

REGION BASSE - NORMANDIE

RAPPORT

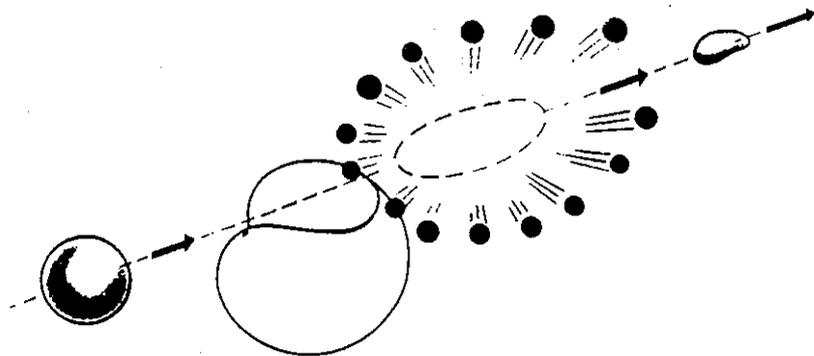
**C
O
M
I
T
E

E
C
C
O
N
O
M
I
Q
U
E

E
T

S
O
C
I
A
L**

**DEVELOPPEMENTS
SCIENTIFIQUES
AUTOUR DU GANIL :
BILAN ET PERSPECTIVES**



Claude DETRAZ

19 Avril 1991

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
1 - INTRODUCTION	7
2 - BILAN 1975-1990	13
2.1 - Le bilan scientifique	13
2.2 - Les relations économiques régionales de G.A.N.I.L.	16
2.3 - Les effets indirects induits par G.A.N.I.L. dans la région	18
3 - DEVELOPPER G.A.N.I.L. et DIVERSIFIER ses ACTIVITES	25
3.1 - L'objectif : accroître le personnel scientifique	25
3.2 - Les nouveaux équipements expérimentaux	27
3.3 - Le projet SISSI	33
3.4 - Le développement de la physique non-nucléaire	35
3.5 - L'ouverture d'un programme de biophysique et radiothérapie	42
3.6 - Les évolutions futures de l'accélérateur : G.A.N.I.L. 2	47
4 - DEVELOPPER les LIENS ENTRE G.A.N.I.L. et l'ENVIRONNEMENT SCIENTIFIQUE et ECONOMIQUE de la REGION	55
4.1 - Les applications industrielles des faisceaux d'ions lourds	55
4.2 - L'amélioration de la valorisation industrielle des innovations techniques de la recherche	64
4.3 - Le développement des synergies entre les établis- sements du Campus 2	65
4.4 - Le développement des moyens humains de recherche dans la région	67

	<u>Pages</u>
5 - PERSPECTIVES pour la CONSTRUCTION à TERME d'un NOUVEAU GRAND EQUIPEMENT de RECHERCHE	73
5.1 - La politique nationale d'implantation des grands équi- pements de recherche, modalités et échéances	73
5.2 - Le projet d'accélérateur d'électrons	74
5.3 - Le projet de collisionneur électron-positron	78
6 - CONCLUSION et RECOMMANDATIONS	85
GLOSSAIRE	
ANNEXES	

1 - INTRODUCTION

I - INTRODUCTION

La décision de construire G.A.N.I.L. à Caen a été prise en juillet 1975.

Quinze ans plus tard, la saisine du Comité Economique et Social par le Président du Conseil Régional de Basse-Normandie (ANNEXE 1) appelle une évaluation des conséquences de cette décision et une étude des moyens à mettre en oeuvre pour lui donner aujourd'hui un prolongement.

Construire G.A.N.I.L. à Caen a été à l'évidence une décision d'une grande portée. Elle supposait, de la part des institutions territoriales, un effort financier important au cours des années de construction, de l'ordre de 80 millions de francs, dans un domaine qui, jusque-là, était de la responsabilité à peu près exclusive de l'Etat.

Elle supposait surtout un engagement à long terme, une vision de l'avenir régional qui constituait une rupture de fait avec les évolutions antérieures de la région. Le bilan présenté au chapitre 2 et les perspectives tracées aux chapitres suivants illustrent que cette orientation vigoureuse vers la recherche de pointe constitue pour la Basse-Normandie un bon moyen de développement.

Investir dans la science n'est pas une décision facile, et G.A.N.I.L. en Basse-Normandie n'échappe pas au sentiment ambivalent d'espérance devant les perspectives ouvertes et d'impatience devant la lenteur des retombées qui caractérise l'attitude du public à l'égard de la science.

D'un côté, dès que la société se voit confrontée à des problèmes devant lesquels elle se sent désarmée, elle fait appel à la recherche pour chercher des solutions. Le SIDA, les grandes catastrophes naturelles, les crises économiques, les besoins en nouveaux matériaux ou en nouvelles sources d'énergie en sont des exemples.

Mais, par ailleurs, les retombées de la recherche fondamentale, dont les études se font loin en amont des applications pratiques, sont par nature retardées et indirectes. On a beau se persuader qu'il n'y a pas de grande puissance économique qui ne soit aussi une grande puissance scientifique, que le handicap majeur des pays en voie de développement est bien souvent leur incapacité à maîtriser les sciences et les techniques, on ne peut s'empêcher parfois de soupirer que les effets induits par le développement scientifique sont un peu lents à venir face aux urgences de la situation économique.

De plus ces retombées sont incertaines. La recherche, par définition, défriche des terrains vierges. Certes les chercheurs font des efforts considérables de prospective scientifique pour identifier les domaines les plus prometteurs mais en fin de compte, puisqu'on entre dans l'inconnu, ces domaines peuvent se révéler ou passionnants ou décevants. Leurs applications pratiques éventuelles sont encore plus imprévisibles.

Il n'y a pas en la matière de recette pour un succès assuré. On doit simplement s'en remettre à un débat ouvert, systématique, permettant une critique réelle des projets de développement. Il y a beaucoup d'exemples où des individus, même brillants, ont fait fausse route. Mais il y en a peu où la communauté tout entière, après débats, projets, contre-projets, expertises, se soit vraiment fourvoyée. De ce point de vue, les conditions dans lesquelles le projet G.A.N.I.L. avait été élaboré entre 1972 et 1975 par une commission large et hétérogène mise en place par l'IN2 P3 et l'IRF offraient les meilleures garanties.

Il n'y a sans doute pas d'autre exemple où un équipement de recherche fondamentale fasse l'objet d'un intérêt régional aussi marqué, reflété par la saisine qui donne lieu à ce rapport. En effet, au-delà des enjeux purement scientifiques, qui relèvent au sens strict d'une évaluation par les instances nationales compétentes, G.A.N.I.L. apparaît en Basse-Normandie comme une réponse à un problème aigu de développement. Dans les années 1970, alors que la crise économique s'approfondissait, que les industries décentralisées qui avaient assuré dix ou quinze ans plus tôt le développement régional rencontraient des difficultés, la Région a voulu être au rendez-vous d'un nouveau type de développement économique fondé sur les techniques de pointe et l'innovation.

G.A.N.I.L. est donc apparu d'emblée comme beaucoup plus qu'un laboratoire de recherche essayant d'élucider des problèmes complexes et abscons liés aux propriétés de la matière, il a été voulu comme une locomotive du développement régional.

Si cette situation est nouvelle pour un établissement scientifique, elle n'a rien d'illégitime. On ne peut pas répéter à tout vent que la science est devenue une force productive sans en tirer toutes les conséquences. Il est donc normal, même si c'est inédit, que l'on examine ce laboratoire de recherche, G.A.N.I.L., ses quinze ans d'activité et son avenir, sous l'angle du développement régional.

Il peut être utile ici de situer rapidement le rôle de G.A.N.I.L. comme un des atouts de la Basse-Normandie dans la politique d'aménagement du territoire. Cette dernière paraît souvent osciller entre deux exigences contradictoires, un souci de cohérence qui amène à implanter un nouvel équipement là où d'autres l'attendent pour des synergies efficaces, et un souci de développement qui conduit plutôt à faire d'un nouvel équipement le point d'appui d'abord solitaire d'aménagements régionaux à venir. Le premier aspect favorise les régions déjà fortement équipées et les instances régionales bas-normandes ont eu ces dernières années trop souvent l'occasion de déplorer ses effets négatifs, en particulier dans le domaine des communications. L'implantation du G.A.N.I.L. à Caen, même si elle n'a pas résulté d'une mesure planifiée, répondait à l'évidence au second souci. Elle permet désormais de poursuivre une politique d'implantations scientifiques au nom des deux principes énoncés ci-dessus. G.A.N.I.L. offre, en effet, un point d'appui pour de nouvelles implantations, et CYCERON constitue un exemple remarquable des synergies possibles. La réussite de G.A.N.I.L. montre aussi qu'un développement original et volontariste en région peut se révéler d'une grande efficacité.

Un tel développement est même aujourd'hui impératif dans le domaine de la recherche. On ne peut, en effet, considérer comme indéfiniment tolérable que l'Ile-de-France concentre 60 % des chercheurs du secteur industriel et 53 % des chercheurs des services publics. Comment l'industrie partout en France pourrait-elle bénéficier des développements de la recherche si un tel déséquilibre géographique subsistait ? Il n'est pas satisfaisant non plus de constater que, bénéficiaire d'une attribution disproportionnée de moyens de recherche publics (58 %), la région Ile-de-France puisse se contenter de n'investir dans ce domaine que 1,5 % de tous les crédits de recherche d'origine régionale.

Cette situation singulière ressort clairement des tableaux ci-après, extraits du rapport (1) présenté en 1989 par Jean TEILLAC au Conseil Economique et Social National sur le thème "l'économie française souffre-t-elle d'une insuffisance de la recherche ?". Cette situation est unique dans les grands pays industrialisés : aucune région de R.F.A. ne dispose de plus du quart du potentiel de recherche allemand. L'équilibre remarquable aussi bien entre l'ensemble des Länder d'une part, qu'entre le financement fédéral et régional d'autre part, qui apparaît sur le tableau ci-après, extrait lui aussi du rapport de Jean TEILLAC (1), contribue probablement aux succès obtenus par l'Allemagne en matière de développement scientifique et économique. De même Londres ne concentre que le tiers du potentiel anglais. Le déséquilibre du développement régional en matière de recherche et développement que l'on constate ainsi dans notre pays doit être corrigé. La Basse-Normandie a la volonté d'y contribuer et des atouts à faire valoir. Ce rapport s'efforce d'énoncer les moyens d'une telle évolution.

Comparaison entre les financements d'Etat et les apports régionaux
(MF, année 1985)

	B.C.R.D. RÉGIONALISÉ		APPORTS RÉGIONAUX	
	Total	dont A.P.	Volume	% des A.P. du B.C.R.D.
Ile-de-France.....	19 077,3	10 182,3	6,5	0,08
Alsace.....	757,4	273,9	13	4,75
Aquitaine.....	488,5	185,2	33,4	18,03
Auvergne.....	288,4	97,3	7,8	7,81
Bourgogne.....	174,9	64,9	12	21,88
Bretagne.....	803,0	432,9	30	8,93
Centre.....	687,4	247,1	10,8	4,37
Champagne Ardenne.....	47,3	33,8	12,5	37,2
Corse.....	24,8	8,7	3,8	43,7
Franche-Comté.....	74,5	40,6	11,8	29,1
Languedoc-Roussillon.....	1 331,2	576,9	12,9	2,24
Limousin.....	39,7	28,5	11,8	41,4
Lorraine.....	433,4	218,6	14	8,40
Midi-Pyrénées.....	1 985,4	1 189,8	21,8	1,85
Nord - Pas-de-Calais.....	308,8	167,4	58,5	35,9
Basse-Normandie.....	200,1	178,7	12,3	8,98
Haute-Normandie.....	95,9	87	7,0	10,45
Pays de la Loire.....	408,3	211,7	15,9	7,51
Picardie.....	93,1	86,0	15,2	23,0
Poitou-Charantes.....	185,2	59,2	3,8	8,42
Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	2 618,0	1 057,8	85,2	8,18
Rhône-Alpes.....	2 441,1	1 088,5	42	3,88
Total province.....	13 420,2	6 252,2	413,1	8,01
Total métropole.....	32 497,5	18 434,5	419,8	2,55

Sources : M.R.E.S., S.A.R.R.T.

(1) - Rapport TEILLAC, J.O. (avis et rapports du C.E.S.N.) 2 juin 1989.

*Comparaison des P.I.B. et des B.C.R.D. régionalisés
(Année 1984)*

	P.I.B. Milliarde F	% P.I.B. national	B.C.R.D. MILLIONS F	% B.C.R.D. de la métropole	% B.C.R.D./ % P.I.B.
Ile-de-France.....	1 107,90	27,11	15 596,1	57,78	2,13
Alsace.....	124,14	3,04	842,9	2,39	0,78
Aquitaine.....	189,83	4,64	442,0	1,64	0,35
Auvergne.....	77,54	1,90	248,9	0,92	0,48
Bourgogne.....	103,78	2,54	206,3	0,76	0,30
Bretagne.....	166,31	4,07	887,1	2,55	0,83
Centre.....	155,12	3,80	439,8	1,63	0,43
Champagne - Ardenne.....	95,98	2,35	44,2	0,16	0,07
Corse.....	12,71	0,31	25,0	0,09	0,29
Franche-Comté.....	73,37	1,80	88,1	0,25	0,14
Languedoc-Roussillon.....	112,28	2,76	1 214,7	4,50	1,64
Limousin.....	41,20	1,01	34,6	0,13	0,13
Lorraine.....	154,48	3,78	345,9	1,28	0,34
Midi-Pyrénées.....	142,40	3,48	1 392,8	5,16	1,49
Nord - Pas-de-Calais.....	246,12	6,02	273,4	1,01	0,17
Basse-Normandie.....	84,34	2,08	239,0	0,89	0,43
Haute-Normandie.....	136,05	3,33	132,3	0,49	0,16
Pays de la Loire.....	191,76	4,69	316,2	1,17	0,25
Picardie.....	115,14	2,82	80,8	0,23	0,08
Poitou-Charentes.....	91,47	2,24	177,6	0,66	0,29
Provence - Alpes - Côte d'Azur.....	281,91	6,90	2 258,6	8,38	1,21
Rhône - Alpes.....	373,39	9,14	2 147,8	7,96	0,87
Total Province.....	2 978,96	72,89	11 395,5	42,22	0,58
Total Métropole.....	4 086,88		28 991,8		

Sources : I.N.S.E.E, S.I.R.F.- M.R.E.S., S.A.R.R.T.

*R.F.A. (1985) : contributions à la recherche et développement
(Les crédits sont en millions de DM)*

	DISTRIBUTION des crédits fédéraux		DÉPENSES des « Länder »	
Bade-Wurtemberg.....	2 327,4	18,3	1 588	18,2
Bavière.....	2 824,7	21,4	1 409	16,1
Berlin.....	678,0	5,3	776	8,9
Brême.....	272,2	2,1	86	1
Hambourg.....	688,7	5,4	362	4,1
Hesse.....	627,0	4,9	725	8,3
Basse-Saxe.....	1 106,2	8,7	916	10,5
Rhénanie-Westphalie.....	2 523,2	19,9	2 152	24,6
Rhénanie-Palatinat.....	185,4	1,5	328	3,8
Sarre.....	79,8	0,6	130	1,4
Schleswig-Holstein.....	491,4	3,9	298	3,0
Etranger.....	1 097,3	8,6	13	0,1
Total.....	12 701,2	100,0	8 742	100,0

Source : Bundeberichte Forschung 1988.

11 - BILAN 1975-1990

2 - BILAN 1975-1990

2.1 - Le bilan scientifique

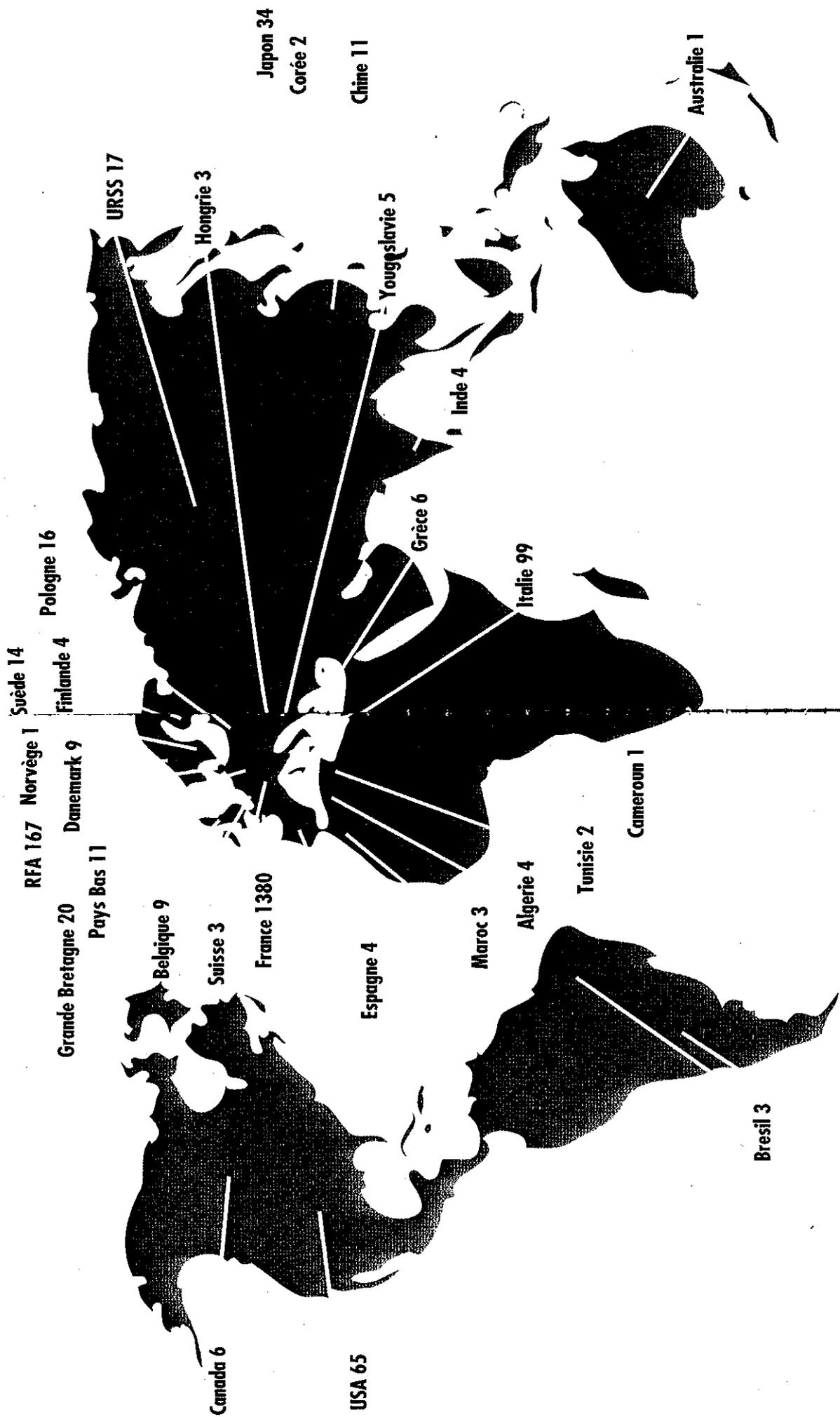
Une mesure quantitative du succès scientifique n'est guère possible. Comment mesurer, en effet, ce qui en est la sanction la plus claire : qu'un laboratoire soit reconnu par la communauté internationale comme étant au tout premier rang par sa qualité technique et l'intérêt de ses résultats scientifiques ? C'est certainement le cas du G.A.N.I.L., tous les signes, tous les témoignages l'indiquent. Ainsi, des équipes viennent du monde entier y travailler comme le montre la carte ci-après extraite de la récente plaquette (1) éditée par G.A.N.I.L.. Elle indique l'origine des physiciens ayant participé à des expériences entre 1985 et 1988 (35 % du temps de faisceau disponible sont utilisés par des équipes étrangères). De même, le flux de publications issu des travaux du G.A.N.I.L. témoigne de la grande fécondité de ce nouvel outil de recherche (voir tableau ci-dessous).

Années	PHYSIQUE NUCLEAIRE			PHYSIQUE NON NUCLEAIRE			Total
	Revues	Conférences	Ecoles	Revues	Conférences	Ecoles	
1983	2	-	-	-	-	-	2
1984	11	1	4	-	-	-	16
1985	28	8	12	-	-	-	48
1986	27	25	10	3	1	-	66
1987	27	10	13	10	5	-	65
1988	19	12	13	6	12	-	62
1989	19	14	10	17	20	-	80
Total	133	70	62	36	38	-	339

Répartition de l'ensemble des publications G.A.N.I.L. :

- selon leur nature : physique nucléaire, physique non nucléaire,
- selon leur forme : articles de revues, de conférences, d'écoles.

(1) - G.A.N.I.L., plaquette (1990) diffusée par G.A.N.I.L., service de documentation, B.P. 5027, 14021 Caen Cedex.



Période 1985-1988

Argentine 1

Parmi ces publications, 61 % résultent de collaborations internationales. Pour prendre un exemple, six laboratoires américains (Michigan State University, Los Alamos National Laboratory, Stony-Brook University, University of Wisconsin, Tennessee Technological Institute, Texas A and M University) en physique nucléaire, trois en physique non nucléaire (University of Berkeley, Livermore Laboratory, Oak Ridge National Laboratory) ont collaboré à des publications communes avec des laboratoires français.

Les physiciens qui travaillent au G.A.N.I.L., les directeurs du laboratoire sont invités à un nombre considérable de congrès, colloques, séminaires pour présenter les résultats des recherches accomplies avec les faisceaux de G.A.N.I.L.. Un exemple parmi bien d'autres de cette reconnaissance du G.A.N.I.L. par ses pairs : lorsqu'a été mis en place, avec le soutien des grands organismes de recherche tels que le C.N.R.S. et le C.E.A., un Comité Européen pour coordonner la physique nucléaire à l'échelle d'une douzaine de pays de l'Europe occidentale, en 1988, c'est le directeur du G.A.N.I.L. qui a été élu pour le présider.

Au risque d'utiliser quelques termes et quelques concepts un peu spécialisés, il est sans doute nécessaire d'indiquer ici les deux grands domaines d'étude du noyau atomique où G.A.N.I.L. a acquis, au plan mondial, une position très forte, et parfois même dominante.

Jusqu'à il y a une quinzaine d'années, l'étude des noyaux était celle de leur structure telle que la nature nous les présente, dans leur état énergétique le plus stable, ou dans l'un des quelques états d'excitation où l'on savait les amener par des processus d'excitation simples. Désormais, on s'efforce de façon plus générale d'élucider les lois qui gouvernent l'évolution de la matière nucléaire lorsqu'on lui confère une très grande énergie d'excitation, ou une déformation importante, ou si l'on crée de grandes inhomogénéités d'excitation, bref lorsqu'on place cette matière nucléaire -dont sont faits les noyaux atomiques- très loin des conditions d'équilibre. De même qu'il y a deux ou trois siècles, on a étudié la thermodynamique des gaz, en les chauffant, en les comprimant, on essaye aujourd'hui de connaître les propriétés de la matière nucléaire. Il s'agit d'une tâche ardue, où les concepts mêmes (température ? pression ?) sont à définir et qui a une évidente portée théorique générale pour la connaissance de la matière : les noyaux d'atome sont, en effet, l'élément constituant des étoiles et représentent donc l'essentiel de la matière visible de l'univers. Les études menées à G.A.N.I.L. sont au coeur de ce problème.

Le second domaine d'excellence du G.A.N.I.L., dans le domaine de la physique nucléaire, est l'étude des noyaux dits exotiques, c'est-à-dire très différents, par les nombres de protons et de neutrons qu'ils comportent, des noyaux stables qui constituent la matière ordinaire. Ces recherches ont montré que les voies par lesquelles un noyau se désintègre pour donner naissance à un système plus stable sont bien plus diverses qu'on ne l'imaginait, le noyau pouvant émettre bien autre chose que les rayons α , β et γ de la radioactivité traditionnelle. Autre nouveauté découverte avec ces noyaux exotiques : la règle générale qui veut que tous les noyaux aient la même densité est prise en défaut. On observe des noyaux entourés d'un halo de

neutrons, des structures où la matière nucléaire subsiste avec une faible densité. Dans ces domaines qui renouvellent notre représentation des noyaux, le rôle de G.A.N.I.L. est tout à fait essentiel.

Tout indique qu'en moins de 10 ans, G.A.N.I.L. qui était reconnu comme un éclatant succès dans la construction d'un accélérateur complexe et performant, est devenu un grand laboratoire de recherche fondamentale.

2.2 - Les relations économiques régionales de G.A.N.I.L.

Dans le cadre d'un bilan de l'impact de G.A.N.I.L. sur le développement régional, on doit d'abord examiner la part de son budget que G.A.N.I.L. dépense dans la région, et la nature des prestations concernées. Deux rapports ont été commandés par le C.E.BA.NOR. pour étudier cet aspect important, celui de Melle Fabienne ZELLNER (1) en 1982 portant sur la phase de construction et celui de M. Michel FISZBIN (2) en 1983 portant sur la phase d'exploitation. La suite de ce chapitre s'appuie largement sur les données et les conclusions contenues dans ces rapports.

Moins d'un quart du montant des commandes et marchés passés par le G.I.E. G.A.N.I.L. pour la construction de l'accélérateur et du laboratoire en général a échu à des entreprises de Basse-Normandie. Plus précisément, 216 entreprises régionales ont travaillé à la construction du G.A.N.I.L. entre 1975 et 1981, réalisant un chiffre d'affaires de 97,47 millions de francs (en francs courants), soit 22,7 % du total. Dix de ces entreprises ont à elles seules absorbé plus de 80 % de la valeur des marchés passés sur la région. On note que la part essentielle de ces marchés concerne la construction des bâtiments (42 % du total régional). Mais on remarque des participations significatives dans les domaines de la construction électrique et électronique, de la fonderie et du travail des métaux, des services marchands aux entreprises, du commerce de gros non-alimentaire. Les cinq secteurs d'activité cités absorbent ensemble près de 90 % du total régional.

Les faiblesses du tissu industriel régional à l'époque de la construction (1976-1981) apparaissent clairement si l'on note que, en écartant le poste "bâtiment", les entreprises régionales n'ont absorbé que 6,5 % du total des dépenses d'investissement, et n'ont pu rétablir un bilan plus satisfaisant que grâce aux dépenses de fonctionnement où l'effet de proximité peut jouer et dont elles ont recueilli 40 % du total.

(1) - Fabienne ZELLNER : étude de l'impact de la construction du G.A.N.I.L. en Basse-Normandie, rapport C.E.BA.NOR. (décembre 1982).

(2) - Michel FISZBIN : l'impact régional du G.A.N.I.L. en phase d'exploitation et les perspectives d'utilisations appliquées des faisceaux d'ions lourds, rapport C.E.BA.NOR. (juillet 1983).

S'il était difficilement évitable que des marchés faisant appel à des technologies très spécialisées échappent à la région, le rapport de Fabienne ZELLNER note que tel n'était pas le cas des marchés de mécanique et d'électronique et que de nombreuses commandes auraient pu être emportées par des entreprises locales si des investissements en compétence et en matériel avaient été faits à temps.

Dans la phase d'exploitation, une évolution intéressante s'est opérée. Pour sa part, le budget d'investissement (environ 10 millions de francs par an) reproduit la tendance antérieure : s'agissant d'équipements importants et nouveaux, seulement une assez faible part, très variable dans son montant, revient aux entreprises régionales. Mais par contre le budget de fonctionnement, d'un montant beaucoup plus important (environ 60 millions de francs par an), est dépensé à peu près pour moitié dans la région si on en retire la part de l'électricité (environ 10 millions de francs) difficilement localisable.

Les commandes passées à des entreprises régionales concernent les fournitures courantes, l'entretien général des accélérateurs et des bâtiments, l'outillage, les appareillages et les matières premières classiques ainsi que les services administratifs. Par exemple, le rapport FISZBIN indique que les services du secrétariat général engagent 64 % de leur budget dans la région, ceux de la maintenance générale des installations 88 %, les services des bâtiments 96 %, le service médical 87 %. On relève aussi que le groupe de mécanique passe des marchés à hauteur de 72 % de son budget total avec des entreprises de la région. La sous-traitance des réalisations et de l'usinage est le plus souvent assurée par des ateliers régionaux. En ce sens certaines défaillances notées plus haut pour la période de construction, en mécanique et en électronique, paraissent en voie d'être surmontées.

Il est intéressant de noter que le marché ouvert par G.A.N.I.L. a incité certaines entreprises à s'implanter dans la région, et donc à y accroître leurs activités et à y créer des emplois. On peut citer, à titre d'exemples, la SHR (restauration d'entreprise, gestion hôtelière) venue de Rouen, la STAIM (câblage électronique).

Le rapport de Michel FISZBIN proposait des mesures pour que l'industrie régionale bénéficie au mieux d'un effet d'entraînement du G.A.N.I.L.. L'une a été suivie d'effet : des journées d'études G.A.N.I.L.-industrie ont été organisées avec succès dans deux domaines techniques : les automates programmables, et le vide. Une autre recommandait que l'évolution des commandes régionales du G.A.N.I.L. soit suivie systématiquement. Maintenant que d'autres installations scientifiques de haut niveau sont en opération, on pourrait substituer à cette proposition celle que se réunissent à intervalles réguliers les responsables techniques de ces installations et les instances chargées du développement économique régional pour identifier ensemble les domaines où les capacités régionales sont insuffisantes bien que les commandes des centres de recherche soient substantielles et examiner les solutions possibles. Cette connaissance fine des besoins, au niveau de chaque domaine technique, pourrait s'avérer plus fructueuse qu'un simple bilan statistique.

Une estimation conservatrice, parce que ne prenant pas en compte les aspects induits tels que les implantations d'entreprises mentionnées ci-dessus, des apports financiers du G.A.N.I.L. à la région, peut être obtenue en prenant en compte la part du budget du G.A.N.I.L. dépensée dans la région, environ 30 millions de francs annuels, et la masse salariale correspondant aux 230 emplois créés au G.A.N.I.L., que l'on peut estimer à 35 millions de francs annuels. Depuis la création du G.A.N.I.L., une somme d'environ 700 millions de francs (valeur 1990) a ainsi été directement injectée dans l'économie régionale à partir de crédits de l'Etat.

Il est difficile d'estimer les emplois induits dans la région par ces dépenses budgétaires. On peut cependant retenir l'hypothèse utilisée par le Professeur François ORIVEL, Directeur de l'Institut de Recherche sur l'économie de l'éducation, pour estimer l'impact économique d'une implantation universitaire (1). Selon cette méthode, chaque nouvel emploi universitaire crée 0,2 emploi dans les services. Ainsi ce serait près de 50 emplois induits qui auraient été créés à ce titre. De plus, les 30 millions de francs du budget G.A.N.I.L. injectés annuellement dans l'économie régionale induiraient, suivant le même auteur, dix ou vingt emplois supplémentaires.

Pour être complet, il faut relever que les 230 emplois existant à G.A.N.I.L. produisent des recettes fiscales locales additionnelles qui sont de l'ordre d'un million de francs. Il convient certes de déduire les charges supplémentaires sur les finances locales dues à ces nouveaux habitants mais le solde positif représente encore une bonne partie du million de francs (1 013 250 francs en 1990) inscrit au budget des collectivités territoriales pour les annuités d'emprunts consacrés au G.A.N.I.L..

Tout compte fait, il apparaît donc que, même au strict plan financier, l'investissement régional consenti pour la réalisation du G.A.N.I.L. représente à terme une charge bien moindre que ce qu'elle a pu initialement apparaître.

2.3 - Les effets indirects induits par G.A.N.I.L. dans la région

La section 2.2 précédente a examiné les conséquences directes sur l'économie régionale des dépenses budgétaires du G.A.N.I.L.. En fait, les conséquences économiques de l'implantation du G.A.N.I.L. à Caen vont bien au-delà de ces effets directs, même s'il est plus difficile de quantifier les effets indirects, induits de l'activité du G.A.N.I.L..

L'effet essentiel de la présence du G.A.N.I.L. est peut-être un effet d'image, une définition d'identité. G.A.N.I.L., par sa seule présence (et par son succès), indique une direction d'avenir, à l'usage des Bas-Normands

(1) - F. ORIVEL : l'Université, une bonne affaire pour les communes, Le Monde 7.2.91.

comme à celle des investisseurs publics ou privés extérieurs à la région. A une époque où la vraie richesse est aussi celle des savoir-faire, la Basse-Normandie s'inscrit dans une perspective de priorité au développement technologique, avec un instrument de grande visibilité. Un rapprochement s'impose avec un autre "signe", le Mémorial pour la Paix qui lui aussi regarde, à partir du passé, vers les grandes questions de notre avenir. Il est à l'évidence difficile de savoir quelle part il convient d'attribuer à un instrument comme le G.A.N.I.L. dans le changement d'image qui est en train de s'opérer au bénéfice de notre région. Mais on constate qu'il est fait mention de son activité dans toutes les analyses que les médias nationaux consacrent à la Basse-Normandie.

L'effet principal est sans doute à l'usage des Bas-Normands eux-mêmes parce que G.A.N.I.L. symbolise fortement une troisième et nouvelle voie d'activité, à côté d'une forte tradition agricole et des grandes entreprises de main-d'oeuvre implantées en Basse-Normandie dans les années 1950-1960. Le danger était que cette voie nouvelle leur demeurât largement étrangère, plaquée en quelque sorte sur la réalité régionale. On peut constater aujourd'hui que tel n'est pas le cas. L'intensité des liens économiques décrits dans la section 2.2, ainsi que le développement d'autres activités scientifiques sur le plateau nord de Caen ont eu raison du danger d'isolement. Des facteurs humains ont aussi joué un rôle important, car G.A.N.I.L. lui-même a cherché à tisser des liens de cette nature avec l'environnement régional. Des journées "portes ouvertes" ont accueilli 2 000 personnes en 1984, 2 300 en 1987, 2 700 en 1989, et tout au long de l'année des groupes organisés sont accueillis pour des visites guidées. G.A.N.I.L. a aussi manifesté une activité importante dans le domaine des conférences et des expositions qui ont circulé dans les bibliothèques et dans les lycées de la région (et également hors région, en particulier au Havre, au Mans, au Salon de la Physique et au Festival de l'Industrie et de la Technologie à Paris). Rappelons en particulier la présence du G.A.N.I.L. avec un stand très fréquenté à la Foire de Caen en 1983 et l'exposition "voyages au coeur de la matière" qui accueillit 15 000 visiteurs sur l'esplanade de l'Hôtel de Ville de Caen. Ce contact diversifié avec le grand public a joué son rôle d'information et d'entraînement. Il est utile de rappeler, dans le même esprit, le rôle joué par G.A.N.I.L. dans la formation par la recherche des jeunes étudiants de la région. Durant les années 1986-1989 par exemple, 150 stages ont fourni à des jeunes l'occasion, soit d'un premier contact avec le monde professionnel, soit d'un approfondissement de leurs connaissances, tout l'éventail des niveaux d'étude, du B.T.S. au Doctorat, étant représenté. Cette formule de stage s'étant révélée particulièrement appréciée des jeunes, G.A.N.I.L. en accueille maintenant environ 70 par an.

Même connu de la population, même inséré dans le tissu économique régional, G.A.N.I.L., s'il était resté le seul établissement de recherche sur le plateau nord de Caen, n'eût pas répondu à l'attente régionale. Le vrai signe du succès, la mesure véritable des effets induits de l'implantation décidée en 1975, c'est que G.A.N.I.L. n'est plus seul.

La première conséquence de la présence du G.A.N.I.L. a été la création en 1982 du Centre Interdisciplinaire de Recherche avec les Ions Lourds (C.I.R.I.L.), laboratoire commun au C.E.A. et au C.N.R.S., avec un effectif permanent fort aujourd'hui de 12 chercheurs, ingénieurs, techniciens et

administratifs. Ce n'est pas la première fois qu'avec un accélérateur on fait autre chose que de la physique nucléaire. Il y a eu et il y a ailleurs des programmes de recherche en physique atomique et en physique de la matière condensée avec des faisceaux. Mais l'originalité a été de créer une structure autonome ayant comme G.A.N.I.L. une fonction de laboratoire d'accueil. La création du C.I.R.I.L., son dynamisme ont fortement contribué, dans un nouveau domaine, à donner une image scientifique forte à Caen et ont favorisé le développement des équipes locales de l'I.S.M.Ra..

Un second développement, tout à fait essentiel, a été obtenu avec la décision de construire CYCERON, annoncée en février 1983 par le Ministre de la Recherche et de la Technologie, lors de l'inauguration officielle du G.A.N.I.L.. Face à la forte concurrence d'autres villes, l'existence du G.A.N.I.L., l'appui technique qu'on pouvait en attendre ont pesé d'un poids décisif pour obtenir, difficilement, cette décision positive. A son tour, la présence de CYCERON où travaillent déjà en permanence une trentaine de personnes et les succès remarquables obtenus par cet équipement, justifient le développement à Caen des sciences de la vie qui ne constituaient pas un point fort traditionnel. Par exemple, CYCERON représente un des atouts majeurs dans le développement revendiqué d'un fort pôle caennais dans le domaine du médicament.

Enfin, le développement de l'I.S.M.Ra., dû d'abord aux efforts de l'Institut lui-même et au soutien important qu'il n'a cessé de recevoir des instances régionales, a lui aussi bénéficié de la présence du G.A.N.I.L. et des possibilités de recherches nouvelles qu'il a offertes aux équipes de l'I.S.M.Ra..

C'est donc un développement important, cohérent, et assez rapide au regard des délais qu'implique en général une évolution en profondeur des structures, que l'on peut observer au cours de la dernière décennie sur le plateau nord de Caen. Il a abouti à la constitution, autour du G.A.N.I.L., d'un pôle scientifique fort. Il convient à la fois de mesurer l'importance de cet acquis et de garder à l'esprit qu'à l'échelle des évolutions et des regroupements que les perspectives européennes accélèrent, ce pôle demeure fragile et qu'il faut le développer (voir en particulier la section 4.3). Il n'empêche que sans les succès obtenus, il aurait été illusoire de vouloir créer cet outil nouveau et inédit (en tout cas au niveau régional) de développement économique qu'est Synergia, la Technopole de Caen-Normandie.

Cette analyse des effets induits du G.A.N.I.L. doit enfin inclure un aspect qui, s'il est le plus immédiatement visible, ne peut pas être le plus important, celui de la création d'entreprises directement suscitée par les résultats du G.A.N.I.L.. Comme on l'a déjà dit, la mission essentielle du G.A.N.I.L., celle qui justifie son existence, est la création de connaissances de nature fondamentale sur la matière. On ne peut donc s'attendre à ce que ses résultats conduisent inévitablement à des créations d'entreprises, même si (la Loi d'Orientation et de Programmation de juillet 1982 a beaucoup contribué à ce que cette exigence s'impose à tous) tout chercheur doit veiller à la possibilité d'applications industrielles de ses recherches. Que deux entreprises,

Biopore et GAN'ELEC (voir sections 4.1 et 4.2), et une douzaine d'emplois aient été créées en conséquence directe des activités du G.A.N.I.L. montre que ce laboratoire a fait une politique active de valorisation et que des résultats sont possibles.

Le chapitre 4 dans son ensemble s'attache à examiner comment peuvent être encore développés les effets induits du G.A.N.I.L. dans la région, aux plans scientifique et économique.

**III - DÉVELOPPER G.A.N.I.L. ET DIVERSIFIER
SES ACTIVITÉS**

3 - DEVELOPPER G.A.N.I.L. et DIVERSIFIER ses ACTIVITES

3.1 - L'objectif : accroître le personnel scientifique

Le nombre maximum de chercheurs scientifiques affectés à G.A.N.I.L. est de 15. Il a été fixé en 1978 pendant la phase de construction de l'accélérateur lors de journées où les futurs utilisateurs venus de tous les laboratoires français s'efforçaient de définir les équipements communs et le mode de fonctionnement du futur laboratoire.

Dès sa conception, G.A.N.I.L. fut un laboratoire national, c'est-à-dire que son objectif premier était de fournir des moyens d'études à l'ensemble des chercheurs français, qu'ils relèvent du C.N.R.S., des Universités ou du C.E.A.. G.A.N.I.L. devait être leur laboratoire. Des restrictions financières importantes avaient été imposées à tous les laboratoires pour sa réalisation et tous s'investissaient très concrètement dans la réalisation des grands équipements expérimentaux du G.A.N.I.L.. Il n'était donc pas question qu'à la fin les physiciens qui seraient affectés au G.A.N.I.L. aient un accès privilégié à ce nouvel instrument. Il convenait donc, pensait-on, de limiter leur nombre. Certains auraient volontiers fixé ce nombre à zéro, faisant de G.A.N.I.L. un simple laboratoire de service. L'idée que ce devait être un vrai laboratoire de recherche prévalut, et un compromis se fit sur la présence d'un nombre maximum de 15 physiciens, ce qui assurait que l'accès aux utilisateurs extérieurs resterait largement ouvert. On précisa que ces physiciens, qui devaient assurer des tâches d'intérêt collectif facilitant l'accueil des utilisateurs extérieurs, seraient affectés au G.A.N.I.L. pour 5 ans, dans le même souci d'éviter que s'établissent et se pérennisent des situations privilégiées.

Ces préoccupations étaient légitimes. L'expérience acquise depuis que les expériences ont commencé à G.A.N.I.L., en 1983, amène cependant à proposer que l'on révisé ces règles. Quatre constatations s'imposent.

Premièrement, le caractère restrictif et contraignant de ces règles a plutôt découragé les candidatures. Malgré les efforts entrepris, il n'y a presque jamais eu 15 chercheurs à G.A.N.I.L.. Il faut mesurer, en effet, qu'un chercheur de qualité s'efforce de constituer autour de lui une équipe, de se doter de moyens expérimentaux performants, et que cela demande des années et exige un soutien permanent du laboratoire où ce chercheur travaille. Un séjour de 5 ans au G.A.N.I.L., même s'il est fructueux au plan scientifique, oblige à repartir ailleurs de zéro dans cette oeuvre de longue haleine. L'insuffisance, toujours reconnue mais jamais résolue, des moyens incitatifs à la mobilité qui permettraient de compenser les dépenses liées à un déplacement pour 5 ans, les difficultés d'emploi du conjoint, etc..., ont aussi joué un rôle dissuasif.

Deuxièmement, la preuve est maintenant faite que l'accès aux faisceaux du G.A.N.I.L. n'a été fondé que sur la qualité des propositions d'expériences, évaluée par un comité indépendant de la direction du laboratoire. Les craintes exprimées il y a 12 ans n'ont donc plus lieu d'être.

Troisièmement, une évolution de la structure des équipes expérimentales qui utilisent G.A.N.I.L. s'est produite et elle amène à reconsidérer le rôle des physiciens G.A.N.I.L.. La première génération des équipements expérimentaux avait été construite dans les laboratoires extérieurs sur le budget G.A.N.I.L.. Mais aujourd'hui alors que la seconde génération se met en place (voir section 3.2), on constate que c'est à G.A.N.I.L. même que les initiatives sont prises et que les laboratoires extérieurs, et seulement quelques-uns d'entre eux, interviennent dans ces projets comme collaborateurs mais non plus comme maîtres d'oeuvre (ce qui n'enlève rien au rôle essentiel qu'ils jouent dans certains cas). De plus, en 1983-1984, des équipes venues de la plupart des laboratoires français proposaient des expériences, alors qu'aujourd'hui une concentration très sensible s'est opérée. Seuls quelques laboratoires, avec des équipes renforcées, et souvent en collaboration entre elles, proposent des expériences de plus en plus lourdes et complexes. Seuls donc des ensembles scientifiques importants peuvent désormais jouer un rôle significatif. G.A.N.I.L. n'échappe pas à la règle, et, de ce point de vue, malgré la qualité du soutien technique disponible au laboratoire, 10 à 15 physiciens, répartis (tâches d'intérêt collectif obligent) entre les différents programmes scientifiques, ne suffisent pas à la tâche.

Quatrièmement, une comparaison avec le laboratoire allemand G.S.I. de Darmstadt, qui joue en R.F.A. un rôle assez semblable à G.A.N.I.L. et constitue l'autre pôle européen de recherche en physique des ions lourds, est particulièrement instructif. G.S.I. accueille de nombreuses équipes extérieures et compte pourtant 58 physiciens dont la durée du séjour n'est pas limitée a priori et qui sont engagés à temps plein dans la recherche (d'autres participent à la réalisation des projets du laboratoire).

Il paraît donc aujourd'hui nécessaire, pour le développement des activités de recherche, et pour l'avenir du G.A.N.I.L. lui-même qui importe à la région, que les mesures restrictives fixées autrefois (moins de 15 physiciens pour un mandat de 5 ans) tombent en désuétude.

Un objectif raisonnable serait de passer en quelques années à 30 physiciens. Cet objectif ne peut être atteint que si les deux organismes qui affectent des physiciens à G.A.N.I.L., l'IN2 P3 du C.N.R.S. et le DSM du C.E.A., le font leur. Des facteurs favorables existent. Le Directeur Général du C.N.R.S. a récemment indiqué sa volonté d'un rééquilibrage régional. Par ailleurs, le rapport MAILFERT (1) recommande un redéploiement géographique du C.E.A.. En effet, la logique des grands programmes confiés au C.E.A. avait conduit à une organisation lourde avec 5 grands centres rassemblant des milliers de personnes. Dans la phase nouvelle où le C.E.A. diversifie et redéploie ses activités, et en accord avec les recommandations du rapport MAILFER, Caen peut offrir au C.E.A. des perspectives réalistes d'implantation. C'est en effet le seul site universitaire où le C.E.A. soit déjà présent de façon significative avec une centaine d'agents. Par ailleurs, les perspectives de recherche avec les ions lourds qu'un rapport interne du C.E.A.(2) considère comme particulièrement

(1) - Rapport Alain MAILFERT "Recherche et Territoire" (La Documentation Française).

(2) - Rapport PAILLOTIN (C.E.A.).

importantes dans les 5 prochaines années, se réaliseront essentiellement à G.A.N.I.L.. Or de nombreux chercheurs C.E.A. actifs dans ce domaine se trouvent pour l'instant à Saclay et Grenoble où les accélérateurs (le Booster et SARA, respectivement) ont des performances ou des perspectives limitées. Une mobilité significative de chercheurs vers G.A.N.I.L. mérite donc d'être envisagée.

Les quinze physiciens du G.A.N.I.L. ne sont pas cependant les seuls physiciens nucléaires que compte Caen. A quelques centaines de mètres à peine, il y en a une vingtaine d'autres, enseignants ou chercheurs C.N.R.S., au Laboratoire de Physique Corpusculaire (L.P.C.) de l'I.S.M.Ra.. Le total de 35 physiciens auprès de l'instrument essentiel de la recherche française dans ce domaine demeure largement trop faible, si on le compare au chiffre de 380 qui représente à peu près le total des enseignants et chercheurs C.N.R.S. de physique nucléaire dans notre pays. C'est ce nombre de 35 physiciens qui doit être significativement accru dans les prochaines années à G.A.N.I.L., ou au L.P.C., ou plus raisonnablement dans ces deux laboratoires.

3.2 - Les nouveaux équipements expérimentaux

Comme on l'a rappelé au paragraphe 3.1, les équipements expérimentaux du G.A.N.I.L. ont été construits dans les divers laboratoires français, à partir des réflexions que la communauté scientifique avait développées à la fin des années 1970.

Les résultats scientifiques obtenus ont permis depuis 1983 de mieux préciser les questions à étudier et de nourrir de nouvelles ambitions. Le contrat de plan Etat-Région (1989-1993) a donc mis au centre des objectifs du G.A.N.I.L. pour cette période la mise en place d'équipements de la deuxième génération, en même temps que la réalisation d'améliorations substantielles de l'accélérateur (voir ANNEXE 2).

Jusqu'ici ces nouvelles réalisations ont été couronnées de succès. Il importe d'être vigilant pour que l'ensemble des objectifs fixés dans le contrat de plan soit atteint dans de bonnes conditions.

Rappelons les objectifs et l'état actuel de ces réalisations.

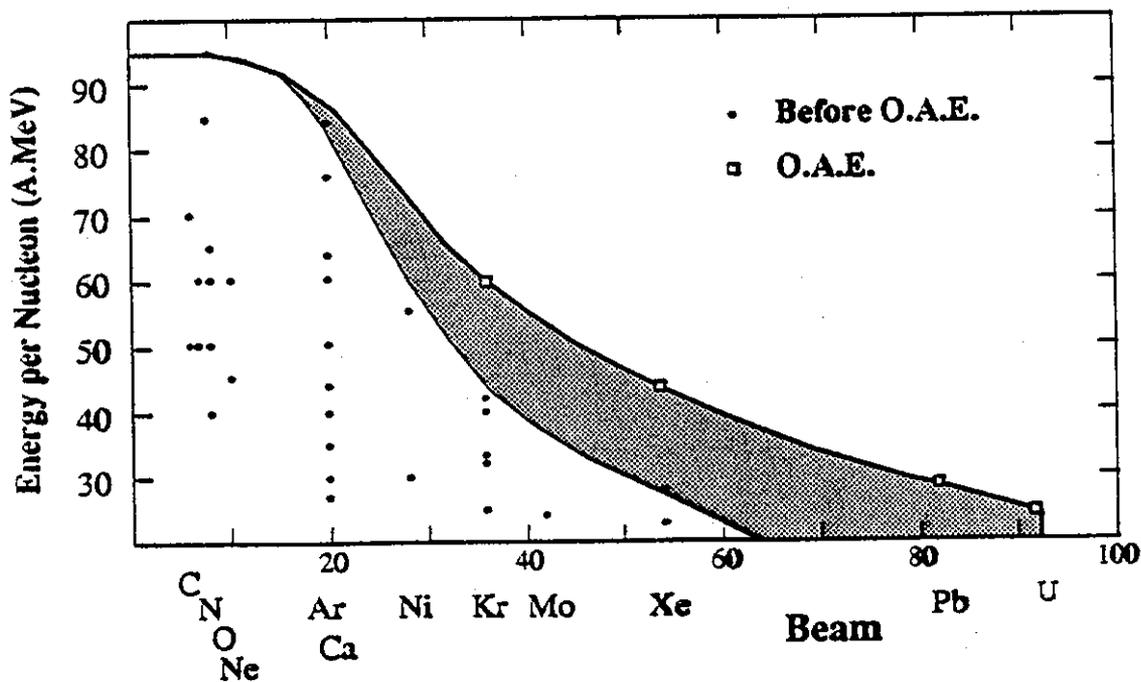
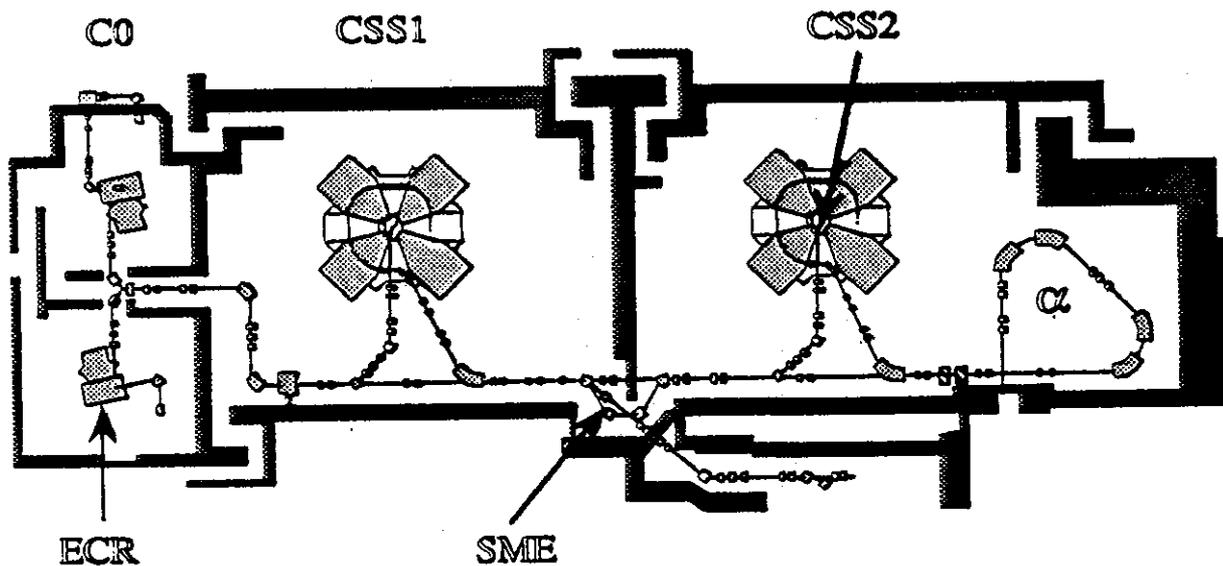
3.2.1 - Opération Augmentation d'Energie (O.A.E.)

Elle a permis d'utiliser les progrès technologiques importants obtenus dans le développement d'un nouveau type de source d'ions (dite "à résonance cyclotronique d'électron") qui arrache avec une efficacité accrue les électrons des atomes et fabrique donc, pour leur accélération, des ions plus fortement chargés et en plus grande abondance. Il est devenu ainsi possible de satisfaire à une demande pressante des physiciens et d'accélérer les ions les plus lourds tels que le Plomb ou l'Uranium. On a simultanément aménagé une Sortie à Moyenne Energie (S.M.E.) entre les deux cyclotrons, pour le plus grand bénéfice de la physique des matériaux (voir paragraphe 3.4).

/...

Opération d'Augmentation d'Energie

- Remplacement des sources PIG par des sources ECR
- Modification du rayon d'injection du CSS2
- Plus hauts états de charge
- Plus d'intensité
- plus d'énergie
- Sortie Moyenne Energie : Physique Non Nucléaire



Les grandes lignes de l'O.A.E. et ses résultats pour les faisceaux disponibles sont rappelés sur la figure ci-contre.

L'opération a été réalisée avec plein succès, dans les délais et au coût prévus, et depuis juillet 1989, G.A.N.I.L. fonctionne avec cette nouvelle configuration.

3.2.2 - Opération Augmentation d'Intensité (O.A.I.)

Le développement d'une nouvelle source d'ions, encore plus performante, en utilisant la maîtrise considérable acquise à G.A.N.I.L. dans ce domaine technique important, permet d'envisager d'accélérer des faisceaux dix fois plus intenses que ceux aujourd'hui disponibles. La construction d'une nouvelle plate-forme pour la source d'ions, placée à une tension de 100 kilovolts, est une des exigences de ce projet, dont les grandes lignes sont rappelées dans le tableau ci-après et qui devrait être réalisé dans la première moitié de 1991. Il donnerait à G.A.N.I.L., par les intensités d'ions accélérés, un intérêt exceptionnel pour divers aspects de son programme scientifique.

3.2.3 - Le multidétecteur INDRA

Une des observations faites depuis 1983 est que, dans les collisions entre noyaux étudiées à G.A.N.I.L., un grand nombre de fragments peuvent être émis avec des vitesses très variables. Or, c'est précisément l'observation de l'ensemble des fragments produits, pour chaque collision, qui permet de comprendre les propriétés de la matière nucléaire chaude créée dans le choc. Aussi est-il essentiel, pour progresser, de pouvoir observer et identifier le plus grand nombre possible de ces fragments afin de reconstruire le plus fidèlement possible chaque événement. Les équipements de première génération ont permis une première étude des phénomènes, mais comme ils ne pouvaient offrir, à cause de leurs sensibilités limitées, qu'un échantillon des fragments émis, ils se révèlent aujourd'hui insuffisants.

Une réponse technique a pu être trouvée au défi lancé par les besoins de l'expérience. INDRA, un ensemble compact et complexe de détecteurs, est en cours de construction à G.A.N.I.L. en collaboration avec les laboratoires de Saclay, d'Orsay et du LPC (I.S.M.Ra.) de Caen (voir figures ci-après). Par les performances des détecteurs de particules, par l'électronique nouvelle intégrée qu'il a fallu concevoir, cet instrument a un caractère très innovant. Il s'annonce comme l'instrument le meilleur dont on puisse disposer pour l'étude de la matière nucléaire chaude. Son coût total est estimé à 15 millions de francs. Il a été conçu dans sa forme définitive en 1989, et adopté par les comités compétents en 1990. Il sera installé et opérationnel dans une nouvelle salle d'expérience réservée à son usage à la fin 1991. Instrument de base pour le programme scientifique principal du G.A.N.I.L. pour toutes les années 1990, son succès est pour le laboratoire un enjeu considérable. Il faudra veiller à ce que les engagements du contrat de plan soient bien remplis en ce qui le concerne.

Opération d'Augmentation d'Intensité

- Développement d'une Source ECR 4 : 14.5 GHz
- Extraction à 100 KV

Faisceaux	^{16}O	^{40}Ar	^{84}Kr	^{119}Ta	^{181}Xe
Energies (A.MeV)	95	77	60	44	36
Intensité prévues (pps)	$2 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{11}$	$1.5 \cdot 10^{11}$	$2.4 \cdot 10^{10}$

Problèmes :

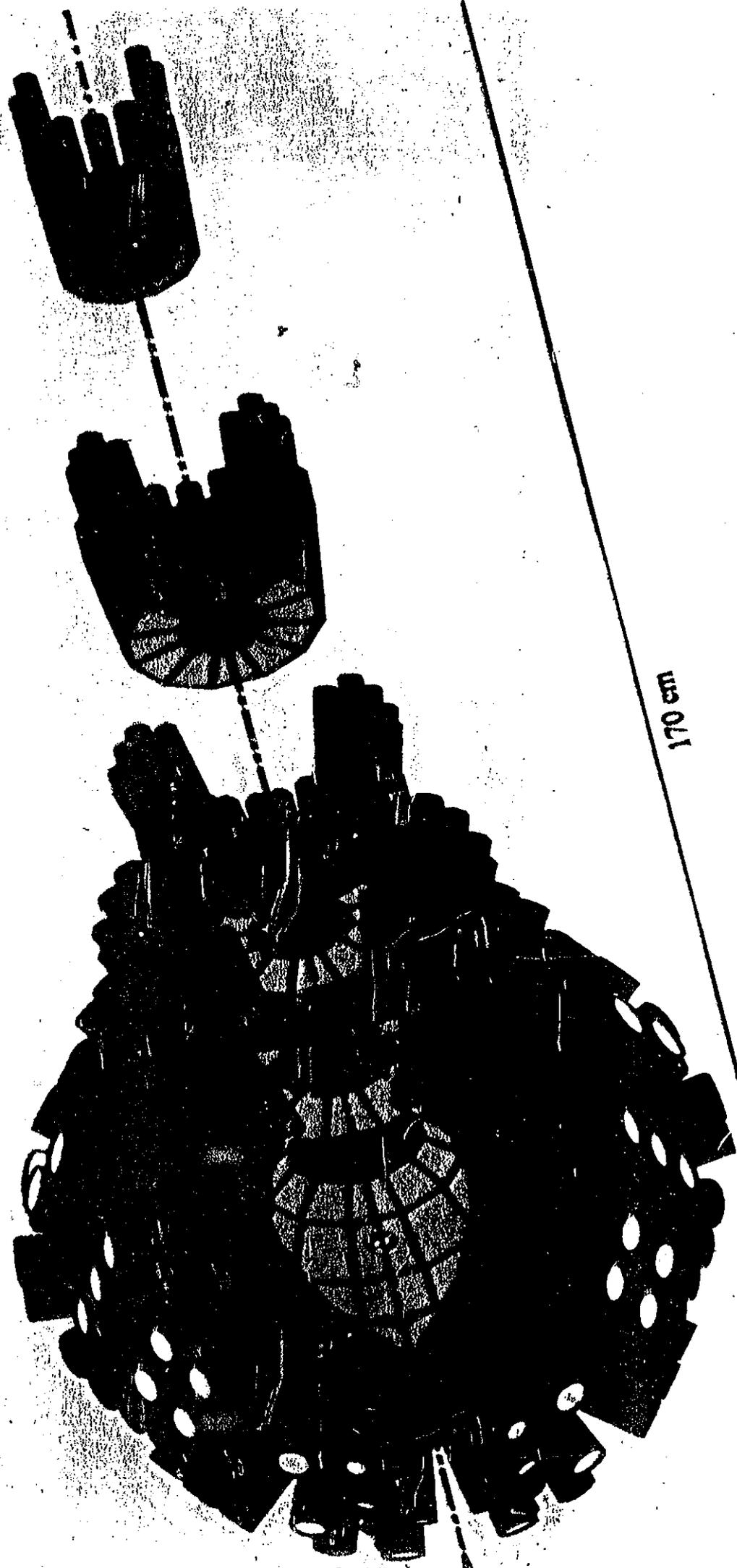
- Diagnostics de faisceaux
- Contrôle des pertes
- Tenue du stripper et des cibles

Gains :

- Hautes Intensités (x10)
- Accélération des isotopes les plus rares (ex : Ca)
- Faisceaux secondaires (ex : SISSI, LISE, SPEG)
- Plus haute énergie

INDRA GANIL

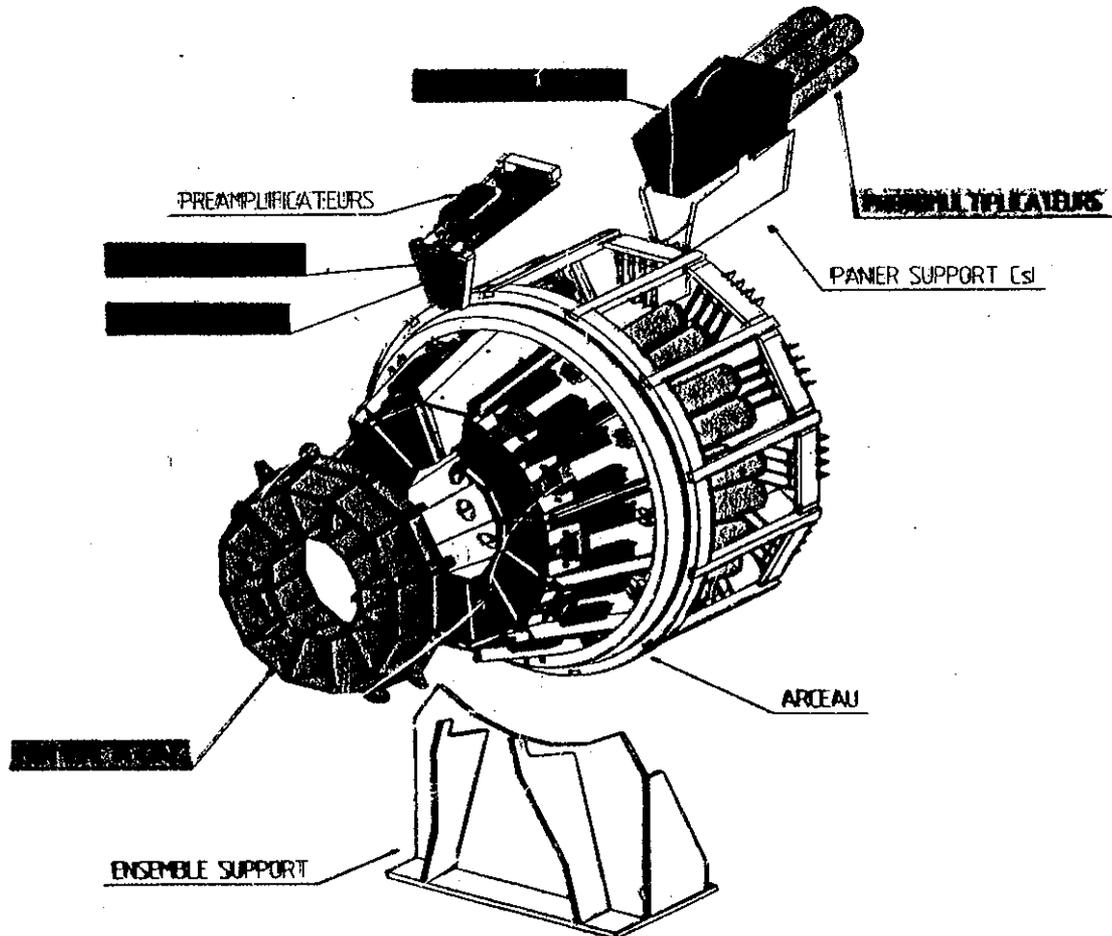
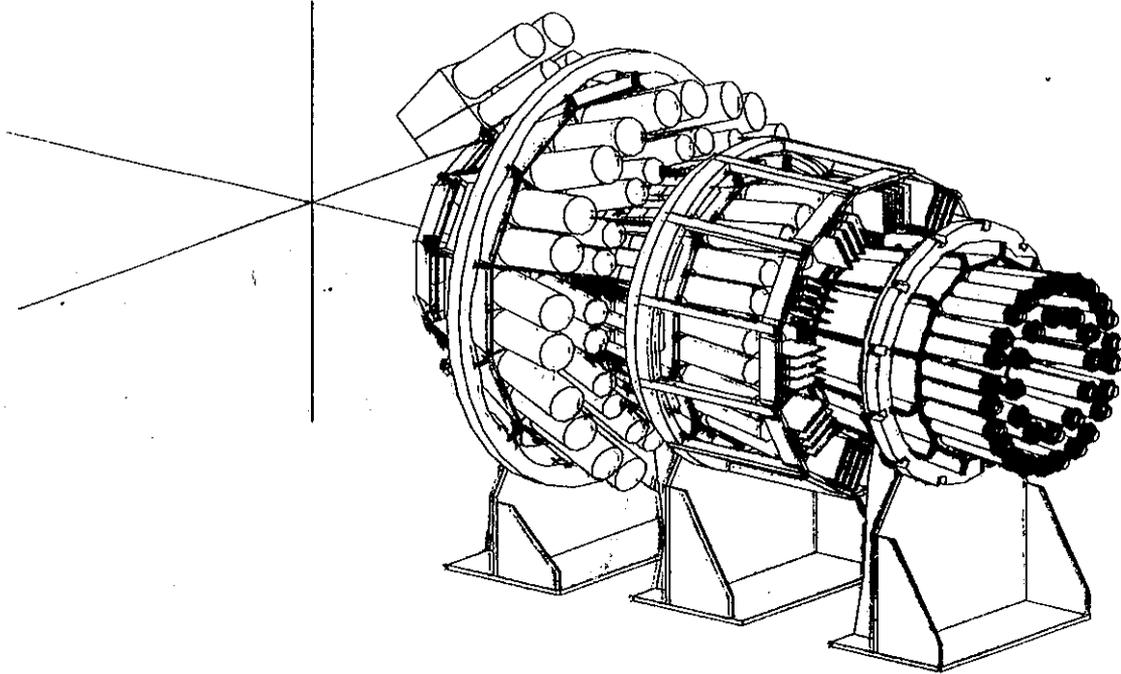
D.Ph.N/BE (Secretary), GANIL (Comm), I.P.N. (Comm), L.P.C. (Comm)



170 cm

INDRA

GANIL (Caen), LPN. (Orsay), L.P.C. (Caen) et S.E.P.N. (Saclay).



3.2.4 - Autres réalisations

Pour être complet et souligner l'importance qu'a pris le programme de renouvellement des équipements à G.A.N.I.L., il convient de rappeler ici trois opérations qui se sont achevées en 1990.

Tout le système d'acquisition de données a été renouvelé, avec de nouveaux matériels et une plus grande efficacité informatique afin de faire face aux besoins expérimentaux. Plusieurs expériences sont en effet en préparation ou en pleine activité au même moment. De plus, pour chaque événement, c'est-à-dire chaque collision observée (il peut y en avoir plusieurs milliers par seconde), on doit parfois mettre en mémoire de l'ordre de 1 000 paramètres.

L'aimant LISE qui a joué un rôle déterminant dans l'étude des noyaux exotiques (voir paragraphe 2.1) a été doté d'un système de sélection de vitesse qui améliore ses performances et permet d'envisager un développement important de son programme scientifique.

Enfin TAPS, un grand multidétecteur de photons (les particules γ), a été construit en commun par trois pays, la France (G.A.N.I.L.), la R.F.A. (Darmstadt, Giessen) et les Pays Bas (Gröningen). C'est en effet un équipement très spécialisé et coûteux, et l'optimisation de son utilisation a conduit à en faire un instrument commun amené à se déplacer dans différents laboratoires européens. G.A.N.I.L. a financé 3 des 20 millions de francs de son coût et l'utilise 4 mois sur 18, ce qui correspond bien aux besoins de son programme scientifique. Cette réalisation européenne exemplaire s'est révélée un franc succès au plan technique. Elle a conduit aussi à travailler à G.A.N.I.L. de nombreux physiciens étrangers, et elle a donné d'excellents résultats scientifiques. Il est opportun de rappeler que c'est dans le cadre de la réalisation de TAPS qu'un nouvel appareil électronique a été mis au point et a fourni la base de départ, par transfert de technologie, à la création de l'entreprise GAN'ELEC (voir sections 2.3 et 4.2).

3.3 - Le projet SISSI

Ce projet (1) ouvre des perspectives de recherche tout à fait nouvelles.

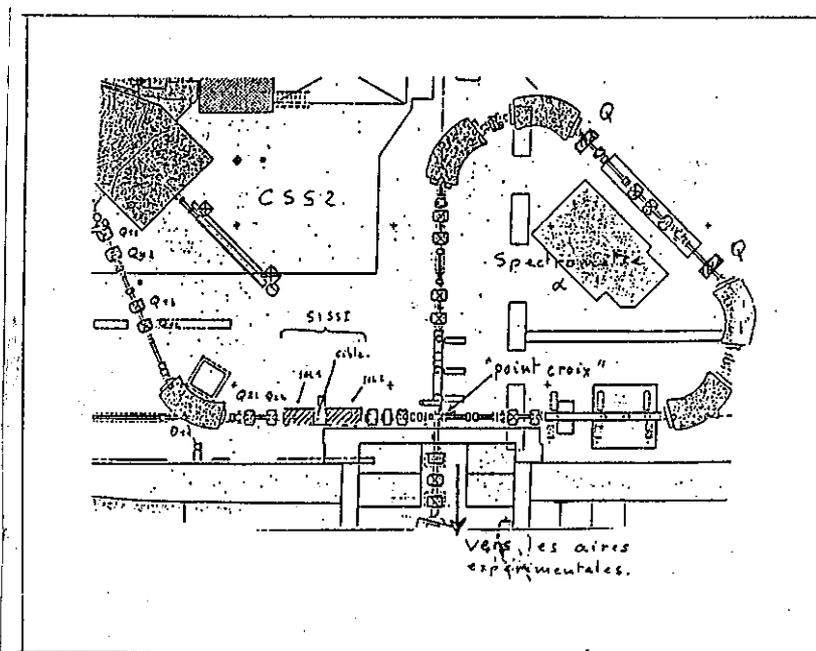
Jusqu'ici, tous les accélérateurs délivrent des faisceaux de noyaux atomiques stables. Ce sont ceux des éléments que l'on trouve dans la nature et que l'on peut donc introduire dans une source d'ions. Or, parmi les quelques 2 000 noyaux connus aujourd'hui, seulement 200 sont stables, ce qui limite naturellement les possibilités d'études, d'autant que l'autre partenaire de la collision noyau-noyau, le noyau-cible correspond lui aussi à un élément stable qui constitue la feuille mince interposée dans le faisceau de noyaux-projectiles fourni par l'accélérateur.

(1) - Rapport G.A.N.I.L. CG/MLM 249-89.

Avec le projet SISSI on pourra, pour la première fois à une telle échelle, disposer de faisceaux de noyaux instables.

L'idée est de placer une première cible de matière dès la sortie de l'accélérateur et de récupérer les noyaux instables formés par réaction nucléaire dans la cible. Ces derniers sont animés d'une vitesse proche de celle du faisceau. L'enjeu et la difficulté technique du projet consistent à rassembler ces noyaux, triés suivant leur nature, en des faisceaux que l'on sache ensuite conduire jusqu'aux salles expérimentales du G.A.N.I.L. pour faire avec eux les études faites habituellement avec les noyaux stables.

Il n'est pas question ici de présenter en détail le projet technique. On peut se contenter d'en indiquer les caractéristiques générales et l'implantation représentée sur la figure ci-après.



L'ensemble SISSI, de dimensions assez modestes puisqu'il occupera environ 2,5 m sur la ligne de faisceau, se compose essentiellement de deux bobinages (dits "solénoïdes") de fils supraconducteurs permettant de créer des champs magnétiques très élevés, de l'ordre de 12 Teslas, sur l'axe des bobines. Ces deux solénoïdes encadrent la cible de production des particules secondaires. Une étude de faisabilité réalisée par un service technique du C.E.A. (STIPE, à Saclay) qui a une grande expérience dans les réalisations de champ magnétique par bobines supraconductrices, a donné des résultats positifs. Le conseil scientifique du G.A.N.I.L. a apporté un fort soutien à ce projet en 1989 et les organismes de tutelle du G.A.N.I.L. ont approuvé une première dotation budgétaire au titre de 1990. La réalisation devrait durer 2 à 3 ans et coûter de l'ordre de 12 millions de francs.

Un grand intérêt se manifeste dans le monde entier pour la possibilité de faire des recherches avec de tels faisceaux de noyaux radioactifs instables. Plusieurs conférences ont été consacrées en 1989-1990 aux perspectives scientifiques très intéressantes qui seraient ainsi ouvertes. Quelques projets commencent à être définis. Une seule perspective concrète existe avec l'ensemble accélérateur SIS/ESR de Darmstadt : la variété et la faible dispersion des faisceaux prévus, la possibilité de varier leur énergie sont des atouts importants pour ce projet qui devrait fonctionner à pleine capacité en 1992. Cependant SISSI offrirait, par rapport à SIS/ESR, deux avantages : une plus grande intensité des faisceaux, et la possibilité d'obtenir des noyaux dont la période radioactive soit inférieure à 1 seconde. On peut noter, par exemple, que l'intensité du faisceau de l'isotope radioactif azote 17 serait avec SISSI de 10^9 noyaux par seconde, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que les faisceaux de noyaux stables de bien des accélérateurs. Un avantage peu quantifiable, mais qui pourrait s'avérer décisif, est que les faisceaux produits par SISSI pourront être conduits dans toutes les salles expérimentales du G.A.N.I.L.. Les recherches correspondantes pourront donc bénéficier des instruments remarquables qui s'y trouvent déjà.

Pour un coût modeste au regard de l'investissement initial, SISSI paraît ainsi capable d'ouvrir des perspectives renouvelées au G.A.N.I.L.. Il faut sans doute considérer cette réalisation comme absolument prioritaire, la financer sans retard et permettre sa bonne exploitation. SISSI est susceptible d'attirer au G.A.N.I.L. des équipes du monde entier. De ce point de vue, et en accord avec une recommandation permanente de ce rapport, il est souhaitable d'utiliser cette occasion pour formaliser, structurer le rôle international du G.A.N.I.L.. On peut chercher à créer, autour de SISSI, une collaboration internationale solide qui optimisera l'utilisation scientifique de cet instrument, étudiera et construira les équipements complémentaires éventuels, assurera dans la durée le succès de l'entreprise. On verra (section 3.6) que le projet à plus long terme de développement de G.A.N.I.L. doit se faire dans le prolongement du domaine scientifique ouvert par SISSI.

La Région devra veiller à ce que cette opération, qui s'inscrit parfaitement dans le contrat de plan signé avec l'Etat (ANNEXE 2), soit conduite sans délai. Elle peut attendre beaucoup de sa réussite.

3.4 - Le développement de la physique non nucléaire

Les faisceaux de particules accélérées constituent des outils que rien, a priori, ne restreint à n'être utiles que dans un seul domaine scientifique. Certes, c'est pour étudier le noyau atomique que G.A.N.I.L. a été conçu. Comme on l'a décrit plus haut, à la section 2.1, on peut, grâce à cet accélérateur, observer la matière nucléaire très excitée qui résulte de la collision à grande vitesse de deux noyaux atomiques. Mais, dès le début, on a compris que la physique de la matière condensée et la physique atomique pourraient aussi, pour certaines de leurs études, utiliser efficacement cet instrument.

L'originalité de la situation faite à ces sciences au G.A.N.I.L. a été qu'elles ont été considérées, depuis qu'il y a quinze ans le projet d'accélérateur a été élaboré, comme faisant intégralement partie du programme scientifique. Un laboratoire autonome, le CIRIL, a été implanté au sein du laboratoire G.A.N.I.L. pour permettre le développement de ces recherches en accueillant en particulier les nombreuses équipes, de taille souvent restreinte, susceptibles d'utiliser les faisceaux. G.A.N.I.L. s'est doté d'un Comité d'Expériences spécifique pour examiner les propositions de programmes de recherche en physique non nucléaire. On a ainsi évité l'écueil rencontré ailleurs, à savoir que les physiciens atomistes ou de la matière condensée n'étaient jamais que les invités à statut toujours précaire d'un laboratoire dont les choix leur échappaient totalement.

Le CIRIL a été créé par une convention signée le 22 octobre 1982 entre le C.N.R.S., le C.E.A. (I.R.F.), l'IN2 P3, l'I.S.M.Ra. et le G.A.N.I.L..

La mission d'accueil du CIRIL s'effectue dans trois domaines :

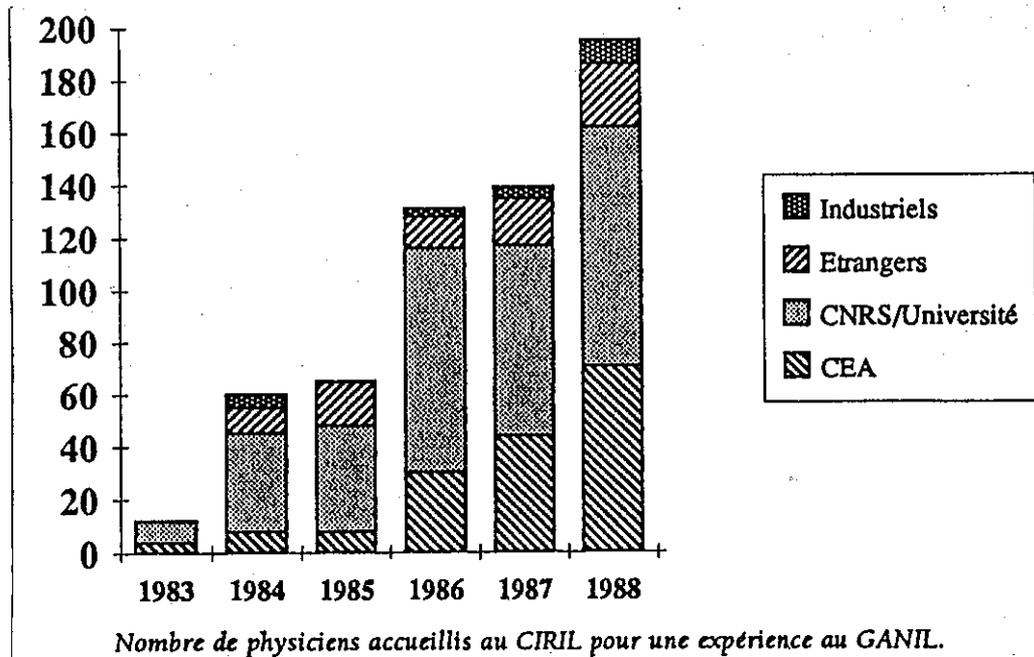
- soutien expérimental aux équipes de physique des ions rapides qui viennent à G.A.N.I.L. et qui demandent l'aide du CIRIL. La nature de ce soutien est variable : elle peut ne consister qu'en un prêt d'appareillage, mais il y a le plus souvent participation aux expériences sous la forme, soit simplement d'un soutien technique, soit d'une collaboration scientifique ;

- conception de nouveaux équipements et maintien des équipements existants à un haut niveau de fiabilité ; l'exemple typique est la Sortie Moyenne Energie, mais le CIRIL a construit (ou participé à la construction de) bien d'autres équipements ;

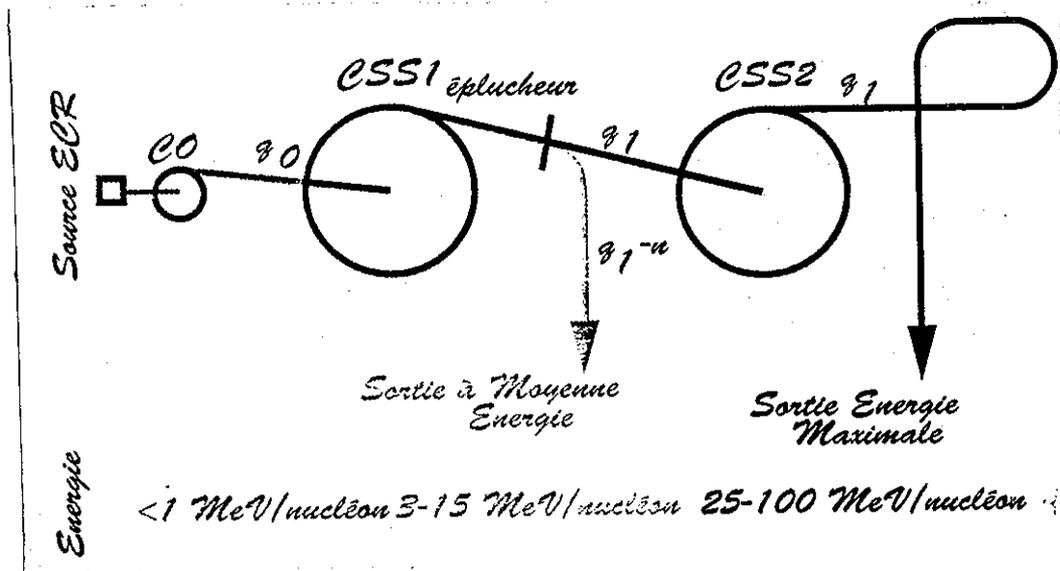
- animation scientifique. Le CIRIL participe à l'organisation de colloques ou en organise lui-même dans ce domaine interdisciplinaire. Notons que le CIRIL remplit la tâche de secrétariat du Comité d'expériences de physique non nucléaire du G.A.N.I.L. (règlement interne du Comité du 18 mai 1983). Ce comité a rempli un rôle important dans le travail d'approfondissement des thèmes de physique des ions rapides.

La figure ci-après montre l'évolution de l'activité d'accueil du CIRIL depuis sa création, mesurée par le nombre de physiciens accueillis par an (en comptant éventuellement plusieurs fois le même physicien s'il est venu effectuer plusieurs expériences).

Avec la mise en service de la "Sortie Moyenne Energie" (décrite ci-dessous) qui est disponible pour les physiciens depuis février 1990, ces statistiques seront, sans doute, modifiées. Le nombre de chercheurs accueillis par an va croître, probablement jusqu'à 300 (toujours en comptant plusieurs fois un chercheur qui participe à plusieurs expériences). Des équipes nouvelles vont apparaître : dès le Comité d'expériences de janvier 1990, au cours duquel étaient examinées, pour la première fois, des expériences de moyenne énergie, six équipes nouvelles ont déposé des propositions.



La Sortie Moyenne Energie (S.M.E.) a consisté à récupérer les faisceaux d'ions qui, n'ayant pas le bon état de charge entre les deux grands cyclotrons du G.A.N.I.L., ne pouvaient être injectés dans le second. Ces faisceaux, jusqu'ici perdus, désormais séparés, focalisés et transportés jusqu'à une salle d'expériences, permettent de mener de nouvelles recherches, avec un outil en quelque sorte gratuit, en parallèle avec celles réalisées simultanément avec le faisceau principal de G.A.N.I.L. (figure ci-après).



La S.M.E. a coûté 15 millions de francs et a été financée par le Conseil Régional, le Ministère de la Recherche et de la Technologie, le

C.E.A. et le C.N.R.S.. Elle a suscité un grand intérêt dans la communauté scientifique, si bien que le Comité d'Expériences n'a pu retenir que 60 % environ des demandes présentées. Des résultats inédits ont déjà été obtenus qui remettent en cause les modèles admis jusqu'alors et ouvrent des perspectives tout à fait intéressantes tant sur le plan fondamental qu'appliqué.

La décision de compléter l'équipement de haute énergie, mis en place en 1982, par cet équipement de moyenne énergie s'est donc avérée judicieuse. Elle a sensiblement étendu la communauté de chercheurs qui utilisent G.A.N.I.L..

Avant d'aborder les développements possibles, rappelons brièvement la nature des recherches (1) poursuivies dans ce domaine de la physique non nucléaire qu'il est sans doute plus judicieux d'appeler la physique des ions rapides.

Dans le domaine d'énergie des ions du G.A.N.I.L., l'échange d'énergie au cours des collisions ion-projectile/atome-cible est dominé par les interactions du noyau projectile avec les électrons de la cible et/ou du noyau de la cible avec les électrons du projectile. C'est par l'intermédiaire de combinaisons de phénomènes élémentaires, ionisation, excitation ou échange de charge, que cet échange d'énergie a lieu. Dans le domaine d'énergie considéré, l'ionisation et l'excitation sont de loin les phénomènes prépondérants.

La physique des ions rapides, telle qu'elle est étudiée à Caen, est basée sur la mise à profit des conséquences de ces processus d'interaction. Typiquement, les trois situations les plus couramment observées sont les suivantes :

1 - Un faisceau d'ions projectiles traverse une cible, suffisamment mince pour qu'il n'y soit pas arrêté, en subissant des ionisations, des excitations ou des échanges de charge sans que ses propriétés (énergie, divergence angulaire) en soient dramatiquement affectées.

2 - Un faisceau d'ions projectiles traversant une cible gazeuse épluche très efficacement les atomes de la cible, c'est-à-dire qu'il fournit beaucoup d'énergie à leurs électrons, tout en ne communiquant que très peu d'énergie à leurs noyaux.

3 - A la traversée d'une cible solide, c'est essentiellement par freinage électronique qu'un faisceau d'ions projectiles est ralenti. C'est donc aux électrons de la cible que sont transférées les grandes quantités d'énergie perdues par les ions (supérieures à la dizaine de keV/nm pour un ion).

Les deux premières conséquences sont à la base d'expériences dans lesquelles ce sont les processus d'interaction des ions avec la cible qui sont étudiés ou mis à profit.

La troisième conséquence est à la base d'expériences dans lesquelles ce sont les effets de l'interaction des électrons, excités par le passage du projectile, avec la cible qui sont étudiés.

(1) - Voir en particulier le dernier Rapport d'Activité Scientifique (1987-1988-1989) du CIRIL.

Pour développer désormais ce domaine, deux directions paraissent s'offrir.

D'abord approfondir le champ scientifique ouvert, élargir les possibilités de recherche. De ce point de vue la limitation consistant à affecter 10 % du temps de faisceau à ces études, même si elle est appliquée avec souplesse, mérite d'être rediscutée entre les organismes scientifiques responsables, le DSM du C.E.A. et les deux départements, IN2 P3 et MPB, du C.N.R.S.. Des moyens plus importants, financiers et humains, devraient être mis à la disposition du CIRIL en particulier par le département MPB.

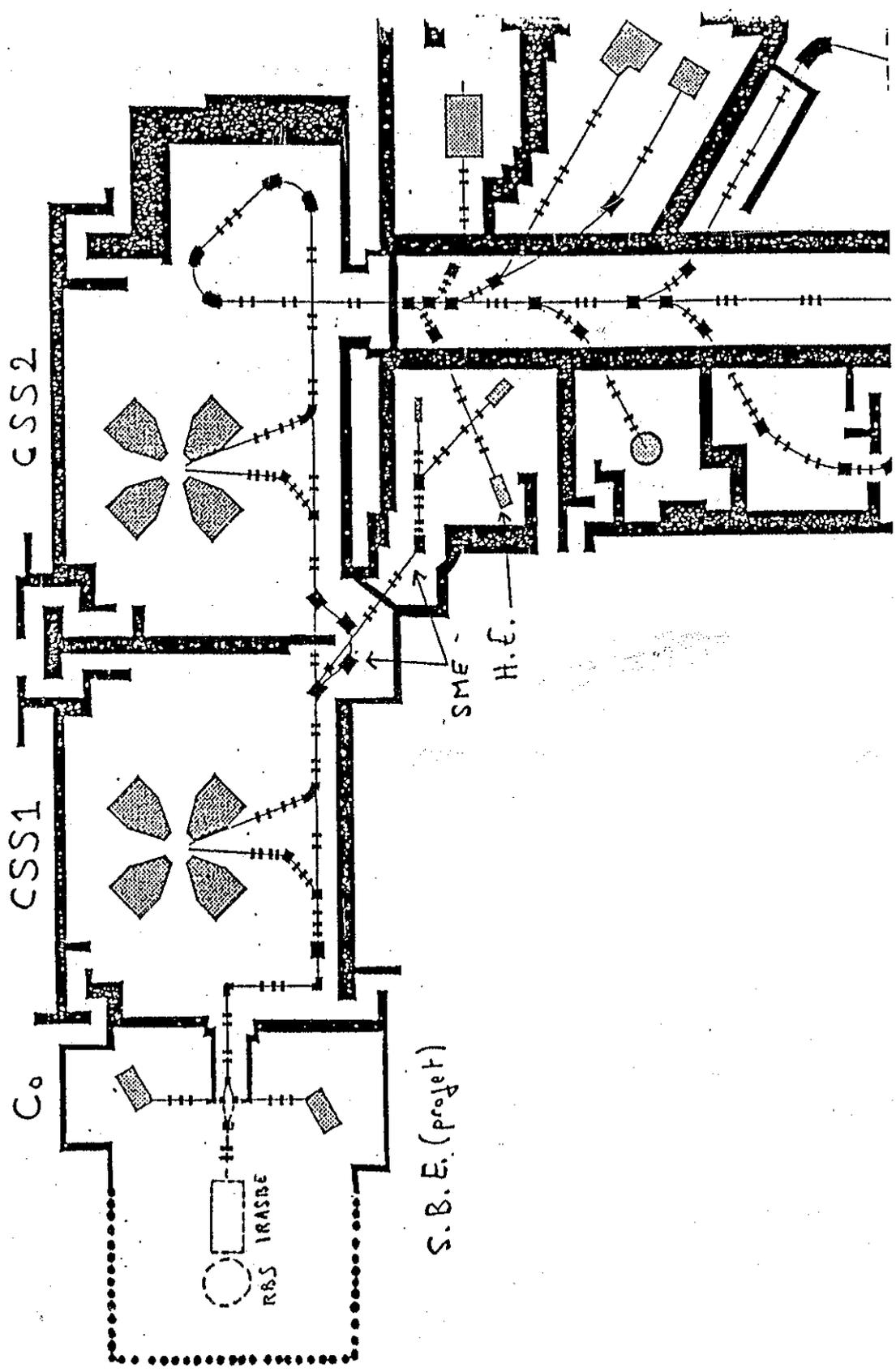
Par ailleurs, une perspective très intéressante existe : compléter les moyens déjà disponibles à G.A.N.I.L. par des faisceaux de basse énergie, que l'on peut appeler la Sortie Basse Energie (S.B.E.) par référence à la Sortie Moyenne Energie (S.M.E.) décrite plus haut.

Le G.A.N.I.L. dispose, en effet, d'une panoplie de projectiles possibles beaucoup plus large que celle, actuellement utilisée, des ions de moyenne et haute énergie. En effet, on n'utilise avec S.M.E. ou la haute énergie, que des ions accélérés par un (CSS1) ou par deux (CSS1 et CSS2) cyclotrons. En amont de ces deux puissants appareils, un petit cyclotron, Co, injecte des ions de basse énergie dans le premier cyclotron CSS1 (figure ci-après). A ce premier stade de l'accélération, les ions disponibles vont de l'hélium à l'uranium, avec des énergies totales ajustables de 1 à 100 MeV et des intensités élevées, de l'ordre de 10^{11} à 10^{12} particules par seconde. Par ailleurs la configuration du G.A.N.I.L. fait qu'il existe deux injecteurs Co dont un seul est utilisé à la fois : l'injecteur disponible pourrait donc servir à des expériences de physique. Cette Sortie Basse Energie permettrait ainsi à la physique de la matière condensée un accès à des faisceaux non utilisés par le G.A.N.I.L., comme c'est déjà le cas de la S.M.E..

Les faisceaux S.B.E. concernent deux domaines : l'analyse et l'étude des effets induits par chocs nucléaires.

En ce qui concerne l'analyse, la gamme d'énergie, le choix possible de l'ion par l'utilisateur et éventuellement le fait que le faisceau soit pulsé (facilitant une détection avec mesure du temps de vol) permettent d'envisager l'utilisation dans de bonnes conditions de tels faisceaux pour différentes techniques d'analyse, telles que Rétrodiffusion Rutherford (RBS) ou "Elastic Recoil Scattering" (E.R.S.). La RBS est mieux adaptée à la détection d'éléments lourds, l'ERS aux masses plus légères. Pour ces techniques peu d'accélérateurs présentent les possibilités offertes par Co.

Pour ce qui est de l'endommagement par chocs nucléaires, des expériences similaires seront probablement menées avec les faisceaux de la Sortie Moyenne Energie (S.M.E.). Les faisceaux de Co présentent l'inconvénient d'un parcours des ions dans la matière environ six fois plus faible que les faisceaux S.M.E., mais ils présentent deux avantages importants : 1) le choix de l'ion, 2) des intensités plus élevées. L'endommagement est rendu plus ou moins homogène en irradiant à différentes énergies. Les taux d'endommagement calculés conduisent à des durées d'irradiation réalistes.



S. B. E. (projet)

Ainsi, que cela soit pour l'analyse ou pour les études de l'endommagement par chocs nucléaires, les faisceaux Co sont potentiellement très intéressants. Il faut souligner ici qu'il n'existe pas, au niveau régional, de moyens modernes d'analyse du type RBS ou ERS. Pourtant il s'agit de deux techniques particulièrement performantes pour les analyses de surface, thème actuellement considéré comme prioritaire en science des matériaux. D'autre part, le contexte régional appelle des études de couches minces supra-conductrices pour lesquelles des caractérisations RBS et ERS permettraient d'étudier et de confirmer la qualité.

Enfin, à côté de cette panoplie en moyens d'irradiation, dans une perspective d'approfondissement des efforts de recherche et d'accroissement des compétences régionales, il serait sans doute souhaitable que soient mis en place des moyens de caractérisation des effets induits par l'irradiation. Certains moyens existent déjà au CIRIL ou à l'I.S.M.Ra.. La plupart (microscopie électronique notamment) sont très surchargés, ce qui constitue un frein au développement des recherches sur S.M.E.. Les moyens de caractérisation devraient donc être diversifiés et accrus.

En ce sens, la mise en place de la S.B.E., ainsi qu'il a été expliqué précédemment, pourrait constituer la première étape d'un développement des moyens de caractérisation, avec les méthodes RBS et ERS déjà décrites.

Les récentes découvertes dans les matériaux métalliques rendent, par ailleurs, très souhaitable un accroissement sur place des moyens d'observation en microscopie électronique à haute résolution (études en volume) et en microscopie à effet tunnel (études en surface). Ces deux instruments, installés en ligne, permettraient des observations in situ, à basses températures, des échantillons irradiés c'est-à-dire sans rien modifier des conditions dans lesquelles la cible a été irradiée.

En résumé la mise en place de ces équipements autour du CIRIL et du G.A.N.I.L. créerait une installation de haut niveau pour l'étude des effets d'irradiation.

Associés aux équipements déjà en place, ces moyens nouveaux entraîneraient un développement des recherches fondamentales de pointe dans un domaine où, grâce en grande partie au G.A.N.I.L. et au CIRIL, la France est largement en tête. Rappelons que c'est à Caen que s'est tenu le premier symposium international sur le sujet avec 150 participants de 12 pays. Enfin les études à caractère plus finalisé et à vocation d'applications industrielles s'élargiraient notablement aux effets induits par collisions élastiques c'est-à-dire au domaine de l'industrie nucléaire dans un contexte régional déjà orienté vers ce sujet (La Hague).

Il paraît donc opportun de proposer d'engager au cours du prochain plan ces réalisations qui avaient déjà fait l'objet d'un rapport conjoint et détaillé des directions du G.A.N.I.L. et du CIRIL en mars 1988 (1).

(1) - Utilisation des Faisceaux de Basse Energie du G.A.N.I.L., document commun G.A.N.I.L.-CIRIL (1er mars 1988).

On peut diviser les coûts prévisionnels en installations et équipements expérimentaux implantés sur les aires du G.A.N.I.L. d'une part, et en moyens de travail nouveaux pour le CIRIL d'autre part. L'ensemble de l'opération Sortie Basse Energie s'élèverait à un total de 12 millions de francs répartis ainsi :

1. Installations et équipements nouveaux de l'accélérateur

Bâtiment	1 MF
Lignes de faisceaux	2,5 MF
Chambres d'irradiation	3 MF
	<hr/>
	6,5 MF

2. Moyens de caractérisation nouveaux du CIRIL

Microscopie électronique 400 keV à haute résolution	4,5 MF
Microscopie à effet tunnel à basse température	1 MF
	<hr/>
	5,5 MF

3.5 - L'ouverture d'un programme de biophysique et radiothérapie

Depuis 1984 environ, un programme limité de recherche en biophysique se déroule au G.A.N.I.L.. Il a essentiellement comme objectif d'étudier les dégâts biologiques causés à la cellule par le bombardement d'ions rapides. On analyse ainsi les ruptures de la molécule ADN, en cassures simples ou en doubles brins et les possibilités de réparation. Plusieurs publications ont rendu compte des résultats observés par les chercheurs de la coopération franco-allemande qui conduisent ces expériences. Quelques installations ont été mises en place à G.A.N.I.L. pour permettre l'observation, dès la fin de l'irradiation, du comportement de la cellule.

Ces recherches fondamentales appellent une approche pluridisciplinaire. L'interaction ion-matière est au coeur du programme scientifique de C.I.R.I.L.. Son étude, décrite dans la section précédente, aide en effet à comprendre, par extension, les effets des ions sur la matière vivante. De ce point de vue, G.A.N.I.L. offre de bonnes conditions d'efficacité à cette recherche. Mais ces études, qui se déroulent auprès de nombreux accélérateurs pour disposer d'ions de nature et de vitesse différentes, ont aussi des applications pratiques importantes. Elles permettent par exemple de comprendre les conséquences biologiques de l'irradiation des cosmonautes par les rayons cosmiques. Le rayonnement cosmique, en effet, se compose en partie d'ions lourds de grande vitesse, semblables à ceux des accélérateurs, dont les effets

d'irradiation sont particulièrement nocifs. Dès maintenant, et plus encore dans la perspective des futurs vols de longue durée, vers Mars dans une trentaine d'années par exemple, il importe de connaître au mieux ces effets pour mieux se protéger.

Les études dans ce domaine n'ont jusqu'ici été menées à G.A.N.I.L. que par une seule équipe qui complète sur cet accélérateur les données qu'elle obtient au G.S.I. de Darmstadt. Il serait sans doute souhaitable d'essayer d'élargir ce programme. Même s'il est clair que, comme pour tout autre domaine scientifique, l'activité des chercheurs ne s'organise pas par décret, on pourrait sans doute favoriser la venue d'équipes nouvelles (cinq par exemple travaillent au G.S.I. et il y a de bonnes compétences dans certains laboratoires français) en facilitant l'accès au travail sur faisceau à des équipes de biologistes habitués à un autre environnement technique. Par exemple, la présence permanente au G.A.N.I.L. d'un jeune biologiste ou biophysicien, encadré scientifiquement par une des équipes utilisatrices, serait certainement très efficace. Les mesures générales évoquées dans la section 4.4 trouveraient sans doute là à s'appliquer.

Un domaine voisin d'application des ions lourds commence à s'imposer et pourrait ouvrir de vastes perspectives. C'est celui de la radiothérapie de certains cancers. En effet, par les mécanismes évoqués plus haut, on peut détruire les capacités de survie et de reproduction de certaines cellules. Les ions lourds bénéficient ici d'un avantage, qui peut être important dans certains cas, par rapport à d'autres modes de radiothérapie. Ils perdent en effet la plus grande partie de leur énergie dans les quelques derniers millimètres de leur parcours dans la matière vivante ou non. Par exemple, un ion de Néon d'environ 400 Mev par nucléon qui parcourt une quinzaine de centimètres dans les tissus organiques, libère 3 ou 4 fois plus d'énergie dans le dernier centimètre que dans chacun des autres centimètres de son parcours. On comprend que l'on peut donc traiter fortement une zone cible malade en épargnant relativement les zones saines voisines.

Différentes particules ont été utilisées pour détruire par irradiation les cellules cancéreuses : photons (particules γ), électrons, neutrons, protons, particules α et mésons π . L'objectif est d'obtenir les dégâts maximaux sur les cellules malades sans induire des lésions excessives dans les cellules saines du malade. De nos jours l'irradiation d'une tumeur profonde se fait surtout par photons de haute énergie convergeant dans la tumeur, celle d'une tumeur superficielle ou peu profonde faisant souvent appel aux électrons. Toutefois ces techniques sont mal adaptées au traitement d'une tumeur nécessitant une dose exceptionnellement élevée, peu compatible avec la tolérance des tissus sains environnants, ou des tumeurs radiorésistantes à cause de l'hypoxie des tissus malades. On entend par là l'observation expérimentale que certaines tumeurs peu oxygénées nécessitent des doses d'irradiation plus élevées, par un facteur nommé "oxygen enhancement ratio" ou O.E.R. qui met en danger les tissus sains voisins beaucoup plus radiosensibles.

Depuis plusieurs années, une discussion s'est engagée sur l'intérêt que présenteraient les ions lourds pour la radiothérapie. Déjà l'accélérateur Bevalac à Berkeley (Californie, U.S.A.) a pendant plusieurs années été utilisé largement à cette fin et des résultats intéressants ont été

obtenus sans permettre cependant, semble-t-il, de définir pleinement les conditions d'application d'une telle thérapie. Plusieurs équipes européennes ont mis en commun leurs connaissances et leurs ressources pour entreprendre de définir un projet européen d'accélérateur d'ions lourds destiné au traitement du cancer, dénommé EULIMA (European Light-Ion Medical Accelerator).

Ce projet considère comme acquis que l'irradiation des tumeurs par ions lourds présente des avantages qui peuvent s'avérer parfois déterminants. La figure ci-après les illustre. Sur l'axe horizontal, est portée une mesure de la précision géométrique du point irradié, sur l'axe vertical la quantité d'énergie délivrée au point d'irradiation. L'intérêt des ions d'argon (Ar) et de néon (Ne) y apparaît clairement. Par ailleurs, il semble également acquis que l'effet O.E.R. est favorable aux ions lourds, la radiosensibilité des cellules irradiées dépendant moins de leur concentration en oxygène.

Cependant, il est généralement reconnu que des recherches de laboratoire sont encore nécessaires et que les résultats actuels permettent difficilement des généralisations et des prédictions.

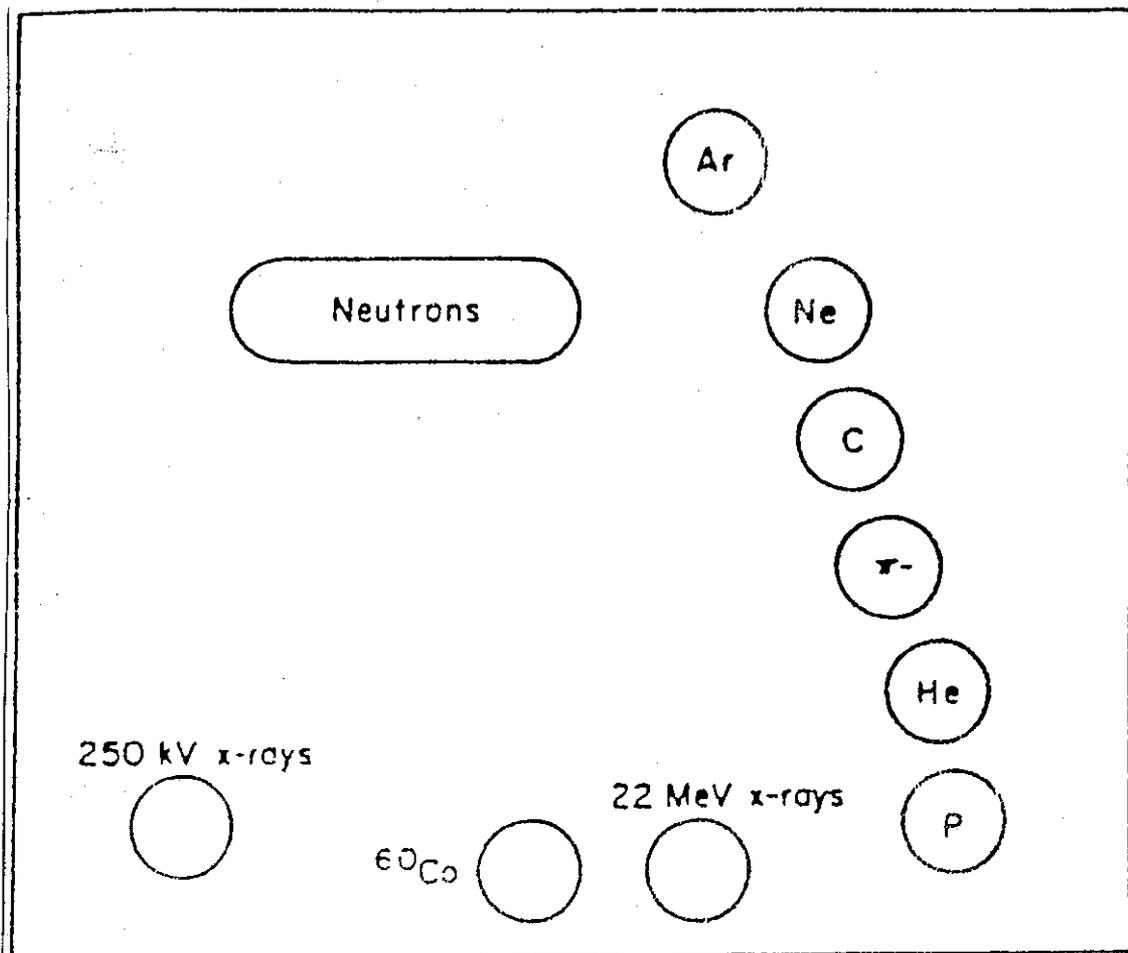
Un rapport (1) présenté au Ministre de la Recherche et de la Technologie précise à ce sujet :

"En fait, c'est l'expérience clinique qui permettra de répondre plus définitivement à la très difficile question de l'indication thérapeutique et aux principes de sélection des malades. Déjà grande pour les protons, elle est encore très limitée pour les ions plus lourds (d'ailleurs, jusqu'aux ions d'argon les effets doivent être très semblables et les expériences avec des ions de masse et de charge supérieures sont encore plus rares). Par exemple, les protons se sont révélés très favorables à l'irradiation de malformations artérioveineuses inopérables intracrâniennes, ou de tumeurs bénignes (acromégalie de l'hypophyse), mais peu efficaces pour le traitement de tumeurs malignes cérébrales ; pour ces dernières, les ions lourds seraient peut-être mieux indiqués.

En l'absence d'essais thérapeutiques comparatifs menés rigoureusement sur des cohortes de patients choisis avec la rigueur statistique nécessaire, il n'est guère utile d'énumérer les conclusions encore très dispersées, parfois contradictoires, tirées d'expériences limitées ou épisodiques. Un consensus se dégage cependant, avec l'expérience plus large de l'utilisation des neutrons (dont les effets biologiques se rapprochent de ceux des particules lourdes), pour affirmer que le traitement de certains types de tumeurs bénéficiera doublement de l'utilisation des ions "intermédiaires" et "lourds" (sensibilité particulière et géométrie stéréotaxique de l'irradiation) : tumeurs des glandes salivaires, sarcomes des tissus mous ou osseux, tumeurs des sinus de la face, certaines tumeurs de la prostate... et de façon plus générale, toutes les tumeurs à croissance lente de localisation chirurgicale difficile".

Trois constatations s'imposent dans ce domaine. D'abord il existe un intérêt médical grandissant pour l'utilisation des particules chargées "légères" ou "intermédiaires", comme pour les ions lourds ou leur équivalent en

(1) - Commission des Très Grands Equipements, rapport L'Hoste (1989).



terme de haut transfert d'énergie aux cellules, les neutrons rapides. Ensuite les installations qui sont conçues pour la recherche en physique ne peuvent pas fournir des conditions adéquates à un traitement médical, à cause des irrégularités dans les conditions d'exploitation de l'accélérateur, et des installations médicales complémentaires insuffisantes. Enfin, des progrès spectaculaires ont été déjà réalisés ou sont prévisibles à court terme dans les domaines de l'imagerie médicale et de l'informatique associée, de la dosimétrie, de la technologie des accélérateurs de particules et, bientôt, de l'imagerie par T.E.P. (Tomographie par Émission de Positons), comme à CYCERON, intégrée à l'irradiation thérapeutique par utilisation de faisceaux d'ions radioactifs. Des progrès existent également pour la téléinformatique qui permet de relier les centres de soins et de diagnostic.

Dans ces conditions -et c'est le sens du projet EULIMA-, il est apparu que la conception et la construction de machines exclusivement dédiées à la médecine dans un environnement technique et médical adapté était une condition nécessaire du développement de cette radiothérapie moderne. Ainsi sont nés des réalisations et des projets importants, dont le plus lourd, HIMAC (Heavy Ions Medical Accelerator) à Chibra (NIRS) au Japon a été approuvé par le gouvernement japonais en 1988 et devrait être opérationnel en 1993. C'est un synchrotron permettant d'atteindre 800 MeV par nucléon, c'est-à-dire autorisant l'utilisation médicale pratique de tous les ions "lourds". Son coût est estimé à 310 millions de dollars.

Dans le rapport mentionné plus haut, il est estimé qu'EULIMA pourrait être réalisé d'ici 6 ou 7 ans sous forme d'un accélérateur d'ions d'environ 400 MeV par nucléon utilisé uniquement à des fins médicales au sein d'un complexe hospitalier spécialisé. La définition de l'accélérateur et la localisation de cet ensemble restent encore à définir même si le Centre Antoine-Lacassaque de Nice, qui anime la collaboration EULIMA, a déjà avancé des solutions et proposé sa candidature.

CAEN a-t-il des arguments, si possible originaux, à faire valoir ? Il semble que la réponse soit positive, ce qui oblige à une réflexion sérieuse sur les avantages et les conditions d'une candidature dans ce domaine. On peut ainsi caractériser les points forts d'une implantation caennaise d'EULIMA.

- 1 - Le savoir-faire en matière d'accélérateur des équipes qui ont conçu et font fonctionner G.A.N.I.L..
- 2 - L'expérience acquise à G.A.N.I.L. en matière de production de faisceaux secondaires radioactifs (^{11}C , ^{15}O , ^{18}F , etc...) qui sont émetteurs β^+ . Des intensités de l'ordre de 10^8 à 10^9 ions par seconde ont été produits et séparés par la ligne LISE. Comme on l'a indiqué plus haut, le contrôle, par leur désintégration β^+ , du lieu d'implantation de ces ions permet d'ajuster en ligne l'impact du faisceau dans la tumeur.
- 3 - Dans le même esprit, l'existence et l'expérience de CYCERON en Tomographie par Emission de Positons (T.E.P.) permettrait d'exploiter immédiatement cette possibilité.
- 4 - Il existe une concentration locale d'expérience et de savoir en imagerie médicale (CYCERON, etc...) et en cancérologie, y compris en radiothérapie (Baclesse).
- 5 - Les problèmes de transfert massif de données, essentiellement d'imagerie, entre l'accélérateur, le laboratoire d'examen (CYCERON), l'infrastructure hospitalière (Baclesse) sont résolus par l'existence du réseau VIKMAN.
- 6 - EULIMA visant à traiter des milliers de malades par an, venus de toute l'Europe, la localisation de Caen et le développement en cours de ses communications, fournissent des conditions adéquates.

Tout ceci semble constituer la base d'un dossier impressionnant. Ce qui fait défaut (encore que ce défaut ne soit pas particulier à Caen) c'est l'insuffisance d'une activité importante dans l'étude des effets des ions lourds sur la matière vivante. Comme on l'a indiqué plus haut, des recherches fondamentales mais orientées vers la radiothérapie paraissent en effet essentielles au succès futur d'EULIMA.

Sur la base des études déjà menées, et que l'on a rappelé au début de cette section, la direction du G.A.N.I.L. a entrepris de développer un programme de recherche en biophysique.

Il s'agit de rassembler une équipe pluridisciplinaire de biologistes et de radiothérapeutes pour conduire des expériences utilisant les faisceaux du G.A.N.I.L. tels qu'ils sont aujourd'hui, c'est-à-dire avec une énergie de 100 MeV par nucléon au plus (au lieu de 400 pour le projet EULIMA) et donc des parcours dans la matière vivante de 20 mm au maximum. L'expérimentation sur le petit animal peut donc être entreprise afin de contribuer à définir les domaines privilégiés de la radiothérapie par ions lourds.

Dans un premier temps, il convient de développer des mesures de dosimétrie, phase préliminaire nécessaire aux autres expériences. On pourrait ensuite conduire des études de biologie cellulaire à l'aide des faisceaux radioactifs pour mieux connaître les conditions de leur utilisation. Des études sur l'animal sont envisagées, telles que l'étude des lésions cutanées ou les effets toxiques (nécroses) induits par les faisceaux d'ions lourds.

Ce programme, que la direction du G.A.N.I.L. soutient, a besoin pour réussir de l'appui des organismes médicaux concernés et devrait pouvoir s'insérer dans les programmes d'EULIMA que la D.G. XII de la C.E.E. aide financièrement. Il est clair que les multiples intérêts manifestés à ce programme ne pourront être mobilisés que si un chercheur du domaine médical prend en charge sa réalisation. Les besoins financiers sont assez modestes, mais les perspectives de développement -qui seraient susceptibles de donner à Caen un rôle important dans le domaine des Sciences de la Vie- peuvent être considérables.

3.6 - Les évolutions futures de l'accélérateur : G.A.N.I.L. 2

Il est naturel qu'un outil scientifique évolue. G.A.N.I.L. n'échappe pas à cette règle et depuis 4 ou 5 ans, passée la période de mise en route de l'accélérateur et des programmes de recherche, la direction du laboratoire et la communauté des utilisateurs se sont préoccupés d'examiner les voies d'évolution qui étaient ouvertes.

Cette évolution se fait sous l'influence de deux facteurs. D'une part, les techniques qui ont été utilisées lors de la conception de l'instrument peuvent avoir cédé le pas à des techniques nouvelles, plus avancées, autorisant des performances améliorées. D'autre part, le mouvement même des programmes scientifiques fait apparaître, au fur et à mesure que la compréhension des problèmes avance, de nouvelles questions qui exigent, pour leur solution, de nouveaux moyens.

Ce double mouvement peut être observé au G.A.N.I.L..

En effet, l'accélérateur utilise des électro-aimants classiques et faisait appel jusqu'en 1988 à des sources d'ions dites PIG qui avaient fait leur preuve auprès des cyclotrons précédents. Lors de la période de conception,

il avait été jugé plus sûr de s'en tenir à ces solutions éprouvées. On peut juger rétrospectivement que ce choix était judicieux : G.A.N.I.L. a été construit dans les délais et au coût prévus, et la fiabilité de son fonctionnement est un des éléments déterminants des succès scientifiques obtenus.

Cependant, le succès de nouvelles sources d'ions, dites de type ECR, a amené une conversion technique de l'accélérateur -voir les opérations O.A.E. et O.A.I. décrites dans la section 3.2- pour tirer un parti fructueux des nouvelles possibilités offertes par ces sources.

Par ailleurs, des progrès technologiques importants ont été obtenus dans la réalisation d'électro-aimants supraconducteurs, plus petits et moins gourmands en énergie électrique que les électro-aimants classiques qui équipent G.A.N.I.L..

Sur le plan scientifique, deux pistes nouvelles se sont révélées très intéressantes, dans le droit fil des résultats décrits à la section 2.1. D'une part, l'étude de la dynamique de la matière nucléaire tirerait un profit certain de la disponibilité de faisceaux d'énergie accrue, en particulier pour les noyaux les plus lourds, pour lesquels 30 ou 35 MeV par nucléon constituent une énergie un peu trop basse. D'autre part, la production de noyaux exotiques gagnerait un ou deux ordres de grandeur en intensité si l'énergie des noyaux de masse légère ou moyenne passait de 100 à 400 MeV par nucléon.

Dans un premier temps, on a donc étudié la possibilité de construire un troisième cyclotron à secteurs séparés CSS3, à installer en série derrière les deux qui existent déjà, CSS1 et CSS2, pour accélérer des faisceaux à une énergie environ quatre fois supérieure à l'énergie actuelle. La solution consistant à faire appel à un électro-aimant classique fut immédiatement écartée : le poids d'acier nécessaire apparentait ce cyclotron à un porte-avion et la consommation électrique apparaissait prohibitive. Par contre le choix d'électro-aimants supraconducteurs se révéla séduisant. Des solutions techniques apparaissent en effet possibles, sous réserve d'études plus détaillées, pour un coût total de CSS3 et des équipements associés qui serait de l'ordre d'un demi milliard de francs. L'examen plus approfondi d'un tel projet supposerait, en plus des études techniques, que soient soigneusement examinés les avantages (sans doute une plus forte intensité) qu'il pourrait présenter par rapport à l'accélérateur SIS-ESR du GSI de Darmstadt, que soient bien identifiés les programmes scientifiques et les équipes qui utiliseraient ce nouvel instrument.

Cet examen, entrepris au sein de la communauté scientifique au cours de l'année 1990, a conduit à réorienter profondément le projet et à concentrer l'intérêt de façon prioritaire sur la production de noyaux exotiques, pour les étudier bien sûr, mais aussi, et peut-être même surtout, pour les accélérer à leur tour et créer donc, de façon systématique, une panoplie de faisceaux d'ions non plus stables comme tous ceux dont on a jusqu'ici disposé, mais radioactifs.

Comme on l'a déjà évoqué pour le projet SISSI (section 3.3), le développement de faisceaux de noyaux radioactifs (dont le temps de vie

est supérieur à ou de l'ordre de 10ms) apparaît extrêmement prometteur pour plusieurs raisons :

- il étendrait les études de la physique nucléaire à plusieurs milliers de noyaux..., dont seulement quelques centaines ont été étudiés jusqu'ici ;

- il permettrait de reproduire en laboratoire les réactions nucléaires qui ont lieu dans les étoiles et de comprendre par quels processus ont été synthétisés les atomes qui constituent notre univers... ;

- il approfondirait un domaine tout juste défriché qui est l'étude des modifications de structure de matériaux par insertion de noyaux radioactifs, soit à leur surface, soit en profondeur. Le champ d'application ainsi ouvert peut être considérable.

A partir de ces idées, un développement important du projet a consisté à constater qu'il pouvait être évolutif et se mettre en place à partir du G.A.N.I.L. tel qu'il est, car déjà, à 100 MeV par nucléon, énergie actuelle du G.A.N.I.L., la production de noyaux radioactifs est considérable.

Les améliorations qu'a connues l'accélérateur G.A.N.I.L., la haute intensité et l'énergie des faisceaux qu'il délivre, amènent ainsi à proposer un projet dans lequel G.A.N.I.L. pourrait devenir rapidement une source intense de faisceaux radioactifs dont les caractéristiques prévisibles ne laissent pas présager de concurrence.

A ce point, il convient de rappeler que deux procédés permettent de produire ces faisceaux radioactifs :

- la méthode dite de fragmentation : elle a été utilisée au G.A.N.I.L. dès 1983, car elle est particulièrement efficace aux énergies délivrées par l'accélérateur. Elle consiste à récupérer les fragments du noyau-projectile formés par une collision. Le dispositif SISSI permettra de récupérer plus de la moitié des noyaux secondaires ainsi produits. On devrait parvenir, à titre d'exemples, aux taux de production suivants :

${}^{11}\text{Li} : 3,10^4/\text{s}$	${}^{20}\text{O} : 5,10^7/\text{s}$
${}^{13}\text{O} : 10^6/\text{s}$	${}^{36}\text{Si} : 10^6/\text{s}$

Les ions produits ont une énergie supérieure à (ou de l'ordre de) 50 MeV/nucléon, et peuvent être envoyés dans toutes les salles (et sur tous les détecteurs) du G.A.N.I.L.. A l'exception du système de Commandes et Contrôles, qui devra être adapté à l'énorme puissance transportée par le faisceau (> 10 kw, suffisante pour percer les chambres à vide !), cette opération (voir sections 3.2 et 3.3) est financée, et fin 1992 les premières expériences utilisant ces faisceaux auront lieu. Ce projet SISSI, dont on a souligné à la section 3.3 combien il était prometteur, doit donc permettre à G.A.N.I.L. de s'affirmer comme un centre leader dans ce nouveau domaine de

la physique avec les faisceaux radioactifs. Le succès se mesurera par la capacité de G.A.N.I.L. à rassembler autour de cet instrument nouveau une communauté scientifique nouvelle.

- La méthode dite de spallation : dans laquelle on utilise les fragments des noyaux cibles. Ces résidus sont produits pratiquement au repos. Cette méthode, mise au point et utilisée depuis 15 ans au CERN, peut aussi être mise en jeu avec les projectiles du G.A.N.I.L.. Pour des noyaux relativement éloignés de la stabilité, les intensités disponibles au G.A.N.I.L. feraient de celui-ci une source sans concurrent de noyaux exotiques.

Pour mettre en oeuvre cette seconde méthode qui fonde le projet d'évolution de l'accélérateur tel qu'il s'est désormais établi, des études importantes de recherche et développement doivent être conduites.

Elles comprennent :

- la maîtrise du processus de production d'ions radioactifs quand de très forts courants d'ions lourds sont envoyés sur une cible épaisse. Le taux de production d'un isotope donné dépend en effet de façon très sensible du choix de la cible. Une certaine expérience peut être acquise auprès de l'équipe du CERN, mais il restera à adapter ou à inventer des méthodes au G.A.N.I.L.. Il faudra aussi résoudre des problèmes de radioprotection, de Contrôles et Commandes, de robotisation, et de comportement des matériaux sous rayonnement ;

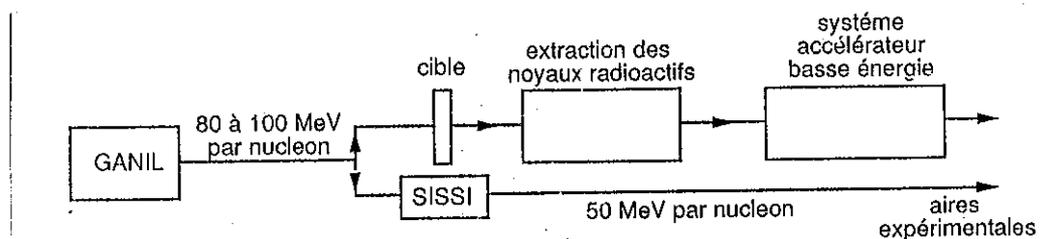
- l'extraction, l'ionisation et l'accélération des noyaux radioactifs produits.

Une fois ces problèmes résolus, on peut concevoir une évolution où l'accélérateur G.A.N.I.L. jouerait un double rôle :

. d'une part, il produit, par fragmentation, des faisceaux d'ions radioactifs grâce au dispositif SISSI avec des énergies de l'ordre de 40 à 70 MeV/nucléon ;

. d'autre part, il produit par spallation dans une cible épaisse des noyaux radioactifs dont l'accélération par étape peut être envisagée, en utilisant des cavités accélératrices. Le système présente alors une extrême souplesse au plan de l'énergie, des réglages, et même du calendrier.

Ce G.A.N.I.L. 2, producteur de faisceaux radioactifs de bonne intensité, avec une énergie modulable dont la valeur maximale dépendra de l'importance du nouveau système accélérateur, peut être réalisé par étapes et pour un coût qui au total devrait rester dans une enveloppe de 250 millions de francs. Cette version 1 est schématisée ci-dessous.



/...

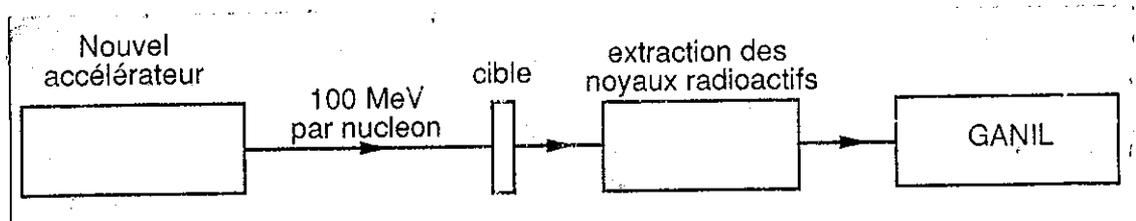
Le système accélérateur particulièrement souple permettrait de balayer les énergies jusqu'à une quinzaine de MeV par nucléon et d'étudier des problèmes très importants dans trois grands domaines scientifiques :

- l'astrophysique : lorsque celle-ci étudie la nucléosynthèse des noyaux les plus légers, elle mesure des sections efficaces de réaction induites à de très faibles énergies (\approx KeV/nucléon). Il reste beaucoup à faire sur les noyaux de masse $A > 15$ dont la synthèse intervient dans des environnements stellaires plus chauds. Les énergies correspondant à ces conditions atteignent 100 à 200 KeV/nucléon, et impliquent d'étudier ces réactions jusqu'à environ 0,5 MeV/nucléon ;

- la physique des matériaux : les études portant sur les matériaux supposent que les noyaux radioactifs soient implantés en "volume", c'est-à-dire à des profondeurs dépassant le micron. Les énergies souhaitées atteignent donc le MeV/nucléon ;

- le domaine de la physique nucléaire proprement dite va d'environ 5 MeV/nucléon jusqu'aux énergies actuelles délivrées par le G.A.N.I.L.. On a vu plus haut que le domaine d'énergie élevée (le moins bien connu) pourra être défriché à l'aide de SISSI. Par contre, le domaine d'énergies comprises entre 5 et 15 MeV/nucléon, bien étudié avec des machines comme Alice à Orsay, l'Unilac à GSI Darmstadt à l'aide de faisceaux de noyaux stables devrait être entièrement repris, car c'est là qu'on attend des effets spectaculaires induits par des projectiles extrêmement riches en neutrons (ou en protons).

Une version plus performante de ce développement, pour un coût sans doute doublé, mériterait peut-être d'être sérieusement étudiée. Cette version 2 est schématisée ci-dessous.



Elle consiste à mettre en place un accélérateur à très fort courant (plusieurs centaines de μ A), optimisé pour des ions de masse $12 < A < 40$. Ce faisceau vient frapper une cible épaisse ; on réalise ainsi la source d'ions secondaires au repos dont il a été question plus haut. Les ions produits sont alors injectés dans le G.A.N.I.L. actuel dont on utilise les aires expérimentales. Le cyclotron injecteur Co peut servir de séparateur de masse pour purifier le faisceau. En outre il accélère ce faisceau à $E < 1$ MeV/ μ , permettant ainsi de mettre sur pied et de réaliser des programmes ambitieux de mesures d'intérêt astrophysique, et de physique atomique. On peut aussi envisager le développement possible d'un très large programme de physique de la matière condensée et de physique des matériaux. A la sortie du SSSI, avec des faisceaux dont l'énergie atteint 5 à 10 MeV/nucléon, peut être retrouvée toute la physique décrite plus haut avec des faisceaux exotiques relativement

intenses. Les programmes de physique de la matière condensée (implantation en profondeur) sont aussi extrêmement attrayants.

Enfin, le domaine de physique d'ions lourds aux énergies intermédiaires, qui est le programme initial du G.A.N.I.L. se trouverait étendu aux faisceaux de noyaux loin de la stabilité permettant d'aborder un sujet radicalement nouveau, le rôle de l'isospin sur l'équation d'état de la matière nucléaire et sur les modes de vibration géants des noyaux. Ces études qui dans la version 1 du projet seraient menées grâce à l'équipement SISSI bénéficieraient ici de faisceaux beaucoup plus intenses.

On voit ainsi se dégager en ce début de décennie une perspective originale et très prometteuse pour un G.A.N.I.L. 2 qui élargirait le domaine scientifique où G.A.N.I.L. peut jouer un rôle de leader au plan international. En plus des domaines décrits à la section 2.1 et qui gardent aujourd'hui tout leur dynamisme scientifique, il s'agirait donc d'ouvrir le domaine des recherches avec des faisceaux radioactifs. Il s'agit d'un objectif légitime et de grande portée, qui doit être sérieusement envisagé dans le cadre du prochain contrat de plan. Avant même de discuter des modalités de sa réalisation, quelques conditions préliminaires doivent être remplies.

- 1 - L'opération SISSI doit se révéler un succès technique et scientifique, comme cela semble possible.
- 2 - Les études de recherche et développement sur les techniques de sources d'ions, de système d'extraction et de techniques d'accélération doivent être entreprises dès maintenant et conduire à des résultats positifs.
- 3 - Une comparaison critique des performances attendues pour G.A.N.I.L. 2 avec celles des projets concurrents (SIS-ESR, projet ISOLDE au CERN, projet ISIS en Grande-Bretagne, projet d'Oak Ridge aux États-Unis) doit être menée avec vigueur. Ses conclusions doivent faire l'objet d'un vaste accord.
- 4 - Il est indispensable que se rassemble autour du projet G.A.N.I.L. 2 une nouvelle communauté scientifique qui doit ainsi élargir le champ d'influence scientifique du G.A.N.I.L.. Cette communauté nouvelle doit s'organiser et s'exprimer. G.A.N.I.L. 2 doit donc s'imposer non comme une jouvence, mais comme une nouvelle ouverture de grande portée.

**10 - DEVELOPPER LES LIENS ENTRE G.A.N.I.L.
ET L'ENVIRONNEMENT SCIENTIFIQUE ET
ECONOMIQUE DE LA REGION**

4 - DEVELOPPER les LIENS ENTRE G.A.N.I.L. et L'ENVIRONNEMENT SCIENTIFIQUE et ECONOMIQUE de la REGION

4.1 - Les applications industrielles des faisceaux d'ions lourds

Pour les besoins de leur recherche, les physiciens nucléaires français ont voulu se doter de l'outil qu'est le G.A.N.I.L., disposer donc de faisceaux d'ions (atomes ayant perdu la plupart de leurs électrons c'est-à-dire à peu près réduits à leur noyau) très fins (quelques mm² de section), de grande vitesse (un tiers de celle de la lumière à peu près) et très intenses (environ 10¹² ions accélérés par seconde). Mais ces faisceaux ne sont que des outils, et peuvent fort bien être utilisés à d'autres fins que la recherche en physique nucléaire. On a vu en particulier (sections 3.4 et 3.5) quels développements ils permettaient pour la physique atomique, la physique de la matière condensée et la biophysique.

Ces noyaux accélérés en un fin faisceau, très énergétique et intense, peuvent aussi, parce qu'ils modifient les propriétés de la matière traversée, présenter dans certains cas un intérêt industriel.

Sur la lancée de la Loi d'Orientation et de Programmation de juillet 1982, les directions du G.A.N.I.L., du C.I.R.I.L. et de l'I.S.M.Ra. mirent en place un Groupe d'Etudes des Applications Nucléaires et Technologiques (G.E.A.N.T.) qui présenta en février 1984 un inventaire raisonné des applications possibles. A partir de cette date, des efforts systématiques furent entrepris par le G.A.N.I.L. pour aboutir à des applications industrielles dans les cas qui étaient apparus comme offrant des perspectives réalistes. La volonté politique ne suffisant pas en la matière, la décision fut prise de ne développer les techniques valorisables que dans la mesure où un industriel s'engagerait avec le G.A.N.I.L. dans cette voie. Cette démarche était différente de celle suivie ailleurs où le laboratoire développait seul les techniques à vocation industrielle sans toujours trouver au terme de ces études certes très intéressantes, mais longues et coûteuses, le partenaire indispensable à une vraie valorisation. En dehors donc de la phase de production d'échantillons significatifs, le G.A.N.I.L. n'aborde la phase de recherche et de développement qu'avec l'appui d'un industriel et sous réserve de l'établissement d'un contrat. Cette phase de recherche et développement est d'une extrême importance car elle détermine les paramètres physiques et économiques qu'il faudra mettre en oeuvre dans une production continue. Il convient d'être souple sur sa durée, souvent imprévisible, car l'obtention des critères économiques dans une concurrence très évolutive n'est pas aisée.

Au terme de cette phase, il appartient à l'industriel de décider si l'application peut déboucher sur une phase de production.

Un contrat de collaboration qui précise les conditions dans lesquelles le faisceau doit être délivré, le type d'ion, l'énergie, l'intensité minimum et maximum, l'homogénéité surfacique, les méthodes de contrôle et de facturation, la durée annuelle des irradiations, etc... est alors établi.

La figure ci-après illustre la complexité de ce processus de mise en route (1). Elle fait apparaître en particulier les aides et financements divers, tout à fait nécessaires pendant toute la phase de développement où l'opération reste très fragile. Il n'est pas rare qu'entre le concept initial et le début de la commercialisation du produit 4 à 5 années s'écoulent. C'est dire l'amplitude des investissements de capital-risque et la difficulté de trouver des partenaires industriels.

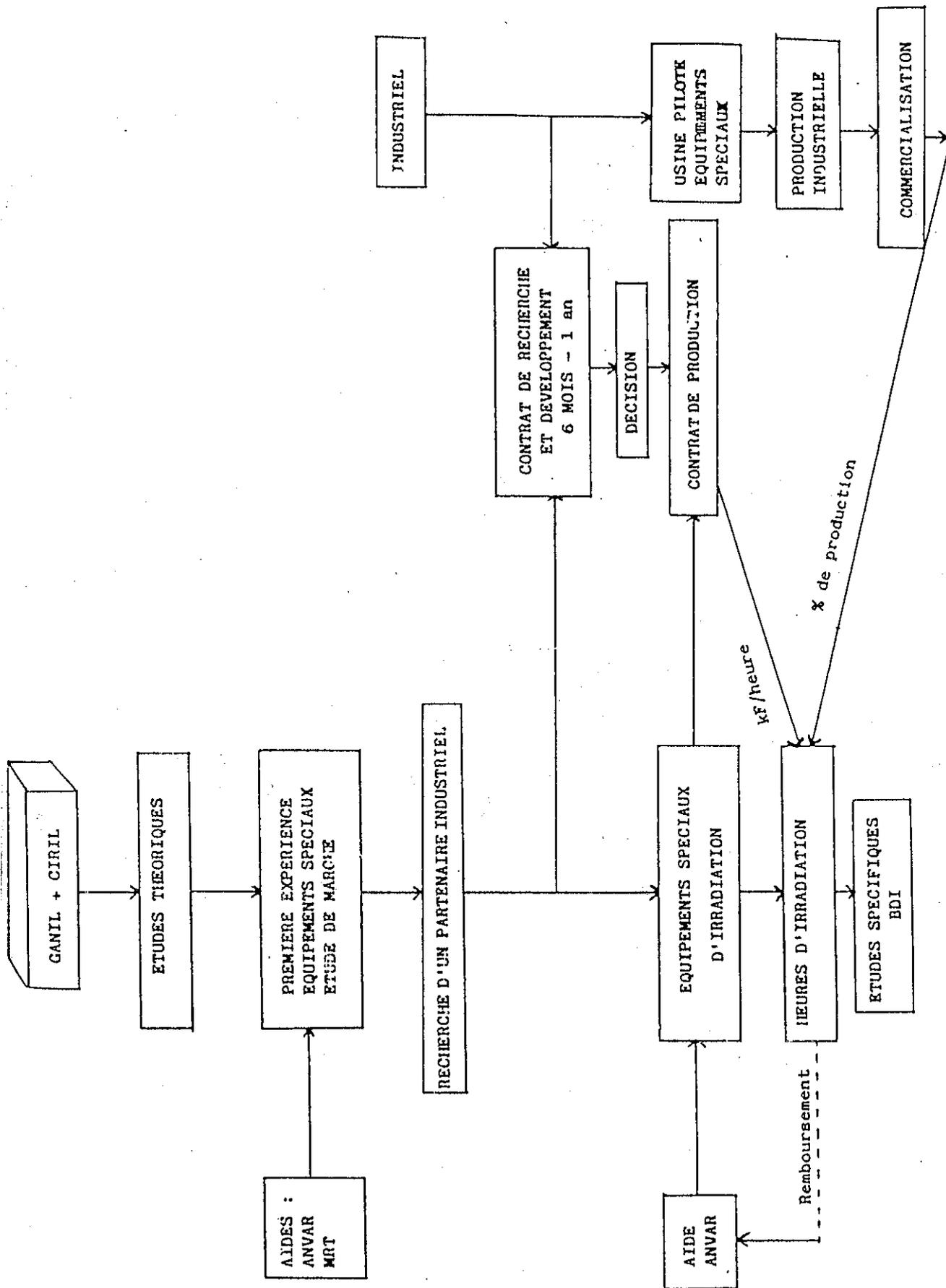
Pour assurer, au G.A.N.I.L., la permanence de cet effort et se doter d'un moyen efficace de dialogue avec les industriels, on a créé au sein du laboratoire un Service des Applications Industrielles des Faisceaux (S.A.I.F.). C'est le S.A.I.F. qui étudie et réalise selon les impératifs industriels des lignes d'irradiation spécifiques. Des personnels, formés dans les différentes disciplines utilisées, assurent le déroulement des irradiations. S.A.I.F. s'appuie par ailleurs sur l'ensemble des secteurs techniques du G.A.N.I.L. pour la réalisation des équipements de conduite, de commande et de contrôle des faisceaux.

Le S.A.I.F. travaille en liaison étroite avec le C.I.R.I.L. qui possède les connaissances fondamentales sur les interactions entre les ions rapides et la matière. C'est dans ce cadre que le S.A.I.F. peut assurer la transition entre la recherche fondamentale et l'application industrielle. Ceci nécessite, à partir des concepts fondamentaux, de simplifier sans outrance les mécanismes physiques, de limiter, si possible, le nombre de paramètres et de mettre en évidence leurs effets économiques sur le produit final. C'est un travail qui nécessite des connaissances technologiques variées, des collaborations multiples, une imagination en éveil et une ténacité permanente.

Il appartient également au S.A.I.F. de mettre en oeuvre les moyens de contrôle du faisceau en temps réel afin d'assurer une reproductibilité aussi parfaite que possible à laquelle les industriels sont particulièrement sensibles. Il convient, de ce fait, d'introduire les coefficients de sécurité, les marges acceptables de variations inhérentes aux centaines de paramètres et à l'obtention de certaines valeurs critiques (tension HF maximum, densité de courant, vide, etc...) que l'on trouve dans tout accélérateur de ce type. Compte tenu des enjeux économiques, on ne saurait se satisfaire d'une intensité fluctuante, de micro-coupures répétées, etc... A l'inverse, on n'exige pas une parfaite définition de l'énergie des ions, ni une localisation du faisceau sur la cible au millimètre près.

Enfin, le S.A.I.F. dispose d'un appui administratif particulier pour l'étude, la rédaction et le suivi des contrats, les dossiers divers d'aide à l'innovation, l'embauche et la gestion des personnels spécialisés (C.N.R.S.), la facturation et la comptabilité générale.

(1) - Claude BIETH, contribution au colloque AILE 89, Conseil Régional de Basse-Normandie, 19 mai 1989.



4.1.1 - Revue des principales applications industrielles des faisceaux du G.A.N.I.L.

Le tableau ci-après (1) indique, en fonction des énergies, les différentes applications possibles et les secteurs industriels concernés.

On notera que de :

- 100 KeV à 1 MeV/A, seul le cyclotron injecteur CO est utilisé,
- de 1 MeV à 10 MeV/A, le CO et le premier cyclotron à secteurs séparés CSS1 sont utilisés,
- de 10 MeV/A à 100 MeV/A, l'ensemble CO + CSS1 + CSS2 est utilisé.

Les mécanismes physiques qui conduisent à des modifications de structure dans les matériaux sont gouvernés par deux grandeurs liées entre elles : la masse de l'ion incident et l'énergie.

Cependant, avec les ions lourds, l'énergie joue un rôle particulier ; dans l'épaisseur d'un matériau, l'énergie transférée par les ions n'est pas constante. Ce phénomène complique l'analyse et réduit le champ des possibilités. Par exemple, pour la production de membranes microporeuses dans des isolants, un ion de carbone de 100 MeV/A pénètre plusieurs millimètres de polycarbonate. Cependant, les traces latentes ainsi créées ne sont pas révélables chimiquement. Il faut, à cette même énergie (si l'on en dispose !), utiliser un ion de masse beaucoup plus grand, xénon ou au-delà, pour obtenir une révélation chimique possible.

On imagine aisément qu'en fonction des ions utilisés, différents problèmes apparaissent : variations inadmissibles de la statistique de révélation de traces, forme des pores, etc.... Il existe cependant des traitements annexes pour rétablir la qualité des pores : traitement par le rayonnement ultra-violet, double ou triple attaque chimique, oxygénation, etc.... Il convient alors de vérifier que la mise en oeuvre de ces traitements ne provoque pas d'effet secondaire tel que l'annihilation des traces latentes par échauffement des matériaux, et ne conduit pas à un surcoût financier prohibitif.

4.1.2 - Les équipements d'irradiation du G.A.N.I.L.

L'énergie élevée des faisceaux disponibles à G.A.N.I.L. permet d'effectuer les irradiations dans l'air. En effet, la perte d'énergie consentie pour traverser une fenêtre mince de séparation air-vide est faible comparée à l'énergie incidente. Il s'agit là d'un avantage considérable lorsque l'on connaît le volume des équipements nécessaires, par exemple à la production de membranes ou à l'irradiation de composants électroniques.

(1) - Claude BIETH, contribution au colloque AILE 89, Conseil Régional de Basse-Normandie.

Energies	Parcours des ions dans la matière	Effets physiques	Applications possibles	Secteurs industriels
> 20 MeV/A GANIL HAUTES ENERGIES	> 50 μm jusqu'au mm	<ul style="list-style-type: none"> - Défauts - Transformations structurales - Percolation 	<ul style="list-style-type: none"> - Membranes spéciales - Surfaces émissives - Greffage polymères - Simulation (environnement spatial, latch up) - Transition isolant-conducteur - Adhésion 	Biotechnologies Filtration Agroalimentaire Spatial Médical Nouveaux matériaux
5-15 MeV/A Sortie Moyenne Energie	10 - 50 μm	<ul style="list-style-type: none"> - Défauts - Transformations structurales 	<ul style="list-style-type: none"> - Membranes microporeuses - Répliques métalliques - Micro-optique - Centres colorés dans les cristaux ioniques ou covalents - Verres anti-reflet - Simulation de l'endommagement - Greffage - Mélange ionique 	Biotechnologies Filtration Métallurgie Médical Bijouterie Verriers, opticiens Nucléaire Spatial
0,5-5 MeV/A Basses Energies	5 μm -10 μm	<ul style="list-style-type: none"> - Défauts créés par ralentissement électronique et nucléaire - Pulvérisation électronique 	<ul style="list-style-type: none"> - Membranes - Traitement de surface - Greffage - Matériaux pour la fusion - Analyses matériaux et biologiques 	Biotechnologies Nucléaire Analyse de surface Pharmacie Biologie
100 KeV- - 10 MeV (énergie totale) très basses énergies	< 5 μm	<ul style="list-style-type: none"> - Chocs élastiques prépondérants - Transformations structurales Cristal --> amorphe 	<ul style="list-style-type: none"> - Greffage superficiel - Traitement de surface et d'extrême surface - Polymères conducteurs - Micro-électronique <ul style="list-style-type: none"> • fonctions CMOS • couches enterrées • programmation des ROMS - Métallurgie <ul style="list-style-type: none"> • propriétés mécaniques • alliages spéciaux amorphes - Matériaux nouveaux mélange ionique 	Biomatériaux Galvanoplastie Plasturgie Electronique Mécanique Métallurgie Prothèses métallique Biomatériaux

Un dispositif de balayage horizontal et vertical permet d'irradier (dans l'air) une surface de 500 mm x 40 mm de façon homogène pour les irradiations envisagées. La grande surface qui peut ainsi être irradiée et l'homogénéité de cette irradiation ont été directement imposées par les exigences industrielles. Les résultats techniques ainsi obtenus donnent à G.A.N.I.L. une avance sur d'autres accélérateurs qui n'ont pas bénéficié de ce dialogue avec l'utilisateur industriel et n'ont donc pas développé des systèmes aussi performants.

Le contrôle de la qualité est un autre domaine où des efforts importants ont permis de satisfaire à l'exigence industrielle. Ainsi le faisceau est contrôlé pendant toute l'opération par des détecteurs spéciaux et des transformateurs d'intensité non destructifs qui assurent le suivi permanent de la localisation et de l'intensité.

De même un analyseur de spectre couplé à une diode permettent la calibration et l'analyse de l'énergie sur le matériau irradié. L'utilisation d'un micro-processeur DIVA 63 et d'un micro-ordinateur PC superposés permet de développer des logiciels de processus automatiques spécialisés, une surveillance constante de l'irradiation. Ce dispositif assure aussi le stockage sur disque des informations nécessaires aux industriels et certains traitements particuliers : sortie graphique des profils, calcul des centres de gravité, calcul des intensités totales et répartition spatiale. Il est également couplé à l'analyseur de spectre pour le traitement des mesures d'énergie.

Toute l'expérience de la valorisation à G.A.N.I.L. le confirme : les applications industrielles ne peuvent se faire valablement qu'au prix de cette complexité.

4.1.3 - Applications industrielles actuelles et futures du G.A.N.I.L.

En 1990, deux activités utilisent régulièrement les faisceaux du G.A.N.I.L.. En décembre 1986, un accord de recherche et de développement a été signé avec la société BIOPORE (auparavant B.S.I.) pour la réalisation de membranes microporeuses, suivi au début de 1988 par un accord de production. Le tableau ci-après indique différents paramètres de cette production.

BIOPORE a construit sur le Parc Technologique de la Folie-Couvrechef une usine pilote de production. Pour les besoins de sa production, BIOPORE utilise des faisceaux du G.A.N.I.L. pendant 100 à 400 heures annuelles. Le total des redevances versées par BIOPORE à G.A.N.I.L. s'élève à 3 519 kF, à la fin de 1990.

D'autre part, en 1989, après une phase d'évaluation, la société MATRA-Espace a également signé un accord pour la réalisation d'irradiations de composants électroniques utilisés dans l'espace. En effet les ions lourds simulent assez bien les rayonnements cosmiques auxquels sont soumis les matériels embarqués. Connaître et minimiser les dommages que ces

CONTRAT BIOPORE SA	
<u>Production de membranes microporeuses</u>	
Φ pores	0.05 à plusieurs μm
Porosité	Jusqu'à 30%
Matière	Polycarbonate, PET, etc ...
Epaisseurs	Variable de 10 à 50 μm
Vitesse de production	Quelques m/mn à quelques 100 m/mn
Méthode d'irradiation	Ions lourds (Kr, Xe) dans l'air
Méthode de révélation	Attaque chimique (NaOH, KOH, etc...)
Dispersion des diamètre des pores	Très faible
Intensité du faisceau	10 ¹² particules/seconde
Largeur irradiée	≈ 500 mm

rayonnements causent aux composants, sélectionner les plus résistants parmi ces derniers, permet en effet de réduire les coûts et les poids des systèmes à mettre en orbite en limitant les redondances de sécurité. Le tableau ci-après indique les paramètres principaux de ces irradiations.

Cette activité a jusqu'ici rapporté 1 558 kF au G.A.N.I.L.. Divers autres petits contrats d'irradiation portent le total des sommes reçues au titre de la valorisation industrielle des faisceaux à 5 207 kF. G.A.N.I.L. a pu ainsi rembourser l'A.N.V.A.R. de l'avance de 500 kF que l'Agence lui avait accordée pour développer ce type d'activités et s'équiper, comme on l'a vu plus haut, d'un appareillage performant bien adapté aux irradiations industrielles.

Il semble désormais possible de développer ces activités suivant trois axes.

D'abord les deux programmes en cours (membranes micro-poreuses et irradiation de composants) sont susceptibles d'autres développements tant ces domaines s'adressent à un marché important, surtout dans le premier cas, et dans la mesure bien sûr où une politique de commercialisation active réussira.

Par ailleurs, d'autres applications sont déjà activement envisagées, ayant fait l'objet de la réalisation d'échantillons significatifs.

CONTRAT MATRA ESPACE	
Etude des défauts induits dans les composants sous bombardement d'ions lourds	
Irradiation dans l'air sous divers ions lourds	Carbone, Argon, Krypton, Xénon, etc ...
Energies	60 MeV/A à 5 MeV/A (ralentisseurs métalliques)
Pénétration dans le silicium	1.3 mm à 5 μ m
LET	0.2 à 68 MeV/mg/cm ²
Largeur de faisceau disponible sur les composants	430 mm
Hauteur du faisceau	De 10 à 20 mm
Flux	Variable de 10 ² à 10 ⁴ ions/s/cm ²
Homogénéité surfacique du flux	\pm 10%

Le tableau ci-après (1) rassemble ces possibilités de développement pour lesquelles une étude de marché et la recherche de partenaires industriels ont été entreprises. D'autres possibilités existent par ailleurs (membranes maillées avec des pores régulièrement espacés, traitement de matériaux plastiques multi-couches, micro-soudures) mais elles nécessitent encore des études préalables approfondies.

Enfin, l'utilisation systématique des faisceaux de basse énergie disponibles à G.A.N.I.L., qui nécessiterait des crédits limités et aurait un grand intérêt scientifique, comme on l'a décrit dans la section 3.4, ouvrirait également des perspectives intéressantes pour des applications industrielles touchant à la transformation des matériaux. Des applications possibles ont été décrites dans le rapport commun G.A.N.I.L.-C.I.R.I.L. du 1er mars 1988 ainsi que dans la section 3.4. Il est particulièrement utile de souligner à ce sujet qu'à la différence des faisceaux de haute et moyenne énergie, largement mobilisés pour les études en physique fondamentale, les faisceaux de basse énergie ont une disponibilité à peu près totale qui favoriserait leur utilisation systématique à des fins industrielles.

Pour terminer cet examen des applications industrielles présentes et futures des faisceaux du G.A.N.I.L., deux propositions peuvent être avancées.

D'abord, le partenaire industriel a besoin, pour imposer un produit, d'une sécurité d'approvisionnement. Or, par nature l'accélérateur, outil de pointe, est amené à être arrêté pour de longues périodes, parfois pour des pannes (même si la fiabilité du fonctionnement du

(1) - Claude BIETH (septembre 1990) rapport G.A.N.I.L. 90/021/30.

1- Matériau super-isolant

- Irradiation de surface et traitement chimique (mica ...).
- Amélioration de la tenue en tension.
- Ions : krypton, xénon.
- Energie : 5 à 10 MeV/A.
- Irradiation dans l'air. Vitesse de production selon matériau et objectifs.

2- Pointes émissives par effet de champ

- Irradiation d'un polycarbonate ($10^8 - 10^9$ ions/cm²). Attaque chimique conique, dépôt électrolytique du métal puis dissolution du support plastique.
- Energie : 5 - 10 MeV/A.
- Ion : Krypton , Xénon.
- Hauteur des pointes possibles : 3 à 10 µm. Diamètre de la base 0.2 à 5 µm.
- Vitesse de production avec dispositions irrégulières des pointes sur la surface (suivant la statistique de bombardement ionique) : 50 m²/mn.
- Vitesse de production avec disposition régulières des pointes : pas 10-20µm toutes directions : 150 cm²/heure.

Irradiation dans l'air.

3- Verres anti-réfléchissants

- Irradiation d'un verre ou plastique $10^{10} - 10^{11}$ ions/cm².
 - Attaque chimique conique.
 - Energie : 0.02 MeV/A à 1 MeV/A. Vitesse de production possible : 1 m²/heure.
- Irradiation dans l'air.

4- Microlithographie

Usinage ou reproduction d'un masque sur un support après irradiation et attaque chimique.

- Ions : argon, krypton.
- Energie : 1 à 5 MeV/A.
- Fluence : quelques 10^{12} ions/cm².

Irradiation dans l'air.

5- Implantation ionique profonde

Modification des caractéristiques des matériaux. Production de composants électroniques (ROM, C. MOS, ...).

- Ions : O, C, N, B, P, As.
- Energie (totale) : 200 keV à 10 MeV.
- Intensités (recherche et Développement) : 10^{12} à 10^{13} pps.

Irradiation sous vide.

L'utilisation de faisceaux radio-actifs permet des mesures particulières : usure de matériaux, circulation de fluide, etc ...

G.A.N.I.L. est remarquable et constitue un légitime sujet de fierté pour ses personnels), parfois pour des améliorations de l'instrument. On doit donc envisager des accords entre différents laboratoires pour que les uns puissent parfois suppléer aux défaillances des autres. Par ailleurs, les connaissances, le savoir-faire ne sont pas tous concentrés dans un laboratoire, ce qui peut faire perdre beaucoup de temps si on cherche uniquement des solutions locales (même si, répétons le, l'alliance G.A.N.I.L.-C.I.R.I.L. détient une position très forte). Dans le cas particulier discuté ici, un partenaire naturel et puissant est le G.S.I. Darmstadt, d'autant qu'il y a complémentarité de compétences (beaucoup d'expériences en recherche et en développement de toutes les applications possibles à G.S.I., beaucoup d'expériences du fonctionnement pour l'industrie à G.A.N.I.L.). Un cadre possible pour une coopération organique est le G.I.E. Européen. Il devrait être sérieusement envisagé.

D'autre part, la structure actuelle où le S.A.I.F., service interne du G.A.N.I.L., assure toutes les fonctions, depuis l'étude sur faisceau d'applications industrielles potentielles jusqu'à la recherche de partenaires, a sans doute atteint ses limites. Il serait plus efficace de ne demander à G.A.N.I.L., en association avec C.I.R.I.L., que la fourniture de faisceaux et la conduite des études finalisées, et de mettre sur pied une société chargée de la recherche d'industriels et de la définition avec eux de programmes de recherche et de développement.

4.2 - L'amélioration de la valorisation industrielle des innovations techniques de la recherche

Les activités de recherche contribuent au développement technique et économique par trois sortes de canaux. D'abord, les résultats de la recherche peuvent être valorisables, comme dans le cas d'un nouveau matériau (les supraconducteurs à haute température) ou d'une meilleure connaissance d'un processus biologique (mise au point d'un vaccin). Les exemples en la matière sont nombreux et concernent souvent des activités essentielles. Ensuite certaines installations de la recherche peuvent être utiles au plan économique. La section précédente (4.1) concerne précisément ce mode de valorisation. Enfin, les chercheurs, pour leurs besoins propres, sont amenés à développer des techniques et des instruments inédits qui peuvent parfois offrir un intérêt économique. La physique nucléaire a été ainsi une source impressionnante d'innovations : les premiers grands ordinateurs et l'électronique rapide ont été développés en son sein, et pour la recherche, avant de se répandre largement.

Ce troisième mode de valorisation offre un intérêt considérable. Il est pourtant sans doute sous-utilisé. Malgré les incitations au transfert technologique et les nombreuses aides mises en place de façon croissante au cours des dix ou quinze dernières années, beaucoup d'innovations nées dans les laboratoires ne font pas l'objet d'une évaluation suffisante quant à leur intérêt économique. Il semble que beaucoup d'efficacité puisse encore être gagnée dans ce domaine.

Par sa grande activité technique, G.A.N.I.L. est une source d'innovations importantes et la mise en place d'un mécanisme efficace de

/...

valorisation pourrait amener des succès significatifs. En retour, des réussites visibles dans le domaine de la technologie peuvent conforter la vocation de centre scientifique de Caen.

Un succès encourageant a déjà été obtenu dans ce domaine avec la création de GAN'ELEC. La construction d'un grand multidétecteur, TAPS (voir section 3.2), a donné lieu à la mise au point d'un nouveau module électronique, innovant par rapport aux performances des outils semblables proposés par les fabricants. La direction du G.A.N.I.L. a estimé qu'il n'était pas dans la vocation d'un laboratoire de recherche de fabriquer en série ce module, dont soixante exemplaires étaient nécessaires pour TAPS, et encore moins de le fabriquer pour d'autres laboratoires qui pourraient être intéressés. En utilisant les nouvelles dispositions statutaires élaborées par le C.N.R.S. pour la mise à disposition de consultants, elle a réussi en 1988 un transfert technologique auprès de GAN'ELEC, société créée pour construire et vendre ces modules électroniques de haut niveau. Un contrat a été établi entre G.A.N.I.L. et GAN'ELEC, prévoyant les modalités du transfert et les redevances versées par GAN'ELEC sur les revenus des ventes du produit. Un ancien physicien du G.A.N.I.L. est aujourd'hui directeur technique de GAN'ELEC. La société implantée à Hérouville-Saint-Clair a embauché au total 4 personnes, s'est dotée de moyens techniques propres et a ajouté à son catalogue 4 autres produits dont la vente se développe. Le chiffre d'affaires réalisé à la fin du premier exercice social, à l'automne 1990, s'est élevé à plus de 6 millions de francs. Il est remarquable de constater que 55 % de ce chiffre d'affaires a été réalisé à l'exportation et que, dans les ventes françaises, l'objet initial du transfert -la fabrication pour G.A.N.I.L. d'un module électronique- ne compte déjà plus que pour moins du tiers.

Il faut mesurer bien sûr toutes les incertitudes que comporte l'avenir pour une petite société d'électronique de haut niveau, mais on doit sans doute enregistrer dès maintenant avec une grande satisfaction cette nouvelle démonstration de l'effet d'entraînement, multiplicateur, que manifeste le transfert de technologie.

Dans ces domaines, l'action des pouvoirs publics, au niveau national ou régional, ne peut se substituer à l'initiative des acteurs (chercheurs, ingénieurs, industriels), mais elle peut apporter des appuis précieux. Il serait souhaitable que soit encouragée la formation d'une société qui chercherait systématiquement à valoriser les réalisations techniques dans d'autres domaines (mécanique, instrumentation, logiciels, etc...). Les activités d'une telle société pourraient, avec le temps, s'étendre à d'autres domaines que ceux ouverts par le G.A.N.I.L..

4.3 - Le développement des synergies entre les établissements du Campus 2

Lors de la création de la Technopole de Caen-Normandie, de nombreux observateurs extérieurs, ayant fait le bilan des ressources du site caennais, ont découvert, souvent avec surprise, la qualité des moyens de formation et de recherche qui s'y trouvent déjà regroupés, essentiellement sur

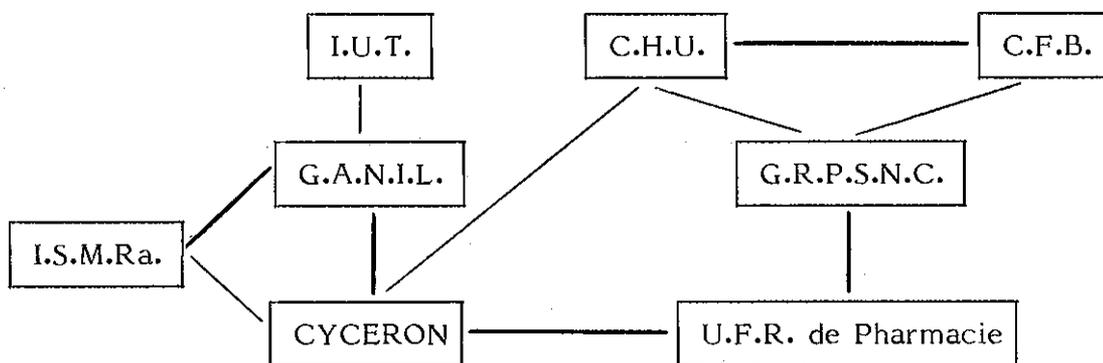
/...

trois sites, l'Université, près du centre-ville, le S.E.P.T. à l'ouest, et ce que l'on appelle le Campus 2 au nord. On doit s'interroger sur les raisons qui font que le poids de ces équipements, évident pour qui examine la réalité caennaise, n'est pas mieux connu. La dispersion des trois sites n'en est pas la raison principale, qu'il faut plutôt rechercher dans l'absence d'une image cohérente et forte que la Technopole commence seulement à imposer. Or, si l'on veut favoriser des développements autour du G.A.N.I.L., on ne peut ignorer la force d'appel que constituerait un grand ensemble scientifique de forte visibilité.

De ce point de vue, on doit bien constater que le Campus 2, riche pourtant d'installations scientifiques, n'existe pas. Les différents établissements y sont implantés sans cohérence, sans référence à un plan d'ensemble, et les liens que la pratique a tissés entre eux ne s'inscrivent dans aucune structure. Il paraît nécessaire, dans la perspective de ce rapport, que l'on donne une identité et des perspectives à cet ensemble. Le grand centre scientifique à l'ouest de l'Europe qu'il s'agit d'élaborer doit en effet se construire autour de ce campus. Si la nature de sa structure, si les grands axes de l'aménagement à mettre en place, si les signes extérieurs lisibles de son existence n'ont pas à être esquissés ici -car ils relèvent des délibérations des autorités compétentes-, l'urgence de telles mesures, leur utilité à l'égard des objectifs poursuivis doivent être énergiquement soulignées.

Sans doute le point de départ des synergies à développer (et la preuve de leur efficacité) a-t-il été la construction de CYCERON qui, en plus de la conviction et de la qualité de ses promoteurs, a dû beaucoup, pour la décision et la réalisation, à la présence du G.A.N.I.L..

Un atout considérable pour le développement du Campus 2 est que de nombreuses autres synergies scientifiques existent déjà naturellement entre les différents établissements. On peut les symboliser sommairement, et de façon probablement non exhaustive, par le schéma ci-après.



Les traits les plus épais indiquent les interactions les plus fortes. Ces liens concernent des programmes scientifiques communs, des développements techniques conduits en coopération ou des échanges d'enseignants.

Un développement important peut venir de la mise en route au G.A.N.I.L. d'un programme de biophysique et de radiothérapie dont le grand intérêt a été souligné au paragraphe 3.5. Une synergie de très grande portée pourrait alors s'établir entre G.A.N.I.L., CYCERON et le Centre François Baclesse.

Il est utile de rappeler ici que l'U.F.R. de Sciences de l'Université a adopté unanimement le 2 février 1990 la motion suivante : "le Conseil de l'U.F.R. rappelle le scénario voté par le Conseil d'Université du 28 janvier 1988 prévoyant le transfert de l'U.F.R. de Sciences sur le campus II. Il déclare confirmer ce choix et propose de négocier un échéancier pour l'ensemble des trois cycles donnant la priorité au transfert des 2ème et 3ème cycles et des laboratoires de recherche".

Dans sa séance du 18 janvier 1991, l'U.F.R. de Sciences vient de confirmer "son souhait de voir le transfert progressif des trois cycles d'enseignement de l'U.F.R. sur le campus II".

L'orientation ainsi réaffirmée d'une implantation universitaire renforcée sur le Campus 2 est un atout important et sans doute une condition pour le développement de celui-ci.

Il convient enfin de souligner le rôle important que va jouer le réseau VIKMAN (voir glossaire) pour développer les synergies entre les établissements scientifiques de l'agglomération caennaise.

Permettant l'échange de données à haut débit, il va rendre possible le travail commun. On a déjà souligné dans la section 3.5 qu'il était un élément déterminant pour que soit possible un programme de radiothérapie par faisceaux d'ions. Mais dès maintenant les interactions scientifiques et techniques déjà établies, et dont la richesse apparaît sur le schéma ci-dessus, vont se trouver facilitées donc enrichies. Sans compter que le fait de partager un instrument commun, d'être ainsi amené à le développer ensemble, crée des liens concrets entre les équipes, facilite le dialogue, donne lieu à des idées nouvelles.

Cet instrument original -dont la mise en place constitue une première dans les centres scientifiques français- devrait se révéler, au-delà des possibilités techniques qu'il ouvre, comme un accélérateur du développement scientifique caennais.

4.4 - Le développement des moyens humains de recherche dans la Région

Il existe une forte corrélation entre l'activité générale de recherche dans la région et les perspectives de développement autour du G.A.N.I.L.. En effet, au niveau où doivent se prendre d'éventuelles décisions en matière de développement de G.A.N.I.L., la crédibilité du pôle scientifique caennais dans son ensemble devient un élément déterminant.

On en a fait l'expérience heureuse au moment où l'implantation de deux caméras à Tomographie par Emission de Positons (T.E.P.) était l'objet d'un débat jusqu'au plus haut niveau de l'Etat, au printemps 1981, puisque la présence du G.A.N.I.L. à Caen a été un facteur déterminant pour que la réalisation de CYCERON soit décidée.

En retour, tout projet d'accroissement des activités de recherche du G.A.N.I.L. verra ses chances de succès augmenter si la vitalité du pôle scientifique caennais, toutes disciplines confondues, est clairement perçue et si donc l'émergence de Caen comme un centre scientifique majeur à l'ouest de l'Europe apparaît comme une perspective réaliste.

Or, comme on l'a déjà souligné à la section 3.1, s'agissant des personnels du G.A.N.I.L. lui-même, il n'y a pas assez de chercheurs et d'équipes à Caen. La carte ci-après qui reflète les implantations d'équipes associées au C.N.R.S. est exagérément pessimiste puisqu'elle ne prend pas en compte les laboratoires nationaux comme le G.A.N.I.L.. Elle aide cependant à mesurer l'effort à accomplir.

Dans son rapport (1) déjà cité Jean TELLAC note *"dans le domaine de la recherche comme dans tous les autres, rien ne se fait sans l'initiative, la persévérance, l'intelligence, le savoir des hommes"*.

Au stade où en est le développement scientifique caennais, beaucoup, peut-être l'essentiel, dépend des hommes, et quelques individus, quelques équipes peuvent faire la différence.

L'enjeu est crucial. Il faut, dans les domaines d'excellence dont peut se prévaloir la Région, favoriser la venue à Caen de nouveaux chercheurs et de nouvelles équipes.

De ce point de vue l'implantation revendiquée d'autres écoles d'ingénieurs (nous n'en avons qu'une) serait susceptible de favoriser un tel développement dans la mesure où on s'accorde à souhaiter que la recherche soit plus présente dans la formation des ingénieurs.

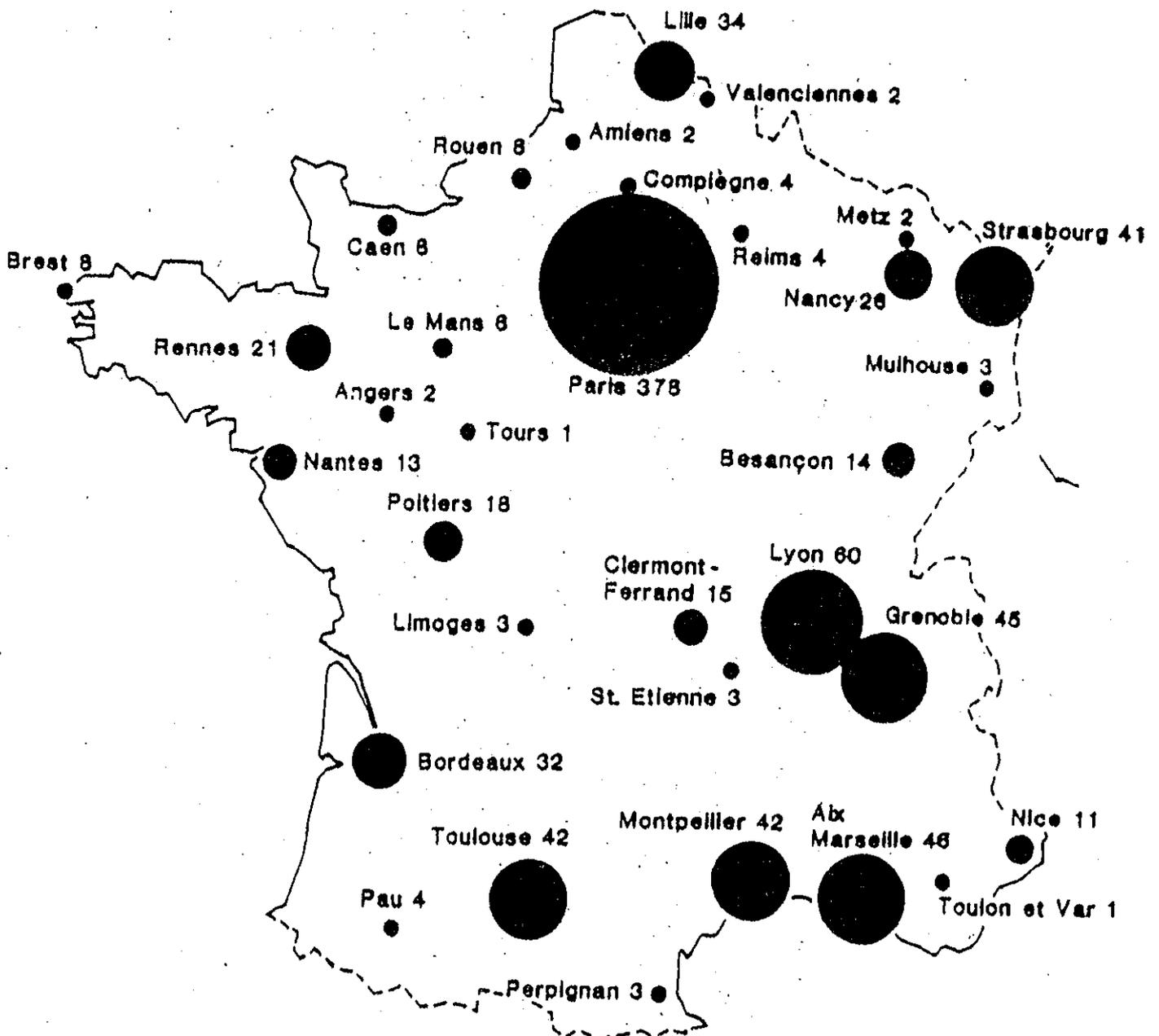
Pour parvenir à un rééquilibrage géographique de l'emploi scientifique, il est possible de s'appuyer sur une politique gouvernementale clairement exprimée. Au Conseil des Ministres du 6 juin 1990, M. Hubert CURIEN, Ministre de la recherche et de la technologie, et M. Jacques CHEREQUE, Ministre de l'aménagement du territoire et des reconversions, ont annoncé, dans une communication commune, la création d'un fonds de mobilité géographique et leur volonté de soutenir par des investissements les opérations de décentralisation les plus exemplaires.

Par ailleurs, le rapport MAILFERT (2) souligne que la structure de la pyramide des âges des chercheurs devrait amener à un renouvellement profond de ce corps dans les 15 ans à venir. Il faut "profiter de

(1) - Rapport TELLAC, J.O. (rapports et avis du C.E.S.N.) 6 juin 1989.

(2) - Rapport A. MAILFERT : "Recherche et Territoire" (La Documentation Française).

REPARTITION DES UNITES ASSOCIEES AU C.N.R.S.
PAR CAMPUS UNIVERSITAIRE



cette opportunité". C'est sans doute le meilleur moyen, si les organismes le veulent, de modifier de façon sensible la répartition géographique des chercheurs sur le territoire.

Si l'essentiel dépend certes dans ce domaine des grands organismes nationaux, beaucoup peut cependant être accompli par la Région.

D'abord, il conviendrait qu'elle mette cet objectif parmi ses toutes premières priorités dans les négociations avec les partenaires scientifiques nationaux. Ensuite il faut que la Délégation Régionale de la Recherche et les équipes locales, qui sont les mieux à même d'identifier les chercheurs ou les équipes entières dont la venue serait souhaitable, soient mobilisées sur cet objectif. Enfin, la Région doit se doter de moyens incitatifs hors du commun pour parvenir à ce nécessaire développement. Il est très positif que le deuxième contrat de Plan Etat-Région prévoit que 5 millions de francs soient consacrés à l'accueil de nouvelles équipes. Mais il faut être prêt, au coup par coup et, si l'enjeu le justifie, à faire plus.

On pourrait aussi imaginer la création d'une Fondation qui pourrait porter le nom d'un grand scientifique normand et dont l'objectif serait de financer des actions de haut niveau capables de promouvoir le développement scientifique régional. On peut penser, dans le cadre de telles actions, au séjour prolongé d'un scientifique capable d'impulser de façon significative un des domaines d'excellence déjà développés à Caen, en particulier la physique des matériaux, la physique nucléaire et les neurosciences. Les domaines que cette Fondation devrait aider sont ceux-là même où Caen est déjà fortement reconnu au niveau international et où s'affirme déjà sa capacité à devenir (cet objectif sous-tend très explicitement ce rapport) un pôle scientifique majeur à l'échelle de l'Europe. Restreindre ainsi les objectifs de la Fondation signifie simplement qu'il ne s'agit pas de distribuer un supplément aux moyens de recherche normalement existants, mais de permettre des initiatives difficiles à insérer dans les autres procédures de dotation financière. Cela signifie aussi que dans des domaines où l'activité est déjà de grande qualité internationale, des effets féconds peuvent résulter de l'intervention sur une durée assez longue d'une personnalité de très haut niveau.

Il conviendrait par ailleurs de s'interroger sur l'action positive que pourrait avoir, pour la visibilité du pôle scientifique caennais, une action spécifique de la Fondation dans le domaine des sciences humaines. On ne doit pas négliger, en effet, ni le rôle considérable de ces disciplines dans le développement économique et social, ni le rayonnement qu'elles exercent dans toute la vie culturelle pour l'image de la région. A condition de concentrer ses moyens sur une seule action et de viser au plus haut niveau, par exemple pour une publication, ou un colloque récurrent, la Fondation pourrait peut-être dans ce domaine, appauvri et souvent délaissé par les initiatives et les investissements, faire oeuvre bénéfique.

**V - PERSPECTIVES POUR LA CONSTRUCTION A TERME
D'UN NOUVEAU GRAND EQUIPEMENT
DE RECHERCHE**

5 - PERSPECTIVES pour la CONSTRUCTION à TERME d'un NOU- VEAU GRAND EQUIPEMENT de RECHERCHE

5.1 - La politique nationale d'implantation des grands équipements de recherche, modalités et échéances

Dans les domaines scientifiques concernés par ce rapport, et dans notre pays, l'expérience montre que les modalités d'une décision d'implantation d'un nouvel équipement majeur sont à peu près les suivantes.

D'abord il faut que se manifeste une forte mobilisation autour du projet au sein de la communauté scientifique et qu'un accord clair existe sur les problèmes techniques de sa réalisation.

Ensuite, il faut que les grands organismes scientifiques nationaux inscrivent ce projet dans leurs priorités.

Enfin, il faut que l'Etat, dans le cas présent le Ministère de la recherche et de la technologie, prenne la décision de réaliser ce projet.

Si ce dernier élément intervient toujours en dernier, et avec les difficultés très naturelles que l'on peut imaginer, les deux premiers éléments sont souvent moins séparés dans le temps. L'histoire de G.A.N.I.L. offre l'exemple d'une initiative venue des organismes qui d'emblée ont oeuvré au rassemblement de la communauté autour du projet.

Au schéma de principe ci-dessus s'ajoutent de plus en plus deux ingrédients devenus ces dernières années déterminants, l'intervention régionale, particulièrement attendue au plan financier, et le soutien international, européen le plus souvent, qui doit être explicite et appuyé au plan scientifique, mais dont on attend aussi de plus en plus qu'il ait des conséquences financières.

Tous les domaines scientifiques ont des projets dans leurs cartons, mais il n'est guère possible dans chaque domaine d'en avoir deux en cours de décision suivant les modalités esquissées ci-dessus. Les moyens financiers sont limités et deux projets issus du même domaine scientifique, inévitablement concurrents, se réduisent ainsi bien vite à un seul ou, dans le pire des cas, se détruisent l'un l'autre.

Depuis qu'en 1975 a été prise la décision de construire le laboratoire national G.A.N.I.L., aucun projet de cette ampleur n'a vu le jour en physique nucléaire, même si d'autres opérations plus limitées ont été décidées et ont constitué des développements appréciables, tels le préaccélérateur MIMAS au laboratoire national SATURNE de Saclay ou l'accélérateur électrostatique VIVITRON à Strasbourg.

A la suite de longues discussions scientifiques, la communauté française de physique nucléaire a décidé, il y a 2 ou 3 ans, que le prochain investissement majeur dans la discipline devrait être un accélérateur

d'électrons de grande énergie. Ce projet qui est encore en cours d'évolution quant à ses caractéristiques précises ouvre des perspectives scientifiques considérables. Il est soutenu par les organismes de recherche. Pour l'instant, c'est-à-dire tant que le projet ne sera pas complètement déterminé et qu'une décision ministérielle ne sera pas intervenue, il est très naturellement le seul projet majeur en physique nucléaire.

L'avenir de toute la physique nucléaire, y compris donc celle qui se fait au G.A.N.I.L., dépend largement d'une décision, positive ou négative, du Ministère de la recherche quant à cet accélérateur d'électrons. La date où elle sera définitive constitue l'échéance majeure de la discipline, et pour l'essentiel déterminera ou au moins affectera les dates auxquelles les principaux développements envisagés dans ce rapport pourront être proposés.

Ce projet d'accélérateur d'électrons, décrit à la section suivante (5.2), ne comporte pas de lieu d'implantation. C'est donc une des options ouvertes à notre Région de chercher à conforter son rôle important dans la recherche en physique nucléaire en revendiquant pour Caen l'installation de cet accélérateur si sa construction est décidée.

5.2 - Le projet d'accélérateur d'électrons

Depuis plusieurs décennies, les électrons de grande vitesse constituent un moyen original et efficace pour étudier la constitution des noyaux atomiques. Pour ne pas remonter plus loin, citons simplement les expériences effectuées à Stanford (Californie) à partir de 1967 par J.I. FRIEDMAN, H.W. KENDALL et R. TAYLOR que le Prix Nobel vient de récompenser (tardivement) en 1990. Ils observaient la diffusion d'électrons rapides (plusieurs dizaines de milliers de MeV) par des protons. Comme on connaît bien la nature de la force qui agit (la force électro-magnétique), que l'on sait calculer ses effets, on peut déduire des résultats expérimentaux la forme même de l'obstacle qui a produit la diffusion des électrons. Ainsi ces trois physiciens ont-ils pu, pour la première fois, observer que les protons n'étaient pas des sphères uniformément chargées mais avaient en réalité une sous-structure : des centres de diffusion durs, prédits quelques années plus tôt dans certaines constructions mathématiques de la physique des particules, les quarks, constituants les plus élémentaires de la matière, étaient ainsi mis en évidence. Par des techniques semblables, on a pu "observer", avec une grande finesse, à plus basse énergie, le comportement des protons et des neutrons dans les noyaux.

Les accélérateurs d'électrons en service jusqu'au début des années 1980 avaient une faible intensité et émettaient leur faisceau par paquets courts et discontinus. Pour mieux utiliser les remarquables propriétés de cette sonde originale de la matière, il est devenu nécessaire d'augmenter l'intensité des faisceaux et surtout de les rendre essentiellement continus dans le temps, avec ce que l'on appelle un cycle utile de 100 %. Les physiciens français qui, il y a 10 ou 20 ans avaient un rôle leader en Europe dans ce domaine grâce à l'A.L.S. (Accélérateur Linéaire de Saclay) inauguré en 1969, furent parmi les

premiers, dès la fin des années 1970, à proposer, avec conviction et insistance (1), la construction d'un nouvel accélérateur à haute intensité et cycle utile 100 %. Les Américains défendaient la même idée et obtenaient que la décision de réaliser CEBAF, un accélérateur de 4 GeV (4 000 MeV), fût inscrite en première priorité pour la physique nucléaire au milieu des années 1980. Aujourd'hui CEBAF est en construction et devrait fonctionner vers 1994.

En Europe, la situation a évolué dans deux directions.

D'une part, l'Allemagne et les Pays Bas se sont dotés d'accélérateurs ayant les intensités et le cycle utile élevés souhaités, mais à plus basse énergie (en-dessous de 1 GeV, ou 1 000 MeV) pour étudier la structure des noyaux. Ces accélérateurs qui entament leurs programmes scientifiques vont mobiliser les physiciens de ces deux pays (et de nombreux visiteurs étrangers) pendant plusieurs années.

D'autre part, les Français ont défendu avec vigueur un accélérateur de plus haute énergie, comparable à CEBAF avec quelques améliorations, en en faisant un laboratoire d'initiative nationale mais avec un soutien et une vocation au niveau européen. L'ensemble des physiciens nucléaires français ont fait de ce projet, en 1988, leur première priorité de construction nouvelle. Des équipes de recherche ont entrepris de préparer les programmes expérimentaux, de définir les détecteurs, tandis que des études techniques étaient conduites à Saclay par le C.E.A. avec un succès remarquable pour construire les cavités haute-fréquence supraconductrices nécessaires à la bonne réalisation de l'accélérateur. Le 1er octobre 1989, deux rapports, sur l'accélérateur lui-même, et sur le programme de physique, étaient rendus publics.

Il était prévu une énergie de 4 GeV, comme pour le laboratoire CEBAF aux Etats-Unis. L'accélérateur devait fonctionner suivant le principe de la "recirculation" (voir figure ci-après), le faisceau repassant plusieurs fois de suite dans les linacs qui l'accélèrent. Cette structure permet de réduire le coût et l'encombrement et d'autoriser des gains d'énergie dans la mesure où l'on saurait, au fil des années, améliorer les performances des cavités accélératrices qui constituent un linac.

Le coût de l'équipement était alors évalué suivant le tableau ci-après.

(1) - Par exemple : J.M. LAGET Physics Program for a 2 GeV, 100 % duty-factor electron accelerator (1983) ; rapport DPh-N-Saclay 2111.

Génie civil et infrastructure..... (y compris la protection contre les radiations et les aires d'expérience)		303
Accélérateur.....		505
dont : - linac..... (y compris réfrigérateur et HF)	302	
- injecteur..... (non compris électrons polarisés)	19	
- transport de faisceau.....	143	
- commandes, contrôles.....	41	
	505	808
Aléas 10 %.....		81
Total arrondi à.....		900 MF
Physique (équipements expérimentaux).....		210 MF

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

- les frais de main-d'oeuvre relatifs aux 130 agents des organismes constructeurs ne sont pas inclus dans les chiffres précédents, mais les frais de main-d'oeuvre fournis par l'industrie pour le montage y figurent ;

- certaines dépenses relatives au site, comme le prix du terrain et de ses accès, le prix de l'antenne de ligne E.D.F. nécessaire pour l'alimentation en énergie, le prix du restaurant et de la maison d'hôtes, le prix de l'équipement de laboratoire n'entrent pas dans le total du tableau.

Après un premier examen par le Comité des Très Grands Equipements auprès du Ministère de la Recherche et de la Technologie, ce projet allait se trouver très naturellement au centre de l'audit des activités de recherche en physique nucléaire conduit par l'Académie des Sciences, à la demande du Ministre. Dans leur rapport (1), les Académiciens portaient de façon générale une appréciation positive, voire laudative, sur le niveau des recherches poursuivies par les physiciens nucléaires français, et la place de celles-ci au niveau international. Pour le projet d'accélérateur d'électrons, ils se montraient très réservés sur l'énergie retenue : *"Il nous semble que si l'on veut concurrencer CEBAF en Europe, il faut essayer de faire beaucoup mieux, atteindre 10 à 15 GeV, soit une énergie où la structure en quarks puisse se manifester clairement. Quitte à construire un grand appareil, il ne faut pas se limiter à la zone intermédiaire et a priori très complexe, où l'on reste confiné à 4 GeV"*.

(1) - La Physique Nucléaire Fondamentale, rapport n° 24, Académie des Sciences, 23, quai Conté, 75006 Paris.

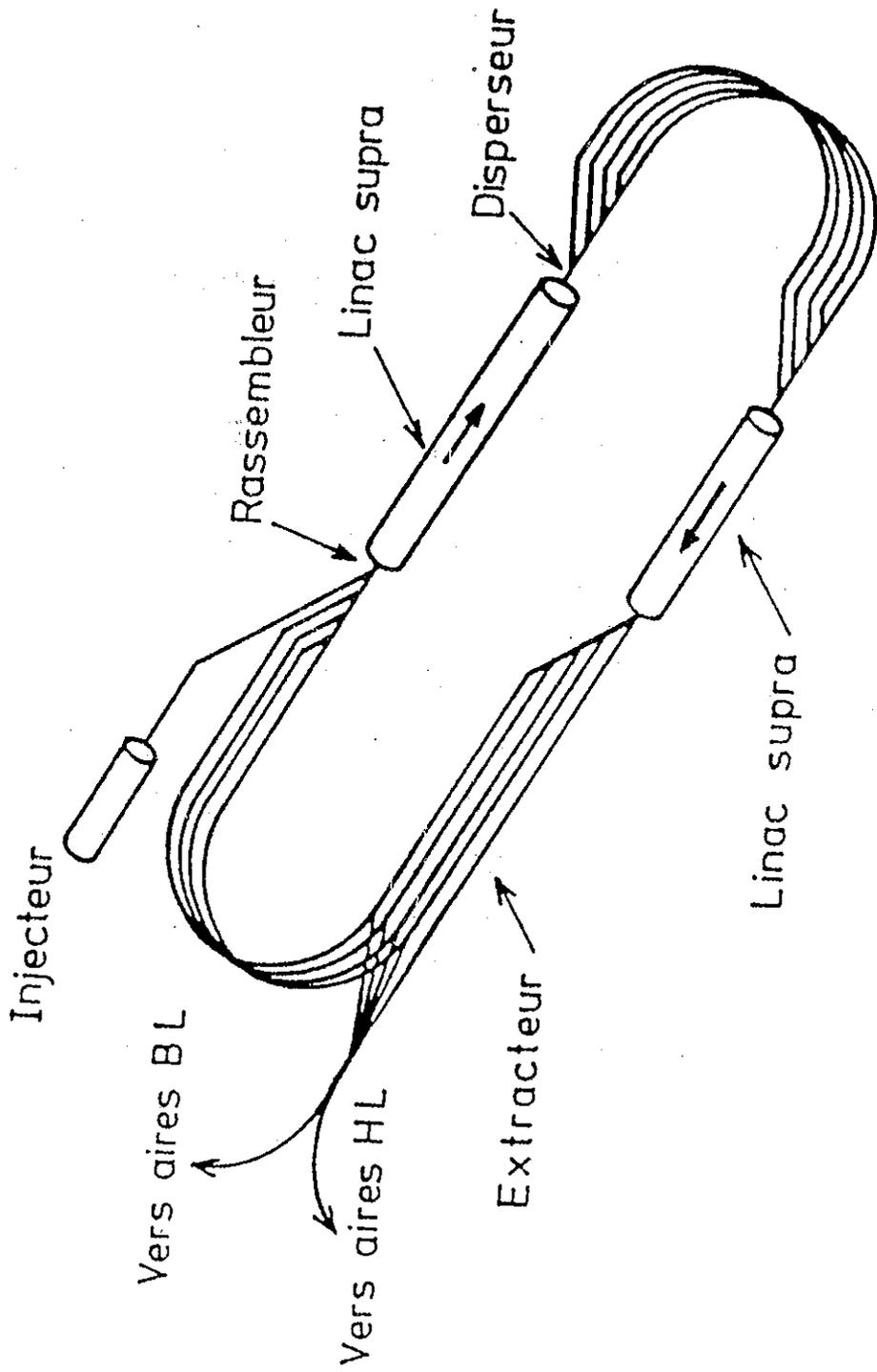


Schéma type de l'accélérateur.

Ils développaient l'argument en ces termes : "Si l'on considère un projet européen, faut-il alors construire une machine comparable à CEBAF, ou se montrer plus ambitieux ? Nous pensons qu'il faut faire mieux que la machine américaine. Nous pensons que le meilleur choix actuel serait une machine pouvant dépasser 10 GeV et atteindre, disons, 15 GeV. Cette dernière valeur n'est qu'indicative. Il est par contre très important, pour des raisons de physique aujourd'hui claires, de dépasser 10 GeV. C'est à partir de là seulement que la structure en quarks apparaît clairement. Il n'est pas déraisonnable de penser que le prix d'une telle machine ne pourrait être que de l'ordre du double de celui d'une machine de 4 GeV, les multiples frais annexes (terrain, bâtiments, infrastructure...) étant les mêmes. Un tel coût devrait être acceptable à l'échelle européenne. Tout cela devrait être étudié et chiffré. On sait d'ailleurs que tout est fait à CEBAF pour pouvoir plus tard pousser l'énergie de la machine jusqu'à 16 GeV, mais il n'y a ni projet ni calendrier pour l'instant. Si l'Europe ne peut qu'être en retard à 4 GeV, elle pourrait être en avance à 15 GeV. La physique attendue à 4 GeV ne nous semble pas justifier, seule la duplication différée, même améliorée, du programme américain".

Même si certaines des directions recommandées par les académiciens ne font pas l'unanimité, il est clair désormais que le projet français, s'il veut exister, ne peut porter que sur un accélérateur de haute énergie. Certains assurent même que c'est à une énergie encore plus élevée que 15 GeV, c'est-à-dire 20, voire 25 GeV, que les phénomènes les plus intéressants pourraient se manifester. On parle là d'une installation d'un coût total de près de 3 milliards de francs qui ne peut plus être d'initiative française. Clairement elle doit, dès le début, s'inscrire dans un cadre multilatéral. Est-il possible d'y parvenir alors que, comme on l'a dit, l'Allemagne et les Pays Bas ont pour l'immédiat d'autres priorités ? Est-il possible d'imaginer une construction par étape, que le principe de la recirculation décrit plus haut permet, commençant à 4 GeV et se poursuivant plus tard vers 15 GeV ? Tout ceci est désormais en débat.

D'un point de vue régional, il est clair en tout cas que le projet d'octobre 1989 (4 GeV et 1 milliard) était à une échelle qui permettait à une région, la nôtre en particulier, de faire des propositions d'implantation soutenues par des engagements financiers significatifs, mais que les nouvelles perspectives (plus de 15 GeV et 3 milliards) sortent de ce cadre.

Il convient cependant de rester vigilant et informé tant que les orientations scientifiques et surtout les décisions des organismes ne sont pas arrêtées.

5.3 - Le projet de collisionneur électron-positron

Depuis une quinzaine d'années, la physique des particules vit une phase extraordinairement fructueuse de son histoire. Elle est parvenue à décrire, à partir d'un petit nombre de particules qui apparaissent comme

fondamentales, l'ensemble extrêmement divers des particules qui se créent lors de collisions où de grandes quantités d'énergie sont mises en jeu (1). Bien mieux, ces quelques particules, leurs interactions, leurs propriétés sont aujourd'hui décrites par une théorie (la Chromodynamique Quantique) dotée de capacités prédictives. Même si cette théorie conserve ses zones d'incertitude, même si les limites de sa validité sont encore un objet d'étude et de débat, cet ensemble de résultats est déjà entré dans l'histoire comme un des grands succès intellectuels de ce siècle. Dans les douze dernières années, ce domaine scientifique a été d'ailleurs cinq fois couronné par le prix Nobel de Physique. Tout indique que ce dynamisme continuera pendant les années à venir et plusieurs points essentiels font l'objet de recherches de grande ampleur (voir dans le glossaire l'article : *Particules Élémentaires*).

Cette physique a aussi acquis une caractéristique particulière : elle a requis jusqu'ici des accélérateurs de plus en plus gigantesques fournissant des projectiles d'énergie de plus en plus élevée afin de pouvoir former les particules de plus en plus lourdes dont on attend qu'elles éclairent la description de la matière prédite par la théorie.

Il en est résulté une extrême concentration des efforts. Depuis 30 ans, l'Europe Occidentale a regroupé à peu près tous ses moyens au CERN à Genève. Et pour la nouvelle (la dernière ?) machine que les Etats-Unis ont entrepris de bâtir, le SSC (87 km de circonférence au Texas), une participation du Japon est négociée au plus haut niveau.

Une nouvelle voie de recherche dans ce domaine de la physique des particules paraît pourtant s'amorcer. Si les grandes machines demeurent justifiées par la nécessité d'observer les particules théoriquement prévues qui ne l'ont pas encore été, l'étude détaillée des propriétés et des interactions des particules désormais connues peut se faire avec des moyens plus limités. Le collisionneur électron-positron, dont il s'agit ici, entre dans cette nouvelle catégorie d'instruments de recherche.

Cet accélérateur ferait se rencontrer avec une énergie totale de 3 000 à 5 000 MeV des faisceaux d'électrons et de positrons (le positron est l'antiparticule de l'électron, de même masse que lui mais de charge électrique opposée).

Il serait constitué par deux anneaux superposés de 130 m de long et de 45 m de large. Un accélérateur linéaire et un synchrotron accélèrent les électrons et les positrons jusqu'à l'énergie voulue. Cette machine doit avoir une très forte luminosité et assurer un gain de plus d'un facteur 100 du nombre de collisions entre électrons et positrons par rapport aux collisionneurs qui, dans le passé, ont couvert le même domaine d'énergie. Une étude préliminaire effectuée par le Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay montre qu'une telle réalisation est possible en utilisant des technologies certes avancées pour

(1) - On sait que l'énergie et la masse sont deux grandeurs équivalentes reliées par la célèbre formule d'Einstein $E = mc^2$; c'est-à-dire qu'une absorption d'énergie peut donner naissance à une particule massive et que l'annihilation de cette dernière donne lieu à un dégagement d'énergie.

les aimants et cavités supraconductrices, mais connues et déjà testées dans d'autres laboratoires. Le coût de l'ensemble est estimé à 630 MF, correspondant à peu près pour moitié à l'accélérateur d'une part, et aux équipements et bâtiments de l'autre.

Ce collisionneur permettrait de faire une physique extrêmement riche dans trois domaines principaux. Le premier est l'étude du quark c dit "charmé", découvert en 1974 mais encore très mal connu. Le second est celle des mésons charmés (un quark c combiné à un autre quark) avec le test fondamental de certaines lois de symétrie. Le troisième, peut-être le plus fascinant, est celui du lepton tau qui offre des possibilités uniques pour l'étude de certaines lois fondamentales de l'interaction faible, et pour la mesure de la masse du neutrino associé, avec toutes les implications cosmologiques de ce problème.

Ces expériences testent de façon cruciale le modèle standard et permettraient s'il est mis en difficulté d'ouvrir la voie à une nouvelle physique. Actuellement, la précision des résultats obtenus ne le permet pas ; une usine à tau et à charme, comme on appelle parfois ce collisionneur électron-positron, est indispensable pour cela.

Il semble acquis qu'une telle machine doive voir le jour au cours de cette décennie. Un projet est envisagé à Dubna (U.R.S.S.). Un autre, sans doute plus avancé, est envisagé par l'Espagne, pour implantation à Séville. Il serait doté d'équipements complémentaires pour produire le rayonnement électromagnétique dit synchrotron, à l'usage de vastes programmes de physique, chimie, biologie, etc... comme le font des installations telles que LURE à Orsay ou le grand laboratoire européen ESRF en construction à Grenoble.

Il semble acquis aussi qu'un seul collisionneur sera construit en Europe, complétant ainsi pour le continent les moyens existant au CERN et à Hambourg. Ce troisième pôle d'activité serait international dans son fonctionnement, mais sans doute, comme Hambourg, largement national quant à l'initiative de son lancement et à l'essentiel de l'investissement financier initial. Il jouera à n'en pas douter un rôle scientifique de grande portée dans la physique européenne.

La communauté scientifique européenne s'est dotée d'une structure efficace et reconnue pour donner son aval -toujours déterminant- aux projets en physique des particules et pour faire des choix quand ils s'imposent. C'est le Comité Européen pour les Futurs Accélérateurs (ECFA) qui a pour l'instant été saisi du projet espagnol et rendra dans le futur proche un avis sur le projet de Séville (faisabilité technique, programme scientifique, recommandations sur sa réalisation...).

Pourquoi évoquer ici un projet de collisionneur ?

Parce que le laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay a élaboré un projet dans ce domaine, objet de nombreux encouragements internationaux ; parce qu'il est peu vraisemblable (techniquement, politiquement) d'envisager une construction d'accélérateur à Orsay ou en région

/...

parisienne ; parce qu'un projet interrégional conjoint Caen-Orsay avec implantation à Caen pourrait recevoir le soutien du Laboratoire d'Orsay qui joue un rôle essentiel dans la physique française des particules. Cette collaboration interrégionale serait une application exemplaire du souhait gouvernemental de décloisonner les régions dans le domaine de la recherche. Dans leur communication conjointe du 6 juin 1990 au Conseil des Ministres, M. Hubert CURIEN, Ministre de la Recherche et de la Technologie, et M. Jacques CHEREQUE, Ministre Délégué chargé de l'Aménagement du Territoire et des Reconversions, souhaitaient une démarche de concertation entre les instances régionales et les organismes et demandaient que soient définies quelques grandes opérations à caractère structurant et à vocation interrégionale ayant pour objet de constituer des projets scientifiques ambitieux. M. Hubert CURIEN, dans un entretien avec le "Quotidien du Maire - Hebdo" (5-11 Décembre 1990), insistait sur "la nécessité d'avoir une politique qui organise les relations (des régions) avec la région parisienne... sous une forme de va-et-vient et non sous la forme d'un mouvement d'aspiration". Il ajoutait "Nous ne voulons pas que les régions françaises se montent en entités qui ne communiqueraient pas entre elles, et qu'elles élaborent des politiques de recherche trop cloisonnées". Ce projet conjoint Caen-Orsay, susceptible de s'accompagner d'un nombre significatif de chercheurs et ITA de la région parisienne vers la Basse-Normandie s'inscrit très exactement dans le cadre de ces idées.

Quels avantages notre région trouverait-elle à une telle réalisation ?

Caen entrerait définitivement dans le club assez restreint des capitales scientifiques en Europe. Du même coup se trouveraient diversifiées les activités scientifiques de la région par un programme de haut niveau en physique des particules. Bien loin d'affaiblir les autres domaines, ce regain de crédibilité du pôle scientifique caennais serait susceptible de rendre plus naturels et plus probables les développements de ces autres secteurs.

Quelles conditions réunir pour pouvoir valablement proposer un tel projet ?

Il convient d'abord de s'assurer que ce qui sous-tend tout ce rapport et qui sera rappelé dans la conclusion -la volonté de faire de Caen un pôle scientifique majeur et de faire de cette politique un axe du développement régional- est bien acquis. Ensuite, il faut examiner en détail comment pourrait se mettre en place une collaboration Caen-Orsay. Cela passe certainement par l'implantation à Caen d'un groupe de physiciens des particules, mis en place très vite avec quelques individus attachés au projet et ayant vocation en quelques années à croître jusqu'à une taille critique. L'exemple de G.A.N.I.L. l'a montré : le succès d'un laboratoire d'accueil exige qu'existe un programme local de haut niveau. Il faut aussi, comme on l'a décrit dans la section 5.1, que les promoteurs du projet emportent l'adhésion des grands organismes nationaux quant à sa légitimité. Il faut encore que les collectivités territoriales examinent la possibilité de contribuer de façon significative au coût du projet.

Il faut surtout que ce projet mobilise des scientifiques en nombre suffisant pour le faire réussir, à un moment où des expériences lourdes, longues et d'un grand intérêt démarrent au CERN sur le nouvel accélérateur LEP. Il faut aussi que l'IN2 P3 et le CEA puissent dégager les personnels techniques expérimentés et de haut niveau capables de concevoir en détail et de construire l'accélérateur (dans la mesure où plusieurs programmes de réalisation de gros équipements arrivent à leur terme, cela devrait être possible).

Il est certain que la puissance scientifique et technique du Laboratoire d'Orsay, la présence à Caen des capacités considérables du G.A.N.I.L. et du groupe de laboratoires de physique de l'I.S.M.Ra. font, au plan national, de cette implantation, une des meilleures possibles.

Quelle qu'elle soit en tout cas, la décision de présenter ou non ce projet d'un accélérateur français pour la physique des particules doit intervenir dans des délais assez rapprochés.

VI - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

6 - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le développement de la recherche est devenu un enjeu régional majeur. Entre 1980 et 1987, les financements régionaux dans ce domaine ont été multipliés par 5 en francs courants comme le fait apparaître le tableau ci-après, extrait du rapport de Jean TEILLAC (1) au Conseil Economique et Social National. Ils jouent un rôle déterminant car ils sont essentiellement orientés vers l'investissement alors que les crédits d'Etat sont majoritairement absorbés par les dépenses de fonctionnement. Le rôle incitatif de l'action régionale peut donc là jouer à fond. Le tableau ci-après fait également clairement apparaître que, sur la lancée de la construction du G.A.N.I.L., la région de Basse-Normandie intervenait à un niveau relatif important au début des années 80. En face du développement considérable de l'action des autres régions, dû au moins en partie aux responsabilités que leur attribuait dans ce nouveau domaine la loi d'orientation et de programmation de la recherche de juillet 1982, la Basse-Normandie est rentrée dans le rang à la fin des années 80. Ce recul relatif est dû, semble-t-il, aux difficultés rencontrées dans la mise en route de nouveaux grands projets. A des degrés divers, il n'a pas été possible de faire démarrer CYCERON, le Groupement de Recherche Pharmacologique sur le Système Nerveux Central, ou la construction de l'I.S.M.Ra. aussi vite que prévu. L'appel des crédits s'en est trouvé étalé, malgré les souhaits fortement exprimés par toutes les instances territoriales.

La récurrence de ces difficultés doit encourager la Région à développer une politique de recherche très ambitieuse sur le long terme. Il est essentiel à cet effet, même si cela n'est pas suffisant, de proposer des projets scientifiques de niveau au moins national, susceptibles d'attirer de nombreux chercheurs.

Les recommandations qui se dégagent de ce rapport ont toutes pour but d'amplifier le développement scientifique que G.A.N.I.L. a permis au cours des années 80. Certaines peuvent être mises en route dès maintenant, d'autres portent sur le long terme. Il est apparu nécessaire de les distinguer.

Il est proposé aux instances régionales de mettre en oeuvre dès maintenant les mesures suivantes :

- A - *Mener à son terme le renouvellement des équipements informatiques et expérimentaux du G.A.N.I.L. dans le cadre du présent contrat de plan Etat-Région à la hauteur des moyens prévus (voir section 3.2).*
- B - *Veiller à ce qu'aucune difficulté financière ne retarde la réalisation du dispositif SISSI qui dotera G.A.N.I.L., en 1992, de faisceaux radioactifs sans équivalent ; encourager la constitution d'une communauté internationale structurée pour son utilisation optimale (voir section 3.3).*

(1) - Rapport TEILLAC, J.O. (avis et rapports du C.E.S.N.) 2 juin 1989.

*Intervention des régions dans le soutien de la recherche
(MF courants)*

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ile-de-France.....			4,2	8	8,5	6,5	7,2	7,3	
Alsace.....	1,4	1,1	7	10	18	13	18	26,7	29
Aquitaine.....	4,5	9	6,2	15,8	27,2	33,4	41,5	49,8	50,1
Auvergne.....	0,5	1,2	3	3	5,6	7,8	11,1	5,7	7,4
Bourgogne.....	3,1	6,6	10	10,8	13	12	11,5	22	23,3
Bretagne.....	12,1	16,4	19,3	20	52	30	40,1	39,8	47,5
Centre.....	5,5	5,5	2,1	6,5	8,5	10,8	13,7	9,7	9,8
Champagne-Ardenne.....	1,8	0,8	7	8,2	12,8	12,5	13	16,5	23,2
Corse.....	1	4,2	1,7	1,6	0,7	3,8	13,6	4,4	8,8
Franche-Comté.....	2,7	3,1	4,3	7,5	9,6	11,8	11,3	13,1	13,4
Languedoc-Roussillon.....	4,2	3,8	3,5	6,9	18,5	12,9	17,5	23,7	23,1
Limousin.....	0,9	3,9	3,3	4,8	8,5	11,8	7,2	7,6	9
Lorraine.....	1,5	5	6	10	18,5	14	21,2	23,8	31,8
Midi-Pyrénées.....	2,8	3,5	5,8	4,5	15,5	21,8	24	36	52,4
Nord - Pas-de-Calais.....	11,1	24	28	33	33	58,5	63	83	
Basse-Normandie.....	3,3	10,2	10,1	8,1	10,5	12,3	10,6	12,2	15,4
Haute-Normandie.....	0,8	0,5	2,6	5,7	9,4	7	7,2	11,6	11
Pays de la Loire.....	5,1	5,2	8,6	14,4	15,4	16,9	15,7	17,6	22,5
Picardie.....	1,5	3,2	3,8	5,1	12,5	16,2	13,8	20	31,4
Poitou-Charentes.....	1	4,7	3,3	3,6	8,3	3,8	11,9	10,1	16,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	0,3	2,8	20	30	50	85,2	71	72,6	102
Rhône-Alpes.....	8,1	13	18	29	52	42	47,3	58	60,8
Total en francs courants.....	74,1	127,7	175,8	246,5	375,5	419,6	491,1	571,3	
TOTAL EN FRANCS 1980.....	74,1	115,1	142,5	182,0	258,0	271,4	302,2	341,5	

Source : M.R.T.

- C - Rechercher avec les organismes scientifiques nationaux les modalités d'un accroissement significatif du nombre de scientifiques affectés au G.A.N.I.L. et dans les laboratoires locaux voisins ; mettre en place les moyens incitatifs adéquats (voir sections 3.1 et 4.4).
- D - Soutenir la constitution à G.A.N.I.L. d'un axe de recherche sur la biophysique et la radiothérapie, en collaboration avec CYCERON et le C.F.B. (voir section 3.5).
- E - Favoriser, en concertation avec les collectivités territoriales et les organismes concernés, la définition et la réalisation d'un plan d'aménagement du Campus 2 de Caen, capable de donner une forte image scientifique à la capitale régionale (voir section 4.3).
- F - Soutenir la création de sociétés de valorisation industrielle des techniques de la recherche, et d'ingénierie et d'étude pour l'utilisation des faisceaux d'ions lourds, suivant des modalités à étudier (voir sections 4.1 et 4.2).

/...

G - Etudier la création d'une Fondation normande pour permettre l'accueil de personnalités scientifiques de haut niveau et pour développer toutes les initiatives susceptibles d'assurer le rayonnement et le développement du pôle scientifique caennais dans ses domaines d'excellence (voir section 4.4).

A plus long terme, la poursuite du développement scientifique régional suppose une ou plusieurs implantations de grands équipements scientifiques. Quatre sont décrits dans ce rapport :

- a) Eulima (voir section 3.5),
- b) collisionneur électron-positron (voir section 5.3).
- c) accélérateur d'électrons (voir section 5.2),
- d) G.A.N.I.L. 2 (voir section 3.6),

Au plan scientifique ils sont totalement indépendants et ne s'excluent sur le même site en aucune façon. Ils concernent trois domaines scientifiques distincts : sciences de la vie (projet a) ; physique des particules élémentaires (projet d) ; physique nucléaire (projets b et c).

Comme il est rappelé schématiquement ci-dessous, chacun de ces projets va évoluer suivant ses conditions propres, et il est impossible aujourd'hui de proposer une liste de priorités ou un mode d'action de la région adapté à chacune des situations susceptibles de se créer sous l'influence de facteurs extérieurs. Au moment où la négociation du Plan Etat-Région entrera dans sa phase décisive, il est probable que la situation se sera précisée et que des choix pourront être faits.

Dans cette perspective, la recommandation suivante est proposée aux instances régionales :

H - Demander que dans les priorités retenues dans le nouveau contrat de plan Etat-Région (1994-1998) figure la décision de faire de Caen un centre scientifique majeur à l'ouest de l'Europe.

C'est dans ce cadre que pourra être revendiquée l'implantation d'installations lourdes nouvelles. Il n'est pas inutile de souligner à nouveau que les projets décrits ici concernent des domaines variés et que le développement scientifique s'accommode mal de la monoculture. Il est donc naturel, voire nécessaire, que la Basse-Normandie souhaite à la fois conforter son rôle majeur en recherche nucléaire, acquis grâce au succès du G.A.N.I.L., et se développer dans des disciplines nouvelles. Loin de se contrarier, ces ambitions multiples se confortent. Notre Région doit affirmer sans hésitation ce point de vue qui a fait ses preuves ailleurs. A Grenoble, par exemple, sont implantés ou en cours de construction des équipements ou institutions de recherche majeurs, souvent même de statut international, tels que l'Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), la pile à haut flux de neutrons de l'Institut Laue-Langevin (ILL), l'Installation Européenne du Rayonnement Synchrotron (ESRF), le Laboratoire Européen pour la Biologie Moléculaire (EMBL), sans compter environ 45 Unités associées au C.N.R.S. souvent dotées d'équipements

lourds. Qui ne voit que, bien loin de nuire à des implantations nouvelles, cette diversité de thèmes et cette concentration des moyens tend à les favoriser ? Comment ce qui est encouragé ailleurs pourrait-il être opposé à l'affirmation d'ambitions caennaises ?

Il n'est pas possible aujourd'hui de faire des recommandations explicites pour chacun des quatre projets possibles. On peut simplement tracer les perspectives suivantes :

a) Eulima (voir section 3.5) : la nature de l'accélérateur n'est pas définie et, dans une large mesure, le principe même de la construction d'Eulima, son intérêt thérapeutique effectif, ne sont pas acquis. L'urgence est donc de prendre pied dans les études qui se développent, d'acquiescer ainsi une légitimité dans ce domaine. C'est l'objet de la recommandation D et il y a à Caen d'excellents atouts à exploiter pour être, le cas échéant, un candidat crédible à l'implantation d'Eulima.

b) Collisionneur électron-positron (voir paragraphe 5.3) : la physique des particules élémentaires est à peu près absente de Caen, et l'implantation de ce projet permettrait (et supposerait) un développement vigoureux de cette discipline, avec un transfert significatif d'équipes de la région parisienne où le projet est né, et sans doute des conversions thématiques pour des physiciens issus d'autres domaines scientifiques. Ce projet offre des perspectives scientifiques brillantes. Il paraît vraisemblable qu'une telle machine se construira quelque part dans les années à venir et aura un rôle au moins européen. Son prix (300 millions de francs pour l'accélérateur, environ 600 millions de francs au total) permet de l'inscrire dans les budgets de la recherche. Des synergies efficaces pour sa construction à Caen peuvent être trouvées avec les équipes techniques de haut niveau qui sont en place à G.A.N.I.L.. Cependant la direction scientifique et technique d'un tel projet ne peut venir que du laboratoire qui l'a proposé (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay) et que la Région, qui ne peut proposer au départ qu'un soutien logistique et financier, ne peut avoir l'initiative en ce domaine. Il serait utile cependant qu'elle se donne les moyens d'explorer cette perspective très séduisante et réaliste avant que les négociations préparatoires au prochain plan soient engagées.

c) Accélérateur d'électrons (voir section 5.2) : comme on l'a indiqué, c'est le projet qui paraît le plus proche d'une décision politique. Si le Ministère de la recherche et de la technologie en décide effectivement la réalisation en France et dans un cadre européen, cet équipement sera pour quelques décennies un centre de recherche majeur à l'échelle du continent. Une contribution financière substantielle (plusieurs centaines de millions de francs) sera sans doute attendue de la région qui demandera cette implantation. Il est certain que la Basse-Normandie se verrait, si elle accueillait cet équipement, définitivement installée dans le rôle demandé par la recommandation H ci-dessus. L'effort financier qui se poursuivrait pendant environ 5 ans serait important (sans doute de l'ordre de 5 à 10 % du budget régional) mais ouvrirait des perspectives considérables.

d) G.A.N.I.L. 2 (voir paragraphe 3.6) : comme on l'a expliqué au paragraphe 5.1, des raisons de planification des investissements scientifiques et d'opportunité font que les organismes du C.N.R.S. et du C.E.A.

ne pourront revendiquer un investissement important à G.A.N.I.L. tant qu'une décision ministérielle ne sera pas intervenue pour l'accélérateur d'électrons (les échéances prévisibles dans ce domaine sont indiquées à la section 5.2). Le projet G.A.N.I.L. 2 a un grand intérêt scientifique. Dans l'avenir immédiat, il convient de vérifier s'il offre bien, comme cela semble possible, la perspective d'obtenir les meilleurs faisceaux de noyaux radioactifs parmi les nombreux projets qui fleurissent à travers le monde. S'il en est bien ainsi, les quatre conditions de base proposées en fin de section 3.6 devraient mobiliser l'attention des physiciens et ingénieurs concernés. Leur satisfaction justifierait la réalisation de G.A.N.I.L. 2. Il faut à nouveau souligner ici que ce projet peut être conduit de façon évolutive. Sous les conditions énoncées, il mérite d'être énergiquement soutenu.

En résumé, cette présentation de la situation actuelle des quatre grands projets envisageables pour un développement important de la recherche scientifique autour du G.A.N.I.L. montre que, si une décision ministérielle pour la construction d'un accélérateur d'électrons intervient assez rapidement, des orientations explicites pourront être prises par la Région pour la négociation du prochain contrat de plan Etat-Région dans le cadre de la recommandation H.

Les options présentées dans ce rapport doivent donc être continuellement appréciées, et réévaluées, tout au cours de l'élaboration du prochain plan régional et du contrat de plan Etat-Région. Les intérêts de la Région doivent être affirmés de façon convaincante et permanente en regard des évolutions de la conjoncture scientifique.

Il paraît indispensable, pour la meilleure efficacité des efforts régionaux, que soit mis en place un comité régional de la recherche auprès du Conseil Régional. Ce comité doit être à même d'évaluer des dossiers, de proposer des orientations, de suivre la mise en place des opérations scientifiques, de susciter des synergies, afin d'informer et de conseiller le Conseil Régional et de mobiliser la communauté scientifique autour des orientations et des projets retenus.

La loi de programmation et d'orientation de 1982 avait retenu l'idée d'une telle structure (annexe 3). Ces Comités Consultatifs Régionaux de la Recherche et du Développement Technologique (C.C.R.R.D.T.) se sont mis en place de façon très inégale. On leur a reproché, sans doute à juste titre, d'être trop lourds, voire parfois pléthoriques comme le laisse présager le texte du décret relatif à leur mise en place et à leur fonctionnement (annexe 4). Il en est résulté qu'à de rares exceptions près, où les C.C.R.R.D.T. jouent un rôle apprécié et original, les décisions d'aide à la recherche et au développement technologique se font dans de nombreuses régions sans consultation d'une instance neutre de concertation et d'évaluation.

Devant ces difficultés structurelles et réglementaires, certaines régions ont choisi de renoncer à la lettre des possibilités offertes par la loi pour mettre en place le comité efficace, conforme à l'esprit du législateur, dont elles ressentaient naturellement le besoin.

Pour autant que les acteurs et les partenaires de la recherche y soient représentés, un C.C.R.R.D.T. allégé serait bien utile à notre Région où la recherche est une des priorités affichées. Cela conduit à conclure ce rapport sur une neuvième recommandation.

- 1 - Mettre en place un C.C.R.R.D.T., auprès du Président de Région, comprenant un nombre limité (par exemple une quinzaine) d'acteurs et de partenaires de la Recherche pour évaluer les projets et suivre leur réalisation, fournir au Conseil Régional avis et suggestions dans le domaine de la recherche et du développement technologique, mobiliser les énergies régionales dans les domaines concernés.

Rappelons à ce sujet que déjà, dans sa session du 1er juin 1988, le Comité Economique et Social, examinant l'avant-projet de plan régional, avait souhaité la mise en place d'une telle structure, en notant :

"le Comité remarque que le budget global de la recherche dans la région devient de plus en plus important et intéresse un nombre croissant de partenaires (collectivités, grands organismes de recherche, industries, université...). C'est pourquoi le Comité souhaite que soit créée une instance régionale d'information, de consultation, de concertation et de débat mettant en présence les différents partenaires".

GLOSSAIRE

B.C.R.D. : Budget Civil de Recherche et Développement. Il représente la somme des engagements du budget de l'Etat consacrés à la recherche et au développement quel que soit le Ministère concerné, à l'exception des crédits relevant de la défense. Bien qu'il comporte parfois certaines opérations qui n'interviennent qu'indirectement dans le développement scientifique et technologique (par exemple la construction de la Cité des Sciences et Techniques de la Villette), il est généralement considéré comme le plus fidèle des indicateurs de l'effort public en matière de recherche et développement.

C.F.B. : Centre Anti-Cancéreux (C.A.C.) François Baclesse.

C.H.U. : Centre Hospitalier Universitaire Régional.

CYCERON : Laboratoire de recherche biomédicale comprenant un cyclotron pour la production d'isotopes radioactifs, des laboratoires de chimie insérant ces isotopes dans des molécules biologiques et un ensemble de détecteurs permettant de localiser la désintégration des isotopes par Tomographie par Emission de Positrons (T.E.P.). Ce laboratoire qui a la forme juridique d'un G.I.P. associant des organismes publics de recherche, est dirigé, depuis sa création, par M. Jean-Michel DERLON.

D.S.M. : Voir I.R.F..

D.S.V. : Voir I.R.F..

G.A.N.I.L. : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds. A été d'abord le nom d'un projet élaboré de 1972 à 1975 par une commission mixte de l'IN2 P3 et de l'I.R.F., puis à partir de 1976 celui du Laboratoire National implanté à Caen. L'accélérateur G.A.N.I.L. accélère les noyaux atomiques jusqu'à des énergies de 100 Mev par nucléon pour les plus légers, jusqu'à 30 Mev par nucléon pour le Plomb ou l'Uranium. Il a été dirigé successivement par M. Marc LEFORT de 1976 à 1982, M. Claude DETRAZ de 1982 à 1990 et M. Samuel HARAR. G.A.N.I.L. a la forme juridique d'un Groupement d'Intérêt Economique (G.I.E.) entre le C.N.R.S. et le C.E.A., partenaires égaux.

G.R.P.S.N.C. : Groupement de Recherche Pharmacologique sur le Système Nerveux Central.

G.S.I. : Gesellschaft für Schwerionenforschung (Société pour la recherche avec les ions lourds) à Darmstadt (R.F.A.). Depuis le début des années 70, un des laboratoires les plus importants de recherche en physique nucléaire. On y accélère des noyaux d'atome jusqu'à 20 Mev par nucléon (accélérateur UNILAC) et, depuis 1990, avec le nouvel ensemble accélérateur SIS/ESR aux énergies supérieures à celles du G.A.N.I.L., jusqu'à 2 000 Mev par nucléon. Par contre les intensités obtenues pour les faisceaux de SIS/ESR sont très inférieures à celles du G.A.N.I.L.. G.A.N.I.L. et G.S.I. sont des instruments complémentaires et assurent à l'Europe un rôle dominant dans le domaine de la recherche avec les ions lourds.

INDRA : Multi-détecteur de particules chargées et de noyaux, voir paragraphe 3.2.3.

IN2 P3 : Institut National de la Physique Nucléaire et de la Physique des Particules. Institut du C.N.R.S. responsable des activités de recherche en physique nucléaire et en physique des particules. Il regroupe 16 laboratoires propres ou associés, dispose d'un budget propre, gère directement environ 1 500 techniciens, ingénieurs, administratifs du C.N.R.S.. Il est dirigé par M. Pierre LEHMANN qui a succédé, en 1984, à M. Jean YOCCOZ ; le Directeur scientifique adjoint pour la physique nucléaire est M. Jean-Pierre LONGQUEUE.

I.R.F. : Institut de Recherche Fondamentale. Il a conduit jusqu'en 1990 les recherches fondamentales du C.E.A. dans tous les domaines (physique, chimie, biologie) sous la direction de M. J. HOROWITZ jusqu'en 1988, puis de M. D. CRIBIER. Depuis 1990, l'Institut a été remplacé par deux départements du C.E.A., celui des sciences de la matière (D.S.M.) dirigé par M. R. AYMAR qui a G.A.N.I.L. dans son domaine de compétence, et celui des sciences du vivant (D.S.V.) dirigé par M. SUSCILLON qui participe à la tutelle de CYCERON.

I.S.M.Ra. : Institut des Sciences de la Matière et du Rayonnement. Il regroupe une école d'ingénieurs (E.N.S.I.) de 300 étudiants et un ensemble de laboratoires de recherche en physique et chimie. L'I.S.M.Ra. est dirigé par M. Jean-Charles VIENOT.

I.U.T. : Institut Universitaire de Technologie. Il comprend 4 départements à Caen (Biologie Appliquée, Mesures Physiques, Gestion des Entreprises et des Administrations, Techniques de Commercialisation). Deux antennes existent à Cherbourg (départements de Génie Electrique et Informatique Industrielle, Techniques de Commercialisation) et à Alençon (département de Génie Mécanique et Productique). L'I.U.T. est dirigé par M. Alexandre ZVENIGOROSKY.

MIMAS : Petit synchrotron utilisé pour une préaccélération des noyaux injectés ensuite dans le synchrotron SATURNE à Saclay. Son installation a permis d'améliorer les caractéristiques des faisceaux extraits de SATURNE.

OPERATION AUGMENTATION D'ENERGIE (O.A.E.) : Voir paragraphe 3.2.1.

OPERATION AUGMENTATION D'INTENSITE (O.A.I.) : Voir paragraphe 3.2.2.

PARTICULES ELEMENTAIRES : Le monde des particules élémentaires est vaste, mais il peut être construit à partir de constituants fondamentaux que l'on sépare en particules de matière, qui sont des particules de spin (moment angulaire) $1/2$ et les porteurs des interactions qui sont des particules de spin entier. Les constituants de la matière se divisent eux-mêmes en trois paires de quarks (u,d), (c,s), (t,b) et trois paires de leptons (e, ν_e), (μ , ν_μ), (τ , ν_τ) ; les quarks sont sensibles aux interactions fortes, électromagnétiques et faibles alors que les leptons sont insensibles à l'interaction forte. Parmi ces éléments le quark top (t) et le neutrino tau (ν_τ) n'ont pas encore été observés. Les interactions fortes sont transmises par 8 gluons, les interactions faibles par les bosons intermédiaires (W_+ , W_- , Z_0) et l'interaction électromagnétique par le photon.

Dans l'état actuel de nos connaissances, la théorie qui décrit la physique des particules élémentaires est celle qui est connue sous le nom de modèle standard. Les constituants de la matière y sont regroupés en trois familles, chaque paire de quarks étant associée à une paire de leptons : le LEP du CERN, à Genève, nous a dernièrement appris qu'il n'existait en effet que trois familles. L'interaction forte est régie par la chromo-dynamique quantique, et les interactions électromagnétiques et faibles sont regroupées en une seule théorie électrofaible. Le modèle standard rend compte des phénomènes observés actuellement. Pour aller plus loin, certaines théories (grande unification ou supersymétrie) offrent des perspectives prometteuses.

P.I.B. : Produit Intérieur Brut.

SATURNE : Ce synchrotron accélère les protons, les particules α , mais aussi depuis 1985 les noyaux atomiques plus lourds pour des études qui portent essentiellement sur les propriétés des hadrons (protons, neutrons, mésons) au sein des noyaux. Il est dirigé par M. Jacques ARVIEUX. Il est, comme G.A.N.I.L., un laboratoire national commun au C.E.A. et au C.N.R.S..

SIS/ESR : Voir G.S.I..

SISSI : Projet d'équipement élaboré au G.A.N.I.L. en 1988-1989, acronyme pour "Source d'Ions Secondaires à Solénoïdes Intenses".

/...

U.F.R. : Unité de Formation et de Recherche. Unité de base de la structure universitaire regroupant les activités (enseignement et recherche) d'une discipline ou d'un groupe de disciplines voisines.

VIKMAN : Réseau métropolitain de communication scientifique à très haut débit reliant les principaux établissements scientifiques et techniques de l'agglomération caennaise. Conçu à partir de 1987, il est financé sur les années 1990-1992 à hauteur de 18 MF par les collectivités locales, France Télécom et le Ministère de la Recherche et de la Technologie. Innovant au plan technique, fédérateur des établissements concernés, cette réalisation est un projet pilote ; il a vocation à se développer et à s'articuler aux réseaux nationaux et européens.

VIVITRON : Accélérateur électrostatique très innovant construit par le Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg (IN2 P3-C.N.R.S.). Il devrait atteindre une tension maximale de 35 millions de volts, au lieu de 25 pour les accélérateurs existants, et fonctionner pour la recherche à la fin de 1991.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Lettre de saisine du Président du Conseil Régional de Basse-Normandie.

ANNEXE 2 : Extraits du contrat de plan Etat-Région (1989-1993) concernant G.A.N.I.L..

ANNEXE 3 : Extrait de la Loi n° 82-610 du 15 juillet 1982 d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France.

ANNEXE 4 : Décret n° 83-1174 du 27 décembre 1983 relatif aux comités consultatifs régionaux de la recherche et du développement technologique.

ANNEXES

*Le Président du Conseil Régional
de Basse-Normandie*

CAEN, le 11 MAI 1990

COMITÉ ECONOMIQUE
ET SOCIAL

11. MAI 1990

DE BASSE NORMANDIE

Monsieur le Président,

Le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (G.A.N.I.L.) est arrivé maintenant dans une phase de maturité et va, jusqu'à l'an 2000, pouvoir travailler au maximum de ses possibilités. Décidé en 1975, cet outil de recherche fondamentale, unique au monde, a eu un impact qu'il serait aujourd'hui intéressant d'évaluer tant au niveau de la recherche internationale qu'au niveau du développement de notre région (économie, recherche et promotion de la Basse-Normandie).

Mais il est également souhaitable d'étudier dès maintenant, dans le cadre de l'élaboration du troisième Plan régional, l'après l'an 2000 pour assurer l'avenir à long terme du site de CAEN. Déjà le deuxième Contrat de Plan Etat-Région 1989-1993 a prévu un certain nombre d'opérations en ce sens, mais je pense qu'il serait bon d'imaginer des scénarios possibles de développement de la recherche dans le domaine de la physique nucléaire afin d'examiner les diverses solutions européennes qui permettraient d'assurer la pérennité du laboratoire de recherche nucléaire national G.A.N.I.L. dans son cadre européen.

La contribution du Comité Economique et Social constituera un élément de la réflexion approfondie que je compte lancer sur cette question.

Veillez croire, Monsieur le Président, en l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

et Cordialement,



René GARREC

Monsieur Maurice DROULIN
Président du Comité Economique
et Social de Basse-Normandie

B.P. 529

14036 CAEN CEDEX



CONTRAT DE PLAN ETAT-REGION (1989-1993)

TITRE I - LES TROIS PRIORITES

C - LA RECHERCHE ET L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

1 - RECHERCHE

b) Sciences de la matière et des matériaux

1) Compétitivité du GANIL

Le grand accélérateur national d'ions lourds (GANIL) conçu il y a plus de 10 ans et implanté à Caen constitue un point fort national.

Afin de poursuivre les recherches fondamentales engagées sur la structure de la matière, il convient d'accompagner les augmentations d'énergie et d'intensité, en cours d'obtention, par la modernisation des autres moyens techniques (informatique) et des équipements expérimentaux.

Au cours du plan, la Région entend appuyer l'action de l'Etat pour conserver et accroître la compétitivité internationale de cet outil de recherche. Le coût de ces mises à niveau est estimé à 41 MF, dont 28 MF financés par l'Etat et 13 MF par la Région.

En second lieu, l'évolution du parc international d'accélérateurs impose de préparer l'avenir à long terme du site de Caen : une réflexion approfondie doit être menée avant l'achèvement du contrat.

Enfin, l'Etat et la Région décident de confier au GANIL, en raison de son savoir-faire dans la pratique de l'irradiation et de l'implantation ionique, la mission de constituer un groupement d'intérêt économique qui comprendra des industriels utilisateurs.

Ce GIE aura pour objet l'étude de la réalisation et de l'exploitation d'un centre planteur d'ions de haute énergie. En cas de résultat favorable de cette étude, un avenant au contrat de plan sera établi.

2°) Sortie moyenne énergie

La réalisation de la sortie moyenne énergie du GANIL va permettre, grâce à une plus grande disponibilité des faisceaux, de développer des programmes de recherche fondamentale et finalisée au profit tant de la science des matériaux (interaction rayonnement-matière, modification des propriétés en volume et de surface par irradiation ou implantation) que de la physique atomique (collisions atomiques avec les ions multichargés et ions de recul).

Le coût des investissements envisagés est de 7 MF. L'Etat apportera 2 MF et la Région 2,5 MF. La part du CNRS sera fixée au vu des résultats obtenus après achèvement de la première phase qui avait été financée au cours du plan précédent.

LO: n° 82-610 du 15 juillet 1982 d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France (1).

TITRE II

ORIENTATION DE LA RECHERCHE ET DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE

CHAPITRE I^{er}

Dispositions générales.

SECTION 2

Les politiques régionales.

Art. 11. — Dans le cadre de la planification régionalisée et des plans de localisation des établissements, la région définit et développe des pôles technologiques régionaux. Elle détermine des programmes pluriannuels d'intérêt régional.

La région est associée à l'élaboration de la politique nationale de la recherche et de la technologie ; elle participe à sa mise en œuvre.

Elle veille en particulier à la diffusion et au développement des nouvelles technologies, de la formation et de l'information scientifiques et techniques, à l'amélioration des technologies existantes, au décloisonnement de la recherche et à son intégration dans le développement économique, social et culturel de la région.

Art. 12. — Pour l'exécution des programmes pluriannuels d'intérêt régional visés à l'article 11, la région peut passer des conventions pour des actions, de durée limitée, avec l'Etat, les organismes de recherche publics ou privés, les établissements d'enseignement supérieur, les établissements publics, les centres techniques, les entreprises. La région peut également engager un programme de recherche interrégional organisé par une convention la liant à une ou plusieurs autres régions.

Art. 13. — Chaque région se dote d'un comité consultatif régional de recherche et de développement technologique placé auprès du conseil régional.

Un décret en Conseil d'Etat détermine les groupes socio-professionnels et les institutions dont la représentation devra être assurée au sein des comités consultatifs régionaux de recherche et de développement technologique, ainsi que les conditions dans lesquelles ces groupes et institutions sont appelés à proposer leurs candidats.

Ce comité est consulté sur toutes les questions concernant la recherche et le développement technologique.

Tout programme pluriannuel d'intérêt régional lui est obligatoirement soumis pour avis ainsi que la répartition des crédits publics de recherche ; il est informé de leur emploi.

DECRET N° 83-1174 DU 27 DECEMBRE 1983
relatif aux comités consultatifs régionaux de la recherche et
du développement technologique.

(Journal officiel du 29 décembre 1983.)

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'intérieur et de la décentralisation et du ministre de l'industrie et de la recherche,

Vu la loi n° 82-610 du 15 juillet 1982 d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France, notamment son article 13 ;

Vu la loi n° 72-619 du 5 juillet 1972 modifiée portant création et organisation des régions ;

Vu la loi n° 76-394 du 6 mai 1976 modifiée portant création et organisation de la région d'Ile-de-France ;

Vu la loi n° 82-213 du 2 mars 1982 modifiée relative aux droits et libertés des communes, des départements et des régions ;

Vu la loi n° 82-214 du 2 mars 1982 portant statut particulier de la région Corse ;

Vu le décret n° 82-390 du 10 mai 1982 relatif aux pouvoirs des commissaires de la République de région, à l'action des services et organismes publics de l'Etat dans la région et aux décisions de l'Etat en matière d'investissement public ;

Vu le décret n° 83-568 du 27 juin 1983 relatif à l'organisation des directions régionales de l'industrie et de la recherche ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décète :

Article 1^{er}.

Les comités consultatifs régionaux de la recherche et du développement technologique prévus à l'article 13 de la loi du 15 juillet 1982 susvisée sont composés de membres nommés qui comprennent :

1° Dans la proportion de 50 p. 100 au moins, des membres issus des différents secteurs de la recherche et du développement technologique existant dans la région ;

2° Des membres appartenant à des organisations syndicales nationales représentatives des salariés et des employeurs présentes dans la région ;

3° En nombre égal aux membres mentionnés au 2°, des personnalités choisies en raison de leur participation à l'expansion de la région.

Article 2.

Les membres mentionnés au 1° de l'article 1^{er} ci-dessus sont choisis dans les entreprises et établissements publics ou privés, exerçant dans la région une activité de recherche et de développement technologique, les établissements d'enseignement supérieur de la région, les sociétés savantes et les associations qualifiées dans le domaine de la promotion des sciences et des techniques.

Les membres appartenant à des organisations de salariés et d'employeurs mentionnées au 2° de l'article 1^{er} ci-dessus sont choisis dans les organisations affiliées à une confédération reconnue représentative au plan national ou à la fédération de l'éducation nationale, dans des proportions tenant compte de la représentativité de ces organisations au plan régional.

Article 3.

Le conseil régional établit, après avis du comité économique et social, et conformément aux dispositions des 1° et 2° de l'article 1^{er} du présent décret, la liste des groupes et institutions appelés à proposer des candidats.

Cette liste mentionne le nombre des sièges réservés à chaque groupe ou institution. Elle est mise à jour à l'occasion des renouvellements du comité.

Les membres prévus au 1° et au 2° de l'article 1^{er} sont nommés au vu des propositions faites par les organes régionaux ou à défaut nationaux des groupes ou institutions habilités à faire des propositions. Les propositions de candidatures comportent plus de noms que de sièges à pourvoir.

Les conditions de nomination des membres du comité sont fixées par le conseil régional.

Article 4.

A la demande du comité, les chefs des services régionaux de l'Etat et le délégué régional à la recherche et à la technologie peuvent, avec l'accord du commissaire de la République de la région, assister aux travaux du comité, de ses commissions et groupes de travail.

Le commissaire de la République peut être entendu par le comité avec son accord ou à sa demande.

Article 5.

Un décret particulier prévoira les dispositions spécifiques applicables dans les régions de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique et de la Réunion.

Article 6.

Le ministre de l'intérieur et de la décentralisation, le ministre de l'industrie et de la recherche et le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'intérieur et de la décentralisation, chargé des départements et des territoires d'outre-mer, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 27 décembre 1983.

PIERRE MAUROY.

Par le Premier ministre :

Le ministre de l'industrie et de la recherche,
LAURENT FABIUS.

Le ministre de l'intérieur et de la décentralisation,
GASTON DEFFERRE.

*Le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'intérieur
et de la décentralisation,
chargé des départements et des territoires d'outre-mer,*
GEORGES LEMOINE

*Intervention des régions dans le soutien de la recherche
(MF courants)*

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Ile-de-France.....			4,2	8	8,5	6,5	7,2	7,3	
Alsace.....	1,4	1,1	7	10	16	13	18	26,7	29
Aquitaine.....	4,5	9	8,2	15,8	27,2	33,4	41,5	49,8	50,1
Auvergne.....	0,5	1,2	3	3	5,6	7,6	11,1	5,7	7,4
Bourgogne.....	3,1	6,8	10	10,8	13	12	11,5	22	23,3
Bretagne.....	12,1	16,4	19,3	20	52	30	40,1	39,8	47,5
Centre.....	5,5	5,5	2,1	6,5	8,5	10,8	13,7	9,7	9,8
Champagne-Ardenne.....	1,8	0,8	7	8,2	12,8	12,5	13	16,5	23,2
Corse.....	1	4,2	1,7	1,6	0,7	3,8	13,6	4,4	8,8
Franche-Comté.....	2,7	3,1	4,3	7,5	9,6	11,8	11,3	13,1	13,4
Languedoc-Roussillon.....	4,2	3,8	3,5	8,9	18,5	12,9	17,5	23,7	23,1
Limousin.....	0,9	3,9	3,3	4,8	8,5	11,8	7,2	7,6	9
Lorraine.....	1,5	6	6	10	18,5	14	21,2	23,8	31,8
Midi-Pyrénées.....	2,8	3,6	5,8	4,5	15,5	21,6	24	36	52,4
Nord - Pas-de-Calais.....	11,1	24	28	33	33	56,5	63	83	
Basse-Normandie.....	3,3	10,2	10,1	8,1	10,5	12,3	10,6	12,2	15,4
Haute-Normandie.....	0,6	0,5	2,6	5,7	9,4	7	7,2	11,6	11
Pays de la Loire.....	5,1	5,2	8,6	14,4	15,4	15,9	15,7	17,8	22,5
Picardie.....	1,5	3,2	3,8	5,1	12,5	15,2	13,8	20	31,4
Poitou-Charentes.....	1	4,7	3,3	3,6	8,3	3,8	11,9	10,1	16,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	0,3	2,8	20	30	50	65,2	71	72,6	102
Rhône-Alpes.....	8,1	13	18	29	52	42	47,3	58	60,8
Total en francs courants.....	74,1	127,7	175,8	248,5	375,5	419,6	491,1	571,3	
TOTAL EN FRANCS 1980.....	74,1	115,1	142,5	182,0	258,0	271,4	302,2	341,5	

Source : M.R.T.

- C - Rechercher avec les organismes scientifiques nationaux les modalités d'un accroissement significatif du nombre de scientifiques affectés au G.A.N.I.L. et dans les laboratoires locaux voisins ; mettre en place les moyens incitatifs adéquats (voir sections 3.1 et 4.4).
- D - Soutenir la constitution à G.A.N.I.L. d'un axe de recherche sur la biophysique et la radiothérapie, en collaboration avec CYCERON et le C.F.B. (voir section 3.5).
- E - Favoriser, en concertation avec les collectivités territoriales et les organismes concernés, la définition et la réalisation d'un plan d'aménagement du Campus 2 de Caen, capable de donner une forte image scientifique à la capitale régionale (voir section 4.3).
- F - Soutenir la création de sociétés de valorisation industrielle des techniques de la recherche, et d'ingénierie et d'étude pour l'utilisation des faisceaux d'ions lourds, suivant des modalités à étudier (voir sections 4.1 et 4.2).

/...

