZI JM

*Théorie du mélange à plusieurs ondes
dégénéré pour les champs forts
Europhysics Letters*

KAJZAR F

*Susceptibilité cubique des molécules
organiques en solution
Nato ASI Séries volume*

KAJZAR F

*Non-linéarités optiques d'ordre trois dans les systèmes
d'électrons conjugués
NATO Workshop*

KAJZAR F
et al*

*Les non-linéarités quadratiques et cubiques en solution
des molécules organiques à transfert de charge
intramoléculaire : une approche quantique
à deux niveaux
Journal of Materials Research*

MESSIER J

*Propriétés optiques non-linéaires
du 3ème ordre dans les polymères semi-conducteurs
NATO ASI Séries volume*

NUNZI JM
CHARRA F

*Etudes picosecondes de l'effet Stark
optique dans les polydiacétylène
NATO ASI Series volume*

ROSILIO A
ROSILIO C
MOUANDA B

*Application de resists à base de polysiloxanes
comportant des groupements photosensibles
cinnamoyles pour la lithographie optique
dans l'UV lointain
The Electrochemical Society*

SLAMA M
TANGUY J

*Surdopage du polypyrrole cycle dans
un électrolyte à base de sulfite de diméthyl
Journal of the Electrochemical Society*

TANGUY J
SLAMA M
HOCLET M
BAUDOUIN*

*Mesure d'impédance sur différents
polymers conducteurs
Synthetic Metals*

GAUCHER JC
GRUNWALD D
FRELAT G

*Fluorescence response in flow cytometry :
sensitivity determination for
ATC 3000 flow cytometer
Cytometry*

PLANES JG
VAUTHRIN P
DAVY JM*
FILLET

*Evaluation clinique d'un nouvel
analyseur ECG temps réel CARDYNAM
Journal of Ambulatory Monitoring*

DÉPARTEMENT DE MICRO-ÉLECTRONIQUE

Service de Micro-Electronique Semi-Conducteurs

CAMARGO DA COSTA José°
GUEGAN G
LERME M
REY A*
et al

*A High performance 0.5 µm N-MOS
technology with a thin nitrided
oxide AS gate dielectric
IEEE Electron Device Letters*

Service de Micro-Electronique Magnétique

GERARD P
LACROIX E*
BLANCHARD B*
ROLLAND G
ROLLAND B
BECHEVET B

*Crystallization phenoma in thin films
of amorphous barium hexaferrite
Journal of Applied Physics*

DÉPARTEMENT OPTRONIQUE

Service Couches Minces et Microtechniques

VALETTE S
RENARD S
DENIS H
JADOT JP
et al

*Si-Based Integrated Optics technologies
Solid State Technology
Vol. 32, N° 2, 1989, pp 69-74*

Section Caractérisation Physique des Matériaux

BAPTIST R
PELLISSIER A
CHAUVET G

*Spectroscopic measurements
of yttrium hydride
Zeitschrift für Physik : B*

ERMOLIEFF A
BERNARD B
MARTHON S
VILLEGIER JC

*Effects of silver on a YBaCuO superconductor
sample as studied by X Ray photoelectron
spectroscopy analysis
Surface and Interface analysis*

HEWAT EA
BORDET P*
CAPPONNI JJ*
CHAILLOUT C*
et al

*HREM of superconducting and non-superconducting
"Tetragonal" and orthorhombic $Tl_2Ba_2Cu_1O_6$
Physica : C, juillet 1988*

HEWAT EA
DUPUY M
BORDET P*
CAPPONI JJ*
et al

*Superstructure of the superconducteur
 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$
by high resolution electron microscopy
Nature*

OLIVIER M
CAMARGO DA COSTA J

*Infrared characterization of hydrogen in very
thin plasma silicon nitride layers on silicon
Applied Physics Letters*

PELLISSIER A
BAPTIST R
CHAUVET G*

*Mechanism of the Y/Si interface formation
studied by photoemission
Surface Science*

BAPTIST R
PELLISSIER A
CHAUVET G*

*Chemical bonding in Y Si_{1.7} MULTILAYERS
Solid State Communications*

Section Matériaux pour Applications Opto-Electroniques

AUBERT JJ
WYON Ch
CABANEL R*
CHAUSSY J

*Un laser solide accordable pompe par diode
Optics Communications*

MAZUYUER J
VILLEGIER JC

*From localization to superconductivity
in granular niobium nitride thin films
Journal de Physique*

CHABLI A
MOLVA E
BUNOD Ph
BERTIN F

*Generation mechanism for residual
dislocations in In-Alloyed GaAs
Applied Physics Letters*

NICOLAU YF

*Adsorption des sulfures en milieu aqueux
sur une électrode semiconductrice de InP de type n
Compte-Rendu de l'Académie des Sciences*

DÉPARTEMENT SYSTEMES

Service d'Electronique pour Systèmes d'Acquisition

BRENAC A
CHABERT C
CUZIN M
DUMAS P

*Etude de photodiodes silicium PIN
pour la détection de rayonnement gamma
Nuclear Instruments and Methods*

THOMAS Th
DURET D

*High resolution single channel neuromagnetometry
and minimal approach for multi-channel systems
Cryogenics*

Service d'Electronique et d'Informatique pour Systèmes de Traitement

LEFKOVITS I*	<i>Towards an objective classification</i>
KUHN L*	<i>of the cells in the immune system</i>
VALIRON O*	<i>Proceedings of National Academy Sciences</i>
MERLE A	
KETTMAN J°	

PIRONS A	<i>Formalisation en OCCAM et simulation</i>
COURT T	<i>sur un réseau de transputers d'un processeur</i>
DAVID D	<i>systolique de traitement d'images</i>
JACQUOT JL	<i>Traitement du Signal</i>

Service d'Electronique pour Systèmes d'Intervention

COTTAZ Y	<i>Acoustical and magnetical and seismical</i>
BARTHES V	<i>investigation of the sea-floor off the uraniumiferous</i>
ROBVACH F	<i>district of Piriac (France)</i>
BERNE S*	<i>Marine Geology</i>
LERICOLAIS G*	
CROCHON Ph	

Communications

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE

DEIN/Direction

FURET J *Instrumentation and safety protection
of nuclear power plants
Information Technology for Nuclear Power
Genève, avril 1988*

POTTIER J *A new type of R.F. electron accelerator :
the Rhodotron
Trentth conference on the Application of
Accelerators in Research and Industry
Denton (Texas), novembre 1988*

Laboratoire de Physique Electronique des Matériaux

CHOLLET PA *Résonances des susceptibilités optiques non linéaires
d'ordre trois dans les polydiacétylènes*
KAJZAR F *Non-linear Optics of Organics and Semiconductors*
MESSIER J *Tokyo (Japon), juillet 1988*

CHOLLET PA *Capteurs à fibre optique pour la mesure de champs
électriques par génération d'harmonique
optique d'ordre deux*
MESSIER J *The International Congress on Optical Science
and Engineering
Hambourg, septembre 1988*

KAJZAR F *L'hyperpolarisabilité complexe et effet
solvatochromique dans les solutions
de merocyanines*
*Congrès "Non-linear Optics of Organics
and Semiconductors"*
Tokyo (Japon), juillet 1988

- NUNZI JM
CHARRA F
*Dynamique de la conjugaison de phase
dans les polydiacétylènes
CLEO'89
Baltimore (Maryland), avril 1989*
- NUNZI JM
CHARRA F
*Effet Stark optique et problèmes connexes
en régime picoseconde dans les polydiacétylènes
Congrès "QUELS'89"
Baltimore (Maryland), avril 1989*
- ROSILIO C
ROSILIO A
SERRE-MOUANDA B
*Formulation de résines à base de polymères
contenant du silicium utilisées
pour la lithographie dans l'UV lointain
8ème Congrès International sur les Photopolymères
Ellenville (USA), octobre-novembre 1988*
- SLAMA M
TANGUY J
*Etude électrogravimétrique du polypyrrole
International Conference on Sciences and
Technology of Synthetic Metals
Santa Fe (USA), juin 1988*
- SLAMA M
TANGUY J
*Comportement électrochimique du polypyrrole
Influence de l'électrolyte
International Conference on Sciences and
Technology of Synthetic Metals
Santa Fe (USA), juin 1988*
- TANGUY J
SLAMA M
HOCLET M
BAUDOUIN JL
*Interprétation des diagrammes d'impédance
du polypyrrole de la polyaniline
et du poly (3 méthylthiophène)
3ème Forum sur les Impédances Electrochimiques
Montrouge, novembre 1988*

Service d'Instrumentation pour les Applications Industrielles

- BONNEMAY A
PAREY C
*Three-valued threshold logic and neural networks :
application to reliability analysis
International Neural Network
Society 1988 annual meeting
Boston (USA), septembre 1988*
- BREUZE G
CARNET B
FRIANTA
et al*
*Liaison à fibres optiques pour la télémanipulation
en milieu nucléaire
OPTO 88
Paris, mai 1988*
- BREUZE G
FRIANT A
*Liaisons durcies à fibres optiques
pour applications industrielles nucléaires
Journées d'Etudes de la SEE
Gif-sur-Yvette, novembre-décembre 1988*

FRIANT A *Durcissement à 10 Mrad et essais sous rayonnement
de l'électronique de commande pour MA23/APM
4ème séminaire CEA/DOE
Oak-Ridge (USA), septembre 1988*

TERRIER F *Intelligence artificielle et automatisation
Journée d'information "Automatisation-Informatisation
des prestations d'essais"
Paris, avril 1988*

TERRIER F *Analyse de défaillance :*
PAREY C *des outils pour l'approche événementielle*
VERGEZ P *1er Colloque Annuel du club FIABEX
Paris, novembre, décembre 1988*

Service d'Instrumentation pour la Recherche

ADAM P *4LP - Langage assembleur pour*
JUVIN D *processeur ligne "SYMPATI 2"*
FERNANDEZ P* *12ème Colloque GRETSI*
BASILLE * *sur le Traitement du Signal et des Images
Juan-les-Pins, juin 1988*

LAPASSAT AM *Analyse par simulation de logiciels temps réel*
SALICHON M *pour la vérification des critères de disponibilité*
SEGALARD J *et de sûreté des logiciels de contrôle-commande
de centrales nucléaires
6ème Colloque International de Fiabilité
et de Maintenabilité
Strasbourg, octobre 1988*

ROCHE P *A new miniaturized real time ambulatory ECG*
PLANES JG *analyser : CARDYNAM*
VAUTHRIN P* *3th International Symposium on Holter Monitoring*
LETOURN *Vienne, avril 1988*

Service du Matériel Electronique

PAYAT R *Tenue au rayonnement et durcissement de circuits*
FRIANT A *électroniques pour l'industrie nucléaire
6ème Colloque International de Fiabilité
et de Maintenabilité
Strasbourg, octobre 1988*

DÉPARTEMENT DE MICRO-ÉLECTRONIQUE

LAZZARI JP

IC's manufacturing trends
IEMT
Versailles, juin 1988
IEEE
Paris, juin 1988

Service de Micro-Electronique Semi-Conducteurs

ACHARD H
 MERMET JL
 JOLY JP
 BONO H

Contribution to the use of laser recrystallization
on top of existing devices
European Silicon on Insulator Workshop
Meylan CNET (Isère), mars 1988

AUBERTON-HERVE AJ
 BRUEL M
 JAUSSAUD C
 MARGAIL J
 D'HESPEL W*
 et al*

A CMOS-SOI 1.4 µm technology on 1300°C
annealed SIMOX substrates without epitaxy
European Silicon on Insulator Workshop
Meylan CNET (Isère), mars 1988

BRUEL M
 MARGAIL J
 JAUSSAUD C
 AUBERTON-HERVE AJ
 STOEMENOS J°

Silicon on insulator by oxygen implantation:
an advanced technology
SOI Workshop
Meylan CNET, mars 1988
Micro-electronics Engineering
N° 8, 149-161, (1988), TP 429

MARGAIL J
 STOEMENOS J
 JAUSSAUD C
 BRUEL M

A new method for making improved
SIMOX structures
SOI Workshop
Meylan CNET, mars 1988

MERMET JL
 ACHARD H
 BONO H
 JOLY JP
 ROSSETTO O

Improvements of the SOI material quality
with speeded laser ZMR
SOI Workshop
Meylan CNET, mars 1988

ROSSETTO O
 KLEIN R
 MERMET JL
 AUBERTON-HERVE AJ

Numerical thermal modelization of laser ZMR
using silas 3D program
SOI Workshop
Meylan CNET, mars 1988

AUBERTON-HERVE AJ BRUEL M JAUSSAUD C MARGAIL J et al*	<i>A CMOS-SOI 1.4 μm technology on 1300°C annealed SIMOX substrates without epitaxy</i> IEEE VLSI Symposium San-Diego, mai 1988
GUEGAN G LERME M TEDESCO S DAL'ZOTTO B LAMARD D et al	<i>Half-micrometer N-MOS technology for GIGABIT logic</i> IEEE VLSI Symposium San-Diego, mai 1988
MERMET JL ACHARD H BONO H JOLY JP	<i>Theoretical and experimental study of dashed seed lines and capping layers for the seeded laser ZMR</i> E-MRS Strasbourg, mai-juin 1988
FERREIRO A BIASSE B PAPON AM PONTCHARRA J TRUCHE R	<i>Formation of shallow P⁺/N junctions by dual Ge⁺/B⁺ implantation</i> IBM 88 TOKYO, juin 1988 Nuclear Instruments and Methods : B
NICOLAS G	<i>Laser interconnections on silicon</i> IEEE Electronic Manufacturing Technology Symposium Neuilly-sur-Seine, juin 1988
CAMARGO DA COSTA GUEGAN G LERME M GUERIN M DAL'ZOTTO B ROUSSIN JC REY A*	<i>A high performance 0.5 μm NMOS technology with a thin nitrided oxide as gate dielectric</i> III Congresso da Sociedade Brasileira de Microelectronica Brésil, juillet 1988
FERREIRO A* PONTCHARRA J JAUSSAUD C LORA-TAMAYO E°	<i>Analysis of GeH₄ and GeF₄ as gaseous feed materials for germanium implantation</i> IRUA Braga (Portugal), septembre-octobre 1988
BACCONNIER B MARTIN F LORMAND G*	<i>Massive hillock growth on cathode side of test structure during electromigration experiments</i> ESSDERC Montpellier, septembre 1988

GUEGAN G
LERME M
GAUTIER J
GUERIN M
TEDESCO S
et al

*Half-micrometer N-MOS technology
for GIGABIT logic
ESSDERC
Montpellier, septembre 1988*

RAYNAUD C
GAUTIER J
GUEGAN G
LERME M
DAL'ZOTTO B
et al*

*Microwave performance of submicrometer
N-channel-length silicon MOSFET'S
ESSDERC
Montpellier, septembre 1988*

ACHARD H
MERMET JL
BONO H
JOLY JP
MONROY A*
CHAPUIS D*

*Contribution to "D SOI integration technologies
using seeded laser SMR and polycide
refractory metallisation
IEEE SOS/SOI Technology Workshop
St Simons Island, octobre 1988*

AUBERTON-HERVE AJ

*CMOS Technology on 1300°C annealed SIMOX
substrates : RAD-HARD and high speed applications
IEEE SOS/SOI Technology Workshop
St Simons Island, octobre 1988*

BRUEL M

*Les technologies silicium sur isolant :
un exemple d'évolution des circuits intégrés
TEC 88
Grenoble, octobre 1988*

JAUSSAUD C
MARGAIL J
STOEMENOS J°
PAPON AM
BRUEL

*Origin of imperfections in the SIMOX structure
causes and solutions
SIMOX Workshop
Surrey (G-B), novembre 1988*

GAUTIER J
GUERIN M
GUEGAN G
LERME M

*Working of short channel depletion mode MOS
devices at liquid nitrogen temperature
IEDM
San-Francisco, décembre 1988*

Service Micro-Electronique Magnétique

THIAVILLE A
BOILEAU F
MULHAT J*

*Experimental investigations of the gyrotropic
coupling between wall and blochline motions
MMM INTERMAG
Vanconver (Canada), juillet 1988*

VIALIX A BOILEAU F KLEIN R NIEZ JJ BARAS P*	<i>A new method for finite element calculation of micromagnetic problems MMM INTERMAG Vancouver, juillet 1988</i>
GERARD P UBA L* UBA S*	<i>Spatial profiles of magneto-optical properties in hydrogen implanted garnet films ICM Paris, juillet 1988</i>
GIRARD M GERARD P	<i>Ion mixing effect of the structural and magnetic properties of CoCr films for perpendicular recording ICM Paris, juillet 1988</i>
LACROIX E* GERARD P CHALLETON D ROLLAND B BECHEVET B	<i>Elaboration of M type Ba ferrites films by R.F. sputtering ICM Paris, juillet 1988</i>
RIVOIRE M* SURAN G* GERARD P BRUNEL M*	<i>Ion beam mixing of Fe₃₀Ni₇₀-Si multilayer thin films : an FMR and a structural study ICM Paris, juillet 1988</i>
JOUE H	<i>Vertical bloch line memory implementation future Conference : Spaceflight data storage technology Pasadena (USA), juillet 1988</i>
GERARD P UBA L* UBA S*	<i>The surface interface effects in ion implanted garnet films ICMFS Le Creusot, août 1988</i>
GERARD P LACROIX E* BLANCHARD B* ROLLAND G ROLLAND B et al	<i>Crystallization phenomena in thin films of amorphous barium hexaferrite ICMFS Le Creusot, août 1988</i>
SURAN G* GIRARD M GERARD P MOLINIE P*	<i>Magnetic properties of CoCr films prepared under various conditions ICMFS Le Creusot, août 1988</i>

THIAVILLE A BOILEAU F ARNAUD L MULTAT J*	<i>A new means of studying vertical (Neel) lines in bubble garnet films: direct optical observations ICMFS Le Crenzon, août 1988</i>
GERARD P UBA S* UBA L*	<i>A comparative study of Kerr effect in magnet films implanted with H_2^+, He^+ and Na^+ ions ICPMM Pologne, septembre 1988</i>
DUPEUX T* SIBUE F N DEROUX-DAUPHIN P	<i>Electrical interconnections through silicon wafer 174th Meeting of Eclectical Society Chicago, octobre 1988</i>
JOUE H	<i>Le disque optique numérique état de l'art, applications Conférence : Imagerie Electronique Paris, octobre 1988</i>
JOUE H	<i>Optical recording technology and materials requirements IBC Londres, novembre 1988</i>

DÉPARTEMENT OPTRONIQUE

Service Couches Minces et Microtechniques

BARBIER B DENIR H VALETTE S DURET D CHARTIER G*	<i>Etude d'un capteur interférométrique à fibres pour la mesure de champ magnétique basse fréquence Journées Nationales d'Optique Guidée Lannion, mars 1988</i>
ERBERIA C JADOT JP VALETTE S	<i>Etude et réalisation d'un réseau convertisseur de polarisation en optique intégrée Journées Nationales d'Optique Guidée Lannion, mars 1988</i>
CLERC JF	<i>Ecrans multiplexés LCD : état de l'art OPTO Paris, mai 1988</i>

RENARD S VALETTE S GIDON P JADOT JP	<i>Optique intégrée sur substrat silicium : état de l'art et perspectives OPTO Paris, mai 1988</i>
VALETTE S	<i>Technologie et principe de fonctionnement des capteurs à fibres optiques Journées d'Etude sur les Fibres Optiques Grenoble, mai 1988</i>
LEROUX T DIJON J	<i>Black and white SmC TV panel with grey levels IDRC San Diego, mai 1988</i>
DIJON J EBEL C VAUCHIER C	<i>High speed SC mixtures: an evaluation of their performances SID Anaheim, mai 1988</i>
MEYER R GHIS A RAMBAUD P MULLER F	<i>Development of a matrix array of cold cathode emitters on glass substrate for flat panel display applications 1st International Vacuum Micro-electronics Conference Williamsburg (USA), juin 1988</i>
VALETTE S	<i>Application de l'optique intégrée aux capteurs d'Etude sur les Capteurs à Fibres Optiques, Fibres Optiques-Réseaux Lyon, juin 1988</i>
DUCHENE J CLERC J F	<i>New challenges for dot matrix LCDS 12th International Liquid Crystal Conference Freiburg (RFA), août 1988</i>
VAUCHIER C VINET F MAISIER N	<i>New bifluorinated liquid crystal compounds with broad mesomorphic ranges 12th International Liquid Crystal Conference Freiburg (RFA), août 1988</i>
FRIEDRICH E VALETTE S	<i>Optical interconnections for WSi Optical Computing Conference Toulon, août-Septembre 1988</i>
DELAPIERRE G	<i>Capteurs et technologies de la micro-électronique TEC Grenoble, octobre 1988</i>

GRANGE H
DELAPIERRE G
*Mesures d'humidité dans l'air : précision
des sondes capacitatives à base de polynères
TEC
Grenoble, octobre 1988*

DELAPIERRE G
*Micromachining: a survey of the most
commonly used processes
EUROSENSORS II
Twente (N L), novembre 1988*

VALETTE S
*Passive components and devices for integrated optics
Optical Coatings and Integrated Optics Conference
Grenoble, décembre 1988*

VALETTE S
*Hybrid technologies for Opto-electronics
Optical Coatings and Integrated Optics Conference
Grenoble, décembre 1988*

Section Caractérisation Physique des Matériaux

HEWAT E A
*HREM study of Bi-oxide based high Tc
superconductor
Congrès annuel de la Société Française
de Microscopie Electronique
Lille, mai 1988*

DAUDIN B*
MARTIN P
*MeV ion beam-enhanced adhesion of Au films
on alumina substrates of various roughness
Ion Beam Modification of Materials Conference
Tokyo, juin 1988*

DAUDIN B*
MARTIN P
*MeV ion beam polishing of anodically grown alumina
Surface Modification of Metals by Ion Beams
(SM2IB) Conference
Rivadel Garda (Italie), septembre 1988*

HEWAT E A
CAPONI J J*
CHAILLOUT C*
HODEAU J L*
MAREZIO M*
*Superstructure of the superconductor
Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ by high resolution
electron microscopy
International Conference on Superconductors
Suisse, février-mars 1988*

Section Matériaux pour Applications Opto-Electroniques

NICOLAU YF
DUPUY M
*Solution growth of ZnS, CdS and Zn_{1-x}Cd_xS
thin films by the successive ionic-layer adsorption
and reaction process (Silar)
Colloque Ammel GFCC
Grenoble, mars 1988*

VILLEGIER JC	<i>Observation de couplages Josephson et d'effets tunnel résonants dans des structures supraconductrices lamellaires</i> Colloque Annuel GFCC Grenoble, mars 1988
CAILLAUT B PERRIER R AUBERT J J FRAUTRELL Y*	<i>High frequency induction furnace for oxides melting</i> IUTAM Symposium on Liquid Metal magnetohydrodynamics Riga (URSS), mai 1988
WYON C AUBERT JJ	<i>Nouveaux matériaux pour lasers solides accordables</i> OPTO Paris, mai 1988
BUNOD P MOLVA E CHABLI A BERTIN F	<i>Dislocations and demi level effect on A/B, DSL, KOH etching and photoluminescence imaging in GaAs : a comparative study</i> Semi-Insulating III-V Materials Conference Malmö (Suède), juin 1988
MOLVA E DANG Le Si* BUNOD P CHABLI A BERTIN F	<i>Resonantly excited luminescence imaging in GaAs : distribution of shallow impurities around dislocations</i> Semi-Insulating III-V Materials Conference Malmö (Suède), juin 1988
MOLVA E BUNOD P ROTURIER F CHABLI A BERTIN F et al	<i>Segregation of indium in GaAs at macro and micro-scale : quantitative analysis using photoluminescence imaging</i> Semi-Insulating III-V Materials Conference Malmö (Suède), juin 1988
FERRAND B CHAMBAZ B GAY JC OLIVIER M LEHUREAU JC*	<i>Liquid phase epitaxy of garnet double layers for magneto optic read head</i> MMM Internag Conference Vancouver, juillet 1988
MORICEAU H ETCHEVERRY A* HERLEM M* NICOLAU YF DELOMAR M*	<i>Sulfuration d'électrodes semi-conducteurs</i> Journée de la Matière Condensée Toulouse, septembre 1988

Service Infrarouge

- AUDAIRE L *Imagerie infrarouge, spécificités, état actuel, évolution prévisible*
OPTO
Paris, mai 1988
- DI CIOCCIO L *Twin-free growth of II-V compounds on (111)*
PIAGUET J *CdZnTe substrate by molecular beam epitaxy*
ROLLAND G *5th International Conference on M B E*
MILLION A *Sapporo (Japon), août-septembre 1988*
et al*
- DESTEFANIS GL *Crystal limitations for HgCdTe IR detectors*
Workshop on the Future of Small-Gap II-VI
Semiconductors
Liège, septembre 1988
- PELLICIARI B *Evidence of anomalous behavior in low N-type*
DESTEFANIS GL *MCT induced by extended defects*
DI CIOCCIO L *US Workshop on the Physics and*
Chemistry of Mercury Cadmium Telluride
Orlando, octobre 1988

DÉPARTEMENT SYSTEMES

Service d'Electronique pour Systèmes d'Acquisition

- GRANGEAT P *L'Imagerie 3D par reconstruction*
en contrôle non destructif
Séminaire Européen sur la Tomographie
Grenoble, mars 1988
- DURET D *A capacitive magnetostrictive magnetometer*
CRESCINI J *MMM Intermag*
Vancouver, juillet 1988
- DURET D *New developments for scalar magnetometers*
SECOURGEON L *based on the ESR properties*
BERANGER M *of organic semiconductors*
MOUSSAVI M* *MMM Intermag*
ANDRE JJ* *Vancouver, juillet 1988*

DURET D	<i>High resolution low field ESR spectrometer</i>
BERANGER M	<i>International Conference on Science and</i>
MOUSSAVI M*	<i>Technology of Synthetic Metals</i>
ANDRE JJ*	<i>Santa Fe, juin-juillet 1988</i>

Service d'Electronique pour Systèmes d'Intervention

KOENIG A	<i>TRAM : tableau noir pour robotique</i>
CROCHON E	<i>autonomie mobile</i>
	<i>1st International Conference on Industrial</i>
	<i>Engineering : application of Artificial Intelligence</i>
	<i>and Expert Systems</i>
	<i>Tallahama (USA), juin 1988</i>

TRYSTRAM P	<i>A magnetic sensor system for mobile</i>
FANTON JC	<i>robot positionning</i>
	<i>Conference : CCCT</i>
	<i>Paris, septembre 1988</i>

TRYSTRAM P	<i>Un capteur magnétique pour le positionnement</i>
	<i>en robotique</i>
	<i>TEC</i>
	<i>Grenoble, octobre 1988</i>

Service d'Electronique et d'Informatique pour Systèmes de Traitement

COURT T	<i>Une classe d'extracteurs de contours performants</i>
DAVID D	<i>adaptés à une implantation matérielle</i>
JACQUOT JL	<i>fonctionnant à cadence vidéo</i>
PIRSON A	<i>Conférence : Traitement d'Images,</i>
	<i>du Pixel à l'Interprétation</i>
	<i>Aussois (Savoie), avril 1988</i>

DANZIN D*	<i>Utilisation des outils d'I.A. dans le projet</i>
CACHARD F	<i>Esprit 1136 DASIQ</i>
PALLAS C	<i>Conférence : les Systèmes Experts et</i>
	<i>leurs Applications</i>
	<i>Avignon, mai-juin 1988</i>

PIRONS A	<i>A highly efficient method for synthesizing</i>
COURT T	<i>some digital filters</i>
DAVID D	<i>EUSIPCO</i>
JACQUOT JL	<i>Grenoble, septembre 1988</i>

PELTIE P	<i>Vision et métrologie laser</i>
	<i>TEC</i>
	<i>Grenoble, septembre 1988</i>

GRAND G
DARBOUX M
MOISAN F

*Optical optimization of the image contrast
using real time spectrometry : application
to in-process intruded circuits inspection
International Congress on Optical Science
and Engineering
Hambourg, RFA, septembre 1988*

DAVID D
COURT T
JACQUOT JL
PIRSON A

*INP20 : an image neighborhood processor
for large kernels
IAPR Workshop on Computer Vision
Tokyo, octobre 1988*

* collaborateur extérieur (chercheur de la faculté des sciences, du CNRS, de l'industrie)
° collaborateur étranger (collaborateur temporaire, stagiaire, etc.)

CREDITS PHOTOGRAPHIQUES, SQUARE,
DIVISION LETI, ARTECHNIQUE, CEA, X.

IMPRESSION : J. PONCET / GRENOBLE
REALISATION : SOFT OFFICE / GRENOBLE
JUILLET 1989



COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE IRDI - DIVISION LETI

Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble

Avenue des Martyrs - B.P. 85X
F 38041 Grenoble Cedex

Tél. 76 88 30 78 - Télex 320 323 F - Telefax 76 88 51 58