

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

COM(69) 350 - ANNEXE TECHNIQUE N° 14

Bruxelles, le 30 avril 1969

"ACTIVITÉS FUTURES D'EURATOM"

Annexe technique n° 14

V. 2 INFORMATIONS

- Informatique (partie "Software")
- Nouveaux composants pour l'informatique et l'électronique (plus annexes A et B).

V.2 INFORMATIQUE

- Informatique (partie "Software")
- Nouveaux composants pour l'informatique et l'électronique
(plus annexes A et B).

INFORMATIQUE (partie "software")

La proposition de programme décrite dans le présent chapitre concerne l'activité de recherche et de développement poursuivie par le CETIS dans le domaine du "software". L'activité de service public du CETIS est exposée dans un chapitre séparé (voir document CETIS).

L'action proposée concerne l'évaluation et le développement d'algorithmes numériques, la conception de langages de programmation nouveaux et la réalisation du "software" pour des domaines particuliers d'application de l'informatique.

L'élaboration du projet de programme a fait l'objet de discussions d'experts réunis à Ispra dans le courant du mois de mars (il y a eu six réunions, une pour chaque secteur spécifique).

Les sujets discutés sont repris ci-après :

Projet d'analyse numérique

- préparation d'une librairie scientifique de programmes d'usage général pour les applications scientifiques, sélectionnées et évaluées;

.../...

- développement de procédures numériques pour la solution automatique d'équations différentielles et intégrales.

Projet de développement de langages de programmation

- réalisation d'un langage procédural de type spécial pour le traitement des problèmes sur calculatrices de type hybride (APACHE HYBRIDE);
- réalisation d'un ensemble de langages "problem oriented" capables de définir et résoudre automatiquement des classes particulières de problèmes dans des domaines d'application d'intérêt général, tels que :
 - systèmes physiques et modèles mathématiques régis par équations aux dérivées partielles dans des domaines complexes (langage MAP-OL),
 - dynamique structurelle (langage SDOL),
 - réduction des données expérimentales et contrôle d'expériences au moyen de calculatrices (langage DARC-OL);
- développement d'un langage procédural basé sur l'usage de macro-instructions permettant d'écrire aisément des précompilateurs.

Projet de traduction automatique

- développement d'un nouveau système de traduction automatique russe-anglais à usage scientifique qui doit remplacer le système actuel. Le projet met en jeu des solutions nouvelles, soit dans le domaine du "data processing", soit dans celui de la linguistique afin d'obtenir une traduction meilleure et plus économique;
- préparation d'un projet multilingue (incluant les langues communautaires).

.../...

Projet de documentation automatique

- développement de l'indexage automatique de textes au niveau opérationnel dans des conditions qualitativement et économiquement conformes aux besoins de la documentation pratique;
- travaux de recherche dans le but d'acquérir le "know how" pour la réalisation d'un système de documentation plus avancé et complètement automatisé.

Informatique de gestion

L'action envisagée comporte deux aspects :

- un aspect plus méthodologique concerne la définition et la mise au point d'un langage descripteur de la logique des fonctions administratives et de gestion (langage APDOL);
- le deuxième aspect concerne la réalisation d'un "software" général modulaire pour l'automatisation de deux secteurs particuliers où une certaine standardisation des méthodes est réalisable sans des difficultés trop importantes et qui sont de grand intérêt pour l'administration des organismes publics. Il s'agit du développement d'un système automatisé pour la gestion des archives de documents et d'un système de gestion automatique de bibliothèques.

Informatique biomédicale

- gestion automatisée des hôpitaux;
- médecine préventive : problème de l'automatisation du screening de la masse pour toutes les maladies d'importance sociale.

A l'intérieur de chacun de ces secteurs, les experts se sont prononcés pour certaines priorités. Compte tenu de ces avis, et dans le

.../...

souci ultérieur de limiter l'ampleur du programme, ce dernier est réduit aux propositions suivantes :

- projet d'analyse numérique : maintenu intégralement;
- projet de développement de langages de programmation : limité aux langages APACHE-HYBRIDE et MAP-OL;
- projet de documentation automatique : limité principalement à la partie développement;
- informatique de gestion : limité au langage APDOL et à l'automatisation des bibliothèques.

On décrit ci-après plus en détail ces propositions.

1. Projet d'analyse numérique

1.1. Nature de l'activité

L'analyse numérique a pour but :

- de développer des "processus numériques" par lesquels les problèmes mathématiques peuvent être résolus;
- de choisir les processus numériques les "meilleurs";
- d'estimer et contrôler les erreurs causées par le fait que les problèmes mathématiques sont résolus par l'intermédiaire d'opérations arithmétiques (erreurs de troncature) et que les calculs ne peuvent être exécutés avec une exactitude absolue (erreurs d'arrondi).

L'analyse numérique dont les perspectives de développement s'étendent de l'étude théorique de certaines parties de l'analyse fonctionnelle

.../...

à la mise au point de techniques subtiles de programmation, est un instrument essentiel pour transformer tout problème mathématique en problème algébrique et donc apte à être résolu par des ordinateurs électroniques.

1.2. Etat actuel de l'activité considérée

Il est impossible de résumer en quelques lignes en forme exhaustive la situation dans ce domaine.

Tous les grands centres de calcul développent des activités en analyse numérique. Un aspect de cette activité est la constitution de "handbooks" de programmes scientifiques d'utilité générale et l'évaluation de ces programmes. Différentes organisations ont entrepris pour leur compte la réalisation de "handbooks" (par exemple IBM, New York University, Union Carbide Corporation, Association of Computing Machinery, la direction éditoriale de "Numerische Mathematik", le Centre National de la Recherche Scientifique, etc.).

Le CETIS participe avec l'Université de Milan, la société Olivetti et les institutions CISE et ENEL à un programme de recherche pour la constitution d'un "handbook" d'algorithmes d'algèbre linéaire, financé par le Conseil national des recherches italien (CNR).

Quant à l'évaluation de programmes scientifiques, un projet (Numerical Analysis Project) a été lancé en 1964 au sein de l'organisation internationale SHARE, qui regroupe à l'échelle mondiale les utilisateurs scientifiques des ordinateurs IBM. Le CETIS participe à ce projet en même temps que six autres centres européens et trente-neuf centres américains.

.../...

A l'occasion de cette participation, le CETIS a développé et affirmé, durant les deux dernières années, une activité propre d'évaluation des programmes scientifiques qui a amené à la constitution d'un "CETIS Compendium of Numerical Analysis Utility Programs", actuellement sous presse. Cette activité est soutenue par des experts de renommée mondiale et par de nombreuses universités, industries et centres de recherche. Plusieurs parmi ces derniers organismes ont d'ailleurs invité le CETIS à les tenir informés de ses résultats. Les institutions italiennes CISE et ENEL ont mis à la disposition du CETIS trois chercheurs "senior" pour participer à cette activité.

L'action proposée a été examinée et a fait l'objet d'un avis favorable des experts réunis à Ispra le 21 mars. Les experts étaient : MM. Capriz (CNR, Pisa), Cugiani (Université Milan), Gastinel (Université Grenoble), Collatz (Université Hamburg), Timman (T.H. Delft), Meinguet (Université Louvain), Lauwerier (Mathematisch Centrum, Amsterdam). L'intérêt de la constitution d'un "handbook" général d'algorithmes bien évalués a été particulièrement souligné.

Autres personnalités contactées directement ayant exprimé un avis d'ensemble très favorable : Prof. Fox (Oxford), Prof. Parlett (Berkeley), Prof. Babuska (Prague).

1.3. Motivation de l'intervention de la Communauté

Malgré l'intérêt et le nombre des projets mentionnés leur examen montre qu'il reste encore à promouvoir, coordonner et développer de nombreuses activités en analyse numérique pour :

- constituer des bibliothèques de programmes d'utilité générale. En effet, de nombreux domaines de l'analyse numérique restent insuffisamment

.../...

explorés, soit que les algorithmes proposés n'aient pas été réellement évalués, soit que nombre d'entre eux ne tiennent pas compte de leur adaptabilité aux diverses classes d'ordinateurs;

- réaliser des "processus numériques spéciaux" qui résolvent des classes particulières d'équations différentielles et intégrales.

En effet, plus les chercheurs de différentes sciences utilisent directement l'ordinateur, plus l'on demande de mettre à leur disposition des programmes scientifiques d'utilité générale et avec des "domaines de validité" bien définis.

En outre, afin de faciliter la communication avec l'ordinateur en automatisant des domaines importants de la mathématique, on s'oriente actuellement vers le développement de "systèmes de programmation", qui simulent des modèles mathématiques complexes. La réalisation de ces "systèmes de programmation" requiert la construction de "processus numériques spéciaux" qui résolvent ces modèles mathématiques.

Evidemment, le volume de travail impliqué dépasse les possibilités d'un seul centre. Il serait par conséquent très souhaitable que les activités développées dans la Communauté dans le secteur de l'analyse numérique soient stimulées, coordonnées par une commission d'experts de renom et en partie appuyées par une organisation promotrice.

Le CCR, par sa vocation institutionnelle, par les moyens de calcul et d'infrastructure dont il dispose et par la compétence reconnue (voir 1.2) pourrait prendre en charge cette tâche de promotion des efforts.

1.4. Description de l'activité proposée

Le projet s'articule selon deux directions distinctes :

.../...

- développement et évaluation d'algorithmes d'utilité générale et des programmes correspondants;
- développement de processus numériques dans des domaines particuliers des mathématiques.

La première partie de cette activité consiste à sélectionner par des critères appropriés, les programmes existants qui résolvent des problèmes mathématiques spécifiques d'usage général, en déterminant leur domaine de validité et leur efficacité, et à développer de nouvelles méthodes numériques et les programmes correspondants.

En général, la sélection se fait au moyen de l'analyse de l'erreur a priori et en évaluant les algorithmes. L'analyse de l'erreur a priori est utilisée pour prédire la propagation des erreurs d'un algorithme avant de faire le calcul.

Cependant, cette analyse n'est pas toujours possible et de plus de nombreuses estimations d'erreur a priori ne sont pas réalistes. Il est nécessaire alors d'effectuer des calculs expérimentaux à partir de problèmes représentatifs dont la solution exacte est connue, puis d'extrapoler les résultats en vue de la prédiction des erreurs dans des problèmes moins classiques,

Quant à la construction de nouveaux algorithmes, un effort important sera consacré à l'analyse de l'erreur a posteriori et sur des arithmétiques particulières (telles que l'arithmétique des intervalles) qui permettent la détermination d'approximations supérieures et inférieures de la solution de certains problèmes (des recherches analogues sont faites à l'Université de Karlsruhe et de Louvain).

De même, peu d'algorithmes existent pour la minimisation de fonctionnels. Il sera extrêmement utile d'élaborer des routines générales pour résoudre des classes particulières de problèmes de contrôle optimal.

.../...

La seconde partie de l'activité proposée concerne le développement de certains processus numériques.

Actuellement, l'analyse numérique est orientée vers des méthodes numériques qui déterminent la solution approchée de classes particulières de problèmes, tout en fournissant une estimation de l'erreur de la solution (Prof. Collatz et son école, Université de Hamburg).

Ces méthodes puissantes n'ont cependant pas encore été décrites en forme algorithmique ce qui rend difficile leur emploi pour la solution de problèmes pratiques.

A ces méthodes appartient par exemple la méthode d'optimisation qui permet par des techniques de programmation linéaire de déterminer la solution et de donner une estimation de l'erreur des classes d'équations différentielles pour lesquelles vaut le "principe de maximum" (par exemple le problème de Dirichlet).

Le présent projet propose la réalisation de routines basées sur ces méthodes numériques spéciales.

Un autre effort auquel l'analyse numérique est appelée à donner sa contribution est celui de construire des "systèmes de programmation" aptes à simuler des modèles mathématiques généraux. Ces systèmes devront s'appuyer sur des méthodes numériques pour la résolution d'équations aux dérivées partielles linéaires et non linéaires et d'équations intégrales.

Des problèmes théoriques difficiles devront être résolus (par exemple la discrétisation d'un opérateur aux dérivées partielles implique la résolution de problèmes liés au choix du maillage optimal aux différences finies et à la représentation précise des conditions aux limites).

.../...

On s'attachera surtout à la construction de routines pour la résolution de modèles mathématiques décrits par des équations aux dérivées partielles dans des domaines bidimensionnels généraux.

Ces routines peuvent être incorporées dans la bibliothèque d'algorithmes de systèmes de programmation "problem oriented" (exemple : système MAP-OL, voir 2.4.2.).

L'ensemble de ces routines permet la génération automatique d'algorithmes résolvant les modèles mathématiques déjà cités, en fournissant les coefficients des équations, ainsi que certaines informations sur le domaine d'intégration et la méthode numérique à employer.

2. Projet de développement de certains langages de programmation

2.1. Nature de l'activité

Les langages de programmation ont pour but de faciliter aux utilisateurs l'accès aux ordinateurs en leur permettant de s'exprimer de la façon qui leur est plus familière et d'éliminer par conséquent l'intermédiaire d'un programmeur spécialisé.

On peut diviser les langages de programmation en deux classes :

- langages procéduraux spéciaux ou généraux;
- langages "problem oriented".

Le but des premiers est de décrire une procédure apte à résoudre un problème. Le but des seconds est celui de définir et résoudre des "classes" de problèmes.

.../...

2.2. Etat actuel de l'activité

Les activités dans le domaine des langages de programmation procéduraux ont énormément augmenté pendant les cinq dernières années et le volume de travail réalisé est considérable.

Les efforts se sont concentrés d'abord sur la réalisation de langages spéciaux (par exemple FORTRAN, COBOL, ALGOL 60, etc.) et seulement pendant ces dernières années sur des langages généraux (par exemple PL/1, ALGOL 68). L'impulsion pour le développement de tels langages a été donnée principalement par les constructeurs d'ordinateurs afin d'en favoriser la diffusion et l'emploi.

La situation est différente dans le domaine des calculatrices analogiques où des langages de simulation se sont développés le plus souvent sous l'impulsion des utilisateurs. Dans ce secteur, le CETIS a réalisé le système de programmation APACHE qui facilite l'accès aux calculatrices analogiques permettant leur programmation au moyen d'un ordinateur. Le langage APACHE a suscité un intérêt considérable dans les milieux scientifiques et industriels (par exemple en Europe : Centre de Saclay, Electricité de France, University of Cambridge, British Aircraft Corp. Ltd, ICI Imperial Chemical Industries Ltd, UKAEA, Central Electricity Generating Board).

L'introduction sur le marché des nouvelles calculatrices hybrides pose le problème de leur programmation avec des langages ayant la flexibilité et la puissance d'APACHE, d'où la proposition de développer le langage APACHE HYBRIDE, décrite en 2.4.1. Cette initiative est fortement appuyée par les utilisateurs mentionnés ci-dessus avec lesquels le CETIS est en contact en vue de préciser de façon exhaustive les caractéristiques du langage.

.../...

En ce qui concerne les langages "problem oriented", des initiatives variées se sont faites jour aux Etats-Unis, aboutissant à des langages qui décrivent des systèmes régis par des modèles mathématiques simples. Ces modèles font appel :

- à l'algèbre des matrices (exemple langages STRESS réalisé au MIT);
- à des équations différentielles ordinaires (Continuous Simulation System);
- à des descriptions géométriques relevant du génie civil (ICES et COGO, réalisés au MIT).

D'autres langages servent à la réduction des données, au contrôle automatique et au "computer aided design" (MAC Project du MIT).

Ces dernières années seulement sont apparus des langages pour la définition des systèmes physiques régis par des modèles mathématiques plus compliqués, en particulier par des équations aux dérivées partielles, ou par des équations intégrales (SALEM réalisé à Leigh University, Pennsylvania).

En Europe, un effort particulier a été déployé sur les langages servant à l'étude de modèles de machine-outils à contrôle numérique.

Une réunion d'experts a eu lieu à Ispra pour la discussion du programme présenté. Les experts étaient : MM. Caracciolo (CNR Pisa), Dadda (Politecnico Milan), De Bakker (Mathematisch Centrum Amsterdam), Hirschberg (Université libre Bruxelles), Nolin (Institut Blaise Pascal, Paris), Paul (Technische Hochschule München), Quazza (ENEL, Milan). Ils ont appuyé en priorité la proposition concernant l'APACHE HYBRIDE et le langage "problem oriented" MAP-OL (voir 2.4.).

.../...

2.3. Motivation de l'intervention communautaire

Le développement de langages "problem oriented" exige la collaboration de spécialistes de disciplines très différentes. Les difficultés qui en découlent ainsi que le coût et le temps de réalisation impliqués dépassent normalement les ressources des centres de calcul nationaux. Plutôt que de s'engager dans la réalisation d'outils généraux permettant la solution plus automatisée de classes de problèmes on préfère alors se limiter à la solution de chaque problème particulier qui se présente.

Ceci explique la carence de ces langages notamment pour ce qui est de la possibilité de traiter des modèles mathématiques très compliqués.

L'activité proposée requiert donc un effort commun qui trouverait dans le contexte communautaire le terrain approprié pour se développer.

Il faut noter que des langages comme l'APACHE ont fait naître au sein du CETIS, à l'occasion de leur développement, des compétences particulières; ils exigent en effet une connaissance approfondie des méthodes mathématiques employées, de la programmation des systèmes et de la matière à laquelle ils s'appliquent. D'autre part, la vaste librairie de programmes en cours de constitution (2.1.) a familiarisé les analystes avec des modèles mathématiques complexes. Enfin, la construction de compilateurs ayant des fins variées a apporté au CETIS une expérience précieuse et l'activité de service public constamment assurée a mis en contact les analystes avec de nombreux problèmes relevant de la physique mathématique et du traitement de données expérimentales.

La réunion de ces compétences permet seule d'aborder la réalisation de systèmes de programmation qui répondent aux besoins d'un grand nombre d'utilisateurs potentiels répartis dans toute la Communauté et même hors de celle-ci (voir en 2.2. les utilisateurs européens d'APACHE).

.../...

2.4. Description de l'activité

2.4.1. Développement du langage spécial APACHE-HYBRIDE

Pour des raisons d'efficience, la plus grande partie du compilateur APACHE avait été écrite en langage FAP (pour IBM 7090). La nécessité s'est fait sentir ensuite de réécrire APACHE pour l'ordinateur IBM 360/65 du CETIS. Afin d'éviter par la suite de nouvelles réécritures, il a été décidé d'écrire la nouvelle version en FORTRAN et de paramétrer le compilateur de façon à pouvoir l'adapter facilement à tout type d'ordinateur.

Par ailleurs, l'expérience acquise et la correspondance échangée avec les utilisateurs ont fait apparaître l'utilité de certaines modifications et ont dévoilé certaines lacunes à combler. Les ordinateurs digitaux nouveaux avec leurs périphériques nouveaux (à accès direct) permettent de développer des algorithmes de compilation plus efficaces.

Entre-temps, d'énormes progrès sont intervenus dans le domaine des calculatrices analogiques avec la naissance des machines hybrides (couplage de techniques analogiques et digitales) ces machines cependant posent de nouveaux problèmes notamment par leur possibilité de décisions logiques plus développées.

Tenant compte de cet ensemble de faits, il fut décidé de ne pas simplement traduire APACHE 7090 mais d'adapter le langage aux nouveaux besoins et les algorithmes aux nouvelles possibilités.

Du point de vue langage, les principales nouveautés sont les suivantes :

.../...

- introduction de variables et fonctions logiques;
- définition de sous-routines analogiques et de bibliothèques de telles sous-routines;
- introduction de "black-boxes" analogiques permettant de tenir compte de développements spéciaux des ordinateurs analogiques (fonctions câblées internes);
- segmentation des problèmes;
- modifications au panneau en langage symbolique;
- compilation conditionnelle de partie du problème;
- calcul automatique de paramètres exprimables par des fonctions algébriques;
- paramétrisation complète du panneau analogique permettant une adaptation aisée à toute calculatrice;
- expression du programme de contrôle de l'ordinateur digital en langage spécialisé.

Le plan total de travail peut comprendre deux parties, la première partie (déjà en cours dans le cadre du programme 1969), allant jusqu'au "static-check", la deuxième partie du projet couvrant la construction et la modification du panneau.

2.4.2. Développement du langage de programmation MAP-OL (Mathematical Problems Oriented Language)

Ce langage a pour but d'automatiser le traitement par ordinateur des problèmes liés à des phénomènes physiques descriptibles par équations différentielles aux dérivées partielles dans des domaines aux formes complexes.

Le projet comporte :

.../...

- la définition du langage;
- la réalisation du compilateur correspondant;
- la constitution de bibliothèques de programmes numériques.

Le langage MAP-OL doit permettre de décrire des problèmes mathématiques sous forme d'instructions déclaratives (de type EQUATION, BOUNDARY CONDITION, TYPE OF EQUATION, etc.); de plus, au moyen d'instructions d'ordre (du type SOLVE, OUTPUT, etc.) il permet de résoudre les problèmes susmentionnés.

Les problèmes mathématiques qui seraient considérés concernent des systèmes d'équations différentielles aux dérivées partielles avec une ou deux variables d'espace et une variable temps. Les équations et les conditions aux limites peuvent être non linéaires. Les domaines d'intégration de ces équations sont des régions limitées par des courbes descriptibles par des lignes et arcs de coniques.

Le langage proposé MAP-OL se différencie du langage SALEM déjà mentionné (dans sa version actuelle et dans les extensions annoncées) par les points suivants :

- dans le langage MAP-OL on introduit un aspect plus conversationnel par l'utilisation d'appareillages périphériques (exemple displays, Calcomp, etc.) connectés on-line à l'ordinateur;
- la bibliothèque de MAP-OL est constituée par un ensemble de programmes permettant d'engendrer automatiquement les algorithmes qui résolvent le système d'équations différentielles à la base du problème mathématique, en partant d'informations relatives à la description du domaine d'intégration et de la méthode numérique à utiliser, ainsi que des données du problème (voir projet d'analyse numérique).

.../...

3. Projet de documentation automatique

3.1. Nature de l'activité

Les tâches toujours plus volumineuses et nombreuses dans le domaine de la documentation peuvent se schématiser comme suit :

- nécessité de développer des systèmes de documentation pour des domaines nouveaux d'application;
- nécessité de traiter d'année en année dans chaque domaine de plus grandes quantités de matériel;
- nécessité d'informer les utilisateurs plus rapidement, plus précisément et plus complètement;
- nécessité de rendre les systèmes plus flexibles afin de pouvoir les adapter aux développements ultérieurs et aux besoins futurs.

Ces tâches exigent une meilleure exploitation des moyens techniques disponibles, notamment des ordinateurs électroniques modernes. Actuellement seule la phase de "retrieval" est automatisée. Il est nécessaire d'automatiser aussi des travaux pour lesquels l'homme engage sa capacité intellectuelle, par exemple attribution des mots clé aux documents, recherche documentaire détaillée, etc.

3.2. Etat actuel de l'activité considérée

De nombreux travaux de recherche ont été consacrés à cette fin en particulier aux Etats-Unis. Ils ont montré en principe la possibilité de développer des systèmes documentaires représentant un degré d'automatisation plus élevé, mais il n'existe pas encore de réalisations.

.../...

Actuellement, l'intérêt des équipes américaines les plus importantes (MIT, Cambridge, Mass.; Cornell University, Ithaca, NY; System Development Corporation, Santa Monica, California) semble principalement axé sur l'exploitation immédiate des nouveaux moyens techniques (notamment des "real time systems").

Dans la Communauté, il existe seulement un petit nombre d'équipes spécialisées dans les problèmes d'automatisation de la documentation. Il s'agit essentiellement de :

- la section d'automatique documentaire du CNRS à Marseille, engagée dans l'analyse automatique des textes à un niveau de complexité plus élevé que celui de la méthode de mots clé. C'est un travail de recherche à longue échéance;
- le centre européen de documentation de l'IBM à La Gaude (France), qui exploite un système d'information retrieval sans indexage. Le système est encore assez primitif, mais des solutions plus avancées sont à l'étude, notamment dans le cadre d'un service SDI (Selective dissemination of Information);
- le Studiengruppe für Systemforschung de la Gesellschaft für Kernforschung à Heidelberg, commence à s'occuper du problème de l'indexage automatique notamment dans le cadre d'un projet de mécanisation auprès de l'office allemand de brevets (Deutsches Patentamt, München).

Au sein d'Euratom, le CETIS a fait durant plusieurs années des recherches méthodologiques dans le domaine en question. De plus, on a déjà réalisé un système expérimental, avec lequel plusieurs centaines de procédures d'indexage automatique ont été testées.

Les résultats ont été présentés à divers congrès internationaux, om ils ont reçu un accueil favorable. D'autre part, une réunion d'experts

.../...

organisée à Ispra par le CETIS a conclu à l'intérêt de faire du système proposé ici un service public européen dès sa première mise au point en 1972.

3.3. Motivation de l'intervention de la Communauté

En documentation, la nécessité d'une collaboration internationale est évidente. En effet, l'application de systèmes futurs se fera en premier lieu à un niveau international. L'action proposée en matière d'indexage automatique, favoriserait la position de la Communauté, lors des négociations visant à la création de nouveaux projets internationaux de documentation (exemple INIS Project). Elle faciliterait également la contribution des pays membres à de tels systèmes et constituerait une aide importante pour les nombreux systèmes plus petits et spécialisés en cours de définition ou de développement dans chaque pays.

Il faut souligner que les solutions recherchées au CETIS sont générales et s'adapteront facilement à divers domaines et à des langues autres que l'anglais. Les experts ont donné avis favorable à cette action.

3.4. Description de l'activité proposée

Comme pas décisif dans la direction de l'automatisation, on propose un projet ayant pour but de développer l'indexage automatique au niveau opérationnel dans des conditions qualitativement et économiquement conformes aux besoins de la documentation pratique.

Il est prévu de développer d'ici la fin de 1971 un système d'indexage automatique pour le domaine nucléaire. A un résumé donné en langue anglaise, le système doit attribuer des mots clé du thésaurus

.../...

d'Euratom, qui caractérisent le contenu de ce résumé. A partir de 1972, ce système entrera en service et les résultats seront évalués. Le système sera défini de façon à permettre son perfectionnement ultérieur dans les années 1972-74 (à la lumière de l'expérience acquise, il est envisagé de l'étendre à d'autres langues). Les méthodes à développer étant universelles on peut prévoir la réalisation de tels systèmes équivalents pour d'autres domaines dans lesquels il y aura des projets documentaires correspondants.

En parallèle avec le perfectionnement de ce système, on prévoit d'exécuter certains travaux de recherche visant à acquérir le "know how" pour la réalisation d'un système de documentation plus avancé et complètement automatisé, ayant les caractéristiques suivantes :

- utilisation d'un vocabulaire illimité d'indexage;
- introduction de facteurs de pondération pour les attributions de mots clé;
- attribution de facteurs de pertinence aux documents réponse à une question posée;
- analyse automatique des questions de "retrieval" telles qu'elles sont formulées en langue naturelle par les utilisateurs.

Il s'agit de déterminer les méthodes les meilleures pour la résolution de ces problèmes et l'efficacité de divers composants d'un tel système.

4. Informatique de gestion

4.1. Nature de l'activité

Des efforts très importants d'analyse et de programmation sont déployés dans le monde par les administrations publiques et privées

.../...

pour l'automatisation des procédures administratives et de gestion. Bien que les problèmes rencontrés dans les différents organismes soient partout les mêmes, les procédures appliquées diffèrent cependant toutes entre elles car elles sont étroitement liées à la structure de chaque organisme. Il paraît donc difficile à l'heure actuelle de réaliser un "software" général commun pour les problèmes de gestion. L'unification des procédures administratives que cela impliquerait devrait être en fait le reflet d'une standardisation des structures dont la complexité est évidente. Ceci est d'autant plus vrai en considérant la tendance actuelle de la gestion automatisée qui s'oriente vers la conception de systèmes intégrés. Ici la validité et la complexité de chaque procédure n'est pas seulement déterminée par les problèmes du secteur intéressé, mais aussi et surtout par les connexions logiques et fonctionnelles avec les autres secteurs de l'entreprise.

Il est toutefois opportun de chercher à réduire l'effort inhérent à cette pluralité de programmes en créant des instruments d'utilité générale pour faciliter leur écriture; d'autre part, on peut au moins attaquer de façon générale certains sous-domaines de l'activité de gestion, pour lesquels une certaine standardisation des méthodes est possible sans difficultés trop importantes et donc également la réalisation d'un "software" commun.

Dans la première voie se situe l'action à caractère méthodologique qui concerne la définition et la mise au point d'un langage descripteur de la logique des fonctions administratives et de gestion (langage APDOL). Le but recherché est la création d'un instrument assez général pour la description de problèmes complexes, qui facilite la tâche de l'informaticien, d'une part, et d'autre part, le dialogue entre informaticien et utilisateur. La complexité des problèmes traitables par le langage est du niveau de celle rencontrée dans la

.../...

réalisation de systèmes intégrés de gestion et de "Management Information Systems". Le deuxième aspect de l'action concerne la réalisation d'un "software" général modulaire pour l'automatisation de la gestion des bibliothèques.

4.2. Etat actuel de l'activité proposée

En ce qui concerne le langage APDOL et la librairie de sous-routines de base, on ne connaît pas d'initiatives analogues en Europe; pour l'automatisation de bibliothèques les initiatives sont très limitées. Le seul système intégré existant a été développé par le CETIS à Ispra pour la gestion de la bibliothèque de l'établissement.

Pour l'examen du programme proposé, le CETIS a contacté les experts suivants : MM. Duyverman et Nijssen (Stichting Studiecentrum, Amsterdam), MM. Verhelst et Van Acoleyen (Université de Louvain), M. Graziani (Montedison, Milano), M. Cantoni (Olivetti, Ivrea), M. Erbach (Ausschuss für Wirtschaftliche Verwaltung, Frankfurt), M. Lingenberg (Technische Universität, Berlin), M. Rittberger (ZAED, Frankfurt), MM. Bisogno et Ciarocca (CNR, Roma), M. Cockx (CNDST, Bruxelles).

Les experts ont donné avis favorable à l'ensemble du projet et ont appuyé son encadrement communautaire.

4.3. Motivation de l'intervention de la Communauté

Les objectifs proposés sont d'intérêt général et par leur nature sont à réaliser dans un cadre d'initiatives communautaires.

.../...

De plus, étant donné qu'ils intéressent directement le fonctionnement des services de la Commission, ils devront être au moins résolus dans ce cadre interne. Dès lors, il est naturel de prévoir leur conception dans une optique plus large, apte à satisfaire le maximum d'utilisateurs.

Le CETIS possède une longue expérience et une compétence reconnue dans le secteur de l'informatique de gestion. Il est envisagé, et les experts aussi l'ont suggéré, que le projet soit développé en collaboration avec des spécialistes des organismes publics et de l'industrie.

4.4. Description de l'activité proposée

4.4.1. APDOL (Administrative Procedures Descriptor Oriented Language)

Le projet a trois objectifs complémentaires :

- création d'une méthode standardisée pour la description logique des procédures de gestion.

Une telle méthode constitue en soi-même un objectif primordial dont les avantages sont évidents : facilité de communication à tout niveau (analyste-utilisateur, analyste-programmeur); modularité, donc facilité d'adaptation soit à l'évolution du problème dans la même entreprise, soit dans une entreprise différente. Sa réalisation requiert une étude approfondie tenant compte des différences de formation des utilisateurs : une vérification continue sera nécessaire dans les milieux administratifs pour éviter de choisir des méthodes de représentation difficiles à interpréter, bien que rigoureuses du point de vue logique.

.../...

Le travail aurait deux aspects : reprise et réadaptation éventuelle des outils déjà existants, tels que tables de décision, recherche et mise au point de nouvelles méthodes de schématisation des informations;

- étude et mise au point d'un "software" de base pour la traduction automatisée, en langage de programmation, des descriptions logiques définies.

Ces descriptions logiques deviendront alors un puissant langage universel de programmation orienté vers les problèmes.

A ce stade final, le schéma logique serait la base directe d'un input, qui serait traduit automatiquement en langage de programmation;

- réalisation d'une bibliothèque de modules (ou sous-routines).

En considérant les fonctions les plus fréquentes au sein des programmes de gestion, on pourrait les concevoir comme des modules paramétrisés ou sous-routines de base, qui constitueraient à mesure une bibliothèque "ouverte", c'est-à-dire à compléter, en l'occurrence, par chaque utilisateur.

4.4.2. "Software" pour l'automatisation des bibliothèques européennes d'ouvrages et de périodiques

Des projets visant à automatiser les fonctions administratives et surtout d'information bibliographique sont à l'étude au sein de nombreuses bibliothèques des pays de la Communauté, qu'elles soient à l'échelon national, universitaire ou rattachées à diverses institutions. On a déjà signalé que, à l'Euratom, le CETIS a réalisé un système intégré pour la gestion automatique de la bibliothèque d'Ispra.

.../...

Or, un manque de coordination de ces efforts à l'échelle européenne comme à l'échelle nationale, entraînerait, d'une part, une multiplicité de travaux parallèles et d'autre part, un défaut d'homogénéité propre à créer une barrière à tout développement futur des échanges entre bibliothèques. En conséquence, on propose la réalisation d'un "software" général dont des applications particulières pourront assurer la gestion de chacune de ces bibliothèques.

Le développement d'un projet pour arriver à un "software" généralisé pourrait être effectué par degrés selon la ligne suivante :

- standardisation des méthodes de codification des informations bibliographiques et documentaires, ou au moins accord sur des niveaux analogues dans la définition des informations mêmes;
- création d'une banque de données commune (au niveau national et européen) pour ces informations;
- harmonisation des méthodes pour les différentes fonctions de gestion (acquisition et contrôle administratif des publications, catalogage, circulation, information, etc.);
- construction, pour chacune de ces fonctions, d'un ensemble de programmes modulaires répondant à plusieurs situations;
- construction d'un système d'assemblage pour former des systèmes de programmes complets adaptés à chaque bibliothèque à partir des programmes signalés ci-dessus.

Une tâche parallèle devrait être la constitution de réseaux qui rassembleraient certains groupes de bibliothèques à des bibliothèques "pivot" ayant à leur disposition des ordinateurs de puissance suffisante, tandis que les autres bibliothèques seraient munies de consoles appropriées;

.../...

un des résultats les plus immédiats serait celui de permettre l'automatisation même aux bibliothèques qui ne disposent pas d'un ordinateur.

Les données seraient centralisées auprès des bibliothèques "pivot" qui pourraient être successivement reliées entre elles afin de permettre une diffusion immédiate des informations et la constitution d'un catalogue centralisé. Ce dernier pourrait faciliter d'une façon déterminante les échanges d'informations entre bibliothèques (rien qu'en Allemagne, en 1966, ont été émises 750.000 demandes de prêts entre bibliothèques). De plus, si l'on considère, par exemple, l'argent que l'on pourrait épargner en évitant le double travail de catalogage des bibliothèques de caractère universitaire en Europe, on arrive à une estimation d'environ 6 millions d'UC.

Un comité d'experts bibliothécaires des six pays avec l'appui d'informaticiens spécialisés dans le domaine, doit avoir la tâche de surmonter au maximum les divergences et les différences actuellement existantes soit dans la définition des données bibliographiques, soit dans les méthodes utilisées pour les diverses fonctions de gestion.

Il est proposé d'affecter, en moyenne, 45 agents à cette activité. Ce programme utilisera, à concurrence de 20 % environ, la capacité de l'ordinateur digital du CETIS, ainsi que la calculatrice hybride et supportera les charges correspondantes.

La dotation nécessaire pour le personnel et les recherches s'élève à 3,2 MUC, y compris les contrats de recherche et les frais d'experts (prévus pour un montant de 0,5 MUC), auxquels s'ajoutent 2,0 MUC pour les machines (digitale : 1,8 MUC; hybride : 0,2 MUC), soit au total 5,2 MUC.

COMMISSION DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES

NOUVEAUX COMPOSANTS POUR L'INFORMATIQUE ET L'ELECTRONIQUE

I. INTRODUCTION :

Les générations d'ordinateurs électroniques ont suivi l'évolution technologique des composants et des circuits; on peut ainsi reconnaître :

- la génération de la lampe électronique
- la génération du transistor
- la génération du circuit intégré

D'une génération à la suivante on a pu noter :

- la fiabilité croissante
- la réalisation de circuits beaucoup plus complexes pour des fréquences de pannes moindres
- la miniaturisation plus poussée
- la consommation d'énergie inférieure
- le temps de réponse réduit

Les composants actifs apparaissent donc comme un des paramètres essentiel de l'évolution des calculatrices.

Une action de recherche est donc proposée visant ces composants et les circuits correspondants (en particulier le développement des composants à semi-conducteurs par bombardement ionique).

Un autre élément important des calculatrices est la mémoire centrale dont on s'est efforcé, au fil des générations successives, d'en réduire le temps d'accès pour s'adapter au temps de réponse des circuits électroniques. Une voie de recherches très prometteuse est celle du stockage de l'information par voie optique, utilisant les propriétés de la lumière cohérente (laser). Elle forme l'objet de la deuxième partie de la présente proposition.

Le champ des recherches proposées ne se limite pas au seul secteur des ordinateurs ; il couvre aussi le vaste domaine de l'électronique (réalisation de nouveaux dispositifs à semi-conducteurs) et d'autres domaines de l'informatique (transmission de l'information, nouvelles techniques de transmission et de réception par télévision, exploration radar, etc...)

Les études envisagées sont étroitement liées entre elles et constituent un tout cohérent. En effet, l'implantation ionique est nécessaire à la réalisation de dispositifs à semi-conducteurs pour l'émission de lumière cohérente. Le laser, à son tour, est indispensable au traitement optique de l'information, en association avec des systèmes électro- et magnéto-optiques.

II. DOPAGE DE SEMI-CONDUCTEURS PAR IMPLANTATION IONIQUE

L'implantation ionique est un procédé par lequel des ions quelconques accélérés à haute énergie (de quelques keV à quelques MeV) peuvent être introduits dans n'importe quel matériau.

L'intérêt scientifique des études relatives à ce domaine de recherche est lié à un approfondissement de la connaissance du procédé d'interaction ion-cristal et du comportement physico-chimique des ions introduits dans le substrat.

L'intérêt technique est lié à la possibilité de contrôler de façon précise l'introduction et la localisation spatiale des impuretés, ce qui rend possible la préparation de dispositifs à semi-conducteurs d'une façon plus simple et avec moins de rejets.

L'implantation ionique ouvre enfin de nouvelles perspectives en matière de dopage de semi-conducteurs composés, utilisés comme source de lumière cohérente dans le spectre visible (laser).

II.1 Description de l'activité et moyens :

L'activité proposée dans ce programme comprend, d'une part l'étude des caractéristiques physiques et électriques des jonctions simples et superposées obtenues par bombardement ionique dans des semi-conducteurs simples et composés et, d'autre part, l'étude de l'optimisation des appareillages et des méthodes en vue de la réalisation de dispositifs électroniques à structures multiples et complexes.

Trois voies de développement sont envisagées :

- Technologies constructives d'accélérateurs d'ions.
- Etude des caractéristiques des jonctions implantées.
- Réalisation de dispositifs électroniques.

Pour le développement de ce programme les installations suivantes existent ou sont en phase de réalisation dans le C.C.R. Ispra:

- accélérateur d'ions à 100 keV
- accélérateur Van der Graaff pour protons (modifiable pour ions)
- laboratoire de semiconducteurs (traitements mécaniques et chimiques, et mesures de base) partiellement équipé
- laboratoire de mesures électroniques pour composants à semiconducteurs, partiellement équipé
- laboratoire pour mesures avec traceurs radioactifs.

II.2 Motivation technique.

L'implantation ionique présente comme technique de dopage des semi-conducteurs, ... divers avantages sur les techniques traditionnelles soit du point de vue des caractéristiques des dispositifs obtenus, soit du point de vue de la technique de fabrication.

Les principaux avantages sont:

- la possibilité d'introduire une grande variété d'éléments dans des matrices diverses indépendamment de leurs propriétés de diffusion et de solubilité.
- les températures impliquées dans le procédé de l'implantation ionique sont plus basses et moins critiques que celles requises par les procédés usuels.
- le profil de la jonction et le nombre d'ions implantés peuvent être facilement contrôlés au moyen de

l'énergie et l'intensité du faisceau ionique, de l'orientation du faisceau par rapport au matériau et de la durée de l'implantation.

- la possibilité de réaliser des jonctions ensevelies dans le matériau et des structures verticales au moyen de l'implantation à haute énergie (supérieure à 500 keV).

De ces avantages dérivent directement trois lignes d'intérêt pratique.

- La réalisation de dispositifs traditionnels ayant des caractéristiques améliorées (composants plus rapides).
- Possibilité d'éliminer les difficultés rencontrées dans la préparation de jonctions dans les semiconducteurs composés avec les méthodes traditionnelles.
- Possibilité de rendre le procédé apte à la production industrielle de structures multiples ou complexes au moyen de l'automatisation du déplacement du faisceau ionique simple ou multiple par rapport à la cible, ce qui pourrait éviter toute procédure de "masking".

II.3 Etat des recherches.

Ce domaine est caractérisé jusqu'à ce jour par une absence de recherche systématique qui permettrait d'individualiser clairement les lignes de développement certaines. Actuellement la recherche est orientée d'une part vers l'approfondissement de la connaissance du mécanisme de l'implantation avec extension à l'étude des semiconducteurs composés, et d'autre part vers une application directe tendant à la réalisation de structures multiples et complexes.

En ce qui concerne le développement des dispositifs électroniques aucune activité industrielle n'existe dans l'Europe communautaire. Aux Etats Unis cependant, l'industrie est très active dans ce domaine (des dispositifs comme des diodes et cellules solaires sont déjà commercialisés), mais les résultats des recherches ne sont plus publiés depuis quelques années.

Si d'autres dispositifs plus complexes, tels que MOSFET et transistors bipolaires, ont été réalisés à l'échelle du laboratoire, l'état des connaissances sur

le procédé ne permet pas encore de passer à une phase industrielle.

En ce qui concerne l'état de la recherche en général, la situation est la suivante:

Pays de la Communauté:

- le seul laboratoire national actif dans ce domaine est le CEN-Grenoble où dans la division LETI une activité de recherche en cours depuis environ trois ans a été récemment coordonnée avec l'industrie française et orientée vers le développement de dispositifs complexes
- la seule industrie qui a commencé une activité de recherche dans ce domaine est la Société Philips.

Pays tiers:

- en Angleterre existe un programme de recherche et de développement coordonné entre laboratoires nationaux et l'industrie, qui est principalement exécuté au SERL-(Baldock) et au HIRST - Res. Center ASTM (Wembley) et au AERE (Harwell).
- en URSS une vaste activité de recherche de base orientée vers la fabrication de dispositifs électroniques est conduite dans plusieurs laboratoires, principalement au Lebedev Inst., Kurchatov Inst., Lenin Inst. (Moscou) et à l'Université d'Etat Lobatchevski (Gorki)
- Le plus grand effort dans ce domaine est fait aux Etats-Unis aussi bien dans les centres de recherche (Stanford Univ.; Calif. Instr. of Technology; North American Aviation Science Center; Air Force Cambridge Res. Lab. etc...) que dans l'industrie (Ion Physics Co.; Sprague; Isofilm International; Hughes; Signetics).

II.4 Encadrement communautaire.

Le programme proposé dans ce document a été élaboré en tenant compte des discussions préliminaires avec le CEN Grenoble (LETI). Une réunion ultérieure était prévue à la mi-avril 1969 en vue de définir les détails de la coordination des efforts et de la collaboration. En particulier dès à présent une importance a été donnée dans notre programme aux mesures de distribution des ions implantés au moyen de la technique des traceurs radioactifs, et au développement d'un accélérateur

- 7 -

d'ions (1 MeV) pour implantation à haute énergie, méthodes qui sont complémentaires de celles développées au CENG.

En ce qui concerne le développement des dispositifs électroniques, des contacts préliminaires ont été établis avec: SGS (Milan), Siemens (Erlangen), AEG-Telefunken (Heilbronn) et Philips (Eindhoven).

Les résultats de ces contacts sont les suivants:

- l'objectif a été considéré unanimement comme techniquement intéressant tant sous son aspect fondamental que pour l'application à la réalisation de dispositifs électroniques
- Certaines industries (Siemens, Philips, SGS) ont promis un appui de principe à cette activité, jugée comme typique pour un centre Commun de recherches. Seule la SGS cependant est intéressée à une collaboration avec Ispra pour le développement de dispositifs. Il est cependant utile et possible d'étudier aussi une forme de collaboration avec les autres industries qui ont principalement attiré l'attention sur le fait que la procédure actuellement en vigueur se prête mal à une collaboration étroite. Ce point semble particulièrement important du moment que, compte tenu de la nature du programme et de l'éventuelle extension industrielle des technologies développées, le C.C.R. pourrait effectivement jouer un rôle de diffuseur des connaissances et d'éventuels "know-how".

II.5. Compétences et potentiel d'Ispra.

Les compétences développées pendant les dernières 8 années à Ispra sont les suivantes:

- Recherche et développement de dispositifs à semiconducteurs Silicium et Germanium pour la détection des radiations nucléaires.
- Recherches expérimentales sur le processus d'interaction ion-cristal.
- Analyse et mesures de bruit de composants à semiconducteurs.
- Etudes et mesures du comportement des composants à semiconducteur à temps de commutation inférieur à la nanoseconde.

- Mesures avec des traceurs radioactifs
- Cristallographie et étude, des défauts des cristaux au moyen de rayons X
- Calcul des trajectoires des ions dans des champs électriques et magnétiques
- Source d'ions.

Outils complémentaires existants à Ispra :
ordinateur IBM 360/65; microscope électronique; diffractomètre à rayons X; microsonde de Castaing; appareillage de métallisation des surfaces.

II.6 Description détaillée des actions

Un programme détaillé des différentes actions et leur répartition dans le temps est donné dans l'annexe A.

III. MATERIAUX ELECTRO- ET MAGNETO-OPTIQUES

Ces matériaux changent leurs propriétés optiques sous l'effet d'un champ électrique ou magnétique. Ils peuvent être utilisés pour inscrire d'une façon simple l'information sur un faisceau laser ou pour constituer des mémoires de grande capacité. Dans un matériau électro-optique, l'application d'un champ électrique provoque la variation de l'indice de réfraction et l'apparition de la biréfringence. En agissant sur le champ électrique, on peut donc communiquer une information donnée au rayon de lumière qui traverse le matériau. Les recherches dans ce domaine auraient pour objet l'identification de matériaux stables sous l'action de la lumière intense d'un laser et permettant une réponse rapide à des modulations de fréquence élevées. Dans un matériau magnéto-optique, on met à profit la rotation du plan de polarisation d'une onde lumineuse lorsque cette dernière traverse une substance immergée dans un champ magnétique (effet Faraday). De grandes possibilités d'application sont offertes par la découverte et l'étude de matériaux magnétiques transparents.

Pour la fabrication des mémoires optiques, une catégorie de matériaux électro-optiques particulièrement intéressante est constituée par les matériaux dits ferro-électriques. Les grandes capacités de stockage que ces mémoires permettraient d'atteindre sont à attribuer en particulier à la faculté d'un faisceau laser d'inscrire d'une façon focalisée et bien contrôlée dans l'espace. Pour mettre à profit les propriétés opératives des matériaux ferro-électriques utilisés comme mémoires optiques c.à.d. la densité et la stabilité de l'information stockée, il y a lieu d'effectuer des recherches sur le type de matériau, sur les impuretés qu'il contient et sur la présence d'imperfections structurelles. Entrent également en considération pour la fabrication des mémoires certains matériaux magnétiques dans lesquels l'information peut être introduite par inversion locale du champ magnétique. De telles mémoires présentent des avantages notables sur les mémoires compactes solides en matière de stabilité et de rapidité d'accès. Leur utilisation pratique est conditionnée par l'approfondissement des connaissances en matière de micro-magnétisme et le développement de matériaux adéquats.

III.1 Description de l'activité et moyens de réalisation.

Ce programme comprend aussi bien des recherches de base orientées sur les matériaux que des études de dispositifs, dans le but de développer certaines applications optiques avancées.

Les actions envisagées sont groupées selon les trois chapitres suivants :

- a) applications optiques de la ferro-électricité
- b) utilisation d'effets électro- et magnéto-optiques
- c) développement de lasers à semi-conducteur.

a) Applications optiques de la ferro-électricité.

Ces applications touchent différents domaines, allant des éléments de mémoire aux dispositifs de visualisation et de transduction. Les emplois sont basés essentiellement sur le principe du basculement de la polarisation électrique: dans une mémoire, par exemple, le stockage des bytes est réalisé par le basculement de régions bien localisées d'une matrice plane. L'inscription est couramment accomplie avec des moyens opto-électriques, mais les possibilités de certains matériaux laissent entrevoir l'emploi de méthodes plus efficaces d'inscription optique ou thermo-optique. La

lecture se fait ensuite par inspection des changements de biréfringence des zones basculées. En général, l'objectif principal est l'obtention d'une combinaison optimale des éléments suivants: rapidité et densité de stockage; définition et stabilité de l'information stockée. L'optimisation de ces données est une tâche importante, en vue de combler les lacunes des matériaux actuels. Les actions envisagées à cette fin comprennent le développement de composés à hautes performances, et la conduite d'études générales sur les matériaux, notamment:

- i) diagnostic structurel de composés ferro-électriques éprouvés et de leurs séries isomorphes; en particulier étude des effets de structure sur le basculement, sur la qualité optique et sur la stabilité du stockage, etc...
- ii) étude systématique des possibilités de principe pour un stockage entièrement optique, en particulier:
 - recherche de matériaux et de conditions susceptibles de permettre l'inscription thermo-optique
 - étude de matériaux ferro-électriques capables de modifications contrôlées et réversibles des constantes électro-optiques, à la suite d'interactions directes avec la lumière.

La recherche sur les matériaux sera complétée par la mise au point de techniques spéciales de fabrication. Les structures à films ferro-électriques seront spécialement développées, en vue aussi d'exploiter certains effets critiques d'épaisseur sur le mécanisme de basculement. Le développement sera concentré sur des dispositifs de stockage et de transduction optique.

- b) Utilisation d'effets électro- et magnéto-optiques.
Ce domaine représente, depuis l'arrivée de l'optique cohérente, un terrain d'exploitation fort intéressant. Les effets électro-optiques dérivent de deux catégories de phénomènes - notamment les changements des symétries optiques et du pouvoir dispersif - qui se produisent dans un cristal lors de l'application d'un champ électrique externe. Leur application permet de réaliser des opérations très importantes sur des faisceaux de lumière traversant un solide, avec de vastes

possibilités d'emploi dans la technologie laser ou dans l'informatique.

Les limitations actuelles sont dues à deux séries de problèmes:

- i) choix insuffisant de matériaux de bonne performance,
- ii) expérience très limitée sur les modalités d'emploi, surtout en lumière cohérente.

En ce qui concerne le premier point, l'action envisagée porte sur l'inspection systématique de composés prometteurs (LiNbO_3 , $\text{KTa}_x\text{Nb}_{1-x}\text{O}_3$, Titanates de Bi, KNO_3) et de leur series isomorphes, sous certains aspects moins connus, comme :

- recherche d'un compromis entre les propriétés diélectriques et électro-optiques; réponse à une modulation de haute fréquence.
- développement de matériaux à haute stabilité pour emploi sous faisceaux intenses de lumière cohérente; étude des effets non-linéaires.
- contrôle "interne" d'effets électro-optiques dans les phases ferro-électriques.

Les essais d'exploitation porteront principalement sur des dispositifs simples (modulateurs; compensateurs de biréfringence; résonateurs optiques) et sur l'étude de nouveaux modes d'emploi en lumière cohérente.

L'application des effets magnéto-optiques, est encore plutôt limitée. Fait exception le domaine des mémoires magnéto-optiques, qui est déjà très actuel; des matériaux magnétiques tels que les grenats de Gadoline, ou d'EuO ont déjà été testés avec succes. Dans ces composés la variation abrupte du champ coercitif avec la température, au voisinage d'un point critique, permet de provoquer par de modestes variations de température, le renversement de la magnétisation. A l'aide d'une excitation thermique localisée il devient donc possible de stocker dans une matrice orientée une mosaïque de bytes élémentaires, magnétiquement **inversés**.

La lecture de cette information peut être ensuite accomplie par analyse en transmission ou en réflexion, en utilisant des effets magnéto-optiques (rotation de Faraday; effets Kerr).

L'activité proposée a pour objet l'optimisation de matériaux pour mémoires magnéto-optiques: Ceci nécessite un certain effort technologique pour améliorer la synthèse de matériaux magnétiques tels que grenats de terres rares, ou autres composés magnétiques isolants. En même temps, la diagnose de ces matériaux, en vue de leur application au stockage magnétique et à la lecture optique, doit s'appuyer sur les études suivantes :

- comportement des propriétés coercitives au voisinage de points de transformation. Choix de matériaux favorables pour le fonctionnement à la température ambiante.
- classification des propriétés qui contrôlent le stockage et la lecture (conductivité thermique: homogénéité, qualité optique)
- étude de base sur le phénomène magnéto-optique.

Cette action devra guider éventuellement le choix de principe et la synthèse de nouveaux composés. Ce programme sera complété par une phase de mise au point et d'essais sur éléments de mémoire.

c) Laser à semi-conducteurs

Une source laser émet des ondes lumineuses cohérentes qui sont plus focalisées et de pureté chromatique plus élevée que celle de la lumière ordinaire. Parmi les dispositifs capables d'émettre une lumière cohérente, les lasers à semi-conducteurs offrent des avantages considérables grâce à leurs faibles dimensions et leur rendement énergétique élevé et parce qu'ils se prêtent, dans certains cas, à un pilotage simple, en transformant directement un courant électrique en lumière cohérente. Cette dernière faculté est conditionnée par la possibilité de préparer des semi-conducteurs de pureté suffisamment élevée et de les doper de façon appropriée. C'est ici que l'implantation ionique permet de combler les lacunes des techniques conventionnelles de dopage. L'utilisation des lasers à semi-conducteurs permet d'entrevoir d'importantes perspectives dans le domaine de l'informatique; dans le secteur particulier des ordinateurs, par exemple, la lecture optique des données d'entrée peut être rendue plus rapide et plus efficace par l'utilisation

d'une lumière cohérente, à cause de l'intensité élevée d'une telle lumière.

De même, la présentation des résultats de l'ordinateur en trois dimensions (holographie) ne peut être conçue qu'avec l'utilisation de faisceaux lasers. Le laser constituerait également le véhicule porteur de l'information, dans un éventuel ordinateur à traitement optique de l'information. Au stade actuel des connaissances, il est envisagé, à cette fin, d'utiliser le laser en combinaison avec deux types de composants : des mémoires optiques, à grande capacité de stockage et vitesse d'accès et des dispositifs à base de matériaux électro- et magnéto-optiques permettant de réaliser des opérations importantes, telle que l'inscription de l'information sur un faisceau laser qui les traverse.

Dans le laser à semi-conducteur la génération de lumière cohérente a lieu par effet de la recombinaison radiative d'électrons et de lacunes.

L'inversion de population des électrons peut être réalisée par un des procédés suivants : passage d'un courant électrique intense à travers une jonction p-n (ou une structure plus complexe); bombardement électronique; pompage optique. Le laser à jonction (laser à injection) est le dispositif le plus simple et celui qui se prête potentiellement au plus grand nombre d'applications.

Le domaine des lasers à semi-conducteur est susceptible de progrès significatifs, soit par l'amélioration de composés déjà connus, soit par l'étude de nouveaux matériaux. Un objectif important et actuel est celui d'obtenir un laser capable d'opération continue et efficace à température ambiante.

Ce programme a pour objet l'étude des mécanismes de luminescence, l'essai de différents effets structurels sur le rendement d'émission et la recherche de nouveaux composés pour étendre l'intervalle d'émission.

A cette fin, les activités porteront sur les points suivants:

- technique de croissance et de dopage de monocristaux de semiconducteurs composés. Il y a lieu, a cet effet, de disposer de monocristaux dont la perfection et la teneur en impuretés sont strictement contrôlées; ceci nécessite un effort particulier de développement de matériaux émetteurs de lumière cohérente.
- études de base sur les mécanismes d'émission et d'absorption de la lumière dans les semiconducteurs composés.
- recherche sur les propriétés de jonctions qui contrôlent le courant de seuil pour l'émission laser.

Ces études seront centrées principalement sur des matériaux à large bande interdite, qui offrent des possibilités pour l'émission stimulée dans le visible et l'ultraviolet.

Pour le développement de ce programme, les installations suivantes existent déjà au C.C.R. - Ispra:

- laboratoire de croissance de monocristaux (partiellement équipé)
- équipement pour diagnostic structural aux rayons X
- laboratoire de spectroscopie de l'état solide
- laboratoire de mesures sur composants à semiconducteurs (partiellement équipé)
- techniques d'implantation ionique (en cours de développement).

III.2 Motivation technique.

La technologie des milieux optiques et l'exploitation de la lumière cohérente ont acquis une grande importance pour le traitement optique de l'information. Quelques aspects des problèmes sont commentés dans ce qui suit:

a) Applications optiques de la ferro-électricité.

Le stockage de l'information dans une matrice ferro-électrique présente certains avantages potentiels, résultant surtout d'une bonne combinaison de la rapidité et de la densité de stockage. A ces avantages s'ajoutent, dans le cas de mémoires, la simplicité d'opération et de lecture qu'on peut obtenir, en utilisant les effets optiques propres à ces matériaux. Les problèmes de stabilité du basculement ne sont pas encore résolus, aussi bien à cause du comportement coercitif des ferro-électriques usuels, qu'à cause du manque de choix et de maîtrise des matériaux. De ces problèmes dérivent les lignes de développement précisées plus haut.

b) Effets électro- et magnéto-optiques.

L'application d'effets électro-optiques permet d'exercer les formes les plus diverses de contrôle sur des faisceaux de lumière traversant un milieu actif: atténuation et suppression, contrôle de phase, modulation, diffraction, etc... L'emploi de ces techniques promet de révolutionner le traitement de l'information. On peut citer, parmi d'autres, certains des principaux avantages:

- transmission et élaboration rapide de données
- grosses capacités d'élaboration
- élimination de couplages et de sources de perturbations électriques
- contrôle plus direct du système d'inscription, de lecture et de visualisation.

Les besoins les plus pressants de la recherche appliquée dans ce domaine résident encore principalement dans le choix et dans la classification des matériaux électro-optiques, et dans l'étude de nouvelles conceptions d'emploi. C'est pourquoi, il y a lieu à ce stade de commencer avec l'essai de dispositifs simples.

En ce qui concerne le domaine des mémoires magnéto-optiques, l'intérêt spécifique provient de certains avantages que ces dispositifs peuvent avoir par rapport à d'autres mémoires compactes à l'état solide. Les avantages les plus importants sont: la grande stabilité du comportement magnétique; la rapidité intrinsèque du renversement magnétique; l'absence de perturbations entre bits. Les inconvénients actuels sont à imputer à l'insuffisance des connaissances en micro-magnétique et au très pauvre choix en composés ayant des propriétés structurales et optiques satisfaisantes. Les objectifs prioritaires résident dans l'étude de matériaux ayant une forte activité magnéto-optique, et des transitions magnétiques permettant l'exploitation à température ambiante. Il est également nécessaire de conduire des recherches de base sur les phénomènes magnéto-optiques et magnétiques.

- c) Les lasers à semiconducteur sont susceptibles de conduire à des applications fort intéressantes, en combinaison avec des systèmes électro- ou magnéto-optiques, pour la génération et le contrôle de l'information optique, pour le scanning et la digitalisation, pour la transmission des données. Leurs avantages sur les autres types de lasers dérivent de leurs dimensions réduites, leurs rendements élevés (supérieur à 50%) et la simplicité des dispositifs de pompage, de contrôle, et de modulation. Ces avantages sont essentiels pour les applications dans le domaine de l'informatique. Parmi les utilisations prévisibles, on peut citer:
- la transmission rapide de l'information à courte distance
 - systèmes de connection non-électriques entre calculateurs
 - télévision en blanc et noir, ou en couleurs; télévision tridimensionnelle (techniques holographiques).
 - pompes optiques à rendement élevé pour d'autres types de lasers.

III.3 Etat des recherches

Il n'existe pas à l'état actuel de grandes applications industrielles dans le domaine du traitement optique de l'information. Loin de signifier un manque d'intérêt, ce fait reflète le grand nombre de problèmes qui demandent à être résolus, dans les domaines de la recherche de base et du développement de matériaux.

Un effort étendu est en cours sur les matériaux et les dispositifs électro-optiques. Des débuts d'exploitation industrielle sont déjà annoncés pour des dispositifs divers (modulateurs d'intensité, compensateurs de biréfringence, résonateurs optiques, systèmes de déflexion) utilisables dans l'instrumentation optique et dans le contrôle de faisceaux de lumière. L'extension systématique de ces emplois à la technologie du laser et aux systèmes de communication optique est activement poursuivie. Tous ces développements sont encore largement appuyés à la recherche sur les matériaux et sur les effets de base.

Dans le domaine de la magnéto-optique les études appliquées à la mémorisation sont spécialement actives. La classification des matériaux vis-à-vis de cet emploi est encore à développer. Pour ce qui est des ferro-électriques, les études relatives aux mémoires optiques et aux éléments de visualisation sont relativement avancées et on trouve déjà des exemples de réalisations industrielles. Cependant le diagnostic des matériaux et l'étude de nouvelles conceptions d'emploi représentent encore une phase essentielle.

Les lasers à semiconducteur les plus étudiés sont actuellement basés sur les composés des classes IV-VI et III-V (en particulier GaAs). Tous ces composés émettent dans l'infrarouge, et opèrent à basse température dans une configuration de jonction p-n. Ces dernières années la recherche s'est orientée dans les deux directions suivantes:

- i) l'étude des possibilités d'opération laser continue à température ambiante.
- ii) recherche sur les composés II-VI capable d'émission cohérente dans le visible et le proche ultraviolet.

Pour ces derniers matériaux, il est encore difficile d'obtenir des jonctions p-n avec les techniques usuelles de dopage. Dans ce contexte on entrevoit de nouvelles possibilités dans la technique de l'implantation ionique.

La situation de la recherche est la suivante:

Pays de la Communauté

La recherche communautaire est extrêmement peu développée. Un petit nombre de groupes universitaires se consacre aux études de base en laissant de côté le développement des matériaux et les aspects technologiques. Des matériaux électro-optiques ou ferro-électriques sont produits dans quelques industries, mais sans effort systématique de recherche sur les dispositifs. Une industrie française (CSF-CEPCA) produit un type de diode laser à GaAs.

Un exemple unique d'intégration entre recherches de base et appliquée est représenté par l'activité du LETI au C.E.N.G. (Grenoble), où sont en cours des études sur des matériaux avancés pour applications ferro-électriques et magnéto-optiques.

Des activités du même genre, dans les domaines soit de l'électro-optique soit des lasers à semiconducteurs, viennent de débiter dans les laboratoires SIEMENS (Munich).

Pays tiers

U.S.A. - Les études de base et appliquées sur les matériaux électro- et magnéto-optiques, ou lasers, sont concentrées dans les grands laboratoires des compagnies suivantes: Bell Telephone Co.; I.B.M.; Ford Motor Co.; R.C.A.; General Electric, et dans le Lincoln Laboratory du M.I.T.

Les recherches sur les matériaux et dispositifs ferro-électriques sont bien développées dans plusieurs des endroits cités, ainsi que chez Honeywell, Sandia Co., Clevite Co., et la Faculté des Sciences des Matériaux de l'Université de Washington D.C.

U.R.S.S. - De grosses unités sont actives à tous les niveaux de la recherche de base et des études sur les dispositifs auprès des Instituts suivants: Lebedev Inst., Moscou (effets électro-optiques et semiconducteurs laser); Institut des Semiconducteurs, Leningrad (matériaux ferro-électriques).

En Angleterre, des activités sur les lasers à semiconducteur sont en cours auprès de la Standard Telecommunication Lab., Harlow (Essex). La Plessey Co. (Towchester) travaille sur des matériaux et dispositifs ferro-électriques. Un effort considérable dans le dernier domaine est aussi déployé en Tchécoslovaquie, à l'Institut de Physique de l'Académie et à l'Institut d'Electro-

technique (Prague).

III.4 Encadrement communautaire.

Les contacts pris avec des centres de recherche, ou entreprises privées (CENG-Grenoble; OLIVETTI et ATES, Milano) ont confirmé l'intérêt d'une initiative dans les directions proposées ci-dessus. Des contacts ultérieurs sont prévus avec les mêmes interlocuteurs, ainsi qu'avec les centres de recherche de PHILIPS (Eindhoven) et SIEMENS (Munich).

III.5 Compétences et potentiel d'Ispra.

La mise en oeuvre de ce programme fait appel à des techniques et des équipements disponibles en majeure partie à Ispra.

Citons en particulier:

- Métallurgie céramique; laboratoire de fabrication de monocristaux.
- Technologie de films minces; études des surfaces.
- Spectroscopie spécialisée de l'état solide.
- Diagnostic structural aux rayons X.
- Développement de dispositifs à semiconducteur.
- Microscopie électronique.
- Spectrométrie Mossbauer.
- Compétences théoriques dans la physique de l'état solide.
- CETIS.

III.6 Description détaillée des activités.

Pour l'ensemble des trois chapitres du programme, les activités sont partagées suivant les trois lignes générales ci-dessous (qui sont détaillées dans l'Annexe B):

- 1) Technologie de fabrication et de contrôle des matériaux
- 2) Recherche de base sur les matériaux
- 3) Recherche sur les dispositifs.

IV. MOYENS NECESSAIRES

Un effectif moyen de 60 agents sera affecté à ces recherches.

La dotation correspondante sera de 4,8 Muc à laquelle on doit ajouter un montant de 1 Muc pour les investissements spéciaux, à savoir :

- modifications à apporter sur les accélérateurs existants
- parachèvement de l'équipement des laboratoires, en particulier en fonction de leur reconversion partielle
- appareillages électroniques.

ANNEXE A

Programme : Nouveaux Composants pour l'Informatique et l'Electronique.

Le programme relatif à l'objectif A s'articule suivant les trois voies de développement ci-après:

- 1. Technologie constructive d'accélérateurs d'ions.
- 2. Etude des caractéristiques des jonctions implantées.
- 3. Réalisation de dispositifs électroniques.

Chacun de ces points est discuté dans les annexes sous-indiquées:

1. Technologie constructive d'accélérateurs d'ions

- Annexe A.I : Accélérateur d'ions pour implantation jusqu'à 100 keV
- Annexe A.II : Accélérateur d'ions pour implantation jusqu'à 1 MeV
- Annexe A.III : Etudes d'optique ionique
- Annexe A.IV : Développement de sources d'ions pour accélérateurs

2. Etude des caractéristiques de jonctions implantées

- Annexe A.V : Etude expérimentale des profils de concentration d'ions implantés
- Annexe A.VI : Etude du recuit
- Annexe A.VII : Etudes théoriques et expérimentales des interactions ion-cristal

3. Réalisation de dispositifs électroniques

- Annexe A.VIII : Etude de simulation au calculateur pour le projet de dispositifs
- Annexe A.IX : Construction de dispositifs électroniques
- Annexe A.X : Mesures électriques sur les dispositifs.

Accélérateur d'ions pour implantation jusqu'à 100 keV

Programme.

La réalisation de jonctions implantées à basse énergie et l'étude de l'optique ionique seront effectués, en utilisant un accélérateur d'ions, déjà en construction, qui présente les principales caractéristiques suivantes:

- tension d'accélération de 2 à 100 KV réglable en continu
- séparation de masse jusqu'à 240 amu avec aimant à double focalisation
- courant sur la cible de l'ordre de 1 μ A.

La machine donne un seul faisceau ionique, avec possibilité de déflexion dans le plan X-Y, et comporte une chambre à cible. Cette dernière est équipée pour permettre le bombardement de différents échantillons et comporte des instruments pour la mesure de la densité, du profil et de l'intensité du faisceau ionique.

Durée : 1^{ère} année.

Accélérateur d'ions pour implantation jusqu'à 1 MeV.

Programme.

Les jonctions "ensevelies" et superposées à l'intérieur du matériau semiconducteur présentent l'avantage particulier, de l'indépendance des effets de surface et d'une densité majeure de composants compatible avec la dissipation thermique. La réalisation de ces jonctions s'obtient avec implantation ionique à haute énergie de l'ordre de 1 MeV. A cette fin un accélérateur Van der Graff de 1 MeV existant à Ispra et travaillant actuellement avec des protons, sera modifié. La modification comporte:

- l'adaptation d'une source d'ions
- la construction des lentilles d'extraction entre la source et le tube accélérateur
- le projet et la construction de l'aimant de séparation pour masses jusqu'à 100 amu
- l'étude et la réalisation d'un système de déflexion du faisceau ionique
- la construction de la chambre à cible

Durée : 1^{ère} - 2^e année.

Etudes d'optique ionique

Programme.

Le but de ce programme est le perfectionnement du procédé de production de dispositifs au moyen de l'implantation ionique, suivant les lignes ci-après:

- amélioration du contrôle du faisceau ionique et de sa résolution spatiale
- réalisation de systèmes multifaisceaux à déplacement contrôlé pour la production simultanée de plusieurs éléments.

Ces études théoriques et expérimentales devraient aboutir à l'élimination des procédés de masquage traditionnels, au moins pour les dispositifs plus simples. Le programme s'articule dans les points suivants:

- calcul des trajectoires et de la focalisation des faisceaux ioniques (effet de charge d'espace) dans les champs électrostatiques et magnétiques des accélérateurs de 100 keV et de 1 MeV
- amélioration de la résolution spatiale du faisceau ionique au moyen d'une étude des paramètres concernant les aberrations de lentilles, la stabilité des champs électrostatiques et magnétiques, la microphonicité et les dilatations mécaniques
- réalisation de dispositifs expérimentaux pour le déplacement programmé du faisceau ionique ou de la cible, afin d'obtenir un drogage sélectif pour l'écriture directe sur le semiconducteur
- étude et réalisation de systèmes multifaisceaux à déplacement programmé.

Durée : 1^{ère} - 3^e année études théoriques et début des réalisations

3^e - 5^e année études expérimentales sur les systèmes multifaisceaux.

Annexe A.IV

Développement des sources d'ions pour accélérateur

Programme.

Le but de ce programme est d'augmenter le rendement qualitatif et quantitatif dans la production des différents types d'ions. Le programme est articulé comme suit:

- mise au point des procédés de production des ions avec la source type Nielsen pour l'accélérateur de 100 keV
- mise au point de la production d'ions avec la source type duo-plasmatron pour l'accélérateur Van der Graff de 1 MeV
- étude de l'optimisation des composés et des réactions chimiques en particulier donnant des ions ayant de grandes différences de masse en vue de faciliter la séparation
- développement de nouvelles sources (par ex.: à émission superficielle).

Durée : 1^{ère} - 3^e année.

Etude expérimentale de profils de concentration d'ions implantés.

Programme.

La connaissance de la distribution des ions implantés à l'intérieur du semiconducteur est nécessaire pour l'application de l'implantation ionique à la réalisation de n'importe quel dispositif. Etant donné que actuellement la théorie ne permet pas une prévision précise, les mesures expérimentales sont insubstituables. Ces études concernent la détermination de:

- profil physique (distribution du nombre total d'impuretés introduites, en fonction de la profondeur)
- profil électrique (distribution du nombre d'impuretés introduites électriquement actives, en fonction de la profondeur)

en fonction du type d'ion implanté, de l'énergie du bombardement, de la dose (ions/cm²) et de l'orientation du faisceau par rapport aux axes cristallographiques du semiconducteur.

L'étude sera initialement concentrée sur le Silicium et successivement étendue au Germanium et aux semiconducteurs composés (AsGa, CdTe, SiC).

La mise au point des techniques suivantes seront nécessaires:

- enlèvement de couches minces (200 - 400 Å) d'épaisseur connue (par ex.: oxydation anodique pour le silicium et germanium)
- mesures de conductivité superficielle
- mesures d'effet Hall
- mesures avec des traçants radioactifs
- mesures de profondeurs de jonctions (attaques chimiques, sonde thermoélectrique, etc...)
- orientation de l'échantillon au moyen de: diffractométrie X pour des précisions jusqu'à 1° et diffusion Rutherford de protons ou particules alfa pour des précisions supérieures

Durée : 1^{ère} année: mise au point des techniques citées ci-dessus

2^e - 3^e année : étude de jonctions implantées à basse énergie dans le silicium (100 keV)

3^e - 5^e année.: étude de jonctions implantées à haute énergie dans le silicium (1 MeV)
étude de jonctions obtenues dans du Ge et semiconducteurs composés.

Etude du recuit.Programme.

Les caractéristiques électriques d'une couche implantée dépendent du procédé de recuit de l'échantillon, qui est utilisé afin d'éliminer les défauts introduits par le bombardement ionique, et de porter dans des positions électriquement actives les impuretés introduites.

Le programme s'articule dans les lignes suivantes:

- étude du comportement des défauts en fonction du procédé de recuit
- optimisation du procédé de recuit pour chaque cas spécifique (température, durée et type d'atmosphère dans le four)
- comparaison entre recuit pendant ou après le bombardement ionique

Durée : 2^e - 5^e année, suit à pas égal l'étude des jonctions et le développement des dispositifs.

Etude théorique et expérimentale des interactions ion-cristal.Programme.

Actuellement il n'existe aucun procédé théorique pour le calcul précis des profils d'implantation dans le cas des ions partiellement canalisés (c.a.d. ayant la direction d'incidence alignée endéans un certain angle avec les principaux axes du cristal).

Une théorie satisfaisante manque même en ce qui concerne la formation de défaut par radiations et le "sputtering". Les études théoriques comporteront les points suivants:

- détermination des parcours et parcours maxima des ions dans le cristal
- évaluation de la décanalisation et de l'influence de la température du substrat
- formation du défaut par radiations (nombre d'atomes déplacés par impact).

En particulier cette dernière étude est importante dans le cas des semiconducteur composés où les propriétés électriques des jonctions sont fortement influencées par le dommage par radiations. Parallèlement des études expérimentales, qui s'articulent dans les points suivants seront exécutées:

- détermination des parcours (particulièrement dans les semiconducteurs composés)
- formation et élimination des défauts par radiations
- localisation de dopants introduits, par la méthode de diffusion Rutherford
- influence du défaut et du recuit sur la diffusion

Durée : 1^{ère} - 5^e année pour les études théoriques

2^e - 5^e année pour les études expérimentales

Etude de simulation au calculateur, pour projeter des dispositifs électroniques.

Programme.

Le fait que la technique de l'implantation ionique permet la réalisation de profils de drogage différents de ceux obtenibles avec la technique traditionnelle de diffusion, implique la révision de l'imposition des calculs des paramètres des dispositifs à construire.

Le programme prévoit donc la mise au point des techniques de simulation au calculateur du comportement des dispositifs et de leur adaptation en fonction des résultats des études expérimentales sur les jonctions implantées.

Seront étudiés les modèles mathématiques pour les dispositifs suivants: diodes, MOSFET, transistors bipolaires ainsi que pour les dispositifs dont la fabrication sera suggérée par l'industrie.

Durée : 2^e - 5^e année.

Construction des dispositifs électroniques.

Programme.

Les possibilités de l'implantation ionique peuvent être concrétisées uniquement dans la réalisation de prototypes de dispositifs électroniques. Ceci comprend l'étude des possibilités d'étendre le procédé d'implantation d'une part au développement des composants traditionnels à l'échelle industrielle, d'autre part à la réalisation de composants à caractéristiques spéciales.

Le programme comporte la construction de:

- MOSFET
- diodes
- varacteurs
- transistors bipolaires

Cette liste de dispositifs est uniquement préliminaire et sujet à modification à base des résultats de contacts avec l'industrie. Le programme englobe enfin l'étude de la possibilité de réaliser des circuits complexes intégrés. Initialement il sera fait appel aux techniques traditionnelles de masquage qui pourront être substituées par des systèmes "sans masques" se basant sur les résultats des études d'optique ionique.

Pour entreprendre ces travaux l'installation d'un laboratoire équipé pour la préparation et le montage des dispositifs est prévue.

Durée : 1^{ère} année équipement du laboratoire et mise au point des techniques traditionnelles

2^e - 5^e année réalisation de dispositifs.

Mesures électriques sur les dispositifs.Programme.

Les mesures sur les dispositifs comportent d'une part la détermination des paramètres électriques typiques, d'autre part l'étude de caractéristiques du semiconducteur et leur variation par rapport à celle du matériau original en fonction du procédé de fabrication. Les mesures comprendront le relevé des caractéristiques en régime continu et celles en régime dynamique.

Par exemple pour les diodes:

- la caractéristique courant-tension directe et inverse
- la tension de rupture
- la caractéristique capacité-tension
- temps d'emménagement et de relâche
- durée de vie des porteurs
- mesure du bruit

Il est prévu de compléter le laboratoire de mesures électroniques existant.

Durée : 1^{ère} année - compléter le laboratoire
2^e - 5^e année - mesures sur éléments construits.

1	2	3	4	5	ANNEE/ACTION
CONSTRUCTION		GESTION			ACCELERATEUR 100 keV
ETUDE PRELIMIN.	MODIFICAT.		GESTION		ACCELERATEUR 1 MeV
ETUDES THEORIQUES	OPTIQUE IONIQUE		SYSTEME MULTIFAISCEAU		OPTIQUE IONIQUE
MISE AU POINT LAB.	JONC.Impl.A BASSE E.		JONC.Impl. HAUTE E.		SOURCE D'IONS
					ETUDE EXPERIM. PROFILS
					RECUIT
					INTERACTION ION-CRISTAL - ETUDES THEOR.
EQUIPEMENT LAB.		REALISATION DISPOSITIFS			INTERACTION ION-CRISTAL - ETUDES EXPERIM.
EQUIPEMENT LAB.		MESURES			CONSTRUCTION DISPOSITIFS ELECTRONIQUES
					MESURES ELECTRIQUES DISPOSITIFS
					SIMULATION DISPOSITIFS

ANNEXE B

Programme : Nouveaux Composants pour l'Informatique et l'Electronique.

Le programme relatif à l'objectif B s'articule suivant les trois voies de développement ci-après:

- 1. Technologie de fabrication et de contrôle des matériaux
- 2. Recherche de base sur les matériaux
- 3. Recherche sur les dispositifs,

Chacun de ces points est discuté sous les titres indiqués ci-après:

- 1. Technologie de fabrication et de contrôle des matériaux
 - B.I : Préparation de céramiques ferro-électriques du type Titanate et Zirconate de Ba de Pb
 - B.II : Fabrication de monocristaux ferro-électriques et électro-optiques avancés
 - B.III : Préparation de matériaux magnéto-optiques du type: grenats de terres rares et composés d'Europium
 - B.IV : Fabrication de monocristaux de haute perfection des semiconducteurs II-VI
 - B.V : Développement des techniques de croissance épitaxiale et de fabrication de films sur les matériaux cités
 - B.VI : Préparation de jonctions p-n et de structures plus complexes dans les semiconducteurs composés
 - B.VII : Mise au point de méthodes diagnostiques.
- 2. Recherche de base sur les matériaux
 - B.VIII : Etude de composés ferro-électriques pour applications aux mémoires opto-électriques
 - B.IX : Etude de matériaux pour applications à des mémoires entièrement optiques
 - B.X : Recherche sur les effets magnéto-optiques et sur les transitions dans les grenats de terres rares et les chalcogénures d'Europium

- B.XI : Recherche sur les matériaux électro-optiques pour emploi dans des systèmes de modulation et de déflexion de la lumière
- B.XII : Mesure de spectres et de constantes optiques dans les semiconducteurs II-VI à large bande interdite
- B.XIII : Etude des transitions radiatives et des mécanismes d'émission stimulée dans les semiconducteurs composés

3. Recherche sur les dispositifs

- B.XIV : Etude de dispositifs ferro-électriques pour le stockage de l'information optique
- B.XV : Elaboration d'éléments de mémoires magnéto-optiques
- B.XVI : Dispositifs électro-optiques pour la modulation et le contrôle de lumière cohérente
- B.XVII : Essais de jonctions laser dans les semiconducteurs composés
- B.XVIII : Etude des systèmes d'injection et de pompage dans les matériaux à large bande interdite.

1. Technologie de fabrication et de contrôle des matériaux.

B.I Préparation de céramiques ferro-électriques du type Titanate et Zirconate de Ba et de Pb

Ces composés sont habituellement préparés par mélange moulé ou filé à froid, fritté ensuite à haute température. Ils sont alors obtenus à l'état polycristallin sous forme massive de plaquettes, tubes, etc... Des lamelles monocristallines de BaTiO_3 et composés analogues seront élaborées par croissance dans un bain de fluorure de potassium et par refroidissement contrôlé et lent. Des films de ces composés obtenus sous forme de couches minces peuvent être réalisés par d'autres méthodes (évaporation directe, "flash evaporation", évaporations successives des oxydes simples).

B.II Fabrication de monocristaux ferro-électriques et électro-optiques

Les niobates de Li (LiNbO_3) seront préparés par une méthode de tirage CHOCHRALSKI en chauffage HF. Les techniques de BRIDGMAN, STOCKBARGER ("normal freezing") ont été essayés sans avantages particuliers sur la méthode de tirage. Des additions d'oxyde de Mo, W et aussi l'application d'un champ électrique seront employés pour la modification des caractéristiques ferro-électriques de départ.

B.III Préparation de matériaux magnéto-optiques du type: grenats de terres rares et composés d'Europium

Les composés du type $\text{R Fe}_2\text{O}_3$ (avec R: Y, La, Pr, Sm, Er, Gd, Ga, ...) sont obtenus le plus couramment sous forme monocristalline par précipitation dans un flux de sels fondus ($\text{PbO PbF}_2 - \text{BaO B}_2\text{O}_3 - \text{PbO B}_2\text{O}_3$) par refroidissement lent. Une technique modifiée de tirage sera développée pour préparer des monocristaux de Gd_3 , Ga_5O_{12} ou de $\text{Y}_3 \text{Al}_5 \text{O}_{12}$. Des monocristaux de chalcogénures d'Europium peuvent être obtenus par refroidissement lent d'une solution saturée en Eu.

B.IV Fabrication de monocristaux de haute perfection des semiconducteurs II-VI

Des monocristaux composés de ce type peuvent être obtenus par différentes méthodes dont certaines

déjà bien étudiées. La plus intéressante pour le CdTe est basée sur la méthode de BRIDGMAN; les cristaux de CdS, ZnS sont préparés par sublimation. La stoechiométrie est un facteur important obtenu grâce à un contrôle sévère des conditions expérimentales (tension de vapeur, température).

B.V Développement des techniques de croissance épitaxiale et de fabrication de films sur les matériaux cités

Outre les méthodes classiques de croissance épitaxiale, l'application de la technique de pulvérisation cathodique à radiofréquence laisse prévoir la possibilité de la croissance épitaxiale pour la réalisation de jonctions p-n dans les semiconducteurs composés y compris certains du groupe II-VI. Dans le cas du titanate de Ba il est prévu d'obtenir des films minces (0,1 à 1 μ m d'épaisseur) du type polycristallin, à la suite d'une évaporation simultanée des oxides simples par bombardement électronique. Dans le cas du sulfure ou selenure d'Europium, une méthode de croissance épitaxiale par sublimation directe sera employée pour obtenir des films monocristallins.

B.VI Préparation de jonctions p-n et de structures plus complexes dans les semiconducteurs composés. Essai de méthodes d'implantation ionique

La réalisation de jonctions avec des caractéristiques poussées (profil abrupt; planarité parfaite, etc...) est une condition pour obtenir des rendements élevés d'émission dans les lasers à semiconducteurs. Les actions suivantes sont prévues:

- amélioration des caractéristiques de jonction p-n et de jonctions complexes (p^+-n-n^+ , p^+-p-n^+) à l'aide de techniques combinées de diffusion et de croissance épitaxiale
- amélioration de jonctions à couche semi-isolante du type p-i-n dont l'emploi est spécialement intéressant dans les cas où la préparation de jonctions "classiques" est très difficile (ex.: composés II-VI)
- étude de l'applicabilité des techniques d'implantation ionique pour la formation de jonctions, surtout dans les composés II-VI.

B.VII Mise au point de méthodes diagnostiques

Les méthodes diagnostiques envisagées sont les suivantes:

- mesures électriques : elles seront employées soit dans l'examen de propriétés diélectriques et électro-optiques, soit dans l'étude des jonctions dans les semiconducteurs composés.
- mesures optiques : elles comprennent des mesures de dispersion des constantes optiques et des modules électro-optiques; mesures des paramètres d'absorption et d'émission dans les semiconducteurs composés; mesures de polarimétrie sur matériaux magnéto-ou électro-optiques; mesures et étalonnage interférentiel d'émission cohérente.
- topographie aux rayons X : cette méthode sera employée systématiquement pour l'étude de la perfection structurale de monocristaux, en particulier pour étudier la distribution des dislocations, le maclage, les précipités dans les composés ferro-électriques ou les semiconducteurs composés.

2. Recherche de base sur les matériaux.

B.VIII Etude de composés ferro-électriques pour applications aux mémoires opto-électriques

L'action pour but d'améliorer le choix et le contrôle des matériaux, pour un emploi optimal des dispositifs de conception éprouvée (par ex. les mémoires à inscription opto-électrique). Il s'agit d'étudier dans les matériaux connus les facteurs capables de limiter, ou d'améliorer, les propriétés opératives: seuil coercitif (voir stabilité et résolution du stockage); vitesse de basculement; biréfringence et effets électro-optiques; homogénéité optique ou électrique. Les effets de solution solide, de substitution et de dopage, d'imperfections structurales etc..., seront investigués à cette fin dans une vaste classe de dérivés des composés plus connus (BaTiO_3 ; Titanates/Zirconates de Pb, Niobates et Tantalates alcalins) et dans des matériaux intéressants (par ex. Titanate de Bi).

B.IX Etude de matériaux pour applications à des mémoires entièrement optiques

L'emploi de méthodes de mémorisation, basées sur les matériaux ferro-électriques mais à l'aide d'une inscription entièrement optique, est un objectif très important. Un des moyens possibles pour arriver à ce résultat consiste dans l'excitation thermo-optique d'une transition ferro-électrique dans un matériau pré-polarisé. Les conditions très strictes pour obtenir ce type d'opération (existence d'une transformation très abrupte; existence et comportement critique du champ coercitif; relaxation rapide) seront recherchées et testées dans le groupe limité de matériaux qui offrent des possibilités de principe. Un autre type de mémoire entièrement optique, faisant abstraction du basculement, sera étudié utilisant les modifications de modules électro-optiques qui suivent une excitation optique intense dans certains matériaux polarisés (par ex. LiNbO_3 et LiTaO_3). Ces effets semblent être stables et réversibles, mais leur origine n'est pas connue. L'attribution plus courante est basée sur le rôle des imperfections électroniques. Une intensification des essais d'exploitation demande des études sur différentes questions: effets de dopants et de porteurs libres sur les propriétés

électro-optiques; contributions de centres colorés et d'impuretés actives à la dispersion d'indices électro-optiques. Dans ce sens seront investigués certains des composés électro-optiques éprouvés de la famille des perovskites.

B.X Recherche sur les effets magnéto-optiques et sur les transitions dans les grenats de terres rares et les chalcogénures d'Europium

Le programme comprend une inspection systématique des composés principaux et de leurs substitués, en vu de leur application aux mémoires. Les études seront portées à définir les critères de choix et de synthèse permettant: 1. l'opération à température ambiante, la détermination du rapport optimal entre effets magnéto-optiques et atténuation, la fabrication contrôlée et homogène.

B.XI Recherche sur les matériaux électro-optiques pour l'emploi dans des systèmes de modulation et déflexion de la lumière.

Les classes utiles de matériaux pour les applications précitées s'élargissent continuellement. Aux composés mieux connus, tels que les Niobates et Tantalates alcalins, s'ajoutent d'autres matériaux très intéressants ($Ba_2NaNb_5O_{15}$ et substitués alcalins ou alcalino-ferreux; composés mixtes des perovskites contenant les groupes TaO_6 , TiO_6 , NbO_6). Seront étudiés sur ces classes de matériaux: 1. La réponse diélectrique à la modulation et les effets de la polarisation interne, pour optimiser le compromis entre propriétés électro-optiques et bande de fréquence; 2. La stabilité structurelle en présence de faisceaux intense de lumière; 3. La dispersion spectrale et les "résonances" des indices de réfraction et des modules électro-optiques, pour améliorer le choix des régions d'exploitation des modulations électro-optiques, et pour essayer les possibilités de travail avec des matériaux partiellement absorbants, ou en régime de réflexion.

B.XII Mesure de spectres et de constantes optiques dans les semiconducteurs II-VI à large bande interdite.

Le but de ces mesures est de donner des informations sur l'efficacité externe des lasers à semiconducteurs. L'efficacité externe est fonction du coefficient d'absorption, du coefficient de transmission ainsi que

de la géométrie de la cavité optique et de l'efficacité interne du laser. Pour obtenir un bon rendement du laser, il est nécessaire que la radiation induite dans le milieu ne soit pas absorbée par celui-ci ou réfléchi par la surface d'émergence du cristal. Il est alors de grande importance de comparer les spectres d'émission, d'absorption et de dispersion en fonction de la température et de la teneur en impuretés. Les mesures de ces spectres seront faites, soit en transmission, soit en réflexion au moyen des techniques ellipsométriques.

B.XIII Etudes des transitions radiatives et des mécanismes d'émission stimulée dans les semiconducteurs composés

Des travaux concernant à la fois la fluorescence et la photoconductibilité seront effectués au moyen de cyclages opportuns du pompage optique et du champ électrique. Le but de ces travaux est de déterminer divers paramètres, comme le temps de relaxation du réseau, le temps de décroissance radiative et le temps de vie des éventuels excitons. Ces paramètres conditionnent la possibilité de l'inversion de population, celle-ci étant déterminante pour induire le rayonnement laser. Il est important pour l'efficacité du laser que la décroissance des états électroniques excités se fasse à travers des transitions radiatives et non par des cessions de chaleur au réseau cristallin, ou à travers des processus de type Auger. L'efficacité radiative de l'énergie produite après excitation sera pourtant mesurée en fonction de la température et de la teneur en impuretés.

3. Recherche sur les dispositifs.

B.XIV Etude de dispositifs ferro-électriques pour le stockage de l'information optique

On propose un développement centré surtout sur l'étude d'éléments de mémoire de conceptions diverses, notamment:

- mémoires opto-électriques
- mémoires à inscription thermo-optique
- mémoires à inscription optique directe.

Le programme comprend l'installation auxiliaire de systèmes optiques complexes pour adressage, inscription, et lecture avec des faisceaux laser. Cet appareillage sera utilisé également pour les études sur les mémoires magnéto-optiques.

B.XV Elaboration d'éléments de mémoires magnéto-optiques

La fabrication de structures à film ferro- ou ferri-magnétique isolants (grenats de terres rares, chalcogénures d'Eu) sera poursuivie. Dans ces structures différentes méthodes d'inscription (à l'aide de lumière laser) seront essayées. Les essais ont comme but d'optimiser les méthodes d'adressage et d'inscription thermo-optique (à l'aide de faisceaux laser) et d'expérimenter d'autres formes d'inscription - par ex. l'excitation optique d'impuretés magnétiques qui contrôlent les propriétés de base de la matrice.

B.XVI Dispositifs électro-optiques pour la modulation et le contrôle de lumière cohérente.

Le programme sera articulé sur l'essai de a) dispositifs de modulation en intensité, basés sur le couplage d'éléments actifs biréfringents avec des simples systèmes optiques passifs, et b) dispositifs de déflexion et de balayage de faisceaux cohérents. Ces études seront dirigées surtout vers l'emploi de ces systèmes dans des dispositifs de couplage, d'adressage, et de lecture digitalisés. Par conséquent on prêtera attention à l'essai de dispositifs miniaturisés et composites, capables de traiter des faisceaux très collimés, avec des densités spatiales et des fréquences de répétition élevées. Quelques essais seront portés également

sur le couplage de résonateurs optiques à des cavités laser à semiconducteur, susceptibles de donner des simples systèmes d'émission contrôlée.

B.XVII Essais de jonctions laser dans les semiconducteurs composés

L'objectif principal est de réduire la valeur du courant de seuil nécessaire pour déclencher l'émission laser. Dans un tel but on peut:

- améliorer l'efficacité externe du dispositif, en minimisant les effets ohmiques du courant électrique d'excitation et en utilisant des cristaux ayant un meilleur rendement d'émission.
- assurer une élimination efficace de la chaleur par un choix opportun du matériau de départ, de la géométrie de la cavité optique et des techniques adéquates de refroidissement.

On se propose de mesurer le courant de seuil en fonction des paramètres suivants: température, niveau de dopage du semiconducteur, profil de la jonction, degré de perfection du cristal, géométrie de la cavité optique et propriétés thermiques des matériaux employés.

B.XVIII Etude des systèmes d'injection et de pompage dans les matériaux à large bande interdite

Les matériaux à large bande présentent des difficultés de dopage étant donné leur caractère partiellement ionique; chaque fois qu'une impureté chargée électriquement est introduite dans le réseau, il se forme une lacune de charge opposée pour rétablir la neutralité électrique. Pour obvier à cet inconvénient on fait diffuser l'impureté en maintenant le cristal à une température élevée, ce qui constitue un obstacle à la migration vers l'extérieur de l'atome responsable de la formation des lacunes. Par exemple, le dopage du ZnSe pour obtenir un semiconducteur de type N se fait en présence de zinc. Il n'est pourtant pas possible de réaliser cette technique pour fabriquer une jonction, c'est-à-dire pour diffuser dans le même cristal des impuretés de charge opposée. Pour éviter cette impossibilité, on peut procéder d'une des manières suivantes:

- xxii -

- L'impureté est introduite par implantation ionique, ou par technique de croissance épitaxiale du cristal.
- On peut employer d'autres techniques "d'injection" de charges en utilisant le système de l'avalanche avec des jonctions N-I-N. et P-I-P ou des configurations de type M O S.
- On peut éviter le courant électrique en utilisant le bombardement électronique, ou bien l'excitation par de moyensoptiques pour le pompage.