

institut de physique nucléaire

LABORATOIRE ASSOCIE A L'IN2P3



BILAN DE LA COLLABORATION

ENTRE L'IPN et L'AFI

LA SOURCE SIS (CRYSIS)

IPNO 85-07

Ch. GOLDSTEIN

UNIVERSITE PARIS-SUD

IPN BP n° 1 91406 ORSAY

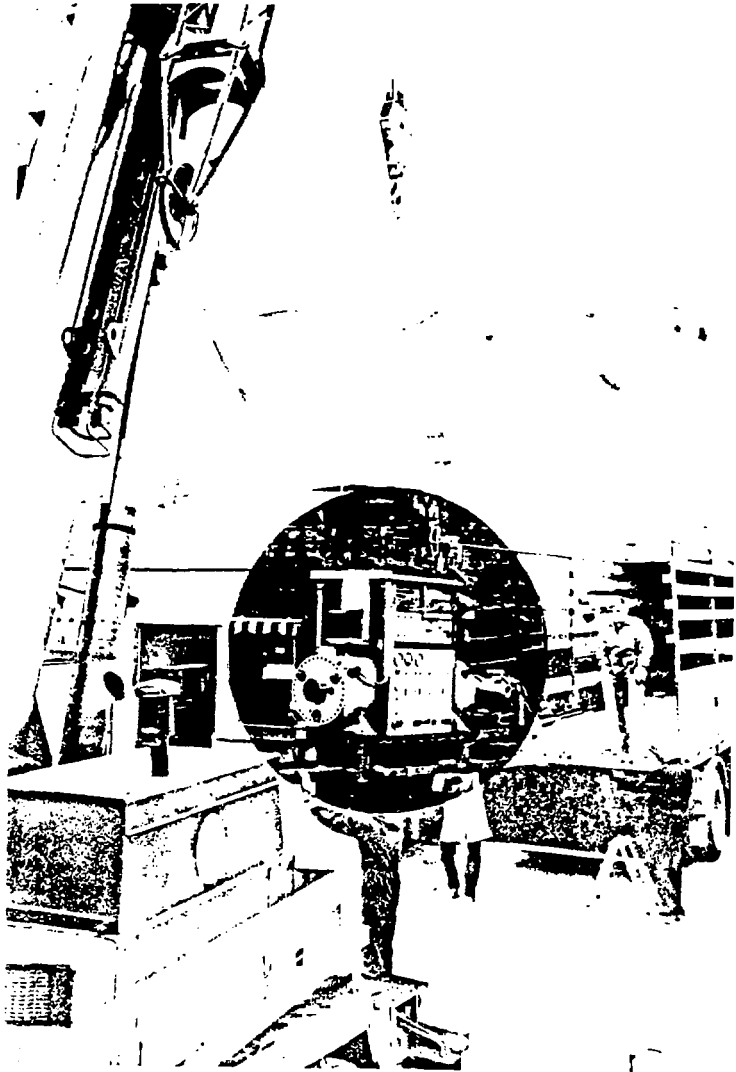
FR 8702524

BILAN DE LA COLLABORATION
ENTRE L'IPN et L'AFI
LA SOURCE SIS (CRYSIS)

IPNO 85-07

Ch. GOLDSTEIN

Orsay le 15.10.85



Liste des Figures

- 1 - Plan de l'implantation à Orsay (hall dit du 4Mev)
- 2 - Cryogénie: schéma d'installation
- 3 - Courbe $H1 = f(\Sigma)$
- 4a- Axe magnétique calculé côté canon
4b- Axe magnétique calculé côté collecteur
- 5a- Position du faisceau électronique (cible coulissante)
5b- Position du faisceau électronique après optimisation
- 6a-6b - Influence du champ magnétique
- 7 - Influence de la tension de polarisation (V_{pol}) des tubes
- 8a-8b - Recherche d'un point de fonctionnement
- 9 - Spectre de temps de vol: gaz résiduel
- 10 - Spectre de temps de vol: Argon
- 11- Echantillonnage dans le signal d'expulsion

BILAN DE LA COLLABORATION ENTRE L'IPN et L'AFI
LA SOURCE SIS (CRYSIS)

I-INTRODUCTION

II-RAPPEL DES CONDITIONS DE LA COOPERATION ENTRE L'IPN ET L'AFI.

III-BILAN FINANCIER

- III-1 Technique comptable
- III-2 Coût total définitif de la source
- III-3 Coût des études et de la réalisation
- III-4 Conclusion

IV-BILAN TECHNIQUE

- IV-1 Planning
- IV-2 Différences entre CRYEBIS II et SIS
- IV-3 Tests de cryogénie, de supraconductivité et de l'électronique associée
- IV-4 Le vide
- IV-5 Mesures de champ
- IV-6 Cible coulissante
- IV-7 Etude de la transmission
- IV-8 Tests d'ionisation

V-INTERET RECIPROQUE DE LA CONSTRUCTION EN PARRALLELE DES DEUX SOURCES

- V-1 Intérêt pour l'IPN
- V-2 Etudes réalisées par l'AFI au titre de la coopération
- V-3 Accord de coopération entre l'IPN et l'AFI

VI-CONCLUSIONS

- VI-1 Liaisons entre services de l'IPN
- VI-2 Rôle du SEDESI
- VI-3 Un bilan positif
- VI-4 Remerciements

BILAN DE LA COLLABORATION ENTRE L'IPN ET L'AFI*:
LA SOURCE SIS** (CRYSIS)***

Ch GOLDSTEIN

I INTRODUCTION

Le présent mémoire a pour but de rappeler les points essentiels de la collaboration entre l'IPN d'ORSAY et l'AFI de STOCKHOLM, collaboration qui en trois ans a permis la fourniture d'une source à faisceau électronique confiné (EBIS). Les premiers essais à ORSAY ont confirmé le bon fonctionnement de l'ensemble des éléments.

Il s'agit ici de tenter un bilan critique, de tirer les conclusions de cette "expérience" et il va de soi que les remarques, réflexions, autocritiques ou manques concernant certains aspects de la collaboration n'engagent que l'auteur.

* A.F.I: Forskningstitutet for atomfysik

** Source d'Ions Suédoise ou Swedich Ion Source

*** Avant son départ d'Orsay SIS a été baptisé : CRYSIS pour
CRYogenic Stockholm Ion Source

II-RAPPEL DES CONDITIONS DE LA COLLABORATION ENTRE L'IPN ET L'AFI

Le contrat pour l'étude, la réalisation et la fourniture d'une source d'ions est signé le 18 décembre 1981. Nous donnons copie de ce contrat en annexe A.

III- BILAN FINANCIER

III-1 Technique comptable

On peut dire que la gestion comptable n'a pas posé de problème majeur. Quelques difficultés sont apparues pour les raisons suivantes:

III-1-1 La division du financement en 2 parties:

- 1) Le matériel exonéré de TVA du fait de l'exportation vers la Suède.
 - 2) Les études et la construction, assujetties à la T.V.A.
- Cette division permettait difficilement de régler les problèmes du petit matériel transitant par le magasin du laboratoire. De plus, au départ une certaine confusion de notre part entre les comptes de CRVEBIS II et SIS (en particulier au moment des commandes groupées afin d'obtenir des réductions de prix) a entraîné quelques gênes qui se sont résorbées par la suite.

III-1-2 La gestion du contrat au niveau de l'IN2P3

Elle a introduit une certaine lourdeur. Toute correspondance comptable avec Stockholm, transitant par l'IN2P3 était modifiée à ce niveau et nécessitait alors un va et vient entre l'IPN et L'IN2P3. Par contre, puisque la source SIS était payée à crédit sur l'ensemble de la période de construction, le fait d'avoir rapidement obtenu de l'IN2P3 qu'il joue "le rôle de banquier" à l'égard de la collaboration, a grandement favorisé la gestion financière.

III-2 Coût total définitif de la source

III 2-1 Financement

Les sommes finalement versées par AFI sont les suivantes:

A) Montant initial du contrat matériel (18.1.81)	1 350 000 F
B) Coût des études et de la réalisation (18.1.81)	510.000 F
C) Coût du matériel supplémentaire (10.7.83)	100 059 F
D) Réajustement du coût initial (5.7.83)	150 000 F
E) Coût supplémentaire	70 000 F
F) Frais de fonctionnement (20.1.84)	50 000 F

soit un total de 2 230 059 F

Le coût initial prévu de la source (A+B) était au moment de la signature du contrat de 1 860 000 F. Cette somme a subit 3 sortes d'augmentations:

- Celles dues à des demandes supplémentaires en électronique et en cryogénie (C)
- Celles dues à la dérive par rapport au coût initial (D)
- Celles dues à des dépenses non prévues initialement (E+F)

III-2-2 Bilan définitif matériel

Le tableau 1 donne l'évolution du financement tel qu'il a été détaillé au paragraphe précédent. La dernière colonne montre la dépense finale par rubriques et est explicitée dans le tableau T2.

EVOLUTION DES COUTS

T1

	Prix initial (18.1.81)	Travail supplémentaire (10.7.83)	Prix réévalué (5.7.83)	Prévision (1.1.84)	Dépense finale (12.12.84)
CRYOGENIE	480 000		480 000	480 000	
Mat. Suppl.				10 000	548 073
Liquéfacteur		10 000	10 000	10 000	
ELECTRONIQUE	250 000		270 000		
Electr. Suppl.		90 000	90 000	360 000	370 356
VIDE	300 000		300 000	300 000	294 265
MECANIQUE	320 000		435 000	440 000	457 287
FONCTIONNEMENT				50 000	50 019
PROVISION			15 000	70 000	
TOTAUX	1 350 000	100 000	1 600 000	1 720 000	1 720 000

III-3 Coût des études et de la réalisation

Cette rubrique mérite toute notre attention pour les raisons suivantes:

III-3-1 Nombre réel d'heures travaillées

Si le nombre d'heures travaillées initialement prévu n'a pas augmenté c'est par décision "politique" et non la réalité objective, en effet:

- Pour l'électronique

Les 2900 heures initialement prévues ont été réactualisées à 4000 heures après étude détaillée. D'autre part, les demandes supplémentaires impliquaient 500 heures de travail. La venue de M. BJON et sa participation au câblage pour l'équivalent de 1000 heures ne compense pas complètement ces évaluations.

- Pour la cryogénie

L'installation du liquéfacteur n'était pas initialement prévue et son coût en temps a été estimé à 300 heures, coût pris en charge par le Service Basses températures.

- Pour la Mécanique

Théoriquement le prix payé est celui du tarif extérieur, mais ce prix pour la réalisation de la mécanique du canon s'est avéré très élevé par rapport à la même réalisation pour CRYEBIS II et a fortiori par rapport à l'estimation initiale. Sa réalisation après réduction du prix de 280 kF à 170 kF c'est-à-dire en fixant le prix de l'heure à un prix intermédiaire entre le tarif extérieur et le tarif interne, se traduit par un manque à gagner pour le Service Mécanique qui peut-être considéré comme une sous-estimation du nombre d'heures travaillées.

- Pour le SEDESI

Initialement, il n'a pas été prévu d'heures de travail pour le SEDESI. Dans la réalité il a été fortement impliqué dans le bobinage, les essais cryogéniques et le montage.

III-3-2 Utilisation réelle du budget études et réalisation

Elle est donnée par le tableau suivant

:Service:	Dépenses heures extérieures	Dépenses heures internes	Total/service:
: SEEM :	141 140,99	23 035,05	164 176,04
: BT :	138 983,44		138 983,44
: SM :	26 750,23		26 750,23
: SEDESI :		180 090,29	180 090,29
:Totaux :	306 874,60	203 125,34	510 000,00

III-4 Conclusion

Il me semble possible de tirer les conclusions suivantes:

III-4-1 Si l'on considère le prix de la source modifiée voir (III-2-1): A+C et le prix modifié A+C+D+E c'est-à-dire travail et fonctionnement non compris, on constate que l'augmentation de prix n'est que de 11,2% ce qui est peu, sur les 27 mois de durée de la construction et ceci d'autant plus qu'une étude plus fine montrerait que certains investissements ont été faits sur ces rubriques (par exemple, le cryostat d'essais du Service Basses Températures payé pour moitié par SIS et CRVEBIS II environ 100 000 F).

III-4-2 En ce qui concerne les études et réalisations le nombre d'heures évoqué (III-3-1) n'est que comptable. Si l'on s'en tient à cette comptabilité; n'ont pas été payées: 800 heures en électronique, 1300 heures en mécanique, 300 heures en cryogénie soit 2400 heures (40% du nombre d'heures). Il n'y a pas eu de vérification à postériori mais mon sentiment est que cette rubrique a été sous-estimée de 60%, le chiffre de 10000 heures de travail me semblant plus proche de la réalité.

III-4-3 La non-utilisation en travail extérieur des heures payées s'est traduite par la conversion d'heures de travail de l'IPN en investissement soit de façon indirecte (pour le Service Mécanique) soit directement pour les autres services. L'existence d'une sous-estimation du nombre d'heures travaillées revient à dire que l'ensemble des services constructeurs de l'IPN n'a pas transformé toutes les heures de travail en investissement. Si l'on accepte mon appréciation de cette sous-estimation le manque à gagner est de l'ordre de 320 000 F soit environ 15% du coût de la source, l'investissement réellement effectué sous forme directe ou indirecte représentant environ la même somme.

IV BILAN TECHNIQUE

IV-1 Planning

Du point de vue contractuel la seule contrainte engageant officiellement l'IPN à un délai est le point (6) du contrat (Annexe A) impliquant que la construction de SIS suivra de 6 mois celle de CRVEBIS II. Sous cet aspect SIS est un succès.

Si l'on s'attache au planning général de la construction, les premières estimations supposaient les mesures de champ au bout de 14 mois et demi et la mise au point complète en 24 mois mais assez vite (réf 3) une révision du planning donnait les mesures de champ en 22 mois et la mise au point en 30 mois (réf 10). Les mesures de champ auront finalement lieu après 27 mois et la source quittera Orsay 36 mois après le début de la construction (réf 11).

Il ne serait pas juste d'accuser uniquement les glissements de planning de CRVEBIS II d'être les responsables de ceux de SIS. Le planning de SIS a eu ses propres retards.

- difficultés à tenir les délais au moment du bobinage
- allongement des délais au moment du montage en particulier pour la mise en place du liquéfacteur-réfrigérateur CTI 1030
- Problèmes liés à la mise au point d'une procédure pour le fonctionnement de l'ensemble liquéfacteur-réfrigérateur-source
- allongement de la durée prévue des mesures de champ (2 séries de mesures)
- problèmes liés à une fuite d'hélium dans la "cheminée" et à son colmatage
- pollution de la cathode nécessitant un long délai de surchauffage.

Il est difficile d'apprécier l'influence de la coexistence et de la priorité de CRVEBIS II sur le planning de SIS d'autant que le décalage dans le temps et la proximité physique (Hall du 4 Mev: fig 1) de son implantation ont bénéficiés à SIS, citons par exemple:

- précautions au moment du bobinage
- amélioration du câblage cryogénique
- amélioration des mesures de champs
- aide au moment des montages délicats et utilisation du savoir-faire acquis

IV-2 Différences entre CRVEBIS II et SIS

IV-2-1 Le cryo-système

La source devant fonctionner avec un liquéfacteur associé, celui-ci fait partie intégrante du cryo-système de SIS. Une circulation permanente d'hélium froid se fait par 2 cannes de transfert spéciales à écran refroidi du liquéfacteur au cryostat et retour. Il ne s'agit pas ici d'entrer dans les détails du système (réf 4) dont le schéma est montré figure 2, mais de faire remarquer que le système présente des différences notables avec CRYEBIS II. En effet: si la majeure partie de l'hélium réfrigérant retourne au liquéfacteur à très basse température, 3 fractions de débit de vapeur sont utilisées:

- à la réfrigération des 2 systèmes d'écran dit 80°K et 20°K mais dont les températures en régime dépendent du débit choisi (pour l'écran à --80°K) et de l'équilibre thermique (pour l'écran à 20°K). Le cryogénérateur existant sur CRYEBIS II, est supprimé.

- au balayage du col du réservoir de garde contenant les fils de mesures etc... par un faible débit.

- au refroidissement correct des descentes de courants; un faible débit de balayage pour le régime: courant piégé ou stand by; un débit important pour le régime: variation de courant.

Le rechauffeur des débits de dégazage type bain-marie qui était utilisé sur CRYEBIS I a été supprimé puisque le régime "liquéfacteur associé" ne produit aucun débit notable de vapeurs froides. Seuls les débits réfrigérants des écrans sont réchauffés par une chaufferette électrique thermostatée.

Bien que n'étant pas contractuelle, l'alimentation en LHe à partir d'un dewar de réserve a été étudiée et réalisée. Par ailleurs le système de sous-refroidissement du bain bobine à 2.2°K a été maintenu à l'intérieur du cryostat puisque l'éventualité d'une installation ultérieure aurait été impossible.

Un cryo-système en régime "liquéfacteur associé" était nouveau pour le laboratoire et présentait un intérêt certain pour ses projets ultérieurs (KVI). Sa réalisation pour SIS a conduit à des études spécifiques de "cheminée", de cannes de transfert (réf 5), à l'implantation du liquéfacteur, de son compresseur, des circuits divers de récupérations dans le hall dit du 4 Mev, tout un ensemble, différents de CRYEBIS II dont le volume en études a probablement été un peu sous-estimé au départ.

IV-2-2 Electronique

L'électronique de SIS est plus simple que celle de CRYEBIS II du fait d'objectifs plus réduits

- 10 kV-2A (au lieu de 50kV-3.5A)
- collecteur à la masse (pas de post-accélération, ni décélération)

Les différences sont donc liées à l'implantation d'abord en France puis en Suède

- standard de tensions différents (127-200 au lieu de 220-380 V)

- longueurs de câbles de 10 mètres pour toute baie séparée.

Des différences de détails existent enfin, venant de modifications qui ont paru nécessaires après les essais sur CRYEBIS II.

IV-2-3 Support et implantation

La source SIS devant se trouver en Suède dans un local bas de plafond, le châssis support de source a été réduit sensiblement en hauteur. L'électronique et les systèmes de commandes cryogéniques ne pouvant alors se trouver sous la source, un châssis supplémentaire a placé l'ensemble de ces éléments latéralement et au-dessus de la source.

Par ailleurs, l'installation de l'ensemble des éléments, câblages, fluides, liquéfacteur et compresseur compris, devait simuler au mieux l'installation définitive.

L'installation dans l'ancien "hall du 4 Mev" (fig 1) n'a finalement pas posé de problème et l'absence d'un pont roulant utilisable après le prêt par CSNSM d'une "girafe".

IV-2-4 Mécanique, structure interne

La mécanique du canon et le collecteur sont identiques à ceux de CRYEBIS II, et le fait d'être interchangeables a permis des améliorations successives.

Au niveau de la structure interne de source, des améliorations ont été apportées à SIS:

- La structure dont les tubes sont en cuivre et non en inox a été inversée de façon à permettre son extraction par l'avant donc sans démontage du collecteur et de l'optique. Cette modification sera ensuite reprise sur CRYEBIS II.

- L'injection de gaz peut se faire soit en amont (à 90% du champ maximum) soit en aval (à 55% du champ maximum). Une étude poussée des conditions d'injection est donc possible d'autant que la vanne pulsée réalisée (voir V 2.4.2) peut être placée au centre même de la zone de confinement.

- Les connexions de la structure se font en amont de la source mais la pompe ionique de 600l/s (gaz nobles) reste en aval comme sur le dessin initial de la source alors qu'elle n'existe plus sur CRYEBIS II.

- La modification du collecteur définitif de SIS n'étant pas terminée au moment des essais, un collecteur d'appoint ayant une géométrie similaire a été utilisée sans aucun problème, la source SIS fonctionnant sans décélération (collecteur à la masse).

IV-3 Tests de cryogénie, de supraconductivité et de l'électronique associée

Si l'on met de côté le démontage nécessaire de la cheminée, du fait du montage à l'envers d'une vanne 3 voies, l'essentiel du temps passé, l'a été pour trouver un réglage permettant une descente en froid optimale de l'ensemble liquéfacteur-source. Outre la connaissance du matériel, il y avait là, pour nos partenaires Suédois, la nécessité d'une sensibilisation aux problèmes du froid, des fuites d'hélium, une initiation aux problèmes pratiques et de gestion d'une installation cryogénique.

Un champ magnétique maximum de 5.4 T a été obtenu sans transition et les réglages de l'électronique ont été rapides et sans problème. Une transition à bas champ a été provoquée afin de tester les sécurités.

IV-4 Le vide

Deux fuites d'hélium ont été détectées, l'une au niveau de la flasque oblongue, l'autre au niveau d'un raccord BRAUN dans "la cheminée". Cette dernière fuite a nécessité un démontage et un test séparé de la cheminée. Après remontage et sans grande

-9

difficulté un vide de 1,5 10⁻⁹ au niveau de la pompe ionique était mesuré, c'est-à-dire un très bon vide dans la zone active de la source.

IV-5 Mesures de champ

Elles ont été effectuées en deux fois. La première série de mesures ayant montré la nécessité d'étendre la zone de mesures en Z, l'appareillage utilisé sur CRYEBIS II a été modifié et allongé de 150 mm. Il a été ainsi possible de faire les mesures depuis le canon jusqu'à 125mm à l'intérieur de la bobine et en sortant depuis le collecteur jusqu'à 75mm à l'intérieur de la bobine. La figure 3 montre l'harmonique 1 du champ radial à 1cm de l'axe, en fonction de Z pour BMAX= 5 T. H Dannared a développé les calculs de Nishima et Terada (réf 12 et réf 13) avec les conditions suivantes:

- Les constantes d'intégration sont choisies de telle sorte que l'axe magnétique coïncide avec l'axe géométrique quand le gradient est maximum (c'est-à-dire à l'aplomb de l'entrée et de la sortie du bobinage).

- Z=0 correspond aux flasques latérales d'entrée et de sortie.

- Les deux projections sont vues du côté du canon.

Les résultats obtenus (réf 6) sont montrés figure 4a et 4b. Ils sont satisfaisants puisque l'inclinaison de la ligne de champ magnétique est de 1/100 de milliradian à l'intérieur du solénoïde et de quelques dixièmes dans le champ de fuite du solénoïde.

IV-6 Cible coulissante

Afin de confirmer les résultats précédents, des mesures à la cible coulissante ont été effectuées. Pour cela, le canon est monté en position, et, en l'absence de la structure de source, une fine feuille de tantale est déplacée longitudinalement. L'impact lumineux du faisceau électronique, d'intensité et puissance réduite, est observé à l'aide d'un télescope aligné sur l'axe géométrique de la source. La figure 5a montre le déplacement de l'impact en fonction de la longitude Z. Après un déplacement latéral de quelques dixièmes de millimètres à l'entrée, la figure 5b est obtenue.

Ce résultat est satisfaisant puisque l'excursion radiale du faisceau dans le solénoïde est limitée à environ 1/10e de mm et à 0.4mm à l'entrée du collecteur, l'écart entre l'axe de la lunette et l'axe magnétique étant de 4/10 de mm. Le champ magnétique est donc satisfaisant et il n'y a pas lieu, ni de décentrer la structure par rapport au solénoïde, ni d'ajouter des bobines de correction du champ radial (réf 8 et réf 9).

IV-7 Etude de la transmission

Après assemblage définitif de la source, montage de la structure de ses connexions, et du collecteur d'appoint, les essais de transmission ont été effectués.

Tenant compte des problèmes de transmission rencontrés sur CRVEBIS II nous avons monté deux diaphragmes D1 et D2 de diamètre $\emptyset = 4$ mm. L'idée était de mesurer, d'une part les courants en vision directe du canon, d'autre part ceux éventuellement réfléchis dans le gradient de champ c'est-à-dire en vision directe de la source. Les courants étaient mesurés sur l'anode, sur D1, sur D2, sur la structure (tous les tubes non différenciés), sur l'électrode avant le collecteur, et sur le collecteur. Les essais de transmission ont duré moins de 3 semaines (du 3.11.84 au 21.11.84). ils ont permis la mise en évidence des faits suivants:

IV-7-1 Recherche de l'optimum du champ

Les paramètres, intensité électronique (I_k), tension canon (V_k) et induction (B) sont des paramètres liés et un minimum de mesures systématiques mettent ce fait en évidence. Les figures 6a et 6b (du 9.11.84) montrent que:

- l'intensité transmise admet un optimum de B, plus V croît plus B est élevé.

- l'intensité émise (I_{ak}) décroît avec B, c'est-à-dire que la pénétrance du canon décroît avec B quand les tubes de structure ne sont pas polarisés.

Dans ces conditions un point de fonctionnement à $V_k = 6V$, $I_k = 0.71$ A et 80% de transmission a été trouvé, mais une brusque augmentation d'un facteur 2 sur le courant anodique nous a fait penser à une rupture de l'alumine du canon avec

déplacement de l'anode (ce diagnostic s'avérera exact au démontage en Suède). Aussi, afin de ne pas dégrader la situation, la suite des essais sera limitée à 4000 < V Ak < 4500 Volts.

IV-7-2 Influence de la polarisation des tubes

En fonctionnement, les tubes de la zone de confinement sont portés à un potentiel (V pol) permettant le confinement et l'extraction des ions, aussi l'influence de ce paramètre a-t-elle été regardée. Dans un premier temps nous n'avons pas fait de discrimination entre les tubes de confinement et les tubes d'entrée et de sortie. Tous les tubes compris entre le 2e diaphragme et l'électrode avant le collecteur ont été portés au même potentiel (Vpol)

Les résultats (du 13.11.84) montrés figure 7 permettent de mettre en évidence les variations suivantes:

- plus Vpol croît plus la pervéance croît jusqu'à atteindre la valeur théorique.

- plus la pervéance croît plus la transmission s'améliore, c'est-à-dire que tout ce qui est gagné en courant émis Iak est transmis.

IV-7-3 Recherche d'un point de fonctionnement

Compte tenu des résultats précédents, les abaques ont été repris. Les figures 8a et 8b montrent les résultats obtenus (16.11.84) avec une tension de polarisation, Vpol 3000 volts. On voit qu'une transmission > 95% est obtenue.

Le meilleur résultat de transmission est obtenu (17.11.84) dans les conditions suivantes:

Vak = 4000 volts
P = 1.9410 10⁻⁶
Iak = 0.49
B = 2.5 T
Vpol = 5000 volts
Ic = 0.47 A = 95.9%
Ianode = 6 mA (1.2%)
Id1 = 10mA (3.1%)
Id2 = 5mA
I électrode avant = 1.5mA (0.3%)
I tubes = 27 uA

Il convient de faire les remarques suivantes:

- la pervéance est proche de la pervéance théorique (1.94⁻⁶ pour 2 10⁻⁶)

- le courant d'anode est celui mesuré lors des essais sur le banc canon. De nombreux autres points de fonctionnement avec des pertes sur l'anode < 1.5% ont été trouvés

- les pertes sur l'électrode avant sont négligeables, ce qui confirme le bon alignement de l'ensemble

- les pertes sur les tubes peuvent sembler importantes. En fait en découplant les mesures on montre que ces pertes sont toutes localisées sur les tubes situés dans les zones à fort gradient de champ, à l'entrée et à la sortie du solénoïde, c'est-à-dire en dehors de la zone de confinement proprement dite où elles pourraient produire une désorption. Il ne tombe aucun courant décélable sur les tubes de la zone utile de source.

IV-8 Tests d'ionisation

L'ensemble des tests d'ionisation n'a duré que 14 jours, Week-end compris, soient 10 jours de tests sur le gaz résiduel et 4 jours en injectant de l'argon.

IV 8-1 Gaz résiduel

C'est sur le gaz résiduel qu'ont été effectués les différents réglages de l'électronique, du temps de vol, la polarisation des tubes d'entrée et de sortie ainsi qu'une caractérisation de la source avant tout pollution par un gaz injecté.

La figure 9 donne un spectre en temps de vol obtenu pour $Vak = 4 \text{ kV}$, $I = 0.48 \text{ A}$ soit à des valeurs beaucoup plus hautes que celles de CRVEBIS II. L'identification des pics faite par régression linéaire donne une erreur maximale < 300 ns.

Ce spectre permet les observations suivantes:

- Le J étant de environ $6 \cdot 10^{18}$ (spectre contenant 0^{7+} centré sur 0^{5+}) la densité est de l'ordre de 300 A/cm².

- Il n'y a pas de fuite d'hélium, la raie d'He⁺ étant inexistante.

- Outre les composants habituels du gaz résiduel (C, N, O, H) on peut noter une trace de Cu²⁺. L'origine de ce cuivre n'est pas définie. Il provient soit du collecteur d'appoint, soit des tubes d'entrée ou de sortie sur lequel tombe un courant ainsi que vu précédemment. L'installation du collecteur définitif étuvable à haute température et fortement refroidi répondra à cette question.

IV-8-2 Injection d'argon

Celle-ci s'est faite au dernier moment, alors que les préoccupations étaient déjà d'un tout autre ordre: la préparation du déménagement à venir. Par ailleurs le manque de temps n'a pas permis le réglage d'éléments essentiels à l'obtention de hauts états de charges à savoir:

- Optimisation de la quantité de gaz injecté par réglage des 2 vannes
- Réglage de l'injection électronique
- Ajustement des potentiels des tubes de source ainsi que ceux d'entrée et de sortie
- Réglage de l'expulsion

C'est sous ces conditions qu'a été obtenu le spectre de la figure 10 où l'on identifie clairement l'Ar 13+ dans un spectre centré sur l'Ar 10+ et obtenu en 13 ms de confinement (soit $J > 300 \text{ A/cm}^2$). Ces pics sont dédoublés ce qui signifie un mauvais réglage des potentiels sur les tubes de la source.

La figure 11 montre un échantillonnage en temps du courant ionique issu de la source. L'existence du dédoublement des pics (et donc d'un mauvais réglage) est ainsi mis en évidence.

La précipitation des derniers moments n'a pas permis d'obtenir des états de charges plus élevés, une injection accidentelle trop importante de gaz, sa cryosorption puis sa désorption dans le volume de confinement interdisait alors les hauts états de charge. Il va de soit que l'arrêt des essais d'ionisation à ce moment, irrémédiable à cause de considérations de politique propre à l'AFI a été dommageable aussi bien pour l'IPN que pour l'AFI. En effet il retarde de plus de 10 mois la connaissance réelle de la source et de ses limites puisqu'au 15.10.85 la source réinstallée à Stockholm n'est toujours pas en état d'ioniser.

V INTERET RECIPROQUE DE LA CONSTRUCTION EN PARALLELE DES DEUX SOURCES

V-1 Intérêt pour l'IPN

V-1-1 La construction en double a donné la possibilité d'obtenir des réductions de prix, en particulier pour les ensembles mécaniques réalisés à l'extérieur.

V-1-2 Compte tenu du décalage entre les deux sources, l'existence de composants interchangeable a permis un gain de temps pendant les réparations ou modifications nécessaires

Exemples: panne d'alimentation, modification sur la mécanique canon et sur le collecteur.

V-2 Etudes réalisées par l'AFI au titre de collaboration

Elles sont définies aux paragraphes 2-2 (voir Annexe A) du contrat. Si l'on se réfère à cette liste on met en évidence le fait qu'elle n'a été que partiellement remplie. Il ne faut y voir aucune mauvaise volonté de la part des Suédois, mais plutôt rechercher la cause dans la définition même de ces études: En fait, l'exploration de voies alternatives aux choix effectués sur CRVBIS et SIS. Comme nous allons maintenant le voir, n'ont été étudiés et testés que les sujets posant problèmes pour la source.

V-2-1 Etude d'un canon 5kV-A semi-immersé ou extérieur au champ magnétique utilisant une cathode de faible diamètre.

Cette étude, à réaliser à Stockholm nécessitait l'adaptation du programme de calcul sur le VAX d'AFI, ceci a été fait. Notre incapacité à définir correctement le besoin d'une étude complémentaire, canon de cathode $\emptyset = 3\text{mm}$ extérieur ou semi immergé par exemple, a stoppé l'étude à partir de la venue de M. BORG à ORSAY.

V-2-2 Etude d'un collecteur capable de dissiper 20 kW

Elle était initialement prévue pour le collecteur de SIS, la source fonctionnant sans décélération. Le choix ultérieur de la décélération possible et donc d'un collecteur identique à celui d'Orsay rendait obsolète l'étude d'un deuxième collecteur de caractéristiques identiques.

V-2-3 Etude d'une collection électronique, après réflexion juste en sortie de source

La collection de puissance sur paroi mince étant possible, la collection défléchie semblait prometteuse mais une étude préliminaire montrant que même avec le champ magnétique faible nécessaire à la déviation du faisceau électronique, il y a nécessité d'une compensation à l'analyse du faisceau ionique par ce champ. Si l'on ajoute à cela, d'une part, la perte de cylindricité du faisceau ionique, d'autre part la possible augmentation d'émittance liée à la séparation de deux faisceaux de charges opposées, on voit que les raisons n'ont pas manqué à l'interruption de cette étude, d'autant que la collection existante ne posait pas de problème.

V-2-4 Etudes d'injections différentes du matériau ionisable

Celles-ci ont été faites de façon intensive à Stockholm:

V-2-4-1 L'étude et le test de microcapillaires ont été réalisés par H. Danared (réf 7) et conduit à la proposition d'une injection de forme oblongue sur un tube très interne à la source et cryosorption.

V-2-4-2 L'étude et la réalisation d'un prototype de minivanne pulsée utilisant l'effet du champ du solénoïde, un courant pulsé, et la cryosorption. Cette vanne peut être placée au centre du volume de confinement. Cette injection doit être testée sur SIS.

V-2-4-3 Le test de la production d'ions par étincelles (15kHz, 15 us) et l'obtention d'un nombre suffisant d'atomes de Cuivre.

L'injection étant un de nos sujets de préoccupation, on voit que parallèlement aux essais d'Orsay (laser, injection coaxiale d'ions), des études et expériences étaient réalisées à Stockholm, permettant d'avoir une vue plus globale des différentes injections possibles en cas de nécessité.

V-3 Accord de coopération entre l'IPN et l'AFI

Un accord de coopération entre l'IPN et l'AFI, signé le 3.12.84 (Annexe B) prolonge la collaboration entre les deux instituts, au-delà du départ de SIS (CRYSIS) à Stockholm.

Cet accord prévoit la continuation des études inachevées (par 2.1), il nous revient donc de redéfinir correctement leur contenu. Cet accord prévoit aussi la définition d'essais en commun sur les deux sources (par 2.3), nous sommes très intéressés aux différents essais d'injection.

L'accord évoque aussi la possibilité pour les physiciens des deux laboratoires de soumettre des projets d'expériences aux instances scientifiques respectives (par.3) et sa conclusion est la suivante: "Cet accord formalise la confiance réciproque et la volonté née d'une collaboration fructueuse, de développer la coopération entre nos deux laboratoires. La pratique de cette nouvelle étape permettra une actualisation constante du présent accord".

Il nous appartient que cette nouvelle étape soit aussi fructueuse que la précédente.

VI CONCLUSIONS

Outre l'intérêt technique, en particulier en ce qui concerne les techniques nouvelles intéressantes pour l'avenir du laboratoire (IV-2), il me semble important de faire les remarques suivantes:

VI-1 Liaisons entre services.

L'imbrication des interventions du SEEM, du Service Mécanique et du Service Basses températures n'a pas posé de problèmes majeurs. Il convient néanmoins de noter que, le départ de M. GAYRAUD à la retraite et son non remplacement a probablement nuit à la solution de problèmes liés à la mécanique, au vide et à la cryogénie; cette remarque valant d'ailleurs plus pour CRVEBIS II que pour SIS venant ensuite.

VI-2 Rôle du SEDESI

La participation du SEDESI à la construction a été importante (bobinage, câblage, cryogénie...) mais dans la dernière période, l'accent mis sur la compétition plutôt que sur la complémentarité des deux sources, s'est traduit par une faible participation aux essais et donc à une faible transmission des connaissances réciproques, ce que l'on doit regretter.

VI-3 Un bilan positif

La fourniture à l'AFI d'une source EBIS en état de marche est une réussite importante pour le laboratoire et sa renommée. Il montre ainsi sa capacité à fournir une réalisation (notices techniques comprises!), sa capacité à tenir des prix, voire des délais. Le bénéfice au niveau du laboratoire est l'acquisition

de techniques nouvelles, et la réalisation d'investissements pour les services constructeurs.

Au niveau personnel, l'un des rôles qui m'était attribué, celui d'interface, voire de tampon entre l'IPN et ses service et l'AFI, m'a beaucoup appris sur l'importance des compromis nécessaires à la réussite d'un tel projet.

VI-4 Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier, Mme Loustau, Mme Mathieu, M. Baixas, M. Nicol, pour leur aptitude respective à résoudre au jour le jour, les difficultés rencontrées.

Orsay le 15.10.85

REFERENCES

- 1- Compte-rendu de la visite de M. Borg (10.11.12 Mai 1982) Ch. Goldstein
- 2- Compte-rendu de la visite de M. Borg (18.11.82 au 1.12.82) Ch. Goldstein
- 3- Situation de la source SIS (note du 25.2.83) Ch. Goldstein
- 4- Cryo-système SIS: contrôle de processus des fluides cryogéniques note du 11.3.83 S. Bühler
- 5- Etude d'un canon de transfert continu d'hélium liquide C. Tapias - S. Bühler IPNO 83-06
- 6- Measurement of the magnetic axis of CRYEBIS H. Dannared RIPS-84-02
- 7- Gas-jet injection in CRYEBIS II H. Dannared RIPS 83-1
- 8- CRYISIS: a Status report S. Borg - H. Danared - L. Liljebj III Electron Beam ion sources and theise Applications (May-20-23 85) Cornell University
- 9- CRYISIS: Statut report
- 10- Réception provisoire (2.7.84)
- 11- Réception définitive (2.12.84)
- 12- Nishihara et Terada (J. Appl. Phys. 39 (10) 4573 (1968)
- 13_ Nishihara et Terada (J. Appl Phys 41 (8) 3322 (1970)

CONTRAT POUR L'ETUDE, LA REALISATION ET LA FOURNITURE D'UNE SOURCE D'IONS

Entre

Le Forskningsinstitut for Atomfysik, Roslagsvägen 100, S 104 05 Stockholm 50, Suède, ci-après dénommé A.F.I., d'une part,

Et

L'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, Paris, France, ci-après dénommé I.N.Z.P.3, agissant pour le compte de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, ci-après dénommé I.P.N., d'autre-part.

L'étude des ions très épluchés est un domaine très riche de recherche en physique atomique, que ce soit vu de l'angle spectroscopie ou de l'angle collisions.

Depuis quelques années, des idées nouvelles sont apparues sur des sources d'ions très épluchés.

L'ionisation par un faisceau d'électrons, dans un champ magnétique et électrique adéquat, est une de ces idées, déjà très élaborée à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay.

Cet Institut, et le Forskningsinstitut for Atomfysik, Roslagsvägen 100, S 104 05 Stockholm 50, Suède, ont décidé d'unir leurs efforts pour développer deux sources de ce type, l'une destinée à la physique atomique française, l'autre à la physique atomique suédoise.

En conséquence les deux parties conviennent de ce qui suit :

1 - Définition technique du projet

Il s'agit de construire une source d'ions lourds multi-chargés à faisceau électronique confiné susceptible d'être utilisée en physique atomique. Cette source sera nommée S.I.S. (Source d'Ions Suédoise).

2 - Apports réciproques dans la collaboration

2.1 - Les documents réalisés par les collaborateurs de l'I.P.N. (plans, notices, rapports techniques) en vue de la construction de CRYEBIS II, ainsi que les éléments matériels (canons à électrons, alimentations électroniques...) faisant appel à un savoir faire sont mis à la disposition de l'A.F.I. à Orsay pour la réalisation de la S.I.S. Ce transfert de savoir-faire s'accompagne d'une formation à Orsay, des personnes venant de l'A.F.I. pour une utilisation correcte de la source.

2.2 - En échange, l'A.F.I. met à disposition de la collaboration au moins 2 ingénieurs (ou équivalents) participant aux études théoriques comportant notamment :

.../...

- a) Etude d'un canon 5 KV-0.5 A sera immergé ou extérieur au champ magnétique, utilisant une cathode de faible diamètre.
- b) Etude d'un collecteur capable de dissiper 20 KW.
- c) Etude d'une collection électronique après déflexion, juste en sortie de source.
- d) Etude d'injections différentes du matériau ionisable
 - jet coaxial de neutres ou d'ions neutralisés
 - production d'ions métalliques par étincelles

2.3 - La collaboration est la somme des deux apports précédents pour la construction en parallèle de CRYEBIS II pour l'I.P.N. et de S.I.S. pour l'A.F.I. Le matériel existant à l'I.P.N. résultant d'investissements antérieurs est mis à la disposition de la collaboration.

3 - Description de la réalisation

3.1. - Les éléments suivants sont réalisés et assemblés sous contrôle de l'I.P.N.

- Un solénoïde supraconducteur et son cryostat
 - champ maximum 5 T
 - longueur 1,60 m
 - diamètre extérieur 0.6 m
 - diamètre utile 0.1 m
 - courant nominal 350 A
 - longueur du cryostat 2 m
- Un mécanisme de canon à électrons à 6 degrés de liberté et un canon 10 KV - 2 A
- Un ensemble d'alimentation électronique
- Une structure d'électrodes de confinement
- Un ensemble de collection
- Une optique ionique avec déviateurs et lentilles de focalisation
- Un ensemble de pompage

3.2 - Toutes ces réalisations nécessitent des études et des travaux mécaniques et électroniques dont le coût fera l'objet d'une facturation récapitulative à la fin des travaux et, le cas échéant, de facturations partielles au cours de l'opération.

4 - Principe financier

4.1 - Le coût supplémentaire entraîné par la réalisation de la S.I.S. ne devra pas avoir d'incidence financière pour l'I N2 P3.

4.2 - L'apport financier de l'A.F.I. devra assurer le financement régulier des opérations successives représentant le supplément d'études, de mise au point et de construction de la S.I.S.

4.3 - Au 1er novembre 1981 le coût de l'opération S.I.S. détaillé à l'annexe financière est estimé à 1.350.000 FF hors taxe pour le matériel. Ce coût ne comprend pas le transport, les frais de douane, l'assurance et les taxes suédoises. Cette estimation prévisionnelle et provisoire ne saurait être opposée contractuellement à l'I N2 P3.

5 - Apport financier de l'A.F.I.

5.1 - Pour le matériel

- * 700 000 FF H.T. à la signature du contrat
- * 500 000 FF H.T. au 1er août 1982
- * le solde au 1er août 1983

L'A.F.I. effectuera les paiements sur présentation des factures qui lui seront adressées par l'I N2 P3.

Les sommes seront versées à l'Agent comptable de l'I N2 P3 - C.C.P. 9152-74 - U - PARIS

5.2 - Le règlement par l'A.F.I. des frais supplémentaires d'études, de mise au point ou de réalisation sera assuré périodiquement sur facturations établies par l'I N2 P3 en fonction du bilan technique et financier prévu à l'article 5,3

5.3 - Tous les trois mois un bilan financier sera envoyé à l'A.F.I., accompagné, le cas échéant, d'une réévaluation du coût estimatif global.

5.4 - En fin d'opération, le coût global sera récapitulé et les facturations correspondantes seront adressées à l'A.F.I.

6 - Constructions à l'I.P.N.

Les constructions destinées à la S.I.S. suivront dans un délai approximatif de 6 mois les éléments correspondants de CRYEBIS II.

7 - Transfert et propriété

7.1 - A son achèvement, la S.I.S. sera mise à la disposition de l'A.F.I. Le transfert par l'A.F.I. de la S.I.S. à Stokholm s'effectuera au plus tard un an après les premiers essais de faisceau électronique. Lors de ces essais la contribution des collaborateurs de l'I.P.N. ne se résumera qu'à une formation du personnel de l'A.F.I. sur le mode opératoire. Le coût de fonctionnement de la source lors de ces essais sera à la charge de l'A.F.I.

7.2 - Tous les éléments destinés à S.I.S., qu'ils soient livrés par l'A.F.I. ou acquis par l'I.P.N. sont dès leur arrivée à Orsay, la propriété de l'A.F.I. Il en est de même en conséquence de la source et de ses éléments pendant la réalisation, le montage et les essais. L'A.F.I. prendra, le cas échéant et à sa convenance, les assurances correspondantes.

7.3 - Si, en cas de force majeure, la collaboration ne pouvait être menée à son terme, les matériels déjà acquis ou réalisés pour la S.I.S. seraient remis en l'état à l'A.F.I.

8 - Responsabilités

8.1 - Accidents du travail et maladies professionnelles : à l'égard de l'autre co-contractant, chaque partie répond à elle seule des dommages consécutifs à un accident du travail ou à une maladie professionnelle qui seraient causés à son propre personnel lors de l'exécution du présent contrat.

8.2 - Dommages causés à la propriété des parties contractantes : les parties contractantes subviendront elles-mêmes à la réparation des dommages éventuellement causés à leurs propres installations et renonceront, à l'égard de l'autre partie, à une action visant à obtenir une indemnisation, à moins que les dommages n'aient été causés par une faute grave ou intentionnelle du personnel de l'autre partie.

9 - Limites de la responsabilité de l'I.P.N.

Les collaborateurs de l'I.P.N. supervisent la construction de la S.I.S. et son montage. Les essais se feront sous la responsabilité de l'A.F.I. Par exception, les expériences préliminaires de réception du cryostat et descentes de courant et de l'électronique réalisée à l'I.P.N., se feront sous la responsabilité de l'I.P.N. jusqu'à réception provisoire par l'A.F.I. Après réception, la responsabilité est transférée à l'A.F.I.

10 - Connaissances et brevets

Les plans et notices sont la propriété de l'I N2 P3. Ils ne peuvent être, en tout ou partie, ni vendus ni cédés, ni utilisés pour la réalisation d'autres équipements sans l'accord de l'I N2 P3. L'I N2 P3 se réserve le droit de prendre les brevets ou licences sur les études et réalisations effectuées. Une liasse complète des plans et notices nécessaires à l'utilisation de la S.I.S. seront fournis lors du transfert à Stockholm.

11 - Frais de missions

11.1 - Toute mission pour travaux sur la S.I.S. est à la charge de l'A.F.I. ;

11.2 - Pour la collaboration, chaque partie prend en charge les missions de ses personnels.

12 - Durée du contrat

Le présent contrat entre en vigueur à la date de sa signature par les parties. Il expirera lors du transfert de la S.I.S. hors des locaux de l'I.P.N.

.../...

ANNEXE B

ACCORD DE COOPERATION ENTRE AFI (STOCKHOLM) ET IPN (ORSAY)

1. Introduction.

Le 18 décembre 1981, un accord de collaboration entre l'IPN et l'AFI, pour la construction en parallèle de deux sources d'ions, CRYEBIS II et SIS, était conclu.

Cette collaboration a abouti et l'étape de construction, de mise au point est achevée, les deux laboratoires souhaitent continuer et développer la collaboration technique et scientifique sur ces sources d'ions.

2. Collaboration technique.

- 2.1 AFI poursuivra les études concernant :
- . le canon à faible diamètre cathodique,
 - . les différents modes d'injection de matière à ioniser,
 - . la collection défléchie.
- Les résultats de ces travaux seront communiqués à l'IPN.
- 2.2 L'IPN donnera toutes les informations permettant l'utilisation et la réparation en ce qui concerne le matériel fourni à AFI.
- A la demande d'AFI, et dans la mesure des disponibilités techniques, l'IPN effectuera la réparation des appareils fournis.
- Le coût des réparations et des éventuels déplacements sera totalement couvert par AFI.
- 2.3 Les deux laboratoires définissent en commun des essais sur les deux sources et leurs bancs annexes, permettant une meilleure compréhension du fonctionnement et une amélioration des performances.
- 2.4 Les deux laboratoires échangeront les informations relatives aux essais sur les deux sources et sur leur développement futur.

13 - Esprit de confiance réciproque

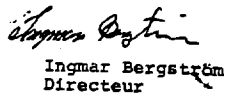
Les parties contractantes s'efforceront de régler d'un commun accord toutes les difficultés pouvant intervenir à l'occasion de l'exécution du présent contrat.

Fait à PARIS, le 18 DEC 1981

Pour IJ N2 P3

A handwritten signature consisting of a vertical line with a horizontal stroke at the top, resembling a stylized '7' or 'L'.

Pour l'A.F.I.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Ingmar Bergström'.

Ingmar Bergström
Directeur

3. Collaboration scientifique.

Les deux laboratoires s'efforceront de développer les échanges scientifiques sur la physique réalisée sur leurs sources. Dans ce cadre, les physiciens des deux laboratoires pourront soumettre des projets d'expériences aux instances scientifiques respectives.

4. Dispositions concernant l'application de l'accord.

4.1 Les actions à entreprendre dans le cadre de cet accord seront décidées en commun par les directeurs des deux laboratoires.

4.2 Frais de mission.

4.2.1 Les déplacements résultant d'une demande d'un seul laboratoire seront pris en charge par ce laboratoire.

4.2.2 Les déplacements résultant d'une décision prise en commun seront pris en charge par le laboratoire auquel appartiennent les personnels, sauf accord particulier pris par les directions de l'IPN et de l'AFI.

5. Actualisation de l'accord de coopération.

Cet accord formalise la confiance réciproque et la volonté née, d'une collaboration fructueuse, de développer la coopération entre nos deux laboratoires. La pratique de cette nouvelle étape permettra une actualisation constante du présent accord.

Pour IPN,

Pour AFI,

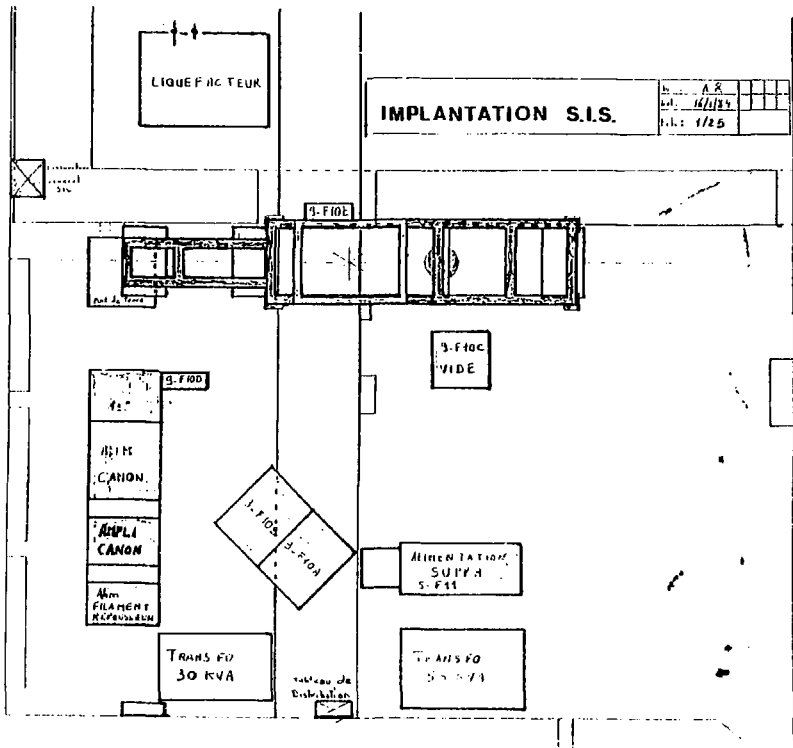


FIG 1

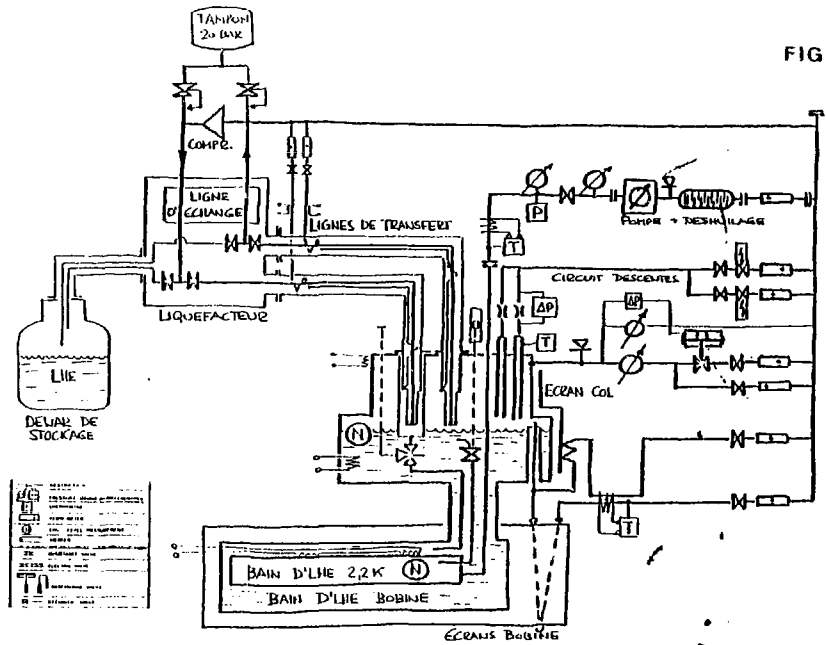
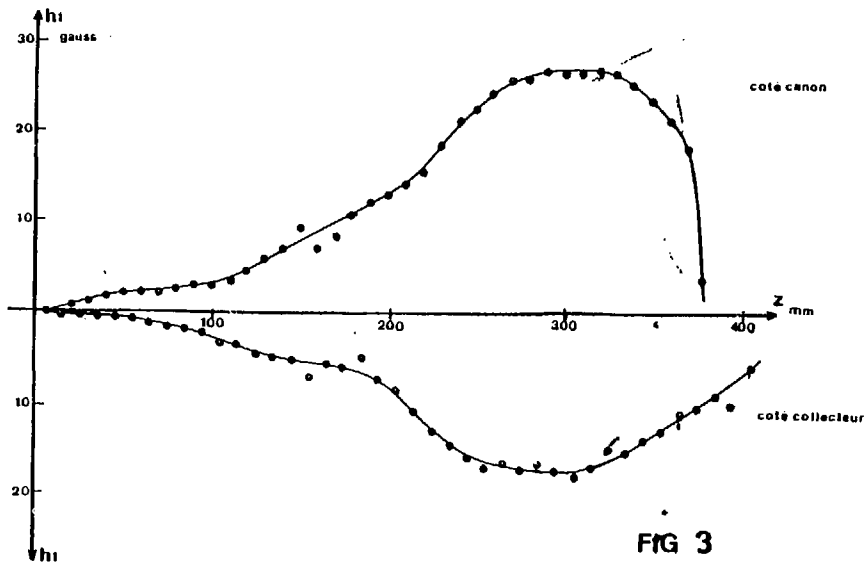


FIG 2.

SIS : SCHEMA DES CIRCUITS CRYOFLUIDE

10.3.1983 B.



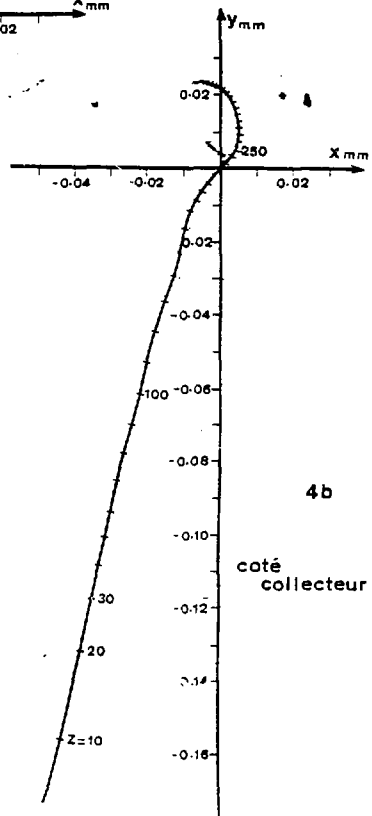
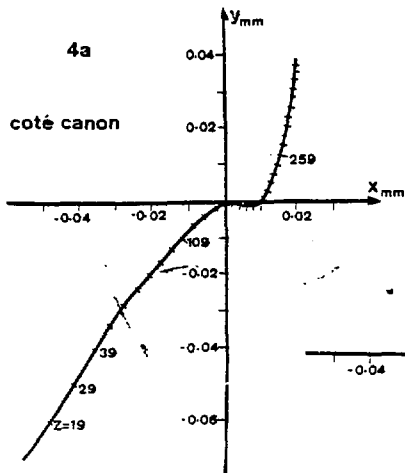


FIG 4

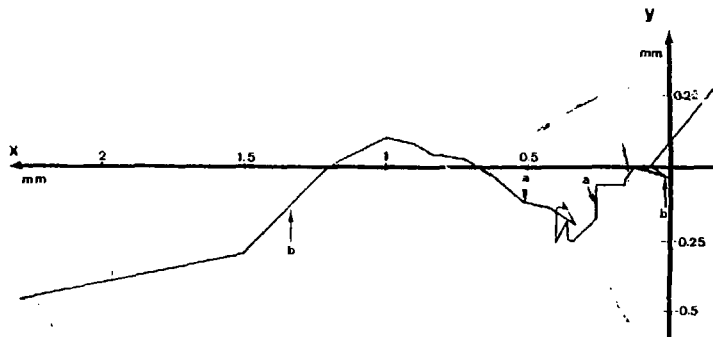
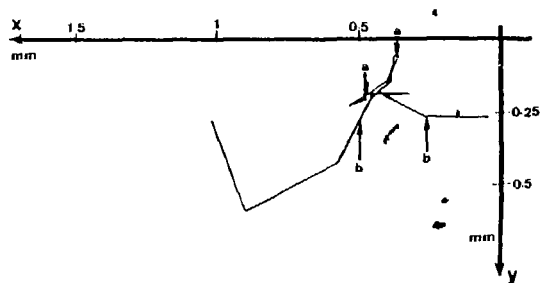


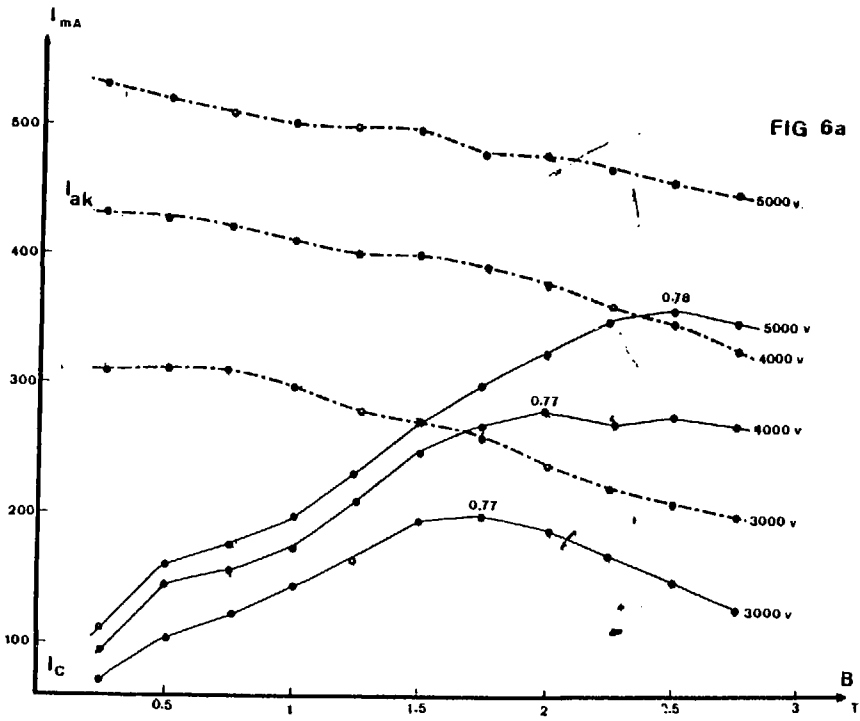
FIG 5

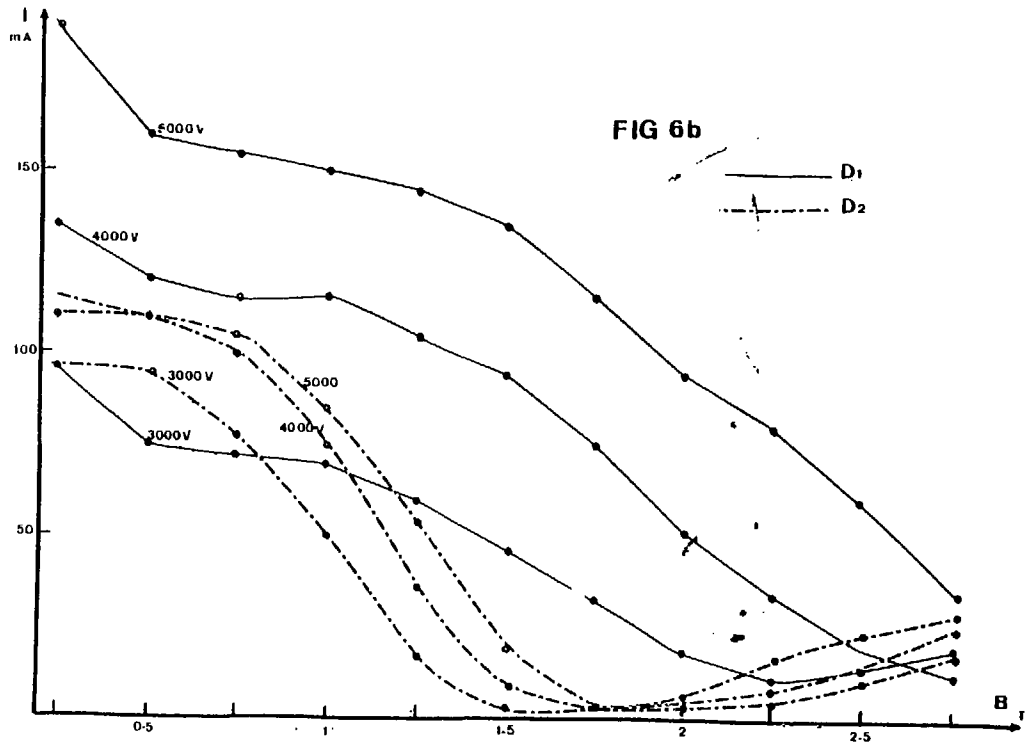
5a



5b

a: fin du solénoïde
b: blindage





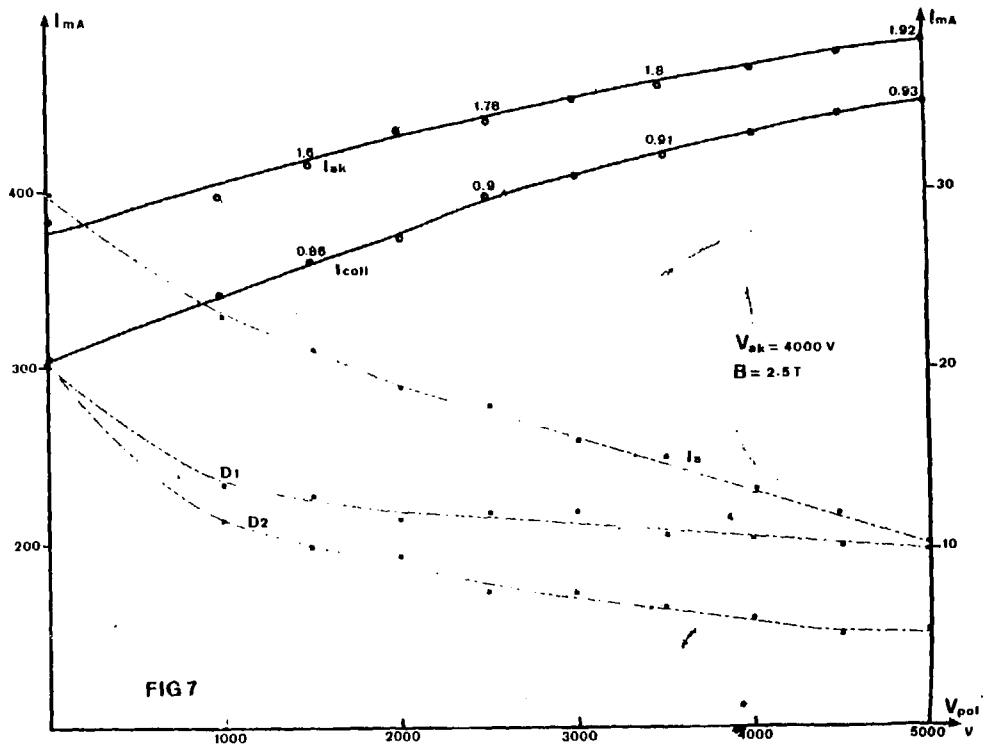
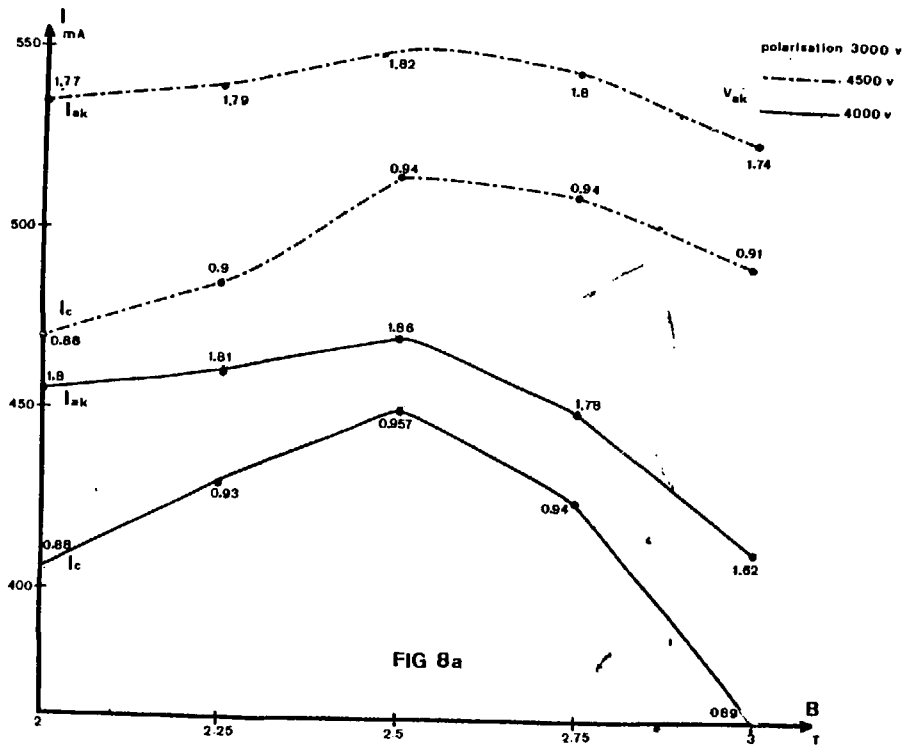


FIG 7



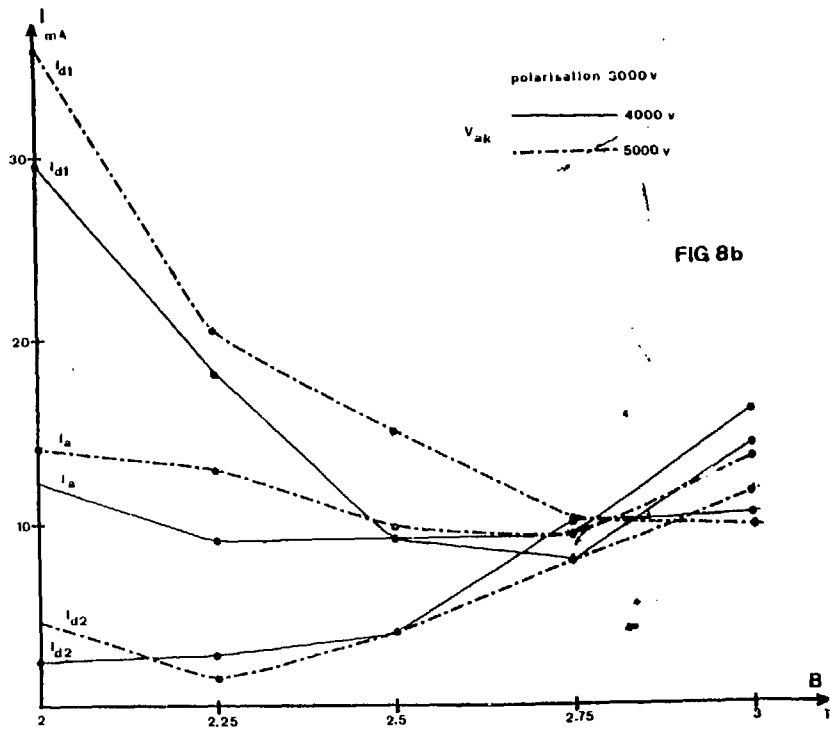


FIG 8b

30 NOV 1984

21h 44mn 29s

6az - RESIDUEL Tc - 3 MS

COURBE -10

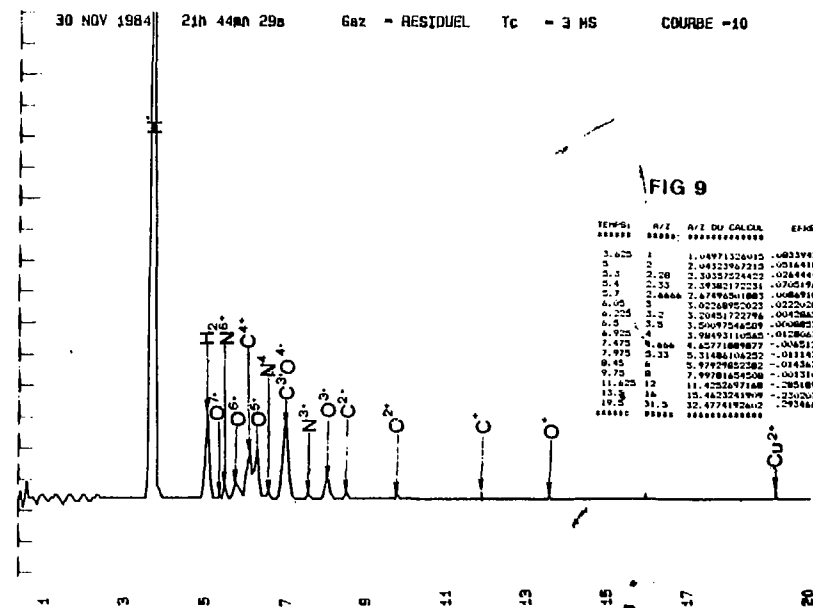


FIG 9

TEMP	R/Z	R/Z DU CALCUL	ESPEC	COEFFICIENT
3.625	1	1.08971326015	-0.023942216	PROTON
3	2	2.04323767212	-0.0144189704	HYDROGENE
3.1	2.08	2.30357524422	-0.028444404	DIYGENE 7+
3.4	2.33	2.19382172231	-0.056194275	ALDIE 4+
2.7	2.8866	2.47496561882	-0.06849182865	DIYGENE 6+
4.005	3	3.02268952023	-0.0225287301	CARBONE 6+
6.225	3.2	3.20431722784	-0.042864528	DIYGENE 5+
6.5	3.3	3.20067544628	-0.0088234212	ALDIE 4+
6.925	4	3.98193105845	-0.02386618225	C 3+ O 4+
7.475	3.886	6.42771889877	-0.0451284203	ALDIE 3+
7.975	3.33	5.31484104232	-0.0114504372	DIYGENE 3+
8.45	4	5.8769852582	-0.0136182474	CARBONE 2+
9.75	8	7.99781454208	-0.0013106832	DIYGENE 2+
11.475	12	11.4252267148	-0.001890165	CARBONE 1+
13.3	14	13.4433518194	-0.002078669	DIYGENE 1+
19.2	31.3	32.4774192462	-0.038465015	DIYVRE 2+

B 1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 13 15 17 20
 Vpa 1 0 V Vak 4000 V Vtav = 3614 V Ret. = 305 nS V[ca] = 3583
 Iuk 0.48 A Vbgn = 3840 V Vlent = 1.1 KV Vida = 2.4110-9

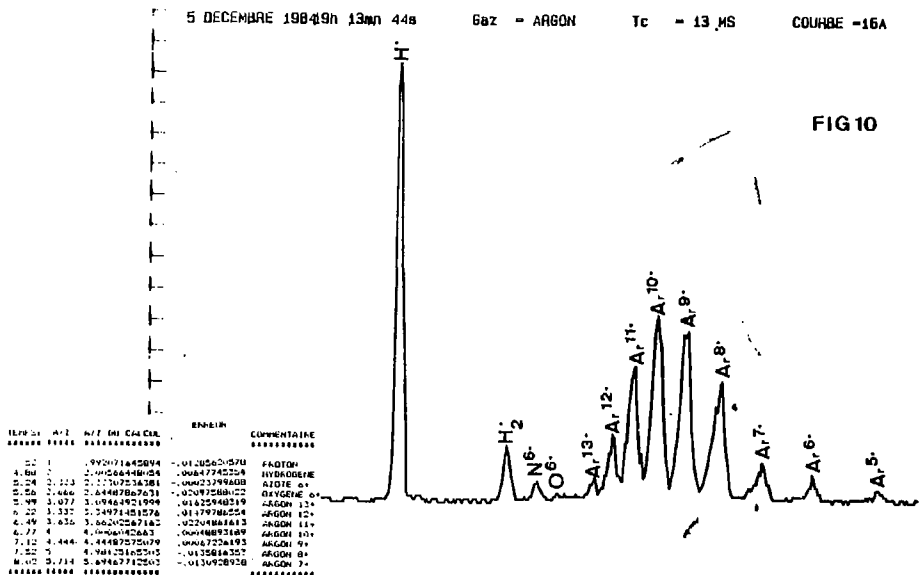
5 DECEMBRE 1984 9h 13mn 44s

Gas = ARGON

Tc = 13 MS

COURBE -16A

FIG 10



B = 2.5 Vak = 4000 Vtav = 3956 V Ret. = 416 ns Vetal = 3912
 Vpa = 0 Tak = 0.5 Vbgn = 3800 V Vlent = 1.1 KV Vide = 1.93 10-9

FIG 11

