



**HAL**  
open science

# Historique du séparateur d'isotopes installé sur une ligne de faisceau du synchrocyclotron d'Orsay ISOCELE I et ISOCELE II Conception et réalisation effectuées dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut

J. Sauvage-Letessier

## ► To cite this version:

J. Sauvage-Letessier. Historique du séparateur d'isotopes installé sur une ligne de faisceau du synchrocyclotron d'Orsay ISOCELE I et ISOCELE II Conception et réalisation effectuées dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut. [Rapport de recherche] Institut de Physique Nucléaire d'orsay, Université paris-sud XI. 2018. hal-01753241v1

**HAL Id: hal-01753241**

**<https://hal.science/hal-01753241v1>**

Submitted on 29 Mar 2018 (v1), last revised 13 Apr 2018 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Historique du séparateur d'isotopes installé sur une  
ligne de faisceau du synchrocyclotron d'Orsay  
ISOCELE I et ISOCELE II**

*Conception et réalisation effectuées dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut  
de Physique Nucléaire, IPN, et le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de  
Spectrométrie de Masse, CSNSM, d'Orsay*

J. Sauvage-Letessier

*Institut de Physique Nucléaire, F- 91406 Orsay Cedex, Université Paris-sud*

## *Table des matières*

1 INTRODUCTION.....	3
2 SEPARATEUR ISOCELE 1.....	7
2.1 Ensembles cible-source d'ions.....	7
2.1.1 Cibles de métaux fondus.....	10
2.1.2 Cibles d'alliages fondus.....	11
2.1.3 Cible de sels fondus.....	11
2.2 Extraction, analyse et transport de faisceau.....	12
2.2.1 Extraction.....	12
2.2.2 Aimant d'analyse.....	12
2.2.3 Transport des faisceaux d'ions séparés vers les postes de mesure.....	14
2.3 Transport de sources radioactives, dispositifs de mesures.....	15
2.3.1 Transport des sources radioactives de la première ligne de faisceau.....	15
2.3.2 Transport des sources radioactives de la deuxième ligne de faisceau.....	17
3 SEPARATEUR ISOCELE II.....	19
3.1 Nouveaux ensembles cible-source d'ions.....	19
3.1.1 Nouvelles cibles de métaux fondus.....	21
3.1.2. Nouvelles cibles d'alliages fondus.....	22
3.1.3 Cibles sous forme de poudre.....	22
3.1.4 Cibles utilisées avec introduction de tétrafluorure de carbone, CF <sub>4</sub> .....	23
3.1.5 Automatisation du retrait et de la mise en place des ensembles cible-source.....	25
3.2 Radioprotection, nouvelle implantation du séparateur et transport de faisceau.....	31
3.2.1 Radioprotection.....	31
3.2.2 Enseignements apportés par le fonctionnement d'ISOCELE I.....	31
3.2.3 Nouvelle implantation du séparateur.....	31
3.2.4 Transport des faisceaux d'ions séparés dans les nouvelles lignes de faisceau.....	34
3.3 Transport de sources radioactives, dispositifs de mesure.....	38
3.3.1 La ligne 1.....	38
3.3.2 La ligne 2.....	40
3.3.3 La ligne 3.....	49
4 RESULTATS.....	53
4.1 Fonctionnement des installations ISOCELE.....	53
4.2 Performances des installations ISOCELE.....	53
4.3 Résultats les plus originaux obtenus auprès des installations ISOCELE.....	53
4.3.1 Forme du noyau atomique, « coexistence de formes », « transition de forme ».....	53
4.3.2 Transitions « super-converties » dans le noyau atomique.....	54
4.3.3 Observation de nouveaux noyaux.....	55
4.4 Communication.....	55
5 APRES L'ARRET DE LA PHYSIQUE AU SYNCHROCYCLOTRON D'ORSAY.....	57
5.1 Poursuite des expériences auprès d'ISOLDE III et ISOLDE-Booster.....	57
5.1.1 Expériences de spectroscopie atomique (collaboration de l'Institut de Physique...)	57
5.1.2 Expériences avec le spectrographe à 180°.....	57
5.2 Etudes PARRNe, Production d'Atomes Radioactifs Riches en Neutrons.....	58
6 REMERCIEMENTS.....	58
7 REFERENCES.....	59
8 PUBLICATIONS.....	61
9 COMMUNICATIONS DANS LES CONFERENCES.....	67
10 RAPPORTS INTERNES, THESES, NOTICES TECHNIQUES.....	75

## 1 INTRODUCTION

La découverte de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1934 ouvre un nouveau champ d'étude des propriétés des noyaux atomiques radioactifs produits par le bombardement d'échantillons d'isotopes naturels auprès de réacteurs, générateurs de neutrons ou d'accélérateurs de particules et/ou d'ions lourds. Au commencement, pour extraire les atomes radioactifs produits, les échantillons étaient traités hors ligne par séparation chimique et/ou séparation isotopique. Au fil des ans, les isotopes radioactifs produits sont de plus en plus éloignés, en nombre de neutrons, de leur(s) isotope(s) stable(s) et par conséquent ont des durées de vie de plus en plus courtes. L'idée de réaliser en ligne l'étude de ces noyaux commence à germer.

Dès 1950, O. Kofoed-Hansen et K.O. Nielsen [Ko51] ont installé un séparateur isotopique en ligne auprès du cyclotron de l'Université de Copenhague pour séparer et étudier les isotopes de krypton, Kr, riches en neutrons dont les durées de vie sont de quelques minutes à quelques secondes. Ces noyaux radioactifs de krypton étaient produits par la fission de noyaux d'uranium bombardés par le faisceau du cyclotron. Malgré le succès de cette expérience, les méthodes de séparation isotopique hors ligne ont encore été utilisées pendant une quinzaine d'années.

En 1959, le premier faisceau accéléré par le synchrocyclotron de l'Institut de Physique Nucléaire, IPN, d'Orsay est extrait et parallèlement un séparateur d'isotopes stables ou radioactifs est installé hors ligne.

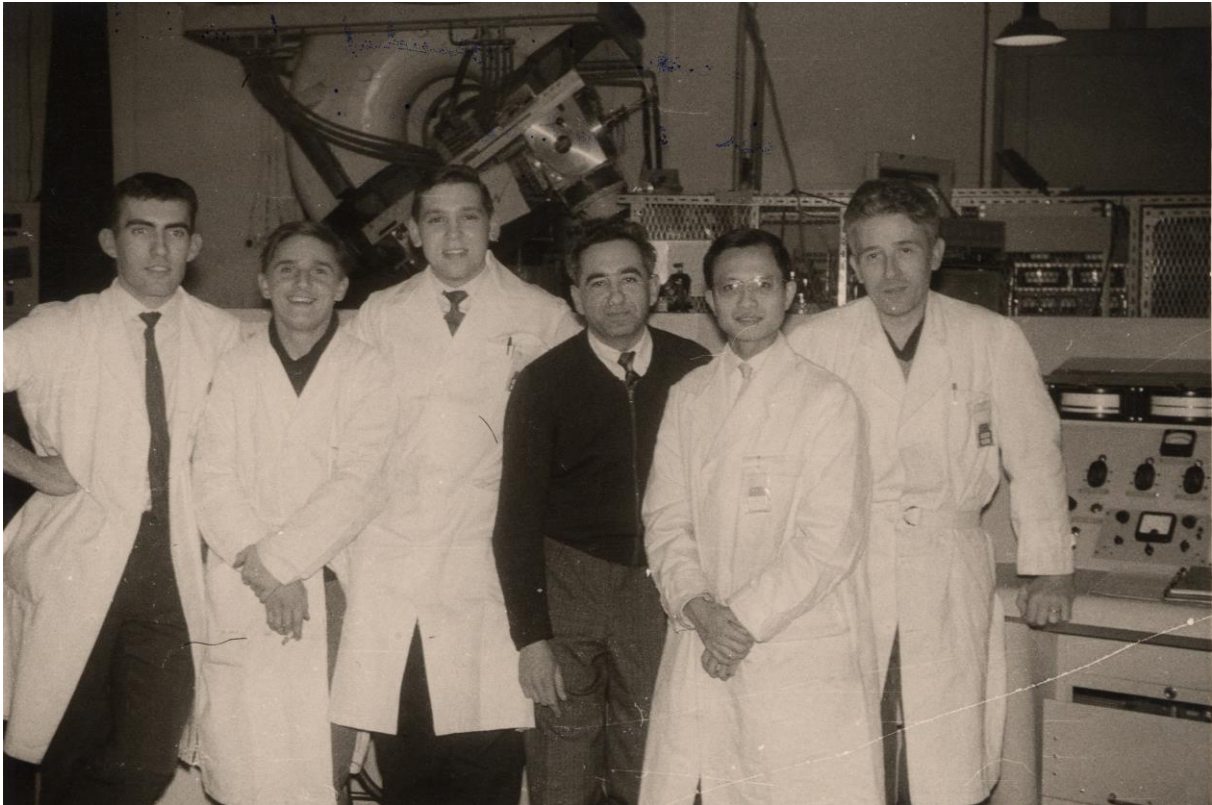
En 1964, un spectromètre de masse développé par R. Klapisch et R. Bernas [Kl65] est installé en ligne avec le synchrocyclotron d'Orsay. En 1965, il a permis de mesurer, pour la première fois, les productions des isotopes de lithium radioactifs de nombre de masse 8 et 9 et de durée de vie inférieure à la seconde relativement à celles des isotopes stables de nombre de masse 6 et 7. Ces isotopes du lithium étaient produits par le bombardement d'une cible de carbone par le faisceau de protons de 155 MeV du synchrocyclotron.

Parallèlement, à partir de 1963, plusieurs projets de séparateurs isotopiques en ligne apparaissent. Entre 1966 et 1970, neuf séparateurs (cinq auprès de réacteurs ou de générateurs de neutrons, quatre auprès d'accélérateurs de particules et/ou d'ions lourds) ont été installés en ligne et sont entrés en activité :

TRISTAN	Ames (USA)	en novembre 1966	auprès d'un réacteur
EMSONHIB	Dubna (URSS)	" juin 1967	" accélérateur
ISOLDE	Genève (Suisse)	" octobre 1967	" accélérateur
ARIEL	Grenoble (France)	" juin 1968	auprès d'un réacteur, générateur
OSIRIS	Studsvik (Suède)	" juin 1968	" réacteur
SOLIS	Soreq (Israël)	en été 1968	" réacteur
IALE	Buenos Aires (Argentine)	" mars 1969	" générateur
POLARIS	Princeton (USA)	" juin 1969	" accélérateur
PINGIS	Stockholm (Suède)	" juin 1969	" accélérateur

En 1971, Roger Foucher, chercheur à l'Institut de Physique Nucléaire, IPN, obtient le lancement de l'étude d'un séparateur isotopique et de son installation en ligne avec le synchrocyclotron d'Orsay qui délivre des faisceaux accélérés de protons et d'héliums de masse 3 et 4. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une étroite collaboration entre l'Institut de Physique Nucléaire, IPN, et le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, CSNSM, d'Orsay. Pour la préparation de cette installation, Jacques Obert en charge du fonctionnement du séparateur hors ligne de l'IPN appelé EM2 est allé travailler un an en

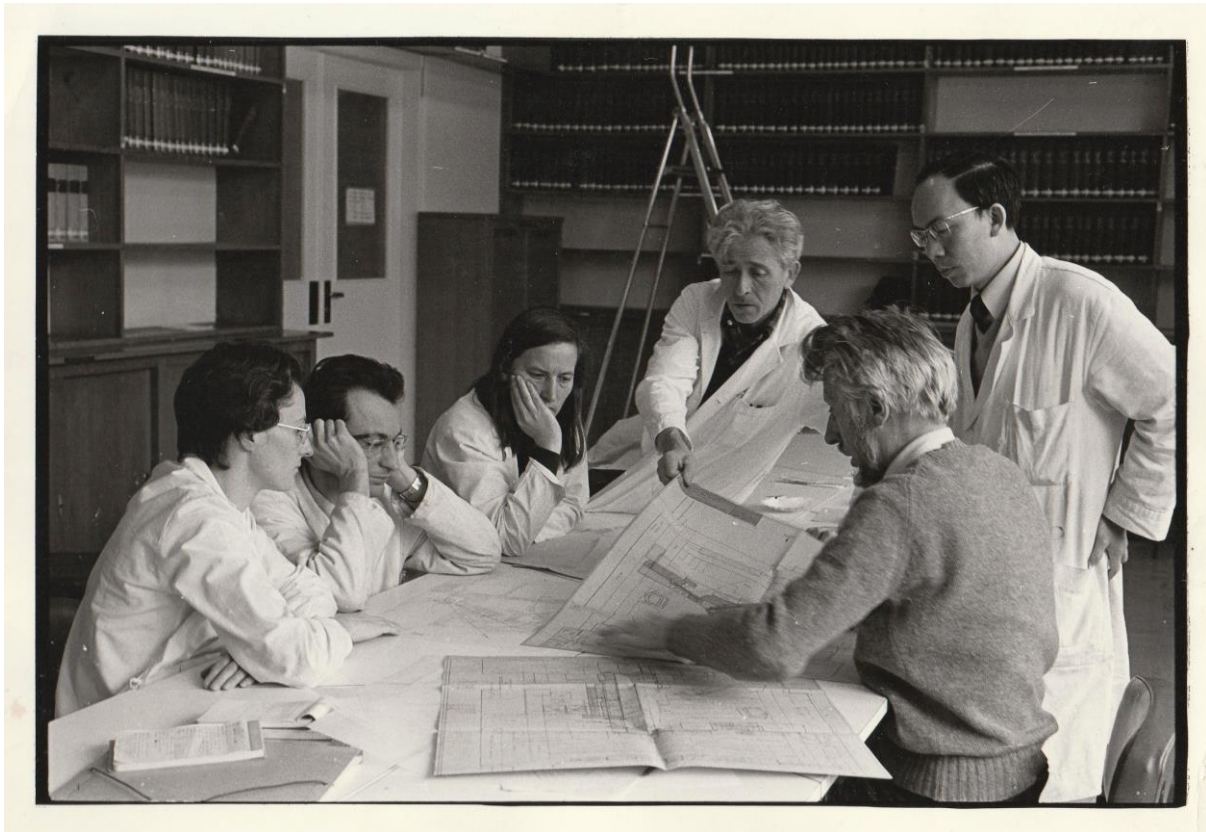
1970-1971 auprès d'ISOLDE à Genève et un peu plus tard Pierre Paris chercheur au CSNSM a fait un séjour de six mois auprès de TRISTAN à Ames. [Photo 1](#).



*Photo 1 : 1964 Equipe du séparateur hors ligne EM2, de gauche à droite : J. Obert, J. Fournet-Fayas, G. Levy, I. Chavet, M. Truong, J.L. Sarrouy*

Le principal objectif de cette installation est alors de réaliser des études de spectroscopie nucléaire. Les caractéristiques des rayonnements émis lors de la désintégration des noyaux atomiques radioactifs produits doivent être déterminées. Elles permettent ensuite d'établir certaines propriétés de l'état fondamental du noyau père et du noyau fils ainsi que celles des états excités atteints dans le noyau fils. La comparaison des résultats expérimentaux obtenus avec les propriétés attendues des états calculés, à partir de différents modèles nucléaires théoriques, pour le noyau étudié, sert à la fois à tester le modèle utilisé et à fournir des informations sur le comportement de ce noyau selon l'état dans lequel il se trouve ; par exemple, état dû à l'excitation d'une particule neutron ou proton ou à un mouvement collectif de rotation ou de vibration au sein du noyau.

La construction d'ISOCELE I a été terminée en 1973, le premier faisceau stable extrait en novembre 1973 [Fo73] et la première expérience avec faisceau radioactif réalisée en mars 1974. [Photo 2](#).



*Photo 2 1974 Réunion de travail ISOCELE I, de gauche à droite : J. Sauvage-Letessier, P. Paris, P. Kilcher, J.L. Sarrouy, C.F. Liang, R. Foucher*

Parallèlement, en 1973, le synchrocyclotron du CERN est arrêté pour être transformé afin d'augmenter l'intensité de son faisceau de protons. L'installation ISOLDE a alors été adaptée à l'augmentation d'un facteur 100 de l'intensité du faisceau extrait de l'accélérateur. La nouvelle installation, ISOLDE II, entre en activité en 1974. Par ailleurs, un séparateur installé en ligne avec un cyclotron, UNISOR, vient d'entrer en activité à Oak Ridge, USA et plusieurs autres projets sont en cours d'élaboration.

En mai 1975 le synchrocyclotron d'Orsay est arrêté pour augmenter l'énergie et l'intensité de ses faisceaux extraits ; l'énergie des protons doit passer de 155 à 200 MeV, celle des héliums de masse 3 de 206 à 280 MeV et l'intensité des faisceaux extraits doit s'accroître d'un facteur 20. L'installation ISOCELE est alors complètement transformée pour être adaptée à ces nouveaux faisceaux. La nouvelle installation ISOCELE II entre en activité en avril 1978 [Pa76, Pa81], puis s'arrête en septembre 1985 à cause d'une panne très grave due à un court-circuit dans une des bobines de l'électro-aimant principal du synchrocyclotron. Elle reprend son activité intense et régulière en juillet 1986.

Pour compléter les résultats obtenus par spectroscopie nucléaire, une expérience de spectroscopie atomique utilisant l'ionisation résonante en 2 ou 3 étapes par faisceaux laser a été développée et installée en 1986 auprès d'ISOCELE II. Cette nouvelle expérience proposée par Jonathan Lee, professeur de l'université de McGill de Montréal, a été réalisée dans le cadre d'une étroite collaboration entre l'université de McGill, le laboratoire Aimé Cotton d'Orsay et l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay. Il faut noter que le faisceau laser avec une haute résolution en fréquence nécessaire pour réaliser ce type d'expérience était délivré par une installation laser développée par Jacques Pinard et Sylvain Liberman [Pi77] chercheurs du laboratoire Aimé Cotton. Cette nouvelle expérience a été appelée PILIS, Post ISOCELE Laser Isobar Separation [Le88].

Dès l'automne 1986, Pierre Lehman, directeur de l'Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules, IN2P3, du CNRS veut arrêter l'exploitation du synchrocyclotron d'Orsay à la suite de la coupure gouvernementale des budgets de 10%. Le laboratoire Aimé Cotton, dirigé par Sylvain Liberman fait alors partie du département Mathématique et Physique de Base du CNRS dirigé par Jean-Claude Lehman. Celui-ci intervient auprès de Pierre Lehman et le convainc de retarder l'arrêt de l'accélérateur pour permettre la réalisation de l'expérience PILIS. Puis, Henri Sergolle, directeur de l'IPN, obtient que l'activité du synchrocyclotron pour la physique soit prolongée jusqu'à la fin de 1989. Par la suite, le synchrocyclotron sera uniquement utilisé par le milieu médical pour soigner les tumeurs de l'œil par proton-thérapie.

Le contexte historique et le principal objectif poursuivi initialement, c'est-à-dire pouvoir réaliser des études de spectroscopie nucléaire pour le maximum d'éléments du tableau périodique des éléments chimiques, a conduit, après de nombreuses discussions, à choisir un séparateur à courant moyen pour les installations ISOCELE I et ISOCELE II. Ce choix s'est révélé très judicieux par la suite.

Dans la suite de ce document, une description chronologique, rapide et simplifiée pour être accessible aux non spécialistes, de la construction des installations ISOCELE et des développements expérimentaux réalisés auprès d'elles est présentée. Cependant, des informations plus complètes et détaillées sont données pour les développements les plus originaux comme ceux concernant les ensembles cible-source d'ions, l'optique ionique conçue par Pierre Paris pour réaliser l'implantation d'ISOCELE II [Pa81], l'ensemble expérimental associé au spectrographe à 180° permettant de déterminer avec une grande précision les énergies des électrons de conversion interne ayant des énergies comprises entre 1 keV et 20 keV [Ki89] et l'ensemble expérimental de spectroscopie atomique par ionisation résonante par laser d'atomes radioactifs [Le88]. Dans les résultats sont indiqués le mode de fonctionnement et les principales performances des installations ISOCELE. Les résultats de physique les plus originaux obtenus sont également présentés rapidement.

Après l'arrêt de la physique auprès du synchrocyclotron d'Orsay fin 1989, le savoir-faire acquis auprès des installations ISOCELE a grandement facilité la poursuite de certaines expériences auprès d'ISOLDE III puis auprès d'ISOLDE-Booster et aussi le développement de nouvelles installations destinées à l'étude de la Production d'Atomes Radioactifs Riches en Neutrons, PARRNe. Les premiers résultats ont justifié l'installation d'un séparateur isotopique en ligne, appelé PARRNe, auprès du TANDEM d'Orsay. Par la suite un accélérateur linéaire d'électrons a été installé près de PARRNe donnant naissance à l'installation Accélérateur Linéaire et Tandem à Orsay, ALTO. Ces nouvelles activités sont présentées succinctement à la fin du document.

## 2 SEPARATEUR ISOCELE 1

### 2.1 Ensembles cible-source d'ions

L'objectif du séparateur isotopique installé en ligne auprès du Synchrocyclotron d'Orsay consistait à étudier les propriétés des noyaux atomiques situés loin de la vallée de stabilité, c'est-à-dire éloignés, en nombre de neutrons, de leur(s) isotope(s) stable(s). Les noyaux radioactifs produits principalement par réactions de spallation ont alors de très courtes périodes de désintégration (inférieures à quelques minutes), il est donc essentiel que les atomes radioactifs obtenus sortent de la cible et soient ionisés le plus rapidement possible.

Le faisceau de protons ou d'héliums de masse 3 ( $^3\text{He}$ ) ou 4 ( $\alpha$ ) est dévié par un aimant pour arriver sur la cible focalisé dans un diamètre d'environ 10 mm. [Photo 3](#). Les protons de 155 MeV et les  $^3\text{He}$  de 206 MeV ont un petit parcours dans la cible. Les propriétés des faisceaux disponibles ont donc conduit à utiliser un volume optimum de cible d'environ  $1\text{cm}^3$ . Des cibles de métaux, or, bismuth ou étain (Au, Bi, Sn), d'alliages, platine-bore ou erbium-cuivre (Pt-B, Er-Cu), et de sel, tétra-fluorure de thorium ( $\text{ThF}_4$ ), fondus ont été développées puis utilisées pendant les 14 mois (mars 1974-mai 1975) d'exploitation d'ISOCELE 1 [[Pa76](#)].



*Photo 3 1973  
Aimant servant à dévier le faisceau de  
particules délivré par le  
synchrocyclotron pour bombarder la  
cible d'ISOCELE I*

Parallèlement à la construction d'ISOCELE [[Ca76](#)], un banc d'essais installé hors ligne permettait de mettre au point les nouvelles cibles. En particulier, il servait à déterminer la nature des creusets capables de contenir les cibles fondues portées à des températures propices à la bonne diffusion des éléments radioactifs produits au sein de chacune d'elles [[Bo74](#), [Ca76](#)], voir [Tableau 1](#).

Afin de pouvoir produire des faisceaux d'ions extraits, principalement constitués de gaz support, d'une intensité de 0.5 à 2 mA, une source d'ions à plasma de type Bernas-Nier [[Ch65](#), [Sa65](#)] a été choisie et adaptée à la séparation en ligne. Elle a été associée à une électrode d'extraction, mobile dans quatre directions, qui permettait de contrôler la conduite du faisceau d'ions jusqu'au plan focal de l'aimant d'analyse. Les cibles utilisées étant de petits volumes,  $\sim 1\text{cm}^3$ , elles ont été placées à l'intérieur de la chambre de décharge de la source d'ions ce qui présentait l'avantage de minimiser le temps écoulé entre la production d'un atome radioactif et son ionisation. [Photo 4](#), [5](#) et [6](#).



Tableau 1 Cibles testées hors ligne avant le démarrage du séparateur ISOCELE I [Bo74], l'activité attendue après le séparateur est donnée en microcuries dans la dernière colonne

Matériau cible	Etat cible	T °C fusion	Matériau creuset ou support	T °C cible	Particule	Éléments produits	activité en µC
or	métal fondu	1063	graphite	1100	proton	mercure	1000
or	métal fondu	1063	graphite	1100-1200	hélium 3	thallium mercure	100
bismuth	métal fondu	271	graphite	700	hélium 3	astate polonium	100
néodyme	métal fondu	1016	tantale	1100-1200	hélium 3	samarium	10
uranium	métal fondu	1132	oxyde de béryllium	1100-1200	proton	plusieurs	
platine-bore	alliage fondu	<1000	nitru de bore	1400-1500	proton	or	100
platine-bore	alliage fondu	<1000	nitru de bore	1300	hélium 3	mercure	100
ThF <sub>4</sub> -NaF <sup>1)</sup>	sels fondus	750	graphite	800-900	proton	plusieurs	
carbure de thulium	solide poreux		support tantale	1200-1300	proton	ytterbium	10
carbure d'erbium	solide poreux		support tantale	1500	proton	thulium	1
carbure d'erbium	solide poreux		support tantale	1500	hélium 3	ytterbium	10
carbure de néodyme	solide poreux		support tantale	1500	hélium 3	samarium	1
carbure d'holmium	solide poreux		support tantale	1500	hélium3	thulium	1
dysprosium	solide	1412	support tantale	1000	proton	holmium	10
dysprosium	solide	1412	support tantale	1000	hélium 3	erbium holmium	10
dysprosium-aluminium	alliage fondu		tantale	1000	proton	holmium	10
dysprosium-aluminium	alliage fondu		tantale	1000	hélium 3	erbium holmium	10
plomb	métal fondu	328	graphite	900-1000	proton	bismuth plomb thallium	variable

<sup>1)</sup> fluorure de thorium et fluorure de sodium.

La chambre de décharge pouvait être chauffée par effet joule jusqu'à 1100 °C. Trois différentes configurations des ensembles cible-source d'ions ont été développées :

- le creuset contenant la cible, placé en arrière de l'arc de décharge, était chauffé à l'aide d'un four auxiliaire, configuration A,
- pour les petites cibles, le creuset de la cible monté sur un support mobile pouvait être remplacé rapidement en cas de besoin, configuration A1, voir Fig. 1,
- la cible servait d'anode, dans cette configuration l'arc bombarde constamment la cible, ce qui nettoie et augmente la température de sa surface favorisant ainsi la rapidité de sortie

des atomes radioactifs produits, cette configuration B a été utilisée pour la cible d'alliage platine-bore fondu et parfois pour celle d'or fondu.

La chambre d'ionisation et la plaque d'émission étaient en graphite. La fente d'émission avait 1 mm de largeur, 15 mm de hauteur et des biseaux à 120°. Un fil en tungstène de 1,2 mm de diamètre enroulé sur deux tours constituait la cathode hélicoïdale [Le76]. La chambre de décharge entourée de réflecteurs en molybdène ou tantale était montée sur un socle en laiton refroidi par circulation d'eau.

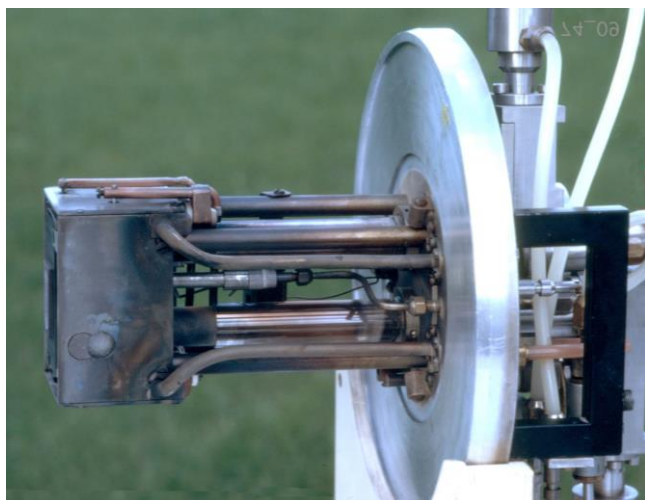


Photo 4 1974 Source d'ions fixée sur son flasque



Photo 5 Chambre d'ionisation de la source d'ions entourée de réflecteurs

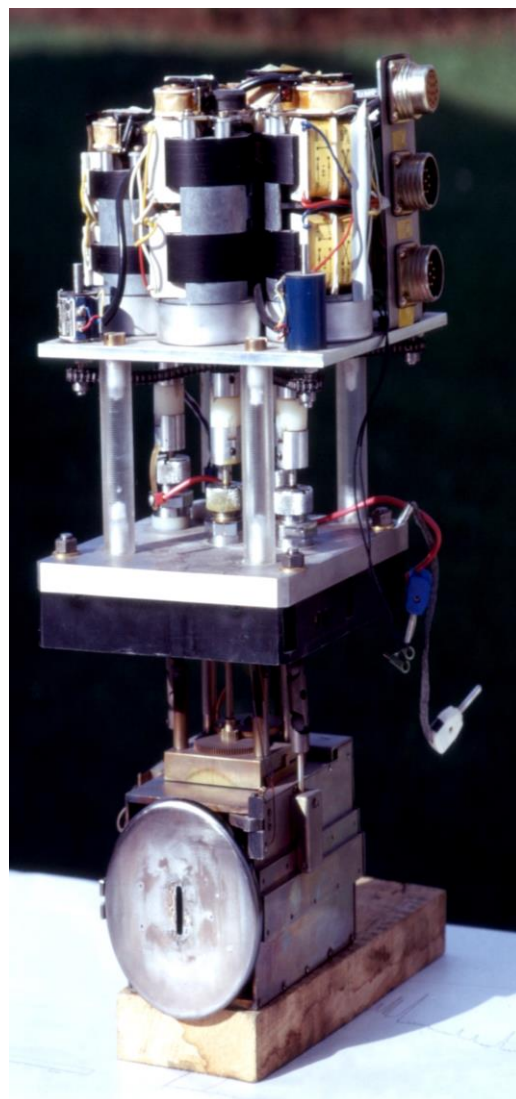


Photo 6 1974 Electrode d'extraction mobile dans 4 directions

L'ensemble cible-source d'ions fixé sur un flasque en alliage à base d'aluminium (AG3) était introduit dans le caisson de source au travers d'une section isolante. Deux fenêtres étanches en acier inoxydable de 0.05 mm d'épaisseur permettaient le passage du faisceau au travers du caisson et son interaction avec la cible. Les ensembles cible-source d'ions étaient portés à une haute tension de +40 kV et l'électrode d'extraction était reliée à la masse. Un gaz marqueur destiné à alimenter la décharge, était introduit dans la source d'ions. Deux sas isolés électriquement permettaient sans détériorer le vide :

- le changement de la cathode

- le changement du four cible ou des petites cibles

Un deuxième gaz pouvait être introduit au travers d'un de ces deux sas.

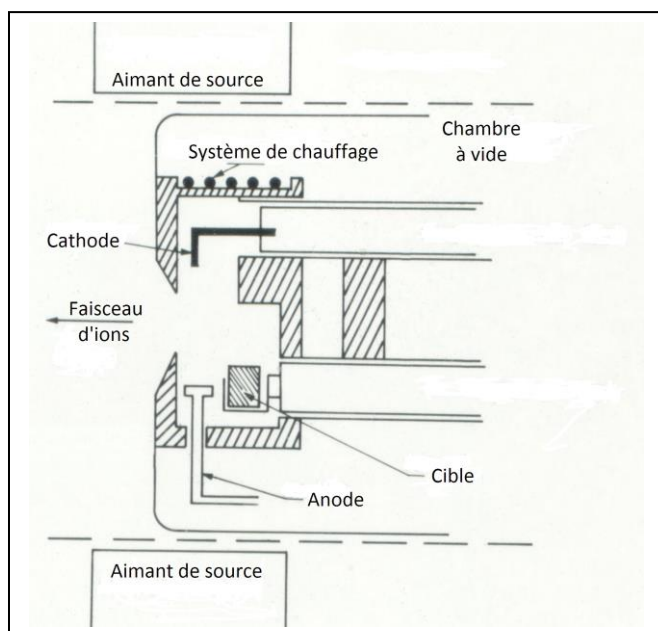


Fig. 1 1974  
Schéma de l'ensemble cible-source  
d'ions pour les petites cibles,  
configuration A1

### 2.1.1 Cibles de métaux fondus

**Cible d'or.** L'or fond à 1063 °C, sa tension de vapeur est environ  $10^{-4}$  mm de mercure à une température de 1100 °C et sa vitesse d'évaporation dans une chambre sous vide secondaire est de  $2 \cdot 10^{-6}$  g/cm<sup>2</sup>.s à 1200 °C. L'or en fusion étant peu réactif, des creusets en graphite ont été utilisés pour contenir les cibles d'or fondu pendant plusieurs jours. Les éléments platine, iridium et osmium étant très peu volatils le bombardement par les protons de cette cible d'or fondu, placée selon la configuration A1 ou A, a permis d'extraire sélectivement les ions radioactifs du mercure qui est un élément très volatil.

Cette même cible, placée selon la configuration A ou B, bombardée par des particules <sup>3</sup>He a permis de produire un faisceau d'ions radioactifs de thallium exploitable à condition de porter la cible à une température plus élevée 1300 à 1350 °C afin d'accélérer la sortie du thallium de la cible. A 1350 °C la vitesse d'évaporation de l'or est alors d'environ  $4 \cdot 10^{-5}$  g/cm<sup>2</sup>.s. Les faisceaux extraits contiennent également les ions de mercure produits directement par les <sup>3</sup>He ou par la décroissance des noyaux radioactifs de thallium [Ca76, Pa76].

**Cible de bismuth.** Le bismuth fond à 271 °C, sa tension de vapeur est de  $10^{-4}$  mm de mercure à 500 °C et  $10^{-2}$  mm de mercure à 660 °C. Des creusets en graphite ont aussi été utilisés pour contenir le bismuth fondu et chauffé à 700 °C. La cible, placée selon la configuration A1, était bombardée par le faisceau d'<sup>3</sup>He afin de produire les noyaux radioactifs d'astate et de polonium. Pour éviter le collage des ions radioactifs d'astate sur des pièces métalliques, toutes les pièces (hormis la cathode) de la chambre d'ionisation de la source ont été réalisées en graphite. Dans ces conditions de fonctionnement, une consommation de la cible, correspondant à un faisceau de <sup>209</sup>Bi stable de 0,5 mA, a été observée [Ca76, Pa76].

**Cible d'étain.** L'étain fond à 232 °C, sa tension de vapeur est de  $10^{-4}$  mm de mercure à 1000 °C et  $10^{-2}$  mm de mercure à 1250 °C. L'étain fondu était contenu dans un creuset en graphite et chauffé à 1000-1200 °C. Bombardée par le faisceau de protons cette cible, en configuration A, a permis de produire des faisceaux d'ions radioactifs d'antimoine, d'étain,

d'indium et de cadmium. La température la plus élevée permet d'extraire des faisceaux d'antimoine et d'indium plus intenses mais alors une légère consommation de la cible, correspondant à un faisceau de 0,5 mA d'étain stable, est observée [Ca76, Pa76].

### 2.1.2 Cibles d'alliages fondus

**Cible de platine-bore.** Le platine fond à 1769 °C. A cette température le platine est très réactif, il forme des alliages avec les métaux réfractaires comme le tantale, le molybdène et le tungstène. Ces métaux réfractaires ne peuvent donc pas être utilisés comme creuset pour contenir une cible de platine. Différents types de graphite (graphite et carbone vitreux) sont également attaqués par le platine fondu. Pour abaisser la température de fusion de l'élément cible, il a été choisi d'utiliser un alliage du platine avec du bore, élément peu volatil et de faible poids volumique. Cet alliage a une température eutectique à 830 °C pour un mélange pondéral de 3,6 % de bore avec 96,4 % de platine. Il a été fabriqué par le chauffage d'un mélange de poudres de platine et de bore dans un creuset en nitrure de bore, la fusion est observée en dessous de 1000 °C mais la température est élevée jusqu'à 1800 °C pendant quelques minutes pour homogénéiser l'alliage. Dans ces conditions de préparation de l'alliage, le creuset en nitrure de bore peut contenir la cible pendant plusieurs heures sans être détérioré. De plus, si sa teneur en bore reste inférieure à 3,6 % l'alliage n'adhère pas au creuset. Afin d'obtenir une volatilisation assez rapide des atomes d'or radioactifs produits par le faisceau de protons, la cible de platine-bore, placée selon la configuration B, était portée à une température voisine de 1400 °C [Ca76, Pa76].

**Cible d'erbium-cuivre.** L'erbium fond à 1522 °C, il est volatil, sa tension de vapeur sous vide est 1 mm de mercure à 1600 °C. Pour diminuer la volatilisation de l'erbium il a été nécessaire d'abaisser la température de fusion de la cible en utilisant un alliage de l'erbium. Pour un mélange pondéral de 85 % d'erbium avec 15 % de cuivre, la température de fusion de la cible a été abaissée à environ 850-900 °C. L'alliage a été fabriqué par fusion du mélange d'erbium et de cuivre dans un creuset en molybdène. Cette cible, placée selon la configuration A1, bombardée par les protons, produisait des noyaux radioactifs de thulium. La tension de vapeur du thulium, 1 mm de mercure à 1085 °C, est suffisamment élevée pour que le thulium soit vaporisé pour une température de la cible liquide supérieure à 1100 °C. Pour la cible d'erbium-cuivre utilisée à 1200 °C, une consommation de l'erbium de la cible de 30 mg par heure a été mesurée. Cette cible bombardée par des particules  $^3\text{He}$  a permis de produire des faisceaux d'ions d'ytterbium. Dans tous les cas les faisceaux d'ions obtenus contenaient un mélange des lanthanides produits [Pu74].

### 2.1.3 Cible de sels fondus

**Cible de fluorure de thorium et de fluorure de sodium, ThF<sub>4</sub>-NaF.** Pour produire les éléments lourds, le composé très stable de fluorure de thorium a été choisi. Il fond à 1100 °C mais il est très volatil, à cette température sa tension de vapeur est 1 mm de mercure. Pour abaisser la température de fusion de la cible, un mélange pondéral de 88 % de fluorure de thorium avec 12 % de fluorure de sodium a été choisi. La cible ThF<sub>4</sub>-NaF est contenue dans un creuset en graphite chemisé avec du platine. Elle est chauffée entre 800 et 900 °C. Cette cible, placée selon la configuration A1, bombardée par des protons a permis de produire des faisceaux d'ions radioactifs de radon et de francium [Ca76, Pa76].

La liste des cibles utilisées avec le séparateur ISOCELE I est présentée dans [le tableau 2](#).

Tableau 2 Cibles développées et utilisées à ISOCELE I [Pa76].

Matériau cible	Etat cible	T °C fusion	Matériau creuset	T °C cible	config. cible	Particule	Intensité faisceau	Élément produit
or (30g)	métal fondu	1063	graphite	1200 1300-1350	A1, A A, B	proton hélium 3	80nA 150nA	mercure thallium mercure
bismuth	métal fondu	271	graphite	700	A1	hélium 3	180nA	astate polonium
étain	métal fondu	232	graphite	1000-1200	A1	hélium 3	180nA	antimoine étain indium cadmium
platine-bore (9 g)	alliage fondu	< 1000	nitride de bore	1400	B	proton	80nA	or
erbium-cuivre (2 g)	alliage fondu	850-900	molybdène	1200	A1	proton hélium 3	80nA 180nA	thulium holmium dysprosium ytterbium holmium dysprosium
ThF <sub>4</sub> - NaF <sup>1)</sup>	sels fondus		graphite chemisé avec Pt	800-900	A1	proton	80nA	radon francium

<sup>1)</sup> fluorure de thorium et fluorure de sodium.

## 2.2 Extraction, analyse et transport de faisceau

### 2.2.1 Extraction

L'extraction du faisceau d'ions était réalisée grâce à une alimentation à haute tension réglable de 0 à 60 kV et stabilisée à  $10^{-5}$  pour un courant maximum de 5 mA. A la puissance nominale, le taux d'ondulation était de  $10^{-5}$  crête à crête. La stabilité à long terme (8h) de l'alimentation était de  $10^{-4}$  à température ambiante constante. Une valeur de haute tension d'extraction de 40 kV était couramment utilisée.

Les quatre mouvements de l'électrode d'extraction permettaient d'optimiser le transport du faisceau d'ions extrait. Une sonde de divergence constituée de deux aiguilles isolées et mobiles orthogonalement était installée entre l'électrode d'extraction et l'aimant d'analyse. Elle servait à contrôler les amplitudes horizontale et verticale du faisceau d'ions extrait afin d'en optimiser la transmission au travers des divers éléments optiques de la ligne de transport. Un oscilloscope permettait la visualisation à distance des profils du faisceau d'ions extrait.

### 2.2.2 Aimant d'analyse

Pour effectuer les études de physique projetées dans de bonnes conditions il était nécessaire de produire des faisceaux d'ions séparés suffisamment purs. Les qualités de séparation requises étaient alors les suivantes :

- ouverture radiale maximale des faisceaux d'ions accélérés de  $\pm 2^\circ$
- dispersion au plan focal de l'aimant,  $2000 \Delta M/M$  (en mm)
- éventail des masses disponible au plan focal égal à  $\pm 10\%$  de la masse centrale

Les qualités de séparation désirées et les impératifs géométriques d'implantation du séparateur ont conduit à choisir un aimant d'analyse dont les caractéristiques étaient les suivantes :

- champ magnétique inhomogène d'indice 0,5
- angle de déviation du faisceau d'ions central de  $75^\circ$
- rayon de courbure moyen de 800 mm
- entrefer au rayon moyen de 66 mm

Pour étendre la surface polaire utilisable de 700 mm à 900 mm, des pièces en fer (shims) ont été placées sur les bords extérieurs des pièces polaires.

Pour augmenter de  $18^\circ$  à  $30^\circ$  l'angle du plan focal par rapport à la trajectoire centrale émergente, des pièces de forme concave (shims) ont été ajoutées sur les faces de sortie des pièces polaires. Ces pièces avaient un rayon de courbure de 1 m, une hauteur de 30 mm et une épaisseur maximale de 5 mm.

Pour avoir la possibilité d'ajuster la distance du plan focal à l'aimant, des nappes de courant réglable sous forme de circuits imprimés ont été placées sur les faces polaires ce qui permettait de faire varier l'indice de l'aimant.

Enfin, des coins de fer (shims) avec un angle de  $2,4^\circ$  placés à l'entrée des pièces polaires ont permis de compenser la variation radiale du champ de fuite de l'aimant due à la variation radiale de la hauteur de l'entrefer. Ils ont servi à ramener la distance entre la sortie du champ magnétique et le plan focal de l'aimant à la valeur prévue théoriquement [Ca76]. [Photo 7](#).



*Photo 7 1973 Aimant d'analyse et sa chambre à vide*

La qualité des faisceaux d'ions séparés était observée à l'aide d'un « scanner » constitué d'une aiguille isolée qui se déplaçait dans le plan focal de l'aimant d'analyse et mesurait l'intensité du faisceau en fonction de sa position. Le spectre de masse ainsi obtenu était visualisé à distance à l'aide d'un oscilloscope.

### 2.2.3 Transport des faisceaux d'ions séparés vers les postes de mesure

La cible, la source d'ions et leurs alimentations ainsi que l'aimant d'analyse et le collecteur étaient installés dans une salle blindée pour répondre aux impératifs de radioprotection. A l'extérieur de celle-ci, deux lignes de faisceaux situées dans un hall, appelé « salle de physique », permettaient de conduire les faisceaux d'ions séparés vers trois postes de mesure. Situés dans le collecteur, après le plan focal de l'aimant d'analyse, deux déflecteurs électrostatiques toroïdaux, l'un fixe, l'autre mobile, servaient à envoyer deux des faisceaux d'ions séparés, simultanément dans les deux lignes de faisceaux tout en assurant leur focalisation à la fois horizontale et verticale [Fig. 2](#).

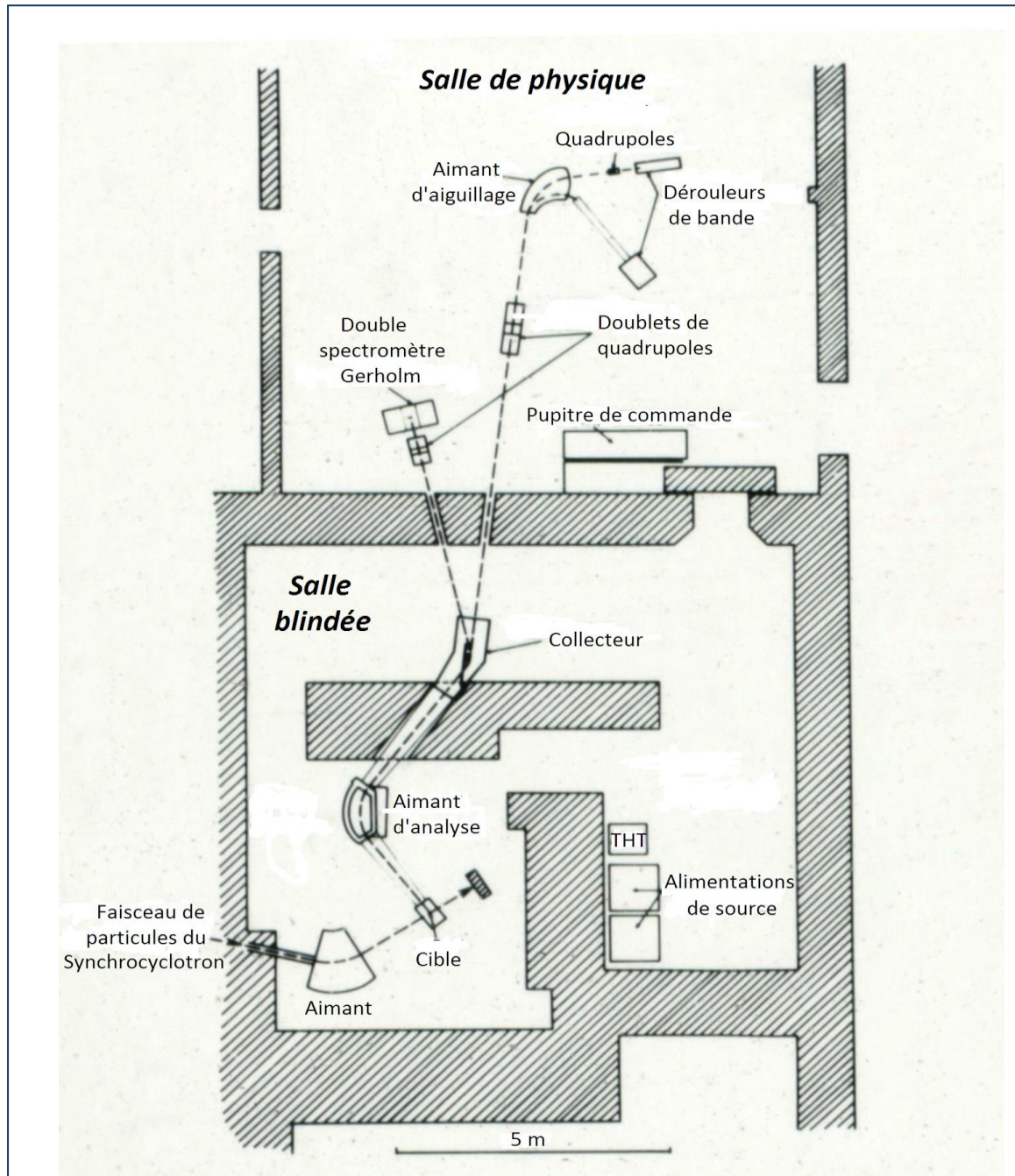


Fig. 2 1974 Schéma d'implantation du séparateur isotopique ISOCELE I dans la « salle blindée » et de ses deux lignes de faisceau d'ions séparé dans la « salle de physique »

La direction de l'une des deux lignes de faisceaux était parallèle au plan focal de l'aimant d'analyse. Pour l'alimenter, le déflecteur mobile se déplaçait parallèlement au plan focal de l'aimant et déviait le faisceau sélectionné de  $30^\circ$ . Le faisceau sortant du déflecteur était donc parallèle au plan focal de l'aimant quelle que soit la masse sélectionnée. Un aimant d'aiguillage servait ensuite à dévier le faisceau d'ions de  $75^\circ$  ou  $105^\circ$  pour le diriger vers l'un ou l'autre des deux postes de mesure. La face d'entrée de l'aimant d'aiguillage se trouvait à 9,6 m du point focal central de l'aimant d'analyse. La focalisation du faisceau d'ions au niveau des postes de mesures était réalisée à l'aide d'un doublet de quadrupôles électrostatiques situé entre le déflecteur mobile et l'entrée de l'aimant d'aiguillage. De plus, un quadrupôle électrostatique a été ajouté sur la sortie à  $75^\circ$  pour pouvoir modifier la forme du faisceau collecté.

Le déflecteur fixe déviait le faisceau d'ions d'une masse plus lourde de  $48^\circ$  pour alimenter la deuxième ligne de faisceau équipée d'un doublet de quadrupôles électrostatiques qui focalisait le faisceau au niveau du troisième poste de mesure de la salle de physique.

Des faisceaux correspondant à des masses stables étaient utilisés pour optimiser les réglages de l'optique de focalisation. Des fenêtres transparentes permettaient de visualiser ces faisceaux sur des écrans escamotables situés aux différents points de focalisation et à proximité des points de collection. En particulier, pour la première ligne de faisceau, la sortie du doublet de quadrupôles était reliée à l'entrée de l'aimant d'aiguillage par une tubulure en pyrex dans laquelle un écran mobile horizontalement et escamotable permettait une très bonne observation directe de la qualité de la focalisation du faisceau aux deux points objets correspondant aux deux postes de mesure situés à la sortie de l'aimant d'aiguillage. Des faisceaux de 4 mm de diamètre étaient obtenus au point de focalisation des doublets de quadrupôles électrostatiques. Des focalisations rectangulaires du faisceau de 15 mm de haut et 6 mm de largeur après la déviation de  $105^\circ$ , et de 30 mm de haut et 1,5 mm de largeur après la déviation de  $75^\circ$  étaient obtenues après l'aimant d'aiguillage, avec des faisceaux objets de 30 mm de haut et 2 mm de largeur.

## **2.3 Transport de sources radioactives, dispositifs de mesures**

Les études de spectroscopie nucléaire nécessitent la détection des rayonnements émis par les atomes radioactifs : rayons X et gamma ( $\gamma$ ) ainsi que particules alpha ( $\alpha$ ), béta ( $\beta^+$ ) et électron de conversion interne ( $e^-$ ), afin de mesurer leur énergie. La coïncidence ou non dans le temps, à quelques nanosecondes près, des diverses émissions devait aussi être déterminée. Des dispositifs expérimentaux variés ont donc été installés aux différents postes de mesure.

### **2.3.1 Transport des sources radioactives de la première ligne de faisceau**

Pour les deux postes de mesure situés après l'aimant d'aiguillage, le faisceau focalisé était collecté sur une bande aluminisée ou une bande magnétique. La source radioactive ainsi obtenue était transportée sous vide du point de collection jusqu'à un ou deux points de mesure à l'aide d'un dérouleur de bande commandé automatiquement. [Photo 8](#)

#### **2.3.1.1 Dérouleur de bande de la ligne déviée à $75^\circ$ , DP**

Ce dérouleur a été réalisé et mis au point par P. Paris qui s'est inspiré du modèle de dérouleur développé à AMES (IOWA) [Co75]. Les bobines débitrice et réceptrice ainsi que le cabestan étaient actionnés par des moteurs pas à pas. Un vide différentiel entre l'enceinte contenant les bobines et le cabestan et les chambres de collection et de mesure, permettait d'obtenir un vide

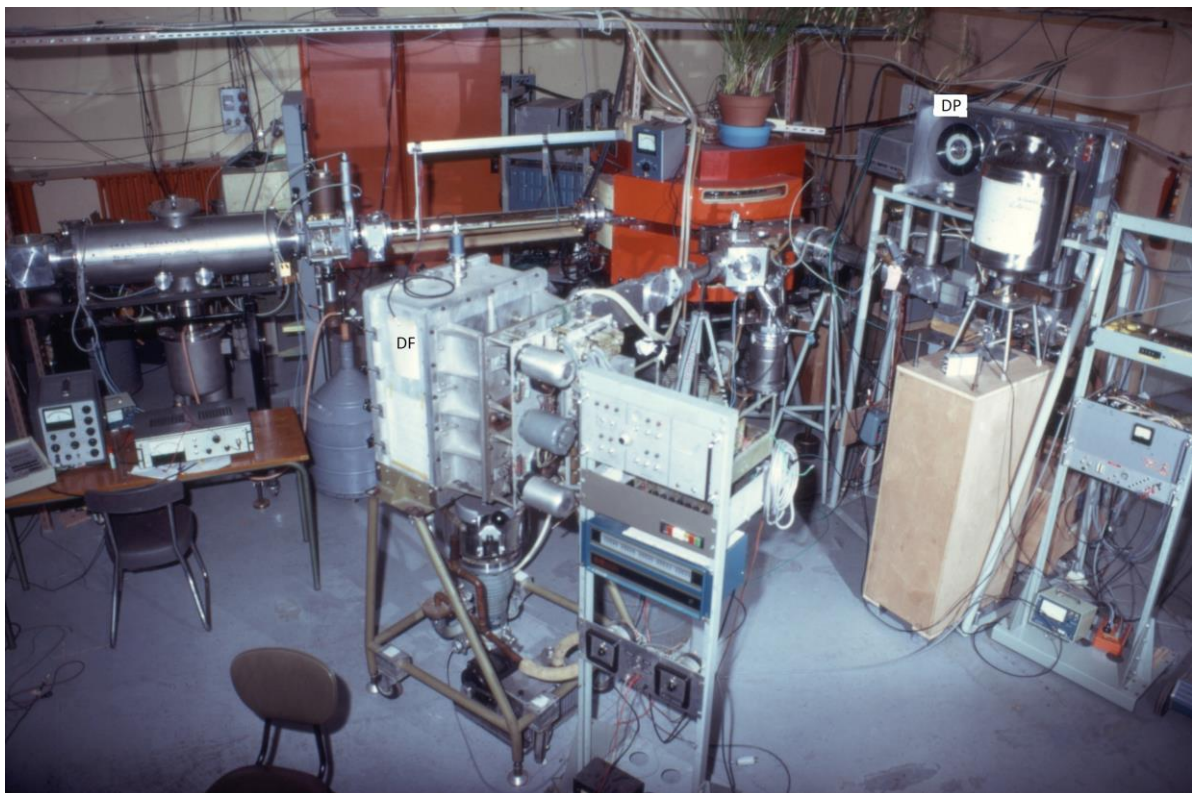


de  $10^{-6}$  mm de mercure dans ces dernières. La vitesse de déplacement de la source atteignait 1 m/s.

Deux chemins différents de la bande porteuse de sources permettaient :

- Soit de positionner trois détecteurs de rayonnements X ou  $\gamma$  près de la source pour enregistrer les évènements pour lesquels les rayonnements sont détectés en coïncidence en temps  $\gamma$ - $\gamma$  et X- $\gamma$ .
- Soit d'installer un détecteur Si(Li) refroidi à la température de l'azote liquide et associé à un sélecteur magnétique pour la détection des électrons de conversion interne.

Le dérouleur de bande était commandé automatiquement à l'aide d'un programmeur avec lequel il était possible de définir six actions et quatre temps : temps de collection, d'attente, de déplacement, de mesure. Il était donc possible d'effectuer la mesure sur une source pendant que la source suivante était collectée. Une action « retour » servait à faire fonctionner une même séquence d'actions en boucle jusqu'à l'arrêt de l'expérience [Ca76].



*Photo 8 1974 Aimant d'aiguillage (en rouge), la ligne de faisceau incidente (à gauche) et les lignes sortantes déviées à 75° et équipée avec DP (à droite) et à 105° avec DF (au centre). A l'entrée de l'aimant d'aiguillage un tube en pyrex permettait de visualiser et d'optimiser la focalisation du faisceau sur un écran mobile et escamotable*

### **2.3.1.2 Dérouleur de bande de la ligne déviée à 105°, DF**

Ce transporteur de sources avait déjà été utilisé par le groupe de Roger Foucher pour les expériences effectuées à ISOLDE 1. Le positionnement et la focalisation du faisceau au point de collection était optimisés à l'aide de divers diaphragmes escamotables. La vitesse de défilement de la bande était de 2 m/s. Le positionnement de la source à 1 mm près était défini par un temps de défilement de la bande.

Deux stations de mesure disposées sur le trajet de la source pouvaient être utilisées séparément ou simultanément. Dans ce dernier cas, le trajet de la source entre le point de

collection et le premier point de mesure devait être égal à celui entre le premier et le second point de mesure. Un galet, permettant de modifier légèrement le trajet de la bande, servait à ajuster ces distances. Un cylindre à paroi mince autour duquel étaient disposés, à égale distance de la source, des détecteurs de rayonnements  $\gamma$  constituait la première station de mesure. La seconde comprenait un détecteur d'électrons, Si(Li), refroidi à la température de l'azote liquide, installé en face d'un détecteur de rayonnements  $\gamma$ . Ces deux dispositifs de mesure servaient à enregistrer les événements observés en coïncidence  $\gamma$ - $\gamma$  pour l'une  $e^-$ - $\gamma$  pour l'autre. Le dérouleur commandé automatiquement avait un fonctionnement semblable à celui décrit pour le dérouleur de la ligne déviée à  $75^\circ$  [Ca76].

### **2.3.2 Transport des sources radioactives de la deuxième ligne de faisceau**

Au poste de mesure de la deuxième ligne de faisceau un double spectromètre Gerholm et un spectrographe à  $180^\circ$  ont été utilisés successivement pour la détection des particules  $\beta^+$  ou  $e^-$ .

#### **2.3.2.1 Transport de sources pour le double spectromètre Gerholm**

Le faisceau de forme circulaire focalisé était collecté sur des pastilles minces. Un distributeur de pastilles alimentait le point de mesure du double spectromètre puis, à la fin de la mesure, évacuait les pastilles vers un réservoir blindé [Ca76].

Le spectromètre était équipé de deux détecteurs rapides d'électrons dont les énergies étaient sélectionnées par les champs magnétiques des bobines du spectromètre. L'électronique associée aux détecteurs permettait de déterminer précisément le temps écoulé entre l'émission des deux électrons détectés. Un détecteur de rayonnement  $\gamma$  pouvait être positionné à la place d'une des bobines du double spectromètre pour mesurer le temps écoulé entre l'émission d'un électron et celle d'un  $\gamma$ . Dans les deux cas, les temps mesurés étaient de l'ordre de grandeur de quelques dizaines de picosecondes jusqu'à la centaine de microsecondes. Ce dispositif était très bien adapté à la détection des électrons de basse énergie (quelques keV à 300 keV).

#### **2.3.2.2 Evacuation de l'activité résiduelle pour le spectrographe à $180^\circ$**

Le faisceau de forme rectangulaire focalisé (10 mm de haut et 0,5 mm de largeur) était collecté sur une bande aluminisée directement devant la fente source du spectrographe. Un ensemble de diaphragmes et d'écrans servait à optimiser la focalisation du faisceau et le positionnement de la source. La radioactivité était évacuée à vitesse constante par un transporteur à bande tournant en continu. La vitesse de défilement réglable était choisie en fonction de la période de décroissance de l'élément étudié et de celle de l'élément résultant de la filiation.

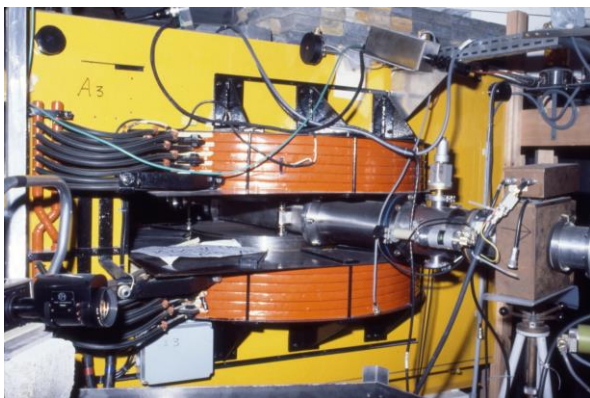
Le spectrographe semi-circulaire servait à déterminer précisément l'énergie des électrons de conversion interne détectés à l'aide d'un film photographique. Pour adapter le spectrographe aux expériences effectuées en ligne, le champ magnétique était créé par un ensemble d'électro-aimants et non plus par un jeu d'aimants permanents. Ainsi, il n'était plus nécessaire de stabiliser en température la salle de physique et il était possible de changer rapidement la valeur du champ magnétique. La résolution en énergie du spectre d'électrons dépendait de la finesse de la source radioactive. La qualité des résultats obtenus lors de cette première expérience a montré que ce type de mesure était réalisable en ligne sur un faisceau délivré par un séparateur isotopique [Ca76].



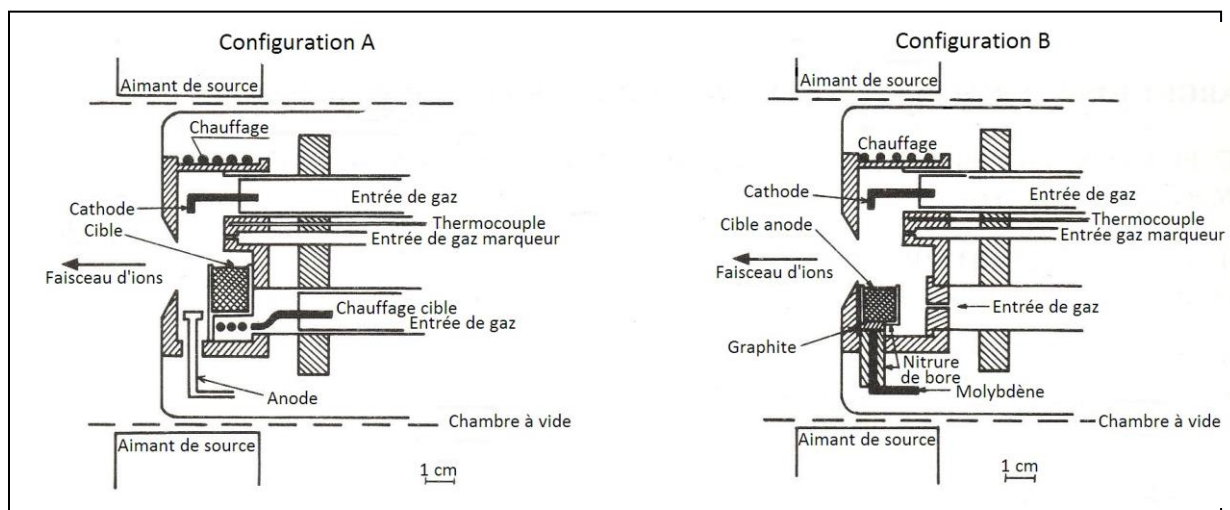
### 3 SEPARATEUR ISOCELE II

#### 3.1 Nouveaux ensembles cible-source d'ions

Les développements réalisés sur le synchrocyclotron ont permis d'augmenter les énergies et les intensités des faisceaux accélérés [Photo 9](#). Les cibles étaient alors bombardées par des protons de 200 MeV ou des  $^3\text{He}$  de 283 MeV. Pour profiter de cette augmentation d'énergie des faisceaux, le volume des cibles a été légèrement augmenté. Le volume de la plupart des nouvelles cibles était cependant resté inférieur à  $2\text{ cm}^3$  ce qui était compatible avec les configurations, A et B, utilisées précédemment : cible placée dans la chambre d'ionisation d'une source à plasma de type Bernas-Nier [Fig.3](#), [Photo 10](#). Le bombardement des cibles par des faisceaux de particules dont les intensités ont été augmentées jusqu'à  $3\ \mu\text{A}$ , a alors contribué significativement à leur chauffage. De nouvelles cibles de métaux, alliages et sels fondus ont été développées. De plus, des cibles de sels ou d'oxydes sous forme de poudre, poudre anhydre ou poudre frittée, et de métaux sous forme de feuilles enroulées ont été étudiées. Pour quatorze cibles, du tétrafluorure de carbone,  $\text{CF}_4$ , a été introduit dans la cible ou la source afin d'obtenir des faisceaux d'ions de différents composés fluorés. Pour un élément de valence  $n$  le composé le plus volatil qui peut être obtenu sous forme ionique est celui correspondant à la valence  $n-1$ . L'introduction de  $\text{CF}_4$  a permis d'utiliser cette propriété pour obtenir des faisceaux dans lesquels un des éléments produits pouvait être privilégié [[Pu81](#), [Li82](#)].



*Photo 9 1978  
Aimant servant à dévier le nouveau faisceau de particules délivré par le synchrocyclotron pour bombarder la cible d'ISOCELE II*

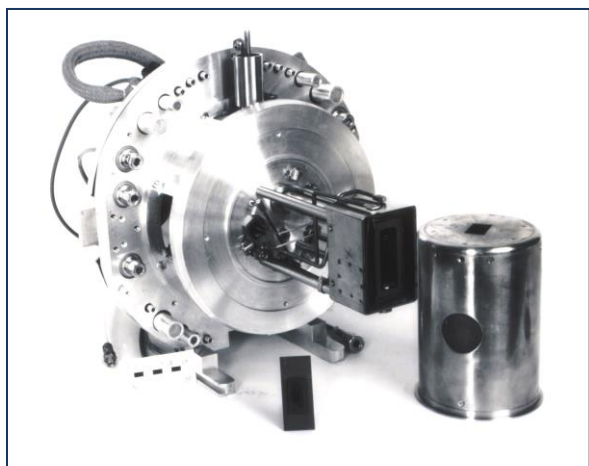


*Fig. 3 1983 Schémas des ensembles cible-source d'ions A et B utilisés à ISOCELE II*

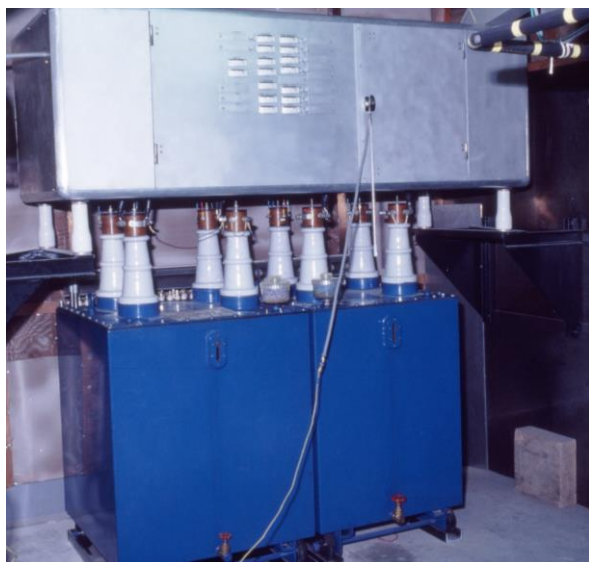
Les chauffages et les isolations dans la source d'ions ont été améliorés et les points froids de la chambre d'ionisation éliminés. Avec cette source d'ions modifiée, la température de la chambre d'ionisation pouvait être élevée jusqu'à 1500 °C et celle de la cible, utilisée comme anode (configuration B), jusqu'à plus de 1800 °C [Pu81].

La haute tension appliquée aux ensembles cible-source d'ions d'ISOCELE II était de 44 kV Photos 11-14.

Par ailleurs, l'augmentation de la radioactivité créée au niveau des ensembles cible-source d'ions par les nouveaux faisceaux de particules a rendu nécessaire l'automatisation de la mise en place et du retrait des ensembles cible-source d'ions [Sa84].



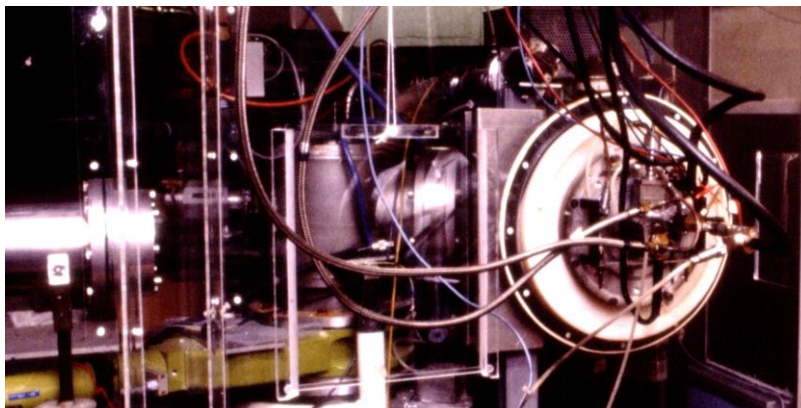
*Photo 10 1983 Source d'ions fixée sur son flasque équipé des connecteurs permettant la mise en place et le retrait automatique de l'ensemble cible-source d'ions*



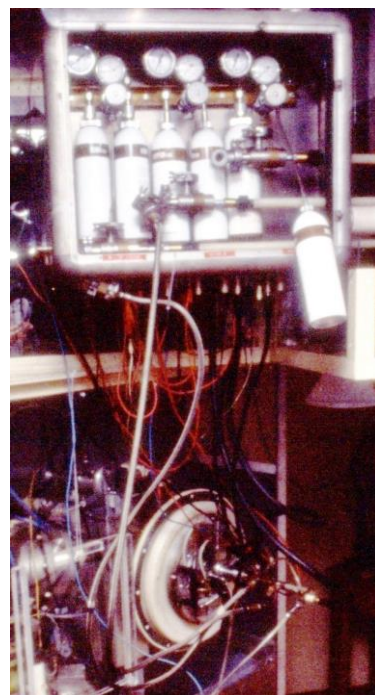
*Photo 11 1978 Cuve servant à l'isolement des alimentations électriques de la source d'ions portée à la haute tension*



*Photo 12 1978 A. Caruette derrière l'alimentation haute tension de 60 kV*



*Photo 13 1979 A gauche l'extrémité de la ligne de faisceau du synchroclotron et à droite l'ensemble cible-source d'ions*



*Photo 14 En bas l'ensemble cible-source d'ions, en haut ses diverses bouteilles d'alimentation en gaz*

### 3.1.1 Nouvelles cibles de métaux fondus

**Cible de terbium.** Le terbium fond à 1356 °C. La cible de terbium fondu était contenue dans un creuset en tantale et utilisée comme anode, configuration B. La température dans la chambre d'ionisation était voisine de 1300 °C. Pour produire les noyaux radioactifs d'holmium et dysprosium, la cible était bombardée par des  $^3\text{He}$ . Les faisceaux d'ions d'holmium et dysprosium extraits contenaient également des ions d'euporium et samarium, éléments de volatilités voisines [Pu81].

**Cible de germanium.** Le germanium fond à 939 °C. La cible liquide était contenue dans un creuset en graphite et placée en arrière de l'arc d'ionisation, configuration A. Pour une température dans la chambre d'ionisation de 1100 °C, le bombardement de la cible avec des particules d' $^3\text{He}$  a permis d'extraire des faisceaux d'ions de zinc et gallium [Pu81].

**Cible de nickel.** Le nickel fond à 1455 °C. La cible de nickel fondu était contenue dans un creuset en nitrure de bore et placée selon la configuration B. La température dans la chambre d'ionisation était de 1300 °C. Cette cible bombardée par des  $^3\text{He}$  a permis de produire des faisceaux d'ions de cuivre et de zinc [Pu81].

**Cible d'argent.** L'argent fond à 962 °C. La cible d'argent liquide contenue dans un creuset en graphite était placée selon la configuration A ou B. Dans la chambre d'ionisation, la température était voisine de 1000 °C. Bombardée par des particules  $^3\text{He}$ , cette cible a permis de produire des faisceaux d'ions d'indium et de cadmium [Pu81].

**Cible de praséodyme.** Le praséodyme fond à 931 °C. La cible liquide contenue dans un creuset en tantale était placée selon la configuration B. Dans la chambre d'ionisation la température était voisine de 900 °C. Pour produire des noyaux de néodyme, la cible était bombardée par un faisceau de protons. Un faisceau d'ions de néodyme a été extrait [Pu81].

**Cible de néodyme.** Le néodyme fond à 1016 °C. La cible de néodyme fondu contenue dans un creuset en tantale était placée selon la configuration A. La température dans la chambre d'ionisation était voisine de 1100 °C. Cette cible bombardée par des  $^3\text{He}$  a permis de produire un faisceau d'ions de samarium [Pu81].

**Cible de gadolinium.** Le gadolinium fond à 1314 °C. La cible liquide contenue dans un creuset en molybdène était placée selon la configuration A ou B. Bombardée par des protons, cette cible a permis de produire des faisceaux d'euporium, samarium et prométhéum ainsi qu'un faisceau de plus faible intensité de terbium. Un faisceau d'ions de dysprosium a également été obtenu lors du bombardement de la cible avec des  $^3\text{He}$ .

### 3.1.2. Nouvelles cibles d'alliages fondus

**Cible de gadolinium-cuivre.** Le gadolinium fond à 1314 °C. Pour abaisser la température de fusion de la cible, un alliage gadolinium-cuivre a été utilisé. La cible liquide contenue dans un creuset en molybdène était placée selon la configuration A ou B. La température dans la chambre d'ionisation était comprise entre 900 et 1100 °C. Le bombardement de cette cible avec des protons produisait des noyaux radioactifs de terbium, des faisceaux d'ions d'euporium, samarium et prométhéum pouvaient être extraits. Par bombardement avec des particules  $^3\text{He}$ , les noyaux de dysprosium étaient produits et les faisceaux extraits contenaient les ions de dysprosium, euporium, samarium et prométhéum [Pu81].

**Cible de palladium-bore.** Le palladium fond à 1554 °C. L'alliage palladium-bore fondu contenu dans un creuset de nitrure de bore était placé selon la configuration B. Cette cible bombardée par des protons a permis d'obtenir un faisceau d'ions d'argent et, bombardée par des  $^3\text{He}$ , des faisceaux d'ions de cadmium et d'argent.

**Cible thorium-cérium.** Le creuset en molybdène contenant l'alliage fondu était placé selon la configuration A. Bombardée par des  $^3\text{He}$  cette cible a permis d'obtenir des faisceaux d'ions d'actinium, radon et thorium.

### 3.1.3 Cibles sous forme de poudre

**Cible de dioxyde de tellure,  $\text{TeO}_2$ .** Le  $\text{TeO}_2$  fond à 733 °C. La poudre de  $\text{TeO}_2$  était contenue dans un cylindre en cuivre. Cette cible bombardée par des particules  $^3\text{He}$  a été utilisée pour produire des noyaux radioactifs de xénon. Les faisceaux extraits contenaient des ions de xénon et d'iode.

**Cible d'iodure de césium,  $\text{CsI}$ .** Le  $\text{CsI}$  fond à 626 °C. La poudre de  $\text{CsI}$  contenue dans un cylindre en cuivre était bombardée par des protons pour produire des noyaux de xénon. L'iode étant piégé dans la cible, le faisceau extrait ne contenait que des ions de xénon.

**Cible d'iodure de sodium,  $\text{NaI}$ .** Le  $\text{NaI}$  fond à 661 °C. La poudre de  $\text{NaI}$  était contenue dans un cylindre en cuivre. Par le bombardement de cette cible par des protons, il était également possible de produire des faisceaux purs d'ions de xénon. L'avantage de cette cible était une température de fusion plus élevée que celle de la cible  $\text{CsI}$ .

Pour ces trois cibles il fallait maintenir leur température au-dessous de la température de fusion, par exemple pour la cible  $\text{NaI}$  la température devait être maintenue inférieure à 600 °C. Pour cela, une nouvelle configuration, avec la cible située à l'extérieur de la chambre

d'ionisation, a été développée. Une circulation d'eau était utilisée pour maintenir la cible à la bonne température et le point d'impact du faisceau était régulièrement bougé pour éviter une surchauffe ponctuelle. Un gaz transporteur était envoyé dans la cible pour accélérer le transfert des atomes radioactifs de xénon vers la chambre d'ionisation [Sa84].

**Cible de thorium-carbone, Th-C.** La poudre de Th-C contenue dans un creuset en molybdène était placée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A. Le bombardement de cette cible par des protons ou des particules  $^3\text{He}$  a permis d'obtenir des faisceaux extraits d'ions de francium, radon et bismuth.

**Cible de dioxyde de hafnium, HfO<sub>2</sub>.** Le HfO<sub>2</sub> fond à environ 2758 °C. La poudre frittée de HfO<sub>2</sub>, contenue dans un creuset en molybdène, constituait la cible. Celle-ci était disposée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A, bombardée par des  $^3\text{He}$  elle a permis d'obtenir un faisceau extrait d'ions de tungstène.

**Cible de dioxyde de thorium, ThO<sub>2</sub>.** La température de fusion du ThO<sub>2</sub> est voisine de 3220 °C. La poudre frittée de ThO<sub>2</sub> contenue dans un creuset en molybdène était placée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A. Bombardée par des particules  $^3\text{He}$  elle a permis de produire un faisceau d'ions de radon.

### 3.1.4 Cibles utilisées avec introduction de tétrafluorure de carbone, CF<sub>4</sub>

**Cibles de lanthane, cérium et gadolinium fondus.** Le lanthane fond à 900 °C, le cérium à 799 °C et le gadolinium à 1314 °C. Ces cibles liquides contenues dans des creusets en molybdène étaient placées dans la chambre d'ionisation selon la configuration A ou B. La température de la chambre d'ionisation était entre 1000 et 1200 °C pour le lanthane et de 1100 °C pour le cérium. Les cibles de lanthane et cérium bombardées par des protons ou des  $^3\text{He}$  permettaient d'obtenir des faisceaux extraits contenant des ions de lanthane ( $\text{La}^+$ ), baryum ( $\text{Ba}^+$ ), césium ( $\text{Cs}^+$ ) et fluorure de baryum ( $\text{BaF}^+$ ), ce dernier étant dû à la présence de fluor dans la cible. Quand du CF<sub>4</sub> était introduit dans la source, le faisceau extrait contenait des ions  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{BaF}^+$ ,  $\text{La}^+$ ,  $\text{LaF}^+$  et  $\text{LaF}_2^+$ . Pour le lanthane de valence 3, c'est le  $\text{LaF}_2^+$  qui est le plus produit tandis que pour le baryum de valence 2 c'est le  $\text{BaF}^+$ . Pour un élément de masse  $m$ , le lanthane sera donc principalement présent à la masse  $m + 38$  et le baryum à la masse  $m + 19$  alors que l'abondant  $\text{Cs}^+$  ne sera présent qu'à la masse  $m$ . Dans la plupart des cas, les énergies des particules protons ou  $^3\text{He}$  utilisées ne permettant pas l'évaporation de plus de 19 neutrons, cette séparation chimique s'est souvent révélée très efficace [Pu81]. Quand la cible de Ce était bombardée par des  $^3\text{He}$ , les faisceaux extraits contenaient aussi des ions de néodyme et de difluorure de praséodyme. La cible de gadolinium avec introduction de CF<sub>4</sub> et bombardée par des  $^3\text{He}$  a permis de produire des faisceaux de dysprosium et terbium.

**Cible en poudre de trifluorure d'ytterbium, YbF<sub>3</sub>.** Le trifluorure d'ytterbium fond à 1157 °C. La poudre anhydre et fine de YbF<sub>3</sub> (15 g) contenue dans un creuset en molybdène était placée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A. La température de la cible devait être maintenue au-dessous de sa température de fusion. Pour produire des noyaux radioactifs de hafnium la partie supérieure de la cible était bombardée par des particules  $^3\text{He}$ . Le hafnium est un métal très réfractaire, il fond à 2227 °C et bout à 4602 °C, tandis que le tétrafluorure de hafnium, HfF<sub>4</sub>, est très volatil et sublime à environ 400 °C. L'introduction de CF<sub>4</sub> dans la cible a permis d'obtenir un faisceau d'ions de trifluorure de hafnium,  $\text{HfF}_3^+$  [Sa84].



**Cible de lutécium et trifluorure de lutécium, LuF<sub>3</sub>, en poudre.** Le lutécium fond à 1663 °C et le trifluorure de lutécium à 1182 °C. La poudre de lutécium ou trifluorure de lutécium était contenue dans un creuset en molybdène. La cible placée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A était bombardée par des particules <sup>3</sup>He pour produire des noyaux de tantale. L'introduction de CF<sub>4</sub> dans la cible de trifluorure de lutécium a permis d'extraire un faisceau d'ions de tétrafluorure de tantale, TaF<sub>4</sub><sup>+</sup>, tandis qu'avec la cible de lutécium le faisceau d'ions extrait contenait du TaF<sub>4</sub><sup>+</sup> et aussi du TaOF<sub>3</sub><sup>+</sup> [Li82, Sa84].

**Cible de difluorure de strontium, SrF<sub>2</sub>, en poudre.** Le difluorure de strontium fond à 1473 °C. La poudre de SrF<sub>2</sub> (3 g) était contenue dans un creuset en molybdène. Cette cible placée dans la chambre d'ionisation selon la configuration A était bombardée par des particules <sup>3</sup>He pour produire des noyaux de zirconium. Du CF<sub>4</sub> était introduit dans la cible et un faisceau d'ions trifluorure de zirconium, ZrF<sub>3</sub><sup>+</sup>, a été extrait [Li82, Sa84].

**Cibles d'yttrium fondu et de trifluorure d'yttrium, YF<sub>3</sub>, en poudre.** L'yttrium fond à 1522 °C et le trifluorure d'yttrium à 1387 °C. L'yttrium fondu et le trifluorure d'yttrium étaient contenus dans des creusets en molybdène. Ces cibles placées dans la chambre d'ionisation selon la configuration A étaient bombardées par des particules <sup>3</sup>He pour produire des noyaux radioactifs de niobium. L'introduction de CF<sub>4</sub> dans la cible d'yttrium fondu permettait d'extraire des faisceaux d'ions de difluorure d'yttrium, YF<sub>2</sub><sup>+</sup>, d'yttrium, Y<sup>+</sup>, de fluorure de strontium, SrF<sup>+</sup>, de strontium, Sr<sup>+</sup>, et de rubidium, Rb<sup>+</sup>, alors que l'introduction de CF<sub>4</sub> dans la cible de trifluorure d'yttrium a permis d'obtenir des faisceaux d'ions de trifluorure de zirconium, ZrF<sub>3</sub><sup>+</sup>, SrF<sup>+</sup>, Sr<sup>+</sup> et Rb<sup>+</sup> [Sa84].

**Cible thorium-cérium, alliage fondu, Th-Ce.** L'introduction de CF<sub>4</sub> dans cette cible bombardée par des protons a permis de produire des faisceaux d'ions de difluorure d'actinium, fluorure de radium, francium et radon. Par bombardement avec des <sup>3</sup>He, des faisceaux d'ions de trifluorure de thorium et fluorure de radium pouvaient être obtenus.

**Cible de thorium-carbone en poudre, Th-C.** L'introduction de CF<sub>4</sub> dans cette cible bombardée par des protons a permis d'obtenir un faisceau d'ions de difluorure d'actinium. Par bombardement avec des <sup>3</sup>He, un faisceau d'ions de francium pouvait être produit.

**Cible de tétrafluorure de thorium, ThF<sub>4</sub>.** La poudre anhydre de ThF<sub>4</sub> contenue dans un creuset en molybdène était bombardée par des protons. L'introduction de CF<sub>4</sub> a permis d'obtenir des faisceaux d'ions de tétrafluorure de protactinium, trifluorure de thorium, difluorure d'actinium, fluorure de radium et francium.

**Cible en feuille de molybdène roulée.** Le molybdène fond à 2610 °C. La cible était constituée d'une feuille mince (10 μm) de molybdène soigneusement enroulée pour que le CF<sub>4</sub> puisse passer entre les différentes couches. Elle était contenue dans un cylindre en molybdène. Un fil de 1.5 mm de diamètre en molybdène placée au centre de la cible et parcouru par un courant électrique servait à chauffer le molybdène. La cathode était protégée du CF<sub>4</sub> par un écran. La partie de la chambre d'ionisation située au voisinage de la cible était chemisée avec une fine feuille de molybdène pour éviter la production de carbures sur le graphite. Les composés fluorés des métaux réfractaires (zirconium et yttrium) étant très volatils, le bombardement de la cible par des protons ou des <sup>3</sup>He a permis de produire des faisceaux d'ions ZrF<sub>3</sub><sup>+</sup>, YF<sub>2</sub><sup>+</sup>, SrF<sup>+</sup> et Rb<sup>+</sup>. Une décomposition des composés fluorés du molybdène a été observée [Li82, Sa84].

**Cible en feuille de tungstène roulée.** Le tungstène fond à 3410 °C. Une feuille mince de tungstène soigneusement enroulée était contenue dans un cylindre en molybdène. Cette cible était traversée par le tétrafluorure de carbone et son mode de chauffage était similaire à celui utilisé pour la cible de molybdène. Le bombardement de cette cible par des protons ou des  $^3\text{He}$  a permis d'obtenir des faisceaux extraits d'ions de pentafluorure de tungstène, tétrafluorure de tantale et trifluorure de hafnium [Sa84].

Les courbes de production représentant les nombres d'ions collectés au point de mesure par seconde, N/S, en fonction de la masse atomique de l'élément radioactif produit par ISOCELE I et ISOCELE II sont montrés dans les Fig. 4 et 5.

La liste des cibles utilisées avec le séparateur ISOCELE II est présentée dans le Tableau 3.

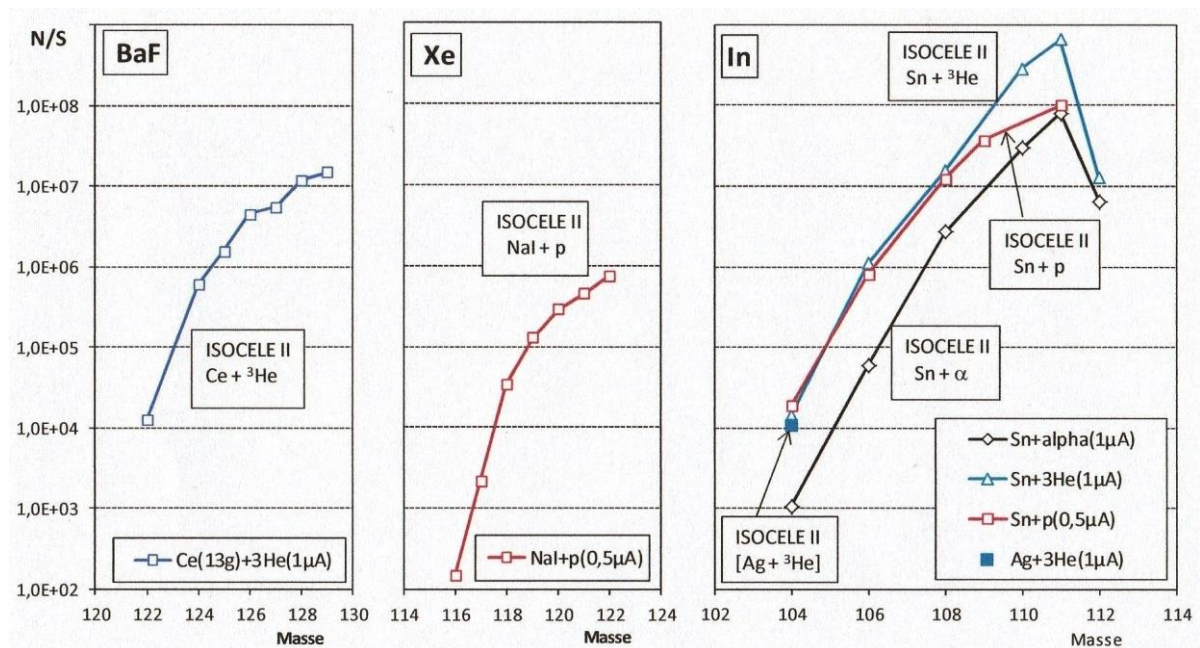


Fig. 4 Nombre d'ions collectés par seconde, N/S, en fonction de la masse atomique de l'élément radioactif produit pour le baryum (BaF), le xénon (Xe) et l'indium (In). Les données ont été extraites des références suivantes [Pu81] pour le Ba, [Sa84] pour le Xe et [Ro81, Pu81] pour l'In

### 3.1.5 Automatisation du retrait et de la mise en place des ensembles cible-source

L'introduction d'un ensemble cible-source d'ions dans l'enceinte à vide du séparateur, et son retrait à la fin de son utilisation, c'est-à-dire après la fin de son irradiation, étaient réalisés à l'aide d'un ensemble électromécanique télécommandé à partir du pupitre de commande du séparateur, Photo 15. L'ensemble de l'automatisme comprenait, un dispositif de stockage à distance constitué de quatre réceptacles disposés dans une colonne verticale de type ascenseur pour accueillir les ensembles cible-source d'ions (Photo 16) et, un bras mécanique mobile en rotation sur lequel un mécanisme servait à déplacer en translation l'ensemble cible-source d'ions pour effectuer son retrait du séparateur (ou son introduction) et son introduction dans le réceptacle de stockage (ou son retrait), Photos 17, 18. Cette manipulation semi-automatique devait tenir compte de tous les paramètres interdépendants de l'installation : positionnement du réceptacle de stockage, radioprotection, vide, haute tension et alimentations cible-source d'ions. [Sa84]

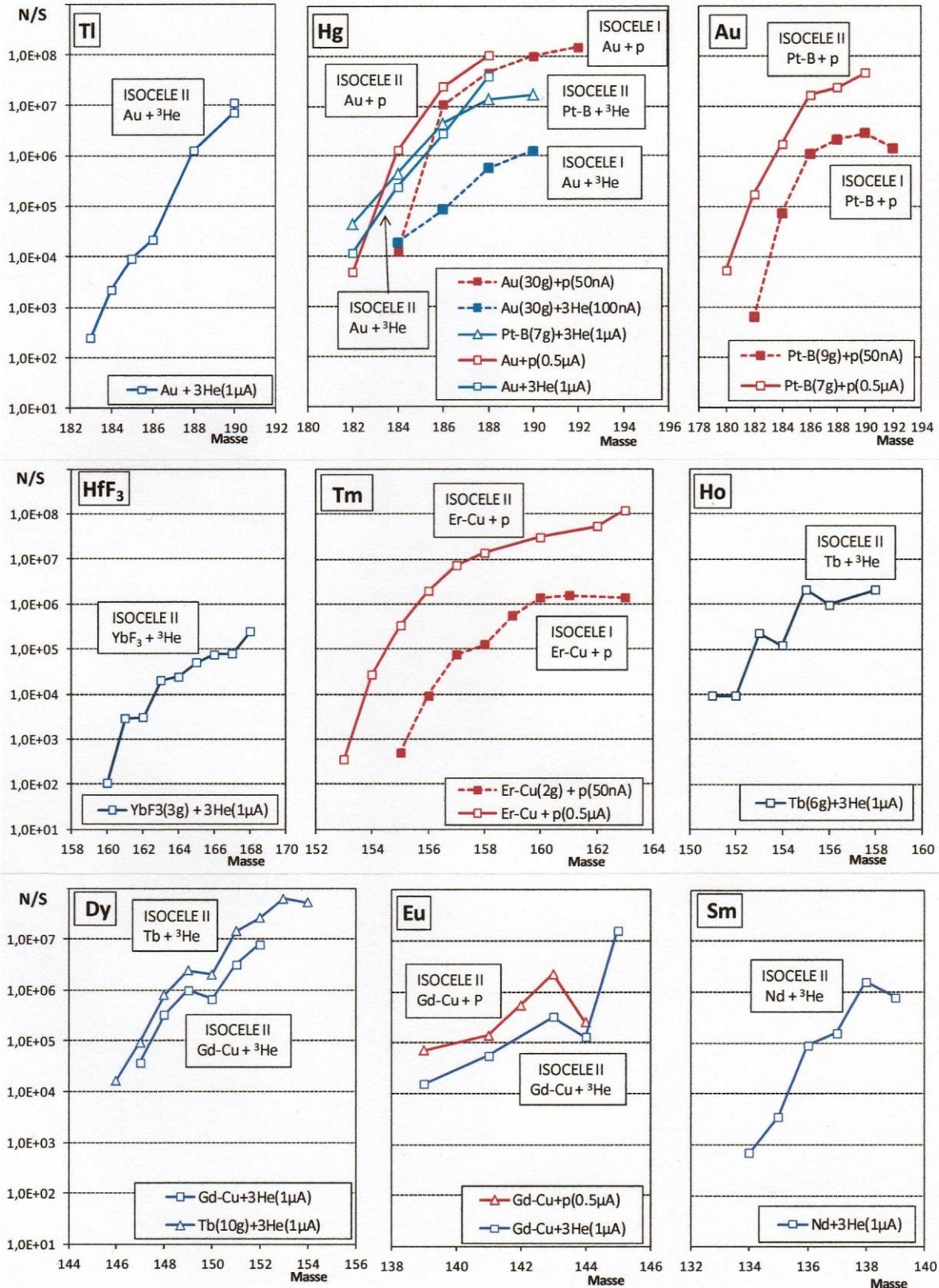


Fig. 5 Courbes de production, N/S, en fonction de la masse atomique de l'élément produit pour le thallium (Tl), le mercure (Hg), l'or (Au), le hafnium ( $\text{HfF}_3$ ), le thulium (Tm), l'holmium (Ho), le dysprosium (Dy), l'euporium (Eu) et le samarium (Sm). Les données proviennent des références [Ze79, Pu81] pour le Tl, [Ca76, Bo77, Ze79, Po81, Sa84] pour le Hg, [Ca76, Bo77, Sa84, Ro86] pour l'Au, [Sa84] pour le Hf, [Ca76, Pu81] pour le Tm, [Pu81] pour l'Ho, [Po81, Sa84] pour le Dy, [Po81] pour l'Eu et le Sm

Tableau 3 Cibles développées et utilisées à ISOCELE II

Matériau cible	cible		Matériau creuset	T °C chambre	config. cible	gaz	Projectile	Intensité faisceau	Elément produit
	état	T °C fusion							
								μA	
or	métal fondu	1063	graphite	1100 - 1300	A A, B		proton hélium 3	1.3 - 2.4 1.0 - 1.4	mercure thallium, mercure
étain	métal fondu	232	graphite	1000 - 1200	A		proton hélium 3		antimoine, étain, indium, cadmium antimoine, étain, indium, cadmium
terbium (6-10g)	métal fondu	1356	tantale	1300	B		hélium 3	0.8 - 2.0	holmium, dysprosium, europium, samarium
germanium	métal fondu	939	graphite	1100	A		hélium 3		zinc, gallium
nickel	métal fondu	1455	nitru de bore	1300	B		hélium 3		cuivre, zinc
argent	métal fondu	962	graphite	1000	A, B		hélium 3		indium, cadmium
praséodyme	métal fondu	931	tantale	900	B		proton		néodyme
néodyme	métal fondu	1016	tantale	1100	A		hélium 3		samarium
gadolinium	métal fondu	1314	molybdène		A, B		proton hélium 3	2.0 - 2.5	terbium, europium, samarium, prométhéum dysprosium, terbium, europium, samarium, prométhéum
platine-bore (7g)	alliage fondu	< 1000	nitru de bore	1200	B		proton hélium 3	1.0 - 2.7	or mercure, or
erbium-cuivre	alliage fondu	850-900	molybdène	1200	A		proton hélium 3		thulium, holmium, dysprosium ytterbium, holmium, dysprosium
gadolinium-cuivre	alliage fondu		molybdène	900 - 1100	A, B		proton hélium 3		europium, samarium, prométhéum dysprosium, europium, samarium, prométhéum
palladium-bore	alliage fondu		nitru de bore		B		proton hélium 3	1.0 - 2.5 0.5 - 1.5	argent argent, cadmium

thorium-cérium (10g)	alliage fondu		molybdène		A		hélium 3	1.1	actinium, radon, thorium
dioxyde de tellure	poudre	733	cuivre	< 600	externe		hélium 3		xénon, iode
iodure de césium	poudre	626	cuivre	< 570	externe		proton		xénon
iodure de sodium	poudre	661	cuivre	< 600	externe		proton		xénon
thorium-carbone (6g)	poudre		molybdène		A		proton hélium 3	1.4 - 2.0 1.4 - 2.0	francium, radon, bismuth francium, radon, bismuth
dioxyde de hafnium	poudre frittée	~2758	molybdène		A		hélium 3	1.7	tungstène
dioxyde de thorium	poudre frittée	~3220	molybdène		A		proton	1.4 - 2.1	radon
gadolinium	métal fondu	1314	molybdène		A	CF <sub>4</sub>	hélium 3	2.0 - 2.5	dysprosium, terbium
cérium (10-13g)	métal fondu	799	molybdène  tantale	1100	A, B  B	CF <sub>4</sub>	proton  hélium 3	  0.6 - 2.4	lanthane, barium difluorure de lanthane fluorure de barium, césium néodyme, lanthane, difluorure de praséodyme difluorure de lanthane, barium, césium, fluorure de barium
lanthane	métal fondu	900	molybdène	1000 - 1200	A, B	CF <sub>4</sub>	proton  hélium 3		lanthane, barium, césium difluorure de lanthane fluorure de barium, lanthane, barium, césium difluorure de lanthane fluorure de barium,
trifluorure d'ytterbium (3g)	poudre anhydre	1157	molybdène	1200	A	CF <sub>4</sub>	hélium 3	1	trifluorure de hafnium (HF <sub>3</sub> )
lutécium (5g)	poudre	1663	molybdène	800-1300	A	CF <sub>4</sub>	helium 3		tétrafluorure de tantale (TaF <sub>4</sub> ) + TaOF <sub>3</sub>
trifluorure de lutécium (2g)	poudre	1182	molybdène	< 1100	A	CF <sub>4</sub>	hélium 3		tétrafluorure de tantale (TaF <sub>4</sub> )
difluorure de strontium (3g)	poudre	1473	molybdène	<1400	A	CF <sub>4</sub>	hélium 3		trifluorure de zirconium, difluorure d'yttrium, fluorure de strontium, strontium, rubidium

Matériau Cible	Cible Etat	cible T °C fusion	Matériau creuset	T °C chambre	Config. Cible	Gaz	Projectile	Intensité faisceau $\mu\text{A}$	Elément produit
yttrium	métal fondu	1522	molybdène		A	CF <sub>4</sub>	hélium 3		yttrium, strontium, difluorure d'yttrium, fluorure de strontium, rubidium
trifluorure d'yttrium	poudre	1387	molybdène	< 1300	A	CF <sub>4</sub>	hélium 3		trifluorure de zirconium, strontium, rubidium fluorure de strontium,
thorium-cérium (10g)	alliage fondu		molybdène	1100	A	CF <sub>4</sub>	proton hélium 3	1 2	difluorure d'actinium, fluorure de radium, francium, radon trifluorure de thorium, fluorure de radium,
thorium-carbone (6g)	poudre		molybdène	1100	A	CF <sub>4</sub>	proton helium 3	1	difluorure d'actinium francium
tétrafluorure de thorium (10g)	poudre anhydre		molybdène	500	A	CF <sub>4</sub>	proton	0,4	tétrafluorure de protactinium, trifluorure de thorium, difluorure d'actinium, fluorure de radium, francium
molybdène	feuille roulée (10 $\mu\text{m}$ )	2610	molybdène	800 - 1300	A	CF <sub>4</sub>	proton hélium 3		trifluorure de zirconium, rubidium, difluorure d'yttrium, fluorure de strontium trifluorure de zirconium, rubidium, difluorure d'yttrium, fluorure de strontium
tungstène	feuille roulée	3410	molybdène	800 - 1300	A	CF <sub>4</sub>	hélium 3		pentafluorure de tungstène, tétrafluorure de tantale, trifluorure de hafnium

(CF<sub>4</sub>) tétrafluorure de carbone



Photo 15 1981 A. Ferro devant la télécommande du mécanisme de manipulation automatique de source

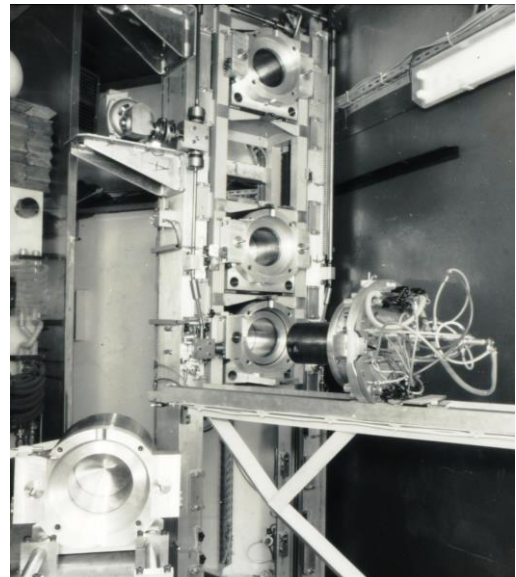


Photo 16 Ascenseur servant au positionnement vertical du réceptacle de source

Photo 17 1981  
A. Ferro et  
J. Fournet-Fayas  
surveillent le bon  
déroulement de la  
sortie automatique de  
la source de son  
réceptacle sur le bras  
mécanique lors de la  
mise en service de  
l'automatisme des  
manipulations de  
l'ensemble cible-  
source d'ions

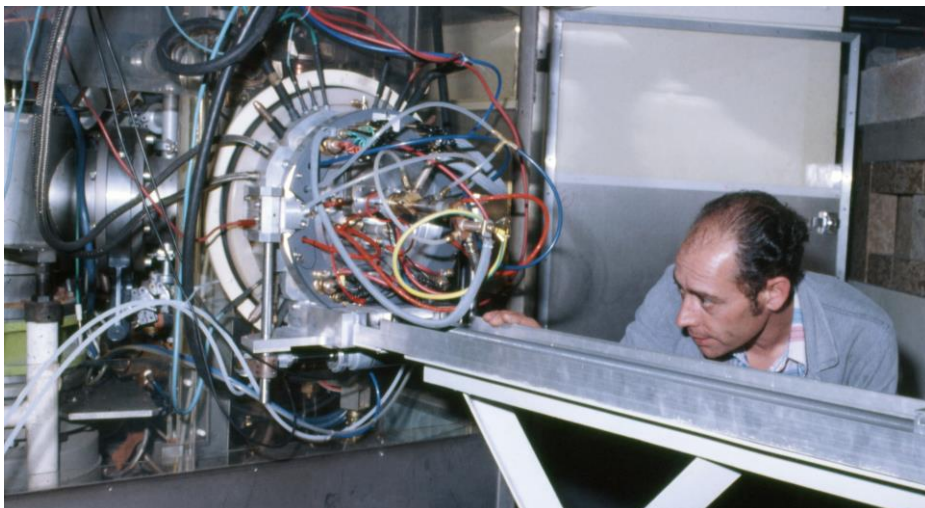
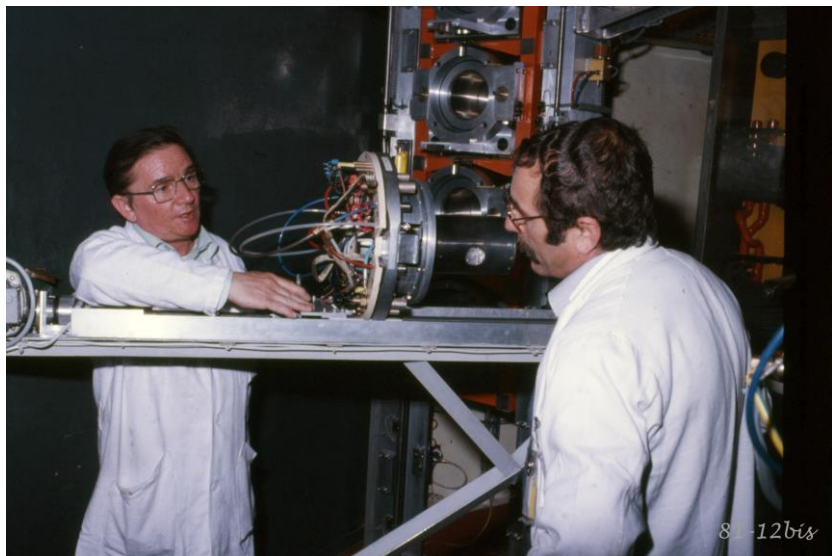


Photo 18 1981  
Après une rotation  
du bras mécanique  
de 90°, Ch. Dany  
surveille la bonne  
introduction de  
l'ensemble cible-  
source d'ions dans  
l'enceinte à vide du  
séparateur

## 3.2 Radioprotection, nouvelle implantation du séparateur et transport de faisceau

### 3.2.1 Radioprotection

Après la transformation du synchrocyclotron il était prévu d'extraire le faisceau de protons de 200 MeV avec une intensité maximale de 6  $\mu$ A. Cette augmentation d'environ un facteur 40 de l'intensité des faisceaux de particules délivrés par l'accélérateur a généré de nouveaux impératifs de radioprotection qui ont conduit à :

- modifier d'environ 72° la direction du faisceau de particules destiné au bombardement de la cible d'ISOCELE II
- revoir intégralement l'implantation du séparateur sur le site. En particulier, il était souhaitable de pouvoir augmenter la distance entre la cible et l'aimant d'analyse.

### 3.2.2 Enseignements apportés par le fonctionnement d'ISOCELE I

Pour le séparateur ISOCELE I, le bord intérieur de la fente d'émission, considéré comme l'objet de l'aimant, était situé à une distance  $L_1 = 1800$  mm de l'entrée du champ magnétique de l'aimant d'analyse. Le fonctionnement d'ISOCELE I a révélé que la position de l'objet dépendait, en réalité, de la divergence des faisceaux extraits de la source d'ions et pouvait s'éloigner de l'aimant de plusieurs dizaines de millimètres. Les nappes de courant placées sur les pièces polaires de l'aimant d'ISOCELE I ont permis de corriger les effets de cette dépendance au niveau du plan focal de l'aimant, mais elles avaient l'inconvénient de provoquer également une variation du champ magnétique principal.

Par ailleurs, la distance entre la sortie du champ magnétique et le plan focal de l'aimant qui était prévue de 2970 mm s'est révélée plus courte d'environ 300 mm. Les coins de fer avec un angle de 2,4° ajoutés à l'entrée des pièces polaires de l'aimant d'ISOCELE I ont permis de rétablir le plan focal à la distance prévue.

### 3.2.3 Nouvelle implantation du séparateur

L'implantation du séparateur ISOCELE II a dû être étudiée pour prendre en compte les nouveaux impératifs de radioprotection et les enseignements apportés par le fonctionnement d'ISOCELE I, tout en utilisant au maximum les éléments existants pour des raisons économiques.

Pour satisfaire tous ces objectifs, Pierre Paris [Pa75, Pa76b] a conçu une optique ionique originale et bien adaptée. L'introduction d'un triplet de quadrupôles électrostatiques suivi d'un quatrième quadrupôle électrostatique entre l'ensemble cible-source d'ions et l'aimant d'analyse devait permettre de résoudre la plupart des problèmes posés. Une vérification expérimentale du projet s'est alors imposée.

Dès 1975, un triplet de quadrupôles a été construit pour qualifier la focalisation du faisceau et la résolution en masse pour un faisceau d'une intensité voisine de 1 mA extrait de la source d'ions. Les bons résultats obtenus ont confirmé la faisabilité du projet, voir [Photo 19](#). Les problèmes posés ont ainsi été résolus par l'utilisation d'un triplet de quadrupôles et d'un quatrième quadrupôle positionné au point de focalisation du faisceau obtenu (30 mm de hauteur, 1 mm de largeur) avec le triplet. La spécificité du quatrième quadrupôle était qu'il permettait d'agir seulement sur l'amplitude verticale du faisceau et donc, d'optimiser l'entrée du faisceau dans l'entrefer de l'aimant d'analyse [Photos 20-22](#).

Avec cette nouvelle optique, la cible a été éloignée de l'aimant d'analyse d'environ 1,50 m ce qui permettait de répondre aux impératifs de radioprotection vers le plan focal de l'aimant et la salle de physique.

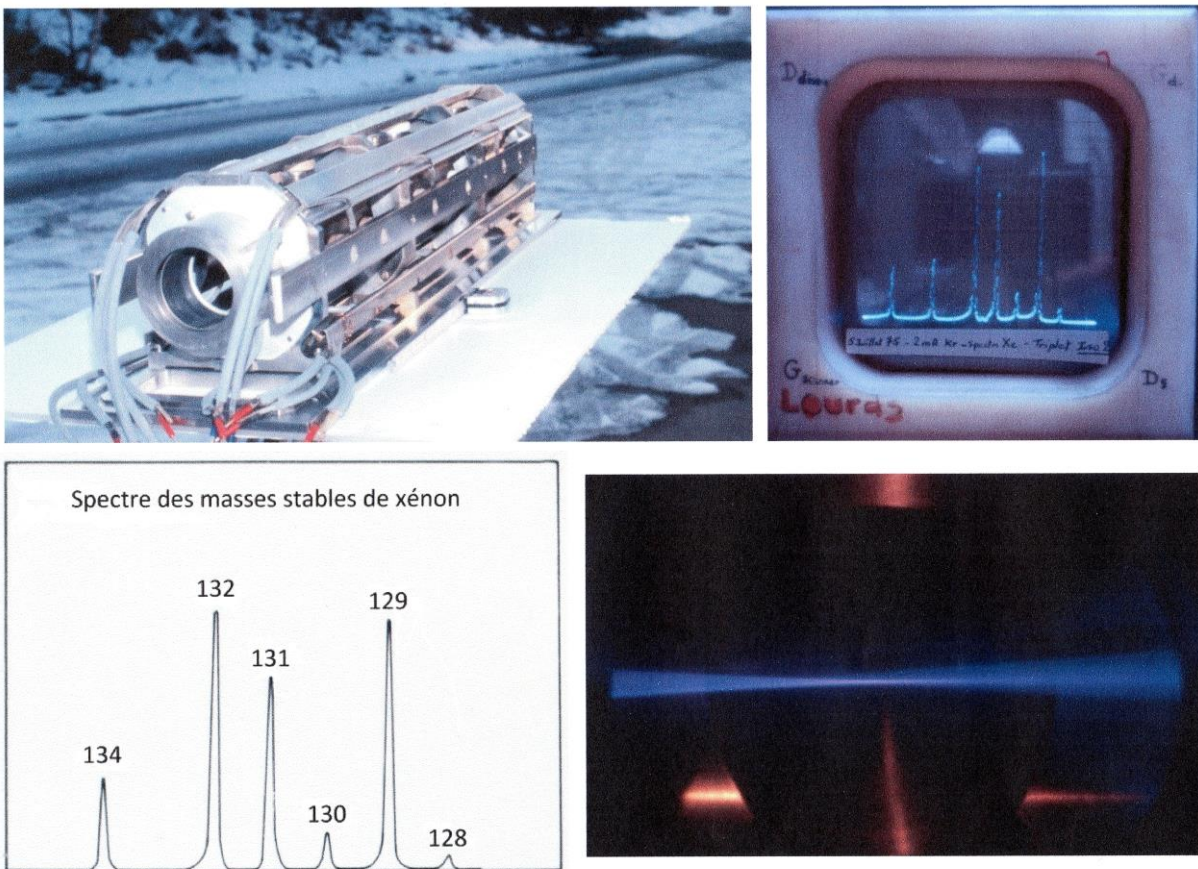


Le triplet fournissait une image du bord intérieur de la fente d'émission de la source d'ions située au centre du quatrième quadropôle électrostatique et à une distance  $L1 = 1639$  mm de l'entrée du champ magnétique de l'aimant. Cette image était le nouvel objet de l'aimant qui était donc situé à une distance plus courte que celle,  $L1 = 1800$  mm, utilisée à ISOCELE I. La distance entre la sortie du champ magnétique et le plan focal de l'aimant d'analyse était alors rétablie à la valeur prévue initialement, soit environ 2970 mm.

Les coins de fer placés à l'entrée des pièces polaires pour rétablir la bonne position du plan focal pour ISOCELE I ont donc pu être supprimés.

Le triplet permettant de fournir le nouvel objet de l'aimant toujours à la même position, les nappes de courant ont pu être également supprimées.

Par contre, l'angle du plan focal de l'aimant par rapport à la trajectoire centrale émergente a été maintenu à  $30^\circ$ .



*Photo 19 1975 Vérification expérimentale du projet. Triplet de quadropôles électrostatiques, visualisation du spectre de masse sur écran et sur la figure, visualisation de la focalisation du faisceau d'ions après son passage dans le triplet pour un faisceau extrait de la source d'ions d'une intensité de 1 mA principalement constitué de gaz marqueur krypton*

Les amplitudes horizontale et verticale du faisceau étaient visualisées grâce à une sonde de divergence placée au niveau du quatrième quadropôle. Ce dernier quadropôle servait à contrôler l'amplitude verticale du faisceau d'ions, [Photos 23-24](#).

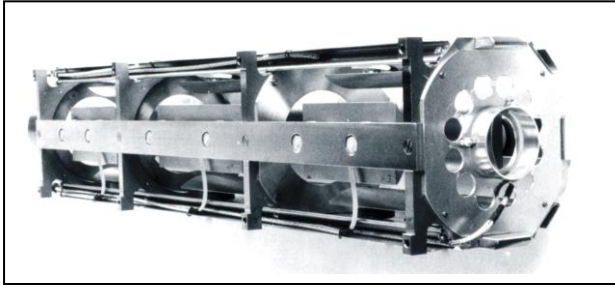


Photo 20 Triplet de quadrupôles électrostatiques

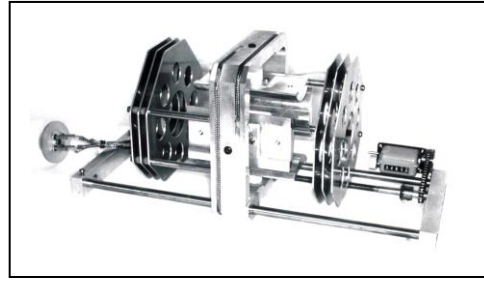


Photo 21 1976 Quatrième quadrupôle

Photo 22 1978  
J.L. Sarrouy  
en contemplation devant  
le caisson contenant le  
triplet de quadrupôles  
électrostatiques et le  
quatrième quadrupôle.  
En arrière-plan on peut  
apercevoir l'aimant  
d'analyse

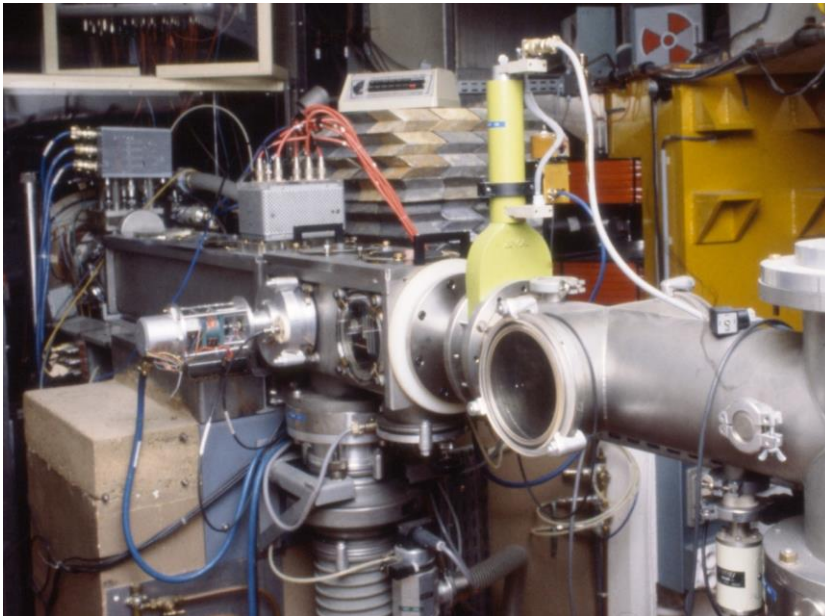


Photo 23 Caisson du triplet, la sonde au niveau du 4<sup>ème</sup> quadrupôle  
servait à visualiser les divergences horizontale et verticale du faisceau



Photo 24 Sonde  
de divergence

L'aimant d'analyse utilisé pour le séparateur ISOCELE I a été retourné pour dévier les faisceaux séparés en masse dans la direction opposée à celle utilisée précédemment, Photo 25. L'implantation du séparateur ISOCELE I et celle d'ISOCELE II sont présentées fig. 6.

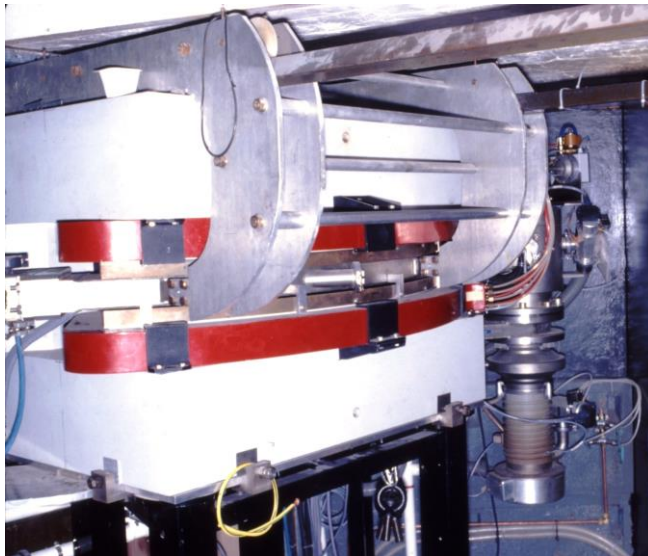


Photo 25 1978  
Aimant d'analyse,  
à droite la pompe à  
diffusion permettant  
de faire le vide dans  
la chambre de  
l'aimant

### 3.2.4 Transport des faisceaux d'ions séparés dans les nouvelles lignes de faisceau

Dans le collecteur situé au niveau du plan focal de l'aimant d'analyse, une fente de définition D1 et deux déflecteurs électrostatiques toroïdaux mobiles D2, D3 délivraient trois faisceaux d'ions séparés en masse dans trois directions Fig. 7 et Photos 26, 27. Trois lignes de faisceau situées dans la salle de physique permettaient ensuite de conduire ces trois faisceaux simultanément vers trois postes de mesure, Photo 28.

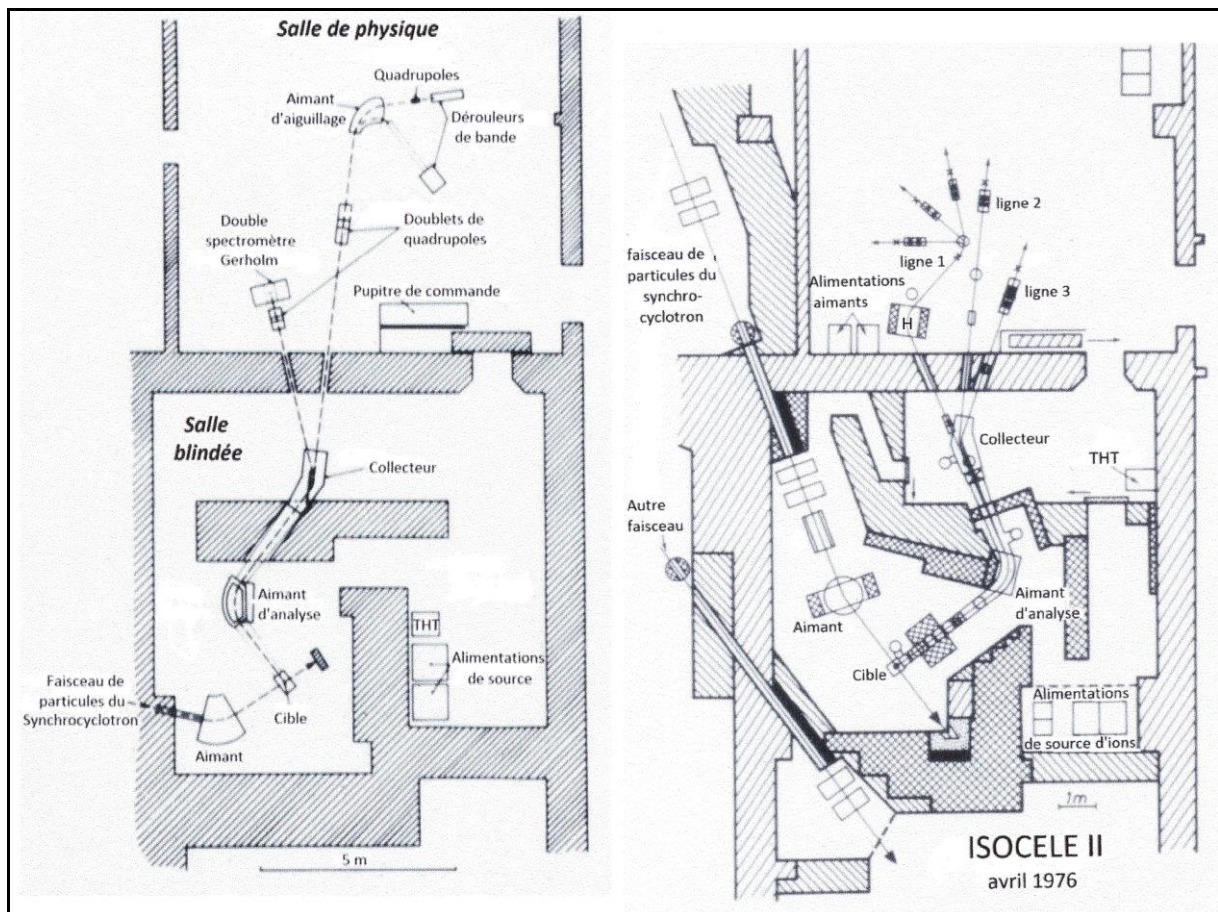


Fig. 6 1976 Implantation du séparateur ISOCELE II comparée à l'installation d'ISOCELE I

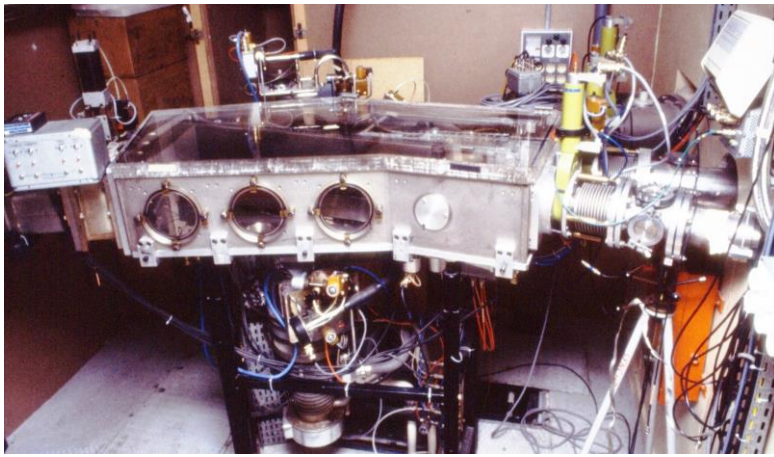


Photo 26 1979  
Collecteur, à droite le  
début des lignes de  
faisceau 1,2 et 3

Fig. 7 Schéma du  
collecteur,  
l'angle du plan  
focal de l'aimant  
par rapport à la  
trajectoire  
centrale  
émergente était  
de  $30^\circ$

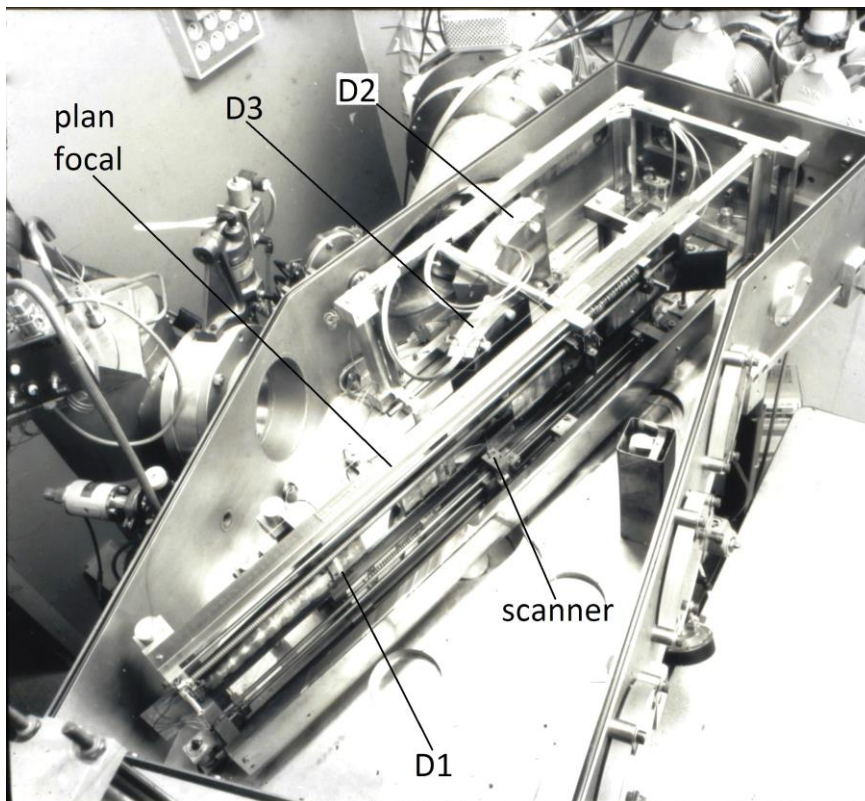
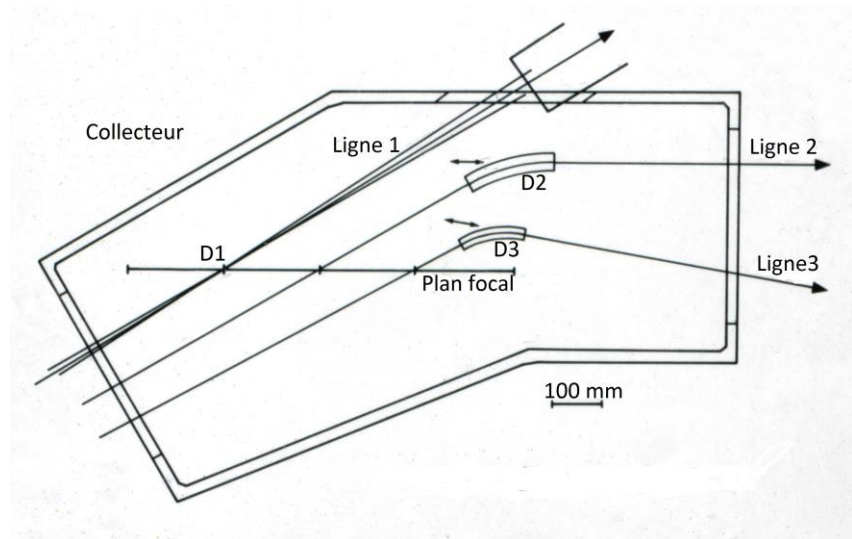
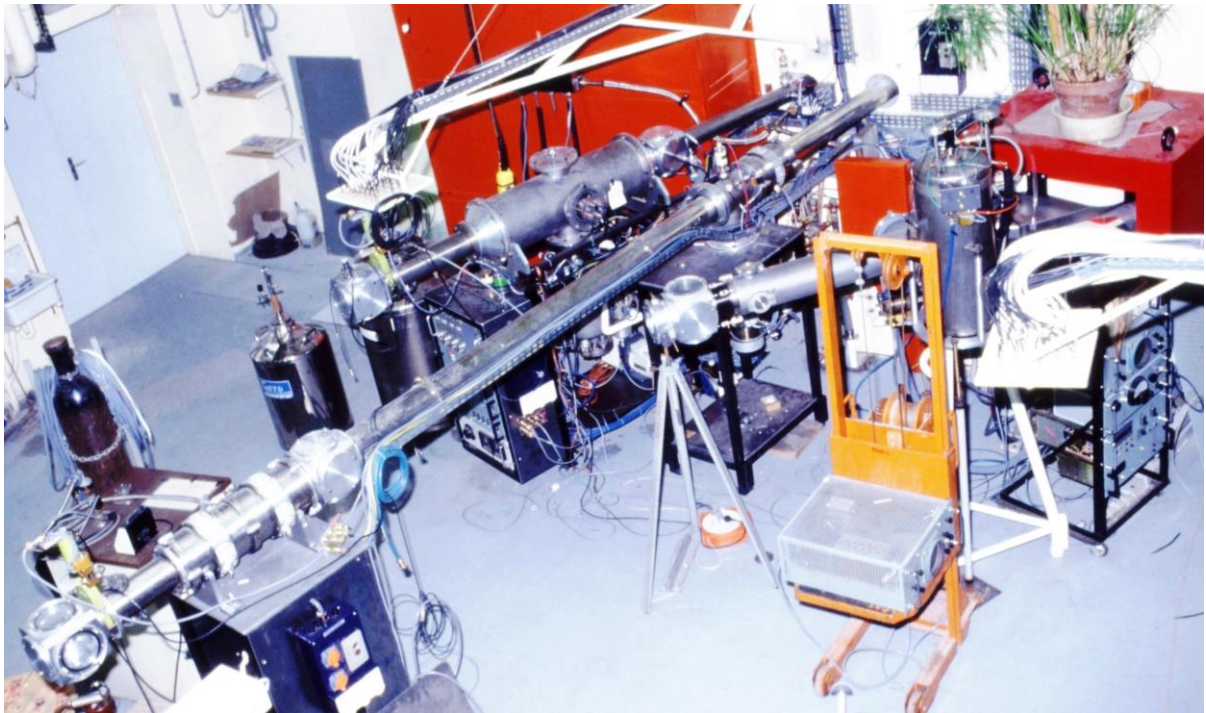


Photo 27 1983  
Intérieur du  
collecteur, D1  
fente de définition  
du faisceau pour  
la ligne 1, D2  
déflecteur pour la  
ligne 2, D3  
déflecteur pour la  
ligne 3, scanner  
aiguille mobile le  
long du plan focal  
pour la  
visualisation des  
spectres en masse



*Photo 28 1978 Salle de physique, de droite à gauche installation des lignes 1, 2 et 3*

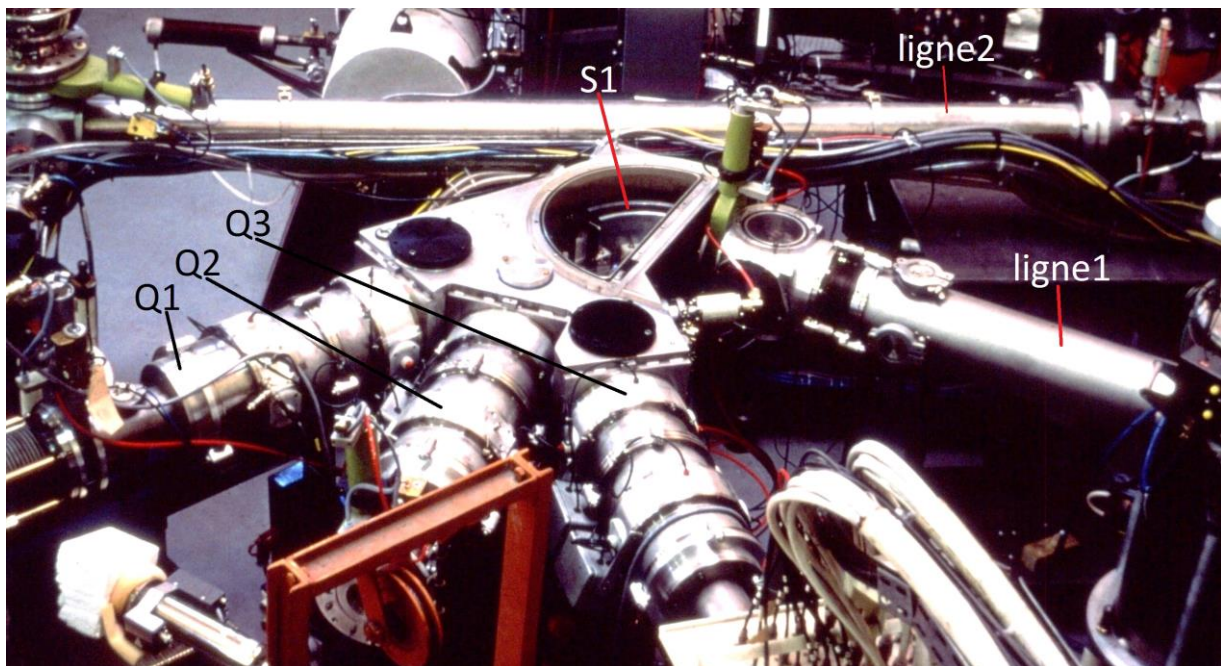
**La ligne 1.** Elle servait à l'étude des masses les plus légères qui étaient les plus faiblement produites. Afin d'obtenir des faisceaux de grande pureté, elle était équipée d'un aimant H (forme en H) servant à améliorer la résolution en masse. Une fente de 1,62 mm de largeur, D1, placée au plan focal à - 5% de la masse centrale servait d'objet pour l'aimant situé à 3500 mm du plan focal. L'angle entre le plan focal de l'aimant d'analyse et le faisceau émis au travers de la fente était de 31°. Les divergences des faisceaux entre les deux aimants étaient contrôlées à l'aide d'un doublet de quadrupôles électrostatiques. Les caractéristiques de l'aimant H étaient :

- dispersion au point focal, 1200 DM/M (en mm)
- champ homogène
- angle de déviation du faisceau de 65°
- rayon de courbure moyen de 600 mm
- entrefer de 66 mm
- point focal à environ 1800 mm, le doublet de quadrupôles électrostatiques permettait d'ajuster sa position

Le faisceau d'ions obtenu au point focal était ensuite aiguillé par un déflecteur électrostatique toroïdal constitué d'un secteur fixe, S1, et de deux secteurs mobiles, S2 et S3. S1 permettait de dévier le faisceau de 66°, S1 + S2 de le dévier de 100° et S1 + S2 + S3 de le dévier de 134° pour atteindre respectivement l'un des trois postes de mesure M1, M2 ou M3. La forme du faisceau au point de collection de chacun de ces postes de mesure était contrôlée à l'aide d'un doublet ou d'un triplet de quadrupôles électrostatiques Q1, Q2 ou Q3 [Pa76, Pa81] Photo 29.

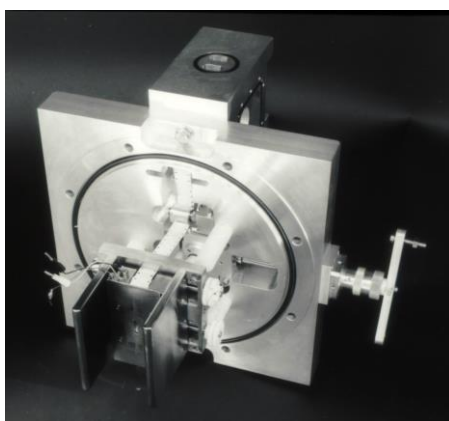
**La ligne 2.** Elle était parallèle au plan focal de l'aimant d'analyse (voir Fig. 7) et était alimentée par le déflecteur mobile D2 qui se déplaçait parallèlement au plan focal de  $\pm 5\%$  de la masse centrale et déviait le faisceau sélectionné de 30°. Cette ligne recevait les masses moyennes et a été utilisée pour différents types d'expérience. Elle a évolué au cours du temps

- En 1979, pour obtenir un faisceau de forme rectangulaire (10 mm de haut sur 0,1 à 1,0 mm de large) au point de collection du premier poste de mesure, la focalisation du faisceau était réalisée à l'aide d'un doublet suivi d'un triplet de quadrupôles électrostatiques.



*Photo 29 1979 Ligne 1, caisson contenant les secteurs S1, S2 et S3 du déflecteur servant à dévier le faisceau vers un des postes de mesure et les doublets Q1, Q2 et Q3 qui le contrôlent*

- En 1984, une lentille a été introduite entre le triplet de quadrupôles électrostatiques et le poste de mesure afin de ralentir les ions du faisceau de 44 kV à 0,5 kV [Ki89] Photo 30.
- En 1986, une nouvelle expérience appelée PILIS 1 (Post ISOCELE Laser Isobar Separation) a été proposée en collaboration avec un laboratoire canadien de l'université de McGill, Montréal et le laboratoire Aimé Cotton d'Orsay. Pour accueillir cette expérience, la ligne 2 a été prolongée de 7 m. A la sortie du triplet de quadrupôles électrostatiques, le faisceau était dévié de  $15^\circ$  à l'aide d'un déflecteur électrostatique puis refocalisé par deux doublets de quadrupôles électrostatiques afin d'obtenir un faisceau de forme rectangulaire de 2 mm de haut sur 8 mm de largeur. Enfin une lentille, inspirée de l'étude réalisée en 1983 [Ki89], permettait de ralentir le faisceau d'ions de 30 kV à 0,5 kV au point de collection dans la chambre de photoionisation de l'expérience PILIS 1 [Ar86].



*Photo 30 1983  
Lentille qui devait être portée à une tension de 43,5 kV pour ralentir à 0,5 kV les ions du faisceau avant leur collection*

- En 1988, pour accueillir une nouvelle version de l'expérience, PILIS 2, un aimant a été placé entre les deux doublets de quadrupôles et la lentille de ralentissement du faisceau pour dévier le faisceau de  $13,5^\circ$ . A la sortie de l'aimant le faisceau était à nouveau focalisé par un doublet de quadrupôles électrostatiques puis il était ralenti ou non avant d'être collecté [Ar88].

**La ligne 3.** Elle a servi à l'étude des masses les plus lourdes. L'angle entre cette ligne et le plan focal de l'aimant était de  $10^\circ$ . Un déflecteur électrostatique mobile qui se déplaçait selon une trajectoire linéaire faisant un angle de  $10^\circ$  avec le plan focal et déviait le faisceau sélectionné de  $40^\circ$  servait à alimenter cette ligne 3. L'amplitude du déplacement du déflecteur permettait d'étudier les masses à  $\pm 5\%$  de la masse centrale. A la sortie du déflecteur un triplet et un doublet de quadrupôles électrostatiques assuraient la focalisation du faisceau au point de collection du poste de mesure.

### 3.3 Transport de sources radioactives, dispositifs de mesure

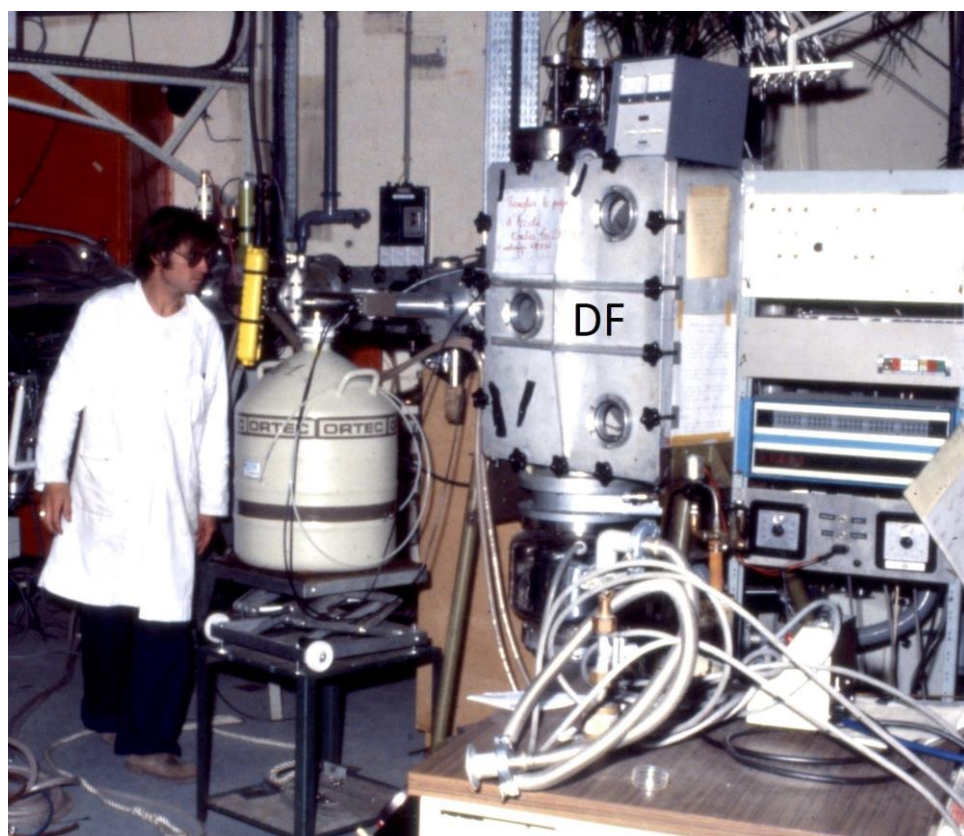
Dans la salle de physique, une annexe était aménagée pour installer l'électronique et l'informatique chargées d'amplifier les signaux délivrés par les détecteurs et d'enregistrer les données. Une potence équipée de connecteurs et située près de chacun des postes de mesure était reliée aux potences de l'annexe par câbles coaxiaux.

#### 3.3.1 La ligne 1.

Elle recevait un faisceau d'une grande pureté pour l'étude des masses les plus légères.

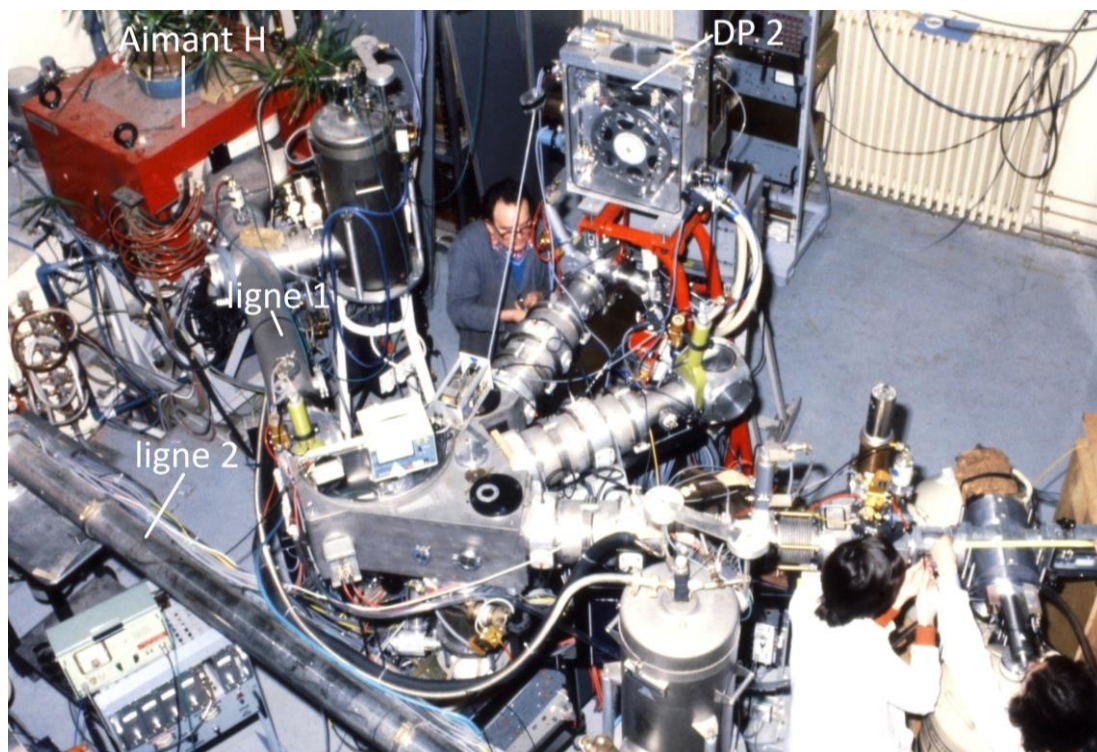
A chacun des trois postes de mesure M1, M2 et M3 de cette ligne, pouvait être installé un dérouleur de bande pour le transport sous vide des sources radioactives collectées vers les détecteurs de rayonnements X,  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta^+$  et/ou  $e^-$  (avec ou sans sélection magnétique) semblables à ceux utilisés auprès d'ISOCELE I (voir § 2.3). Le choix des détecteurs, leur nombre et leur disposition dépendaient de l'expérience à réaliser.

**Poste de mesure M1.** Dès 1978, le dérouleur DF précédemment utilisé par R. Foucher à ISOLDE puis à ISOCELE 1 (voir § 2.3.1.2) a été installé pour ce poste de mesure afin de réaliser une expérience de mesure en coïncidence de rayonnements gamma, [Photo 31](#).

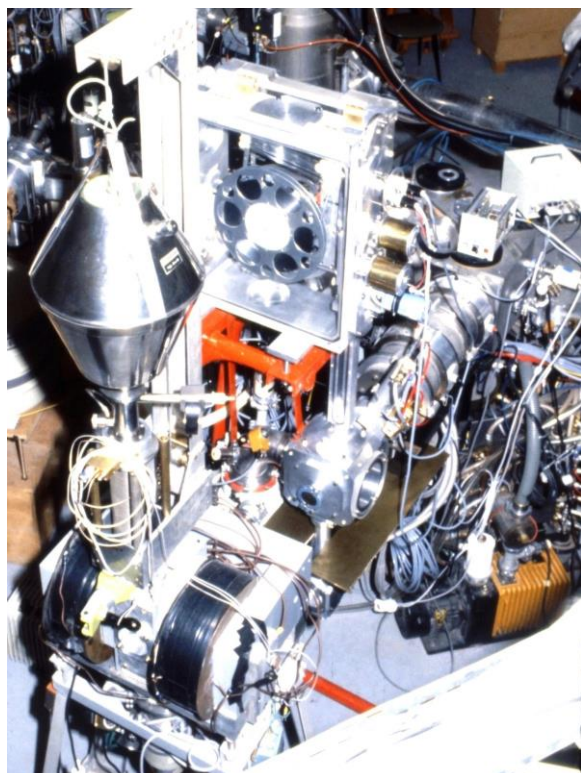


*Photo 31  
1978 Ligne 1,  
poste de  
mesure M1,  
de gauche à  
droite :  
M. Bouet, la  
bonbonne  
d'azote  
liquide qui  
sert à  
refroidir le  
détecteur de  
rayonnement  
gamma  
Ge(Li) et le  
dérouleur DF*

**Poste de mesure M3.** Un nouveau dérouleur de bande, DP2, basé sur le même principe que le dérouleur DP mis au point par P. Paris pour ISOCELE I (voir §2.3.1.1) mais avec un encombrement plus restreint a été installé pour le poste M3, [Photo 32](#). Une expérience pour mesurer les énergies d'électron avec sélection magnétique a été montée en 1980 sur ce poste, [Photo 33](#).



*Photo 32 1980 Ligne 1 : aimant H, le nouveau dérouleur DP 2 a été installé au poste de mesure M3 et des détecteurs sont en cours d'installation au point de mesure M1. En arrière M. Azemat près de DP2, devant M.G. Desthuilliers-Porquet et J. Sauvage-Letessier*



*Photo 33 1980 Ligne 1 : un détecteur d'électron, refroidi à la température de l'azote liquide, associé à un sélecteur magnétique, en cours d'installation au point de mesure M3 équipé du dérouleur de bande DP2*



### 3.3.2 La ligne 2.

Elle recevait les masses moyennes, elle a été utilisée pour plusieurs types d'expérience. En 1978 le dérouleur de bande mis au point par P. Paris, DP, utilisé auprès d'ISOCELE I a été installé sur la ligne 2 pour assurer le transport des sources collectées du point de collection au point de mesure.

#### 3.3.2.1 Expériences réalisées avec divers détecteurs

En 1978, en attendant que les postes de mesure de la ligne 1 soient équipés de dérouleurs de bande, les expériences similaires à celles effectuées à ISOCELE I étaient aussi réalisées sur la ligne 2. La préparation d'une des toutes premières expériences, effectuée sur ISOCELE II, et utilisant des détecteurs de rayonnements gamma refroidis à la température de l'azote liquide, est montrée sur les [Photos 34-38](#).



*Photo 34 1978 Préparation de l'expérience sur ISOCELE II : P. Paris installe la bande dans le dérouleur, DP, chargé du transport des sources radioactives collectées. Près des bonbonnes d'azote liquide, de gauche à droite, J. Libert, C. Sébille-Schück, G. Bastin et A. Péghaire*

Photo 35 1978  
Annexe pour l'acquisition  
des données avant le  
montage de l'expérience.  
De gauche à droite :  
l'ordinateur PDP, un bloc  
mémoire et l'électronique  
pour l'alimentation des  
détecteurs et  
l'amplification des signaux  
qu'ils délivrent

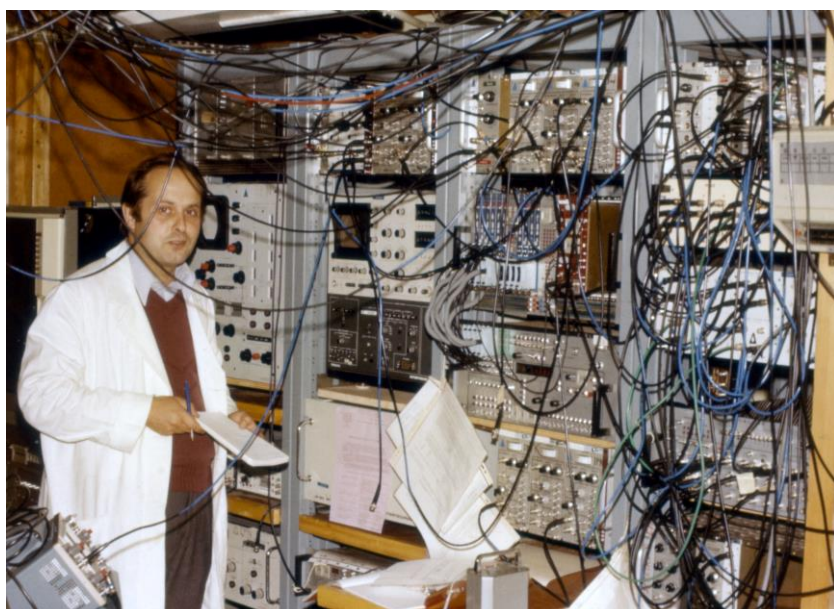
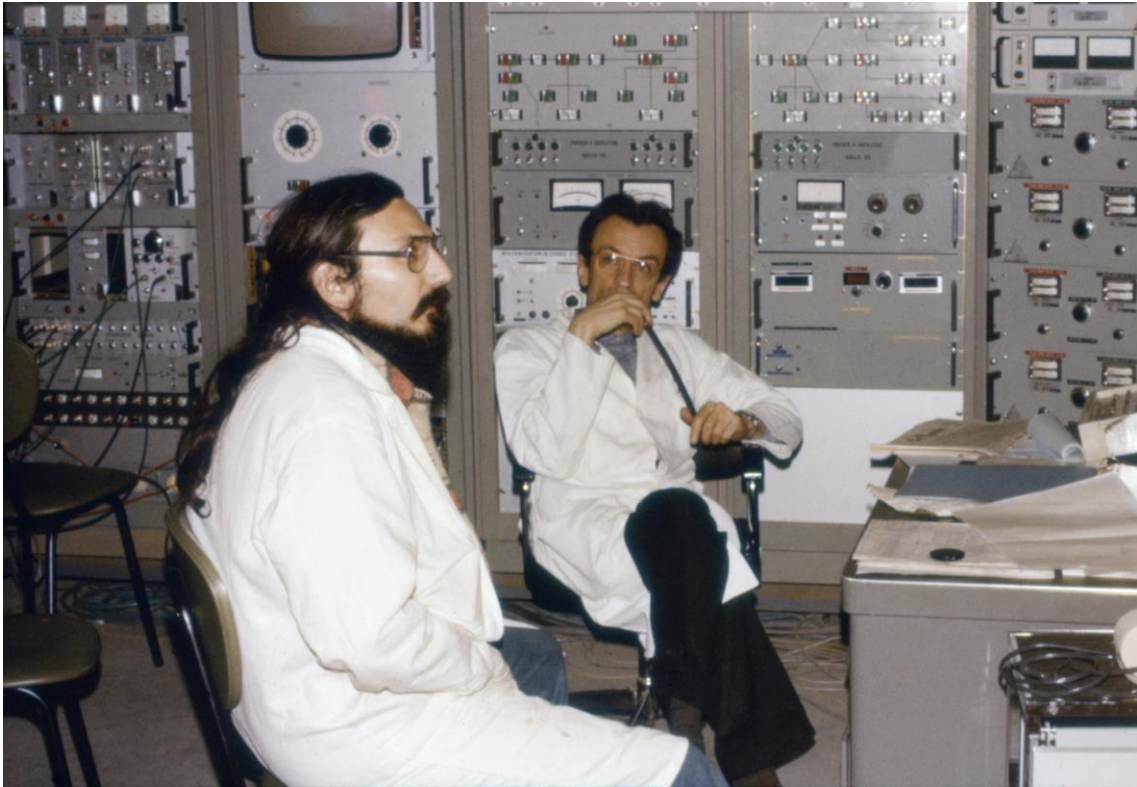


Photo 36 1978  
A. Péghaire dans  
l'annexe après la  
réalisation des  
connexions entre les  
détecteurs et  
l'électronique

Photo 37 1978  
J.-C. Putaux et  
J. Fournet-Fayas  
devant le pupitre de  
commande du  
séparateur pour  
démarrer et régler  
celui-ci, à droite  
J. Giroux





*Photo 38 1978 L. Bimbot et P. Paris devant le pupitre d'ISOCELE II*

### 3.3.2.2 Expériences réalisées avec le spectrographe à 180°

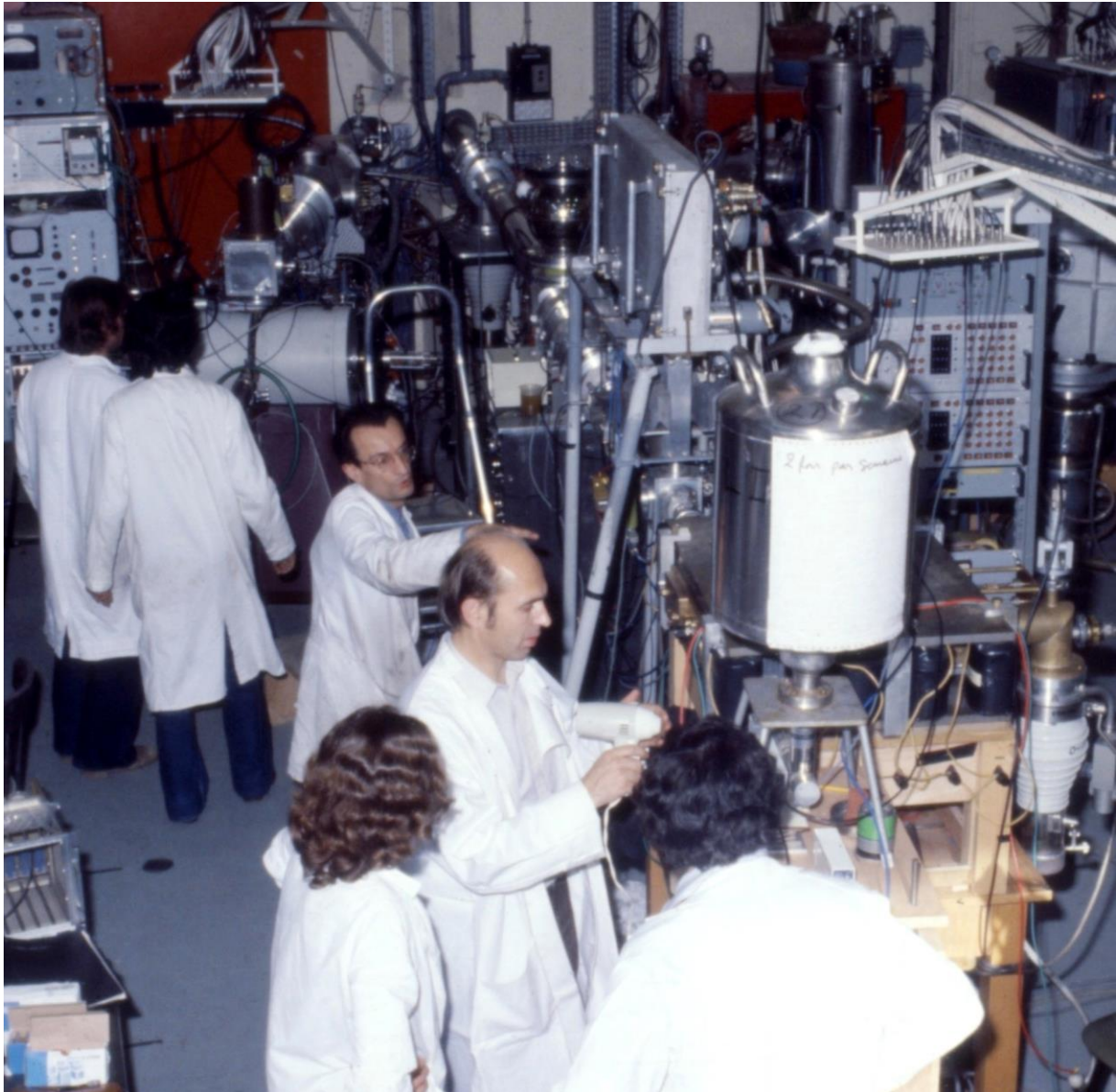
a) Dès 1979, des mesures très précises de l'énergie des électrons de conversion interne à l'aide d'un spectrographe à 180° ont pu être effectuées puisque la faisabilité de telles expériences avait été démontrée auprès d'ISOCELE I (voir § 2.3.2.2). Ces mesures ont été réalisées avec une version améliorée du spectrographe.

Pour accroître l'homogénéité du champ magnétique, des pièces polaires de 30 mm d'épaisseur ont remplacé celles de 20 mm utilisées auprès d'ISOCELE I. Leur meilleure rigidité a permis de limiter les petites variations de la distance d'entrefer sous l'effet des différences de pression créées par le pompage servant à établir un vide secondaire dans l'enceinte du spectrographe.

L'utilisation d'électro-aimants s'étant révélée bien adaptée aux expériences à réaliser, le champ magnétique a été généré par deux rangées de 5 électro-aimants. Une alimentation électrique en courant (DRUSH 20 V, 12 A) stabilisée à  $10^{-5}$  a servi à alimenter les 10 bobines de 238 spires fabriquées avec du fil de cuivre de 3 mm de diamètre. Le champ magnétique ainsi obtenu dans le spectrographe était stable, non influencé par les masses magnétiques environnantes, homogène et reproductible à condition de faire plusieurs cycles de démagnétisation avant l'utilisation d'une nouvelle valeur du champ magnétique.

Le dérouleur de bande, DP, (voir § 2.3.1.1) a été utilisé pour assurer le transport des ions radioactifs collectés devant la fente servant à définir la finesse de la source dans le spectrographe. Cette nouvelle installation a été régulièrement utilisée avec succès de 1979 à 1984. Au cours des diverses mesures réalisées les raies d'électron ont été obtenues avec une bonne résolution en énergie pour des électrons d'énergie comprise entre ~15 et 500 keV en utilisant trois valeurs différentes d'induction magnétique : 0,0042 ; 0,010 et 0,015 Tesla.

Le spectrographe était supporté par une structure en bois afin d'éviter toute perturbation du champ magnétique qui aurait pu être créée par un support métallique, [Photo 39](#).



*Photo 39 1978-Installation du spectrographe à 180° sur la ligne 2, de gauche à droite  
J. Proust, N.I., P. Paris, J. Sauvage-Letessier, N.I. et D. Lecouturier*

**b)** En 1983 de nouveaux dispositifs associés au spectrographe à 180° ont été développés [Ki89] pour :

1 - ralentir les ions du faisceau, de 44 kV (haute tension d'extraction d'ISOCELE II) à 0,5 kV, avant leur collection sur le support transporteur de la source. Ceci pour éviter une implantation trop profonde des ions dans le support et ainsi améliorer la résolution en énergie des raies d'électron dont l'énergie était inférieure à la vingtaine de keV. Evidemment, le ralentissement des ions devait être réalisé sans détérioration de la focalisation du faisceau d'ions.

2 - accélérer d'environ 10 kV les électrons émis par les atomes radioactifs et ainsi permettre aux électrons dont l'énergie était comprise entre 1 keV et 10 keV d'atteindre le film détecteur.

Le premier dispositif était principalement constitué d'une lentille électrostatique de ralentissement du faisceau d'ions. Le triplet de quadropôles de la ligne 2 servait alors à

maîtriser la forme du faisceau d'ions à l'entrée de la lentille de ralentissement et permettait donc l'optimisation de la focalisation du faisceau d'ions ralentis au point de collection. La haute tension utilisée pour l'ensemble cible-source d'ions du séparateur a aussi été appliquée à la lentille de ralentissement au travers d'un pont diviseur de tension afin de délivrer le faisceau d'ions ralenti à 0,5 kV adéquat pour la collection.

Le deuxième dispositif concernait la réalisation d'un transporteur de sources radioactives d'un type nouveau. Un dérouleur Debrie, couramment utilisé dans le monde du cinéma, a été choisi pour assurer le déplacement de bandes perforées de 600 m de longueur, 16 mm de largeur, 0,15 mm d'épaisseur ayant une grande résistance à la traction et une très grande résistance électrique ( $10^{12}$  Ohm sur 160 mm). Pour rendre la bande perforée conductrice aux points de collection et de mesure où doivent être respectivement appliquées la haute tension de ralentissement de + 43,5 kV et la tension d'accélération des électrons de - 10 kV, des dépôts ont été réalisés, dans une enceinte sous vide, par évaporation d'aluminium à l'aide d'un canon à électrons. Ces dépôts d'aluminium de 15 mm de longueur, 9 mm de largeur et 0,11  $\mu\text{m}$  d'épaisseur étaient régulièrement répartis tous les 10 trous sur la bande perforée, ils étaient distants de 76,5 mm.

Un automate servait à gérer tous les mécanismes de ce dispositif. Il était programmé pour :

- Définir la durée de la collection et celle de la mesure.
- Commander, à la fin du temps de collection, le déplacement de la source radioactive du point de collection au point de mesure, ce déplacement était précisément défini par le comptage des trous de la bande perforée qui défilaient devant un capteur optique.
- Commander le fonctionnement de l'alimentation de - 10 kV pendant la mesure et son arrêt pendant le déplacement de la bande perforée.
- Actionner les mécanismes qui servaient à assurer un bon contact entre les dépôts d'aluminium de la bande perforée et les électrodes portées à + 43,5 kV pendant le temps de la collection, et - 10 kV pendant celui de la mesure.
- Commander l'ouverture du volet faisceau pendant le temps de la collection, la fermeture d'un volet situé devant la fente d'émission du spectrographe pendant le déplacement de la bande et l'ouverture de celui-ci pendant le temps de la mesure [Ki89] Fig. 8 et 9.

Ce nouvel appareillage fut régulièrement utilisé avec succès de 1985 à 1990, puis, après l'arrêt d'ISOCELE II, il fut utilisé en ligne avec le faisceau d'ISOLDE au CERN à Genève.

**3.3.2.3 Expériences effectuées avec l'installation PILIS, « Post ISOCELE Laser Isobar Separation »** (collaboration de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay avec l'université McGill de Montréal et le laboratoire Aimé Cotton d'Orsay)

En 1986, la ligne 2 a été aménagée pour accueillir l'expérience PILIS 1 sans modifier l'installation du spectrographe à 180°. Dans cette expérience, les atomes radioactifs étaient collectés sur une feuille de graphite de 20  $\mu\text{m}$  d'épaisseur collée sur une bande isolante qui permettait le transport rapide des atomes collectés de la zone à la haute tension de 29,5 kV vers une zone portée à - 1,5 kV. Ce transport était réalisé par un petit dérouleur de bande, Photo 40. La désorption des atomes collectés était alors effectuée par un faisceau délivré par un laser YAG, puis les atomes étaient ionisés en 2 ou 3 étapes par 2 ou 3 faisceaux laser délivrés simultanément par des lasers à colorant. L'un de ces trois faisceaux laser, délivré par un laser monomode, servait au balayage en fréquence. Ce laser avec une très bonne résolution en fréquence avait été développé au laboratoire Aimé Cotton par Jacques Pinard et Sylvain Liberman [Pi77]. Tous les faisceaux laser travaillaient en impulsions, Photo 41.

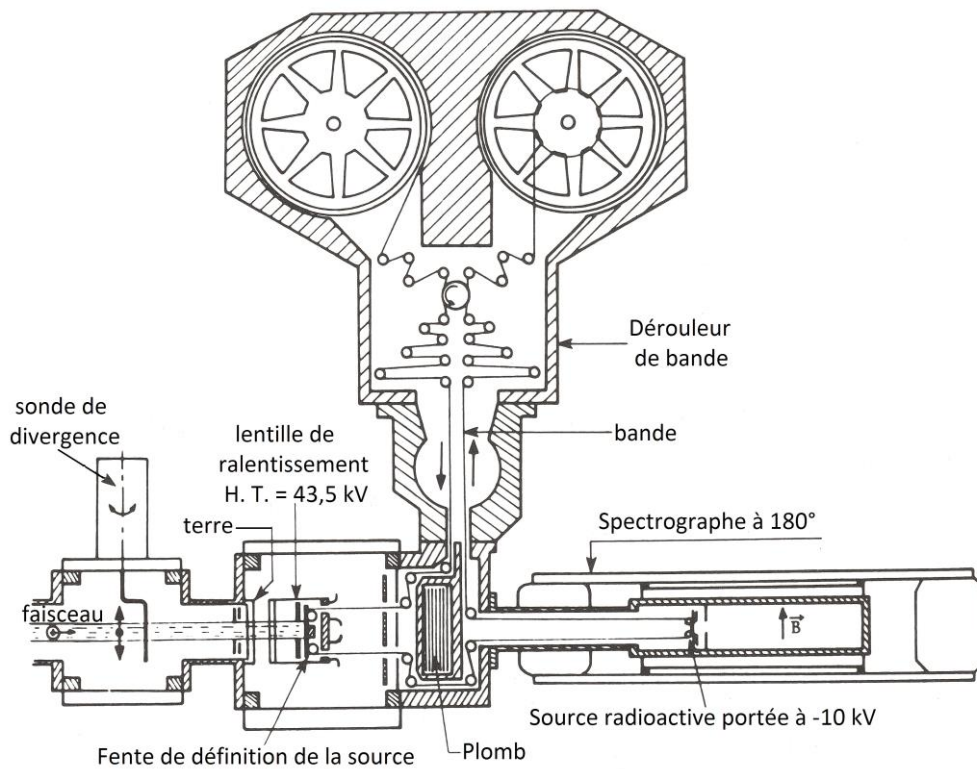


Fig. 8  
Schéma de l'ensemble de l'appareillage associé au spectrographe, ralentissement des ions collectés, transport de la source et accélération des électrons émis. En bas, un exemple de spectre d'électrons enregistré sur le film détecteur

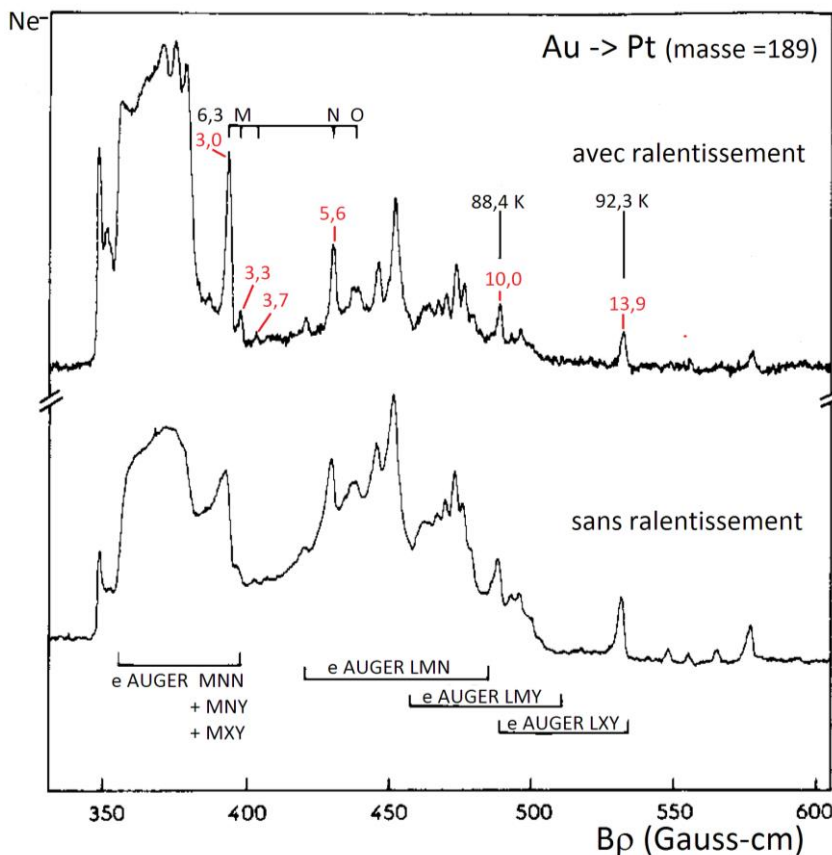
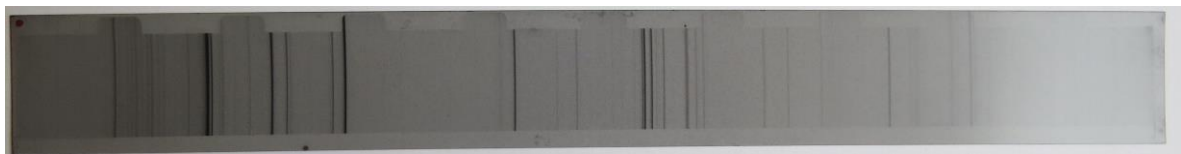
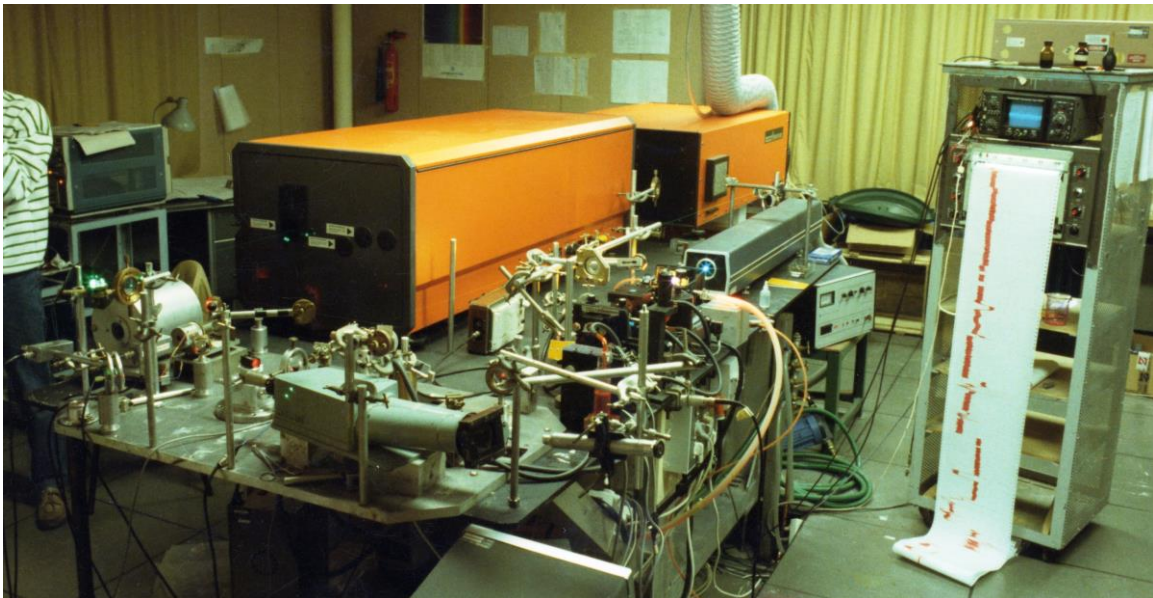


Fig.9  
Comparaison d'un spectre d'électrons obtenu sans ralentissement des ions avant collection (en bas) avec un spectre d'électrons enregistré avec ralentissement des ions (en haut). Les énergies des rayonnements  $\gamma$  de la transition sont données en keV suivies de la couche électronique de conversion M, N, O ou K. Les énergies en keV des électrons émis par la source radioactive sont indiquées en rouge



*Photo 40 Petit dérouleur de bande servant au transport rapide des atomes radioactifs collectés de la zone portée à la haute tension de 29,5 kV vers la zone portée à la basse tension de - 1,5 kV*



*Photo 41 Salle des lasers*

Les ions obtenus étaient extraits sous 1,5 kV et après un temps de vol sur 1,3 m étaient détectés et comptés à l'aide d'une galette de microcanaux, le temps de vol permettait l'identification en masse des ions comptés. Sur le parcours du temps de vol, deux plaques déflectrices portées brièvement à une tension de 300 V avant l'ionisation servaient à éliminer les ions parasites créés par le laser de désorption. Puis les ions créés par l'ionisation résonante étaient focalisés sur le détecteur par une lentille électrostatique. Un schéma de l'expérience PILIS 1 est montré Fig. 10. Cette méthode d'ionisation résonante d'une grande sélectivité permettait de séparer les isobares. Elle permettait également d'obtenir des informations sur les propriétés du noyau dans son état fondamental par la mesure des effets de l'interaction électromagnétique entre le noyau atomique et son cortège électronique. La variation, dans une série d'isotopes, de l'énergie d'un niveau atomique utilisé dans le processus d'ionisation de l'atome est en effet reliée à la variation du rayon de charge du noyau atomique. De plus, si le noyau possède un nombre impair de neutron et/ou de proton, la structure hyperfine de la transition atomique est liée aux valeurs des moments nucléaires.

Dès 1987 cette nouvelle installation a été utilisée avec succès.

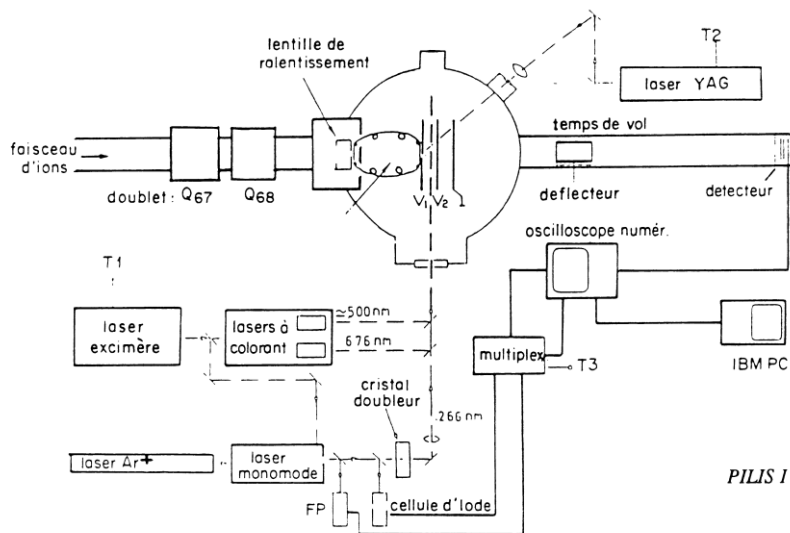


Fig. 10  
Représentation  
schématique de  
PILIS 1. T1, T2,  
T3 sont les temps  
liés à la  
synchronisation  
des faisceaux  
lasers. Figure  
extraite de  
[Le89]

En 1988, pour avoir la possibilité d'effectuer la désorption des atomes collectés directement au point de collection, la version PILIS 2 de l'expérience a été étudiée et installée [Ar88]. La collection pouvait être effectuée avec ralentissement, le faisceau d'ions produits par ionisation résonante par laser était alors accéléré à 29,5 kV, dévié d'environ 13,5° en passant dans l'aimant, puis il devait être infléchi de 28° dans l'autre sens et ensuite focalisé par un doublet de quadrupôles électrostatiques avant d'atteindre le détecteur d'ions. Le temps de vol de 3,5 m permettait l'identification en masse des ions détectés. Si la collection était effectuée sans ralentissement, le faisceau d'ions produit était extrait sous 1,5 kV, dévié de 62° dans l'aimant puis focalisé par un doublet de quadrupôles électrostatiques pour atteindre le détecteur. La représentation schématique de l'implantation de PILIS 2 est montrée Fig. 11.

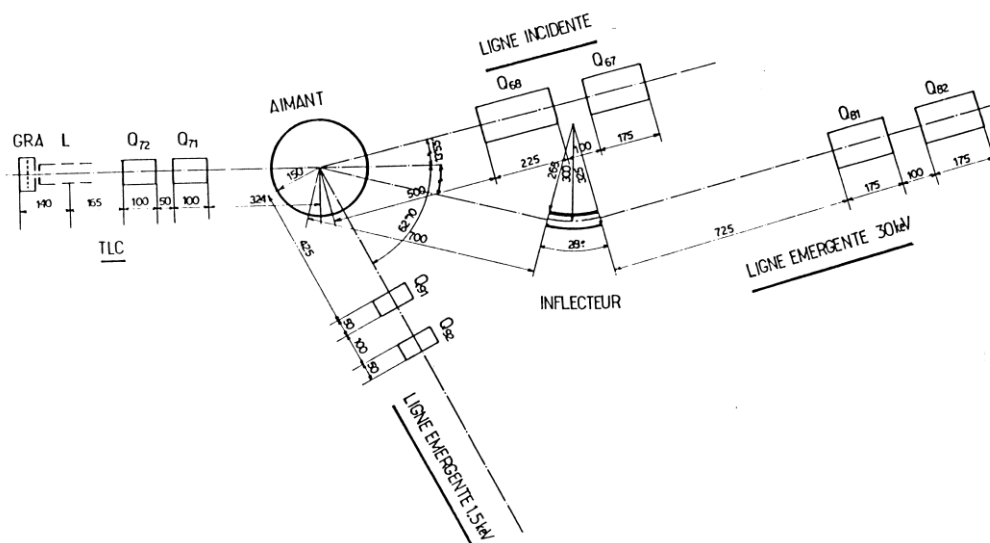


Fig. 11 Schéma d'implantation de PILIS 2. GRA : lieu de collection des ions ralentis [Le89]

Dans une première étape, une possibilité intermédiaire a été utilisée. Le faisceau était ralenti avant la collection, puis la haute tension de ralentissement était abaissée de 29,5 kV à 1,5 kV avant la désorption et l'ionisation résonante par laser ce qui permettait d'utiliser la ligne émergente prévue pour le faisceau 1,5 kV tout en bénéficiant de l'intérêt du ralentissement pour l'efficacité de la désorption. Cette étape de la version PILIS 2 a été utilisée en 1989 jusqu'à l'arrêt de l'installation ISOCELE II fin 1989. Etant donné l'arrêt programmé de la physique auprès du synchrocyclotron, la ligne émergente à 29,5 kV n'a pas été installée et la deuxième étape n'a pas pu voir le jour. Photos 42 et 43.



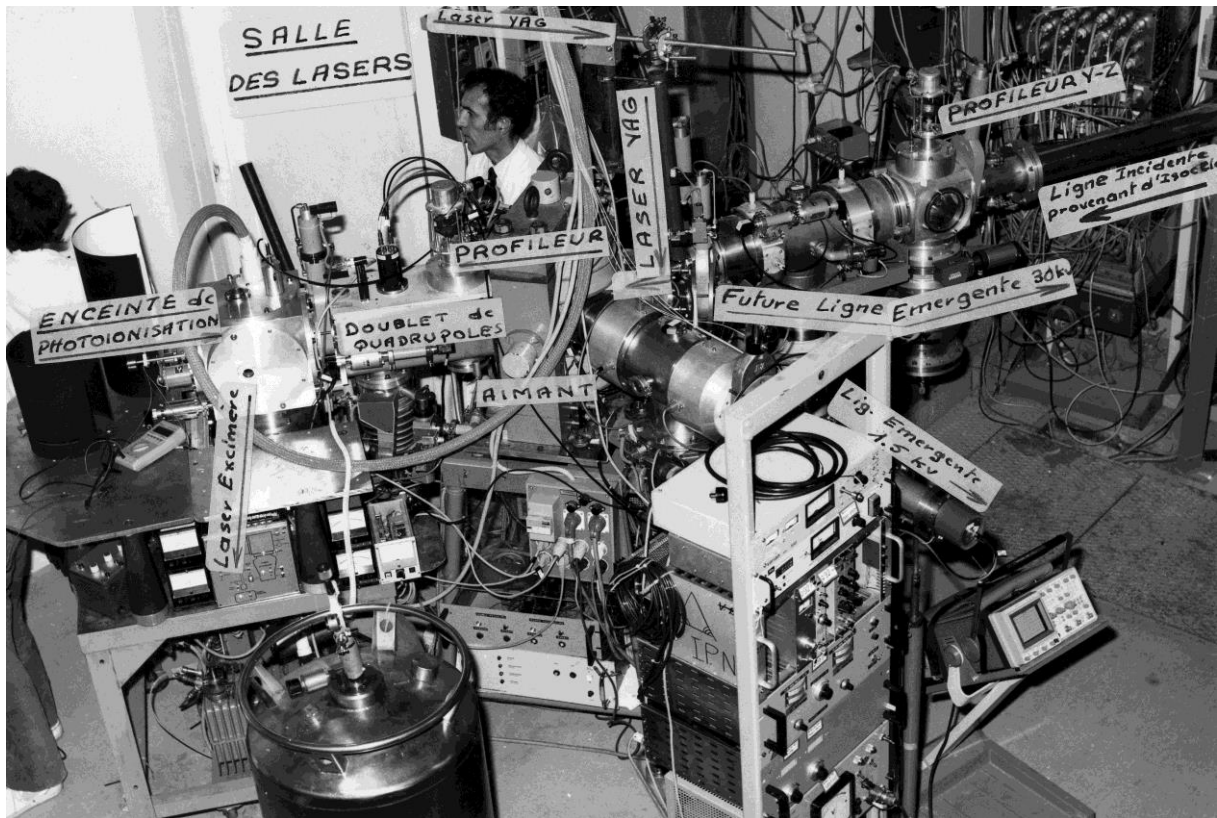


Photo 42 Salle de physique : implantation de l'expérience PILIS 2, J. Obert

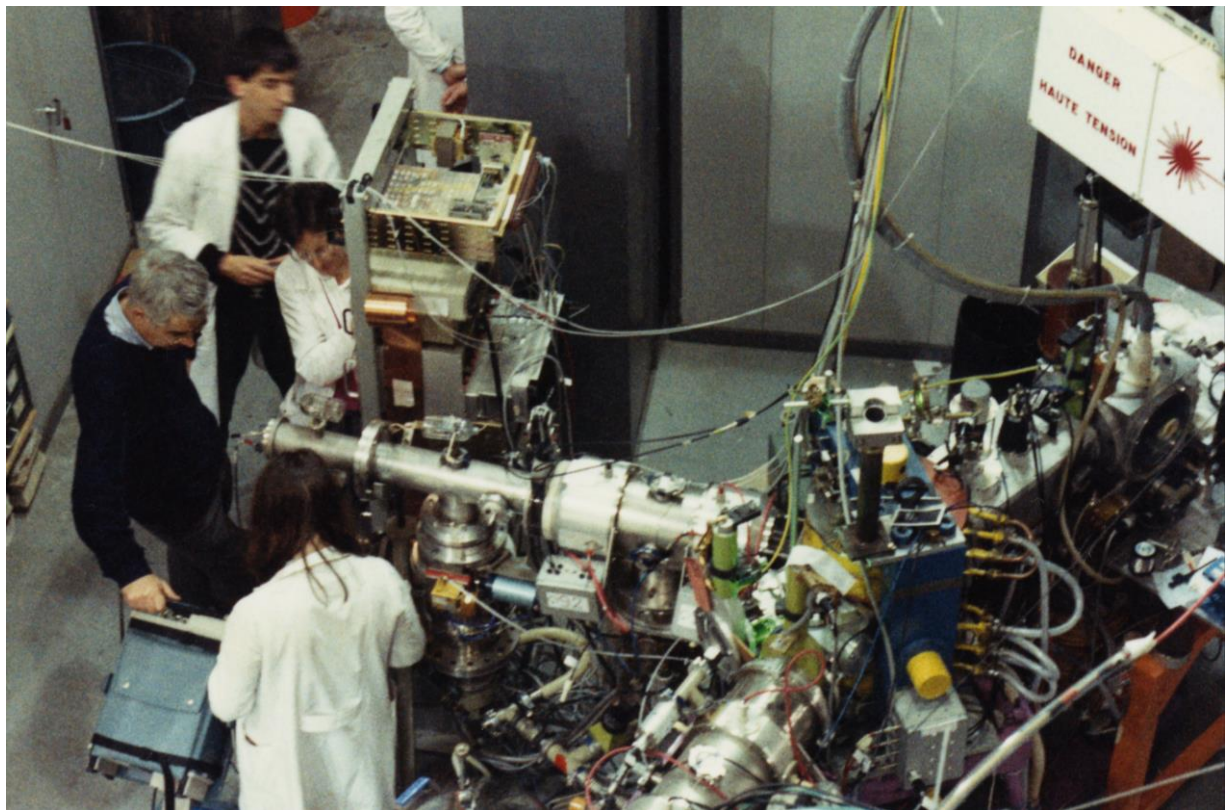
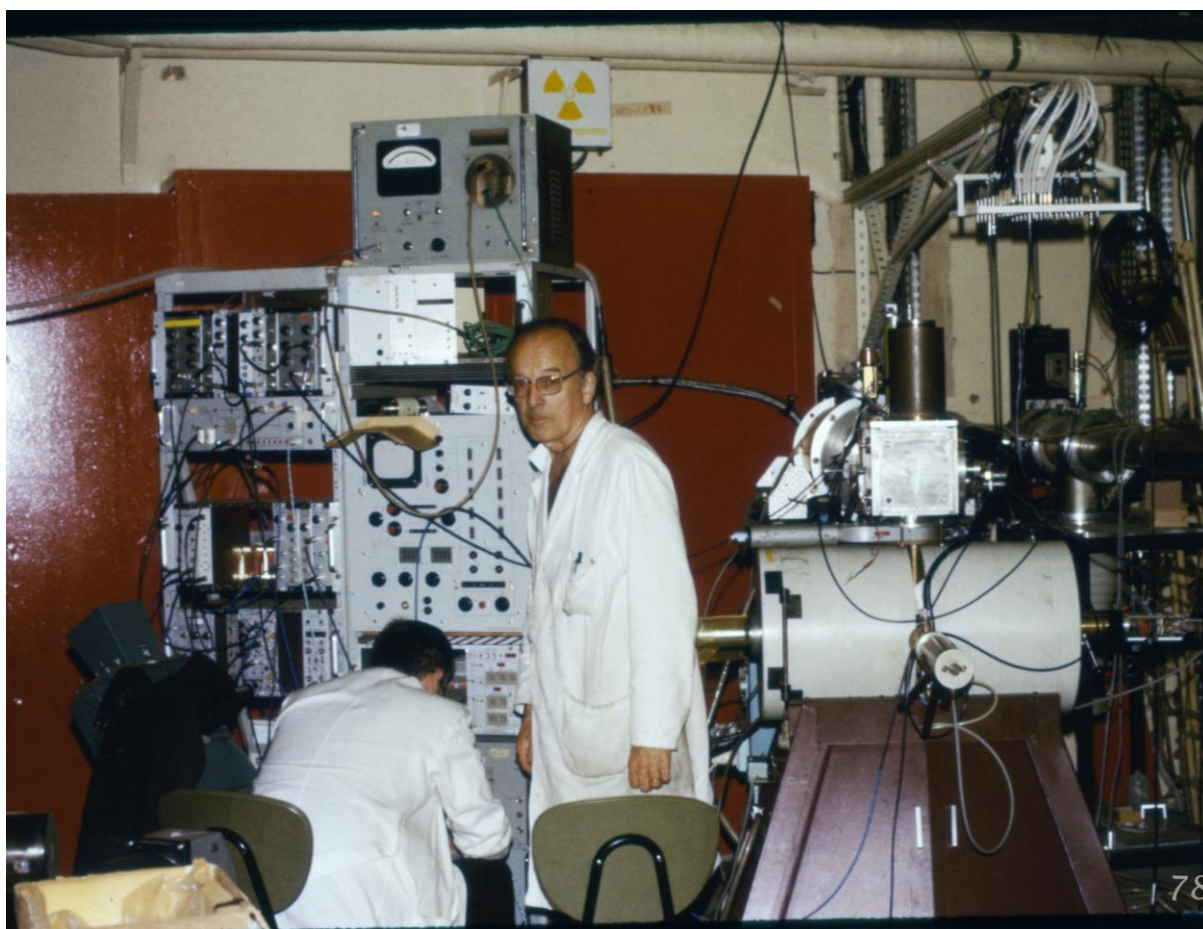


Photo 43 Expérience PILIS 2 : ligne incidente du faisceau d'ions en bas, enceinte de photo-ionisation à droite, ligne émergente 1,5 kV à gauche. De haut en bas F. Le Blanc, J. Sauvage-Letessier, J. Pinard, B. Roussière

Le savoir-faire acquis a permis de proposer et réaliser avec succès ce type d'expériences avec une nouvelle installation appelée COMPLIS auprès du séparateur isotopique ISOLDE au CERN à Genève.

### 3.3.3 La ligne 3.

Elle recevait les masses les plus lourdes et servait aux expériences effectuées à l'aide du double spectromètre Gerholm équipé de son distributeur de pastilles pour le transport des sources radioactives (voir § 2.3.2.1). La détermination des durées de vie des états excités du noyau atomique constituait le principal objectif de ces expériences. Elle était obtenue par la mesure du temps écoulé entre le signal produit dans un détecteur par un rayonnement gamma ou électron alimentant le niveau et celui produit dans un autre détecteur par un électron le désexcitant. Afin de pouvoir déterminer des durées de vie aussi courtes que quelques dizaines de picosecondes, les détecteurs délivraient des signaux très rapides qui ne pouvaient pas être transférés par les potences avant leur amplification. Ce qui a conduit à installer l'électronique et l'acquisition de ces expériences dans la salle de physique au plus près du spectromètre, [Photo 44](#).



*Photo 44 1978 Le double spectromètre Gerholm équipé de deux détecteurs d'électrons que l'on aperçoit à gauche et à droite du spectromètre, au-dessus le distributeur de pastilles sur lesquelles les ions radioactifs étaient collectés. A la fin d'une collection la pastille descendait au centre du spectromètre entre les deux détecteurs, la mesure était alors effectuée et à la fin de la mesure la pastille était évacuée dans le réservoir à déchets placé dans un château de plomb sous le spectromètre. A gauche du spectromètre l'électronique et l'acquisition des données. Debout près du spectromètre V. Berg, assis J. Oms*

Dès juillet 1980 tous les postes de mesures étaient disponibles comme on peut le voir Fig. 12 et photo 45. L'installation de l'expérience PILIS 2 sur la ligne 2, en 1989, est montrée Fig. 13.

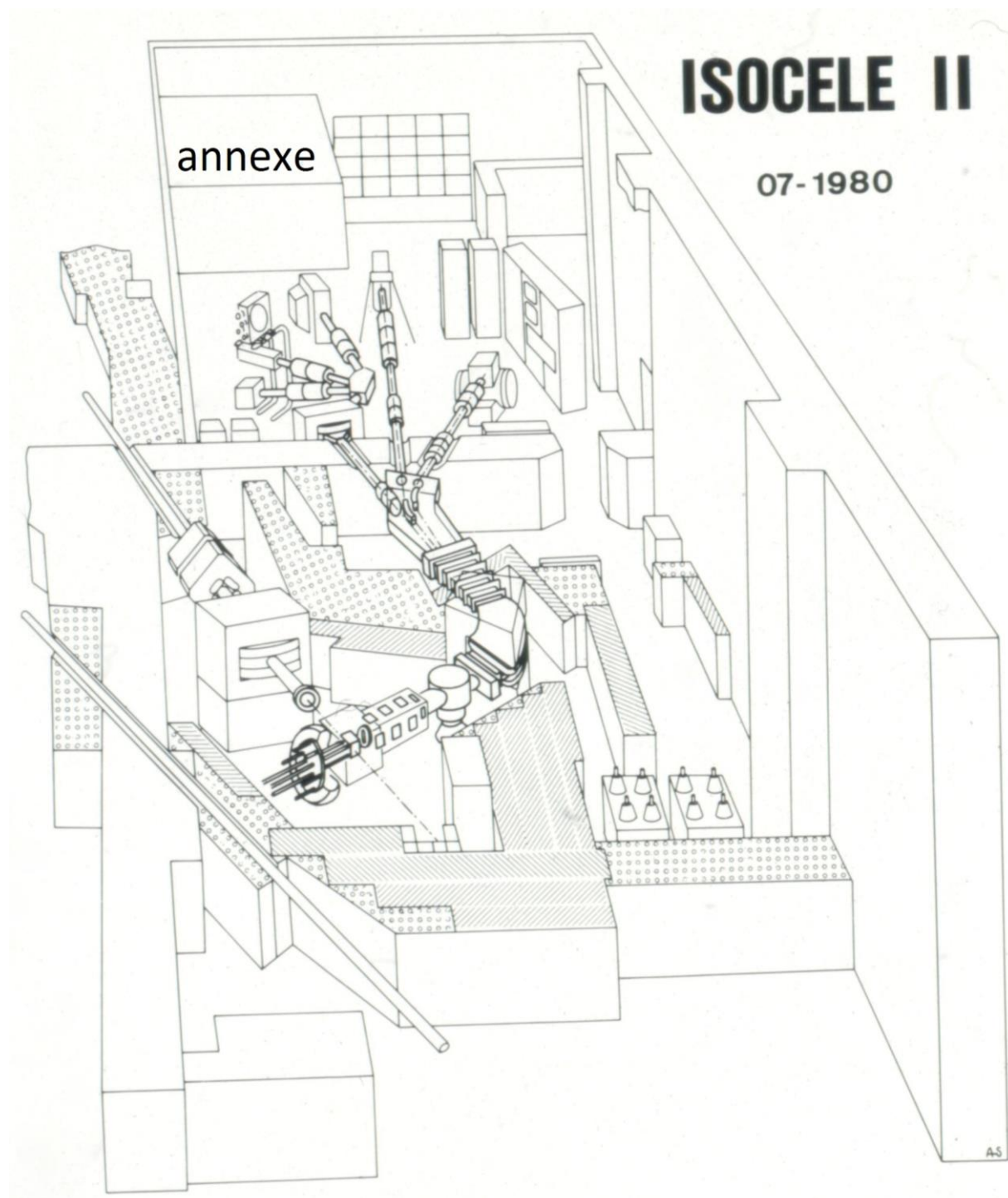


Fig. 12 1983 Schéma de l'installation ISOCELE II en 1980. En avant la salle blindée dans laquelle le séparateur est représenté, en arrière la salle de physique avec de gauche à droite la ligne 1 à haute résolution avec son caisson d'aiguillage vers trois postes de mesure dont deux sont équipés avec les dérouleurs de bande DP2 et DF, la ligne 2 avec un poste de mesure équipé du dérouleur de bande DP et la ligne 3 sur laquelle le double spectromètre Gerholm est installé. Au fond, l'annexe dans laquelle se trouve l'électronique et les systèmes d'acquisition des données.

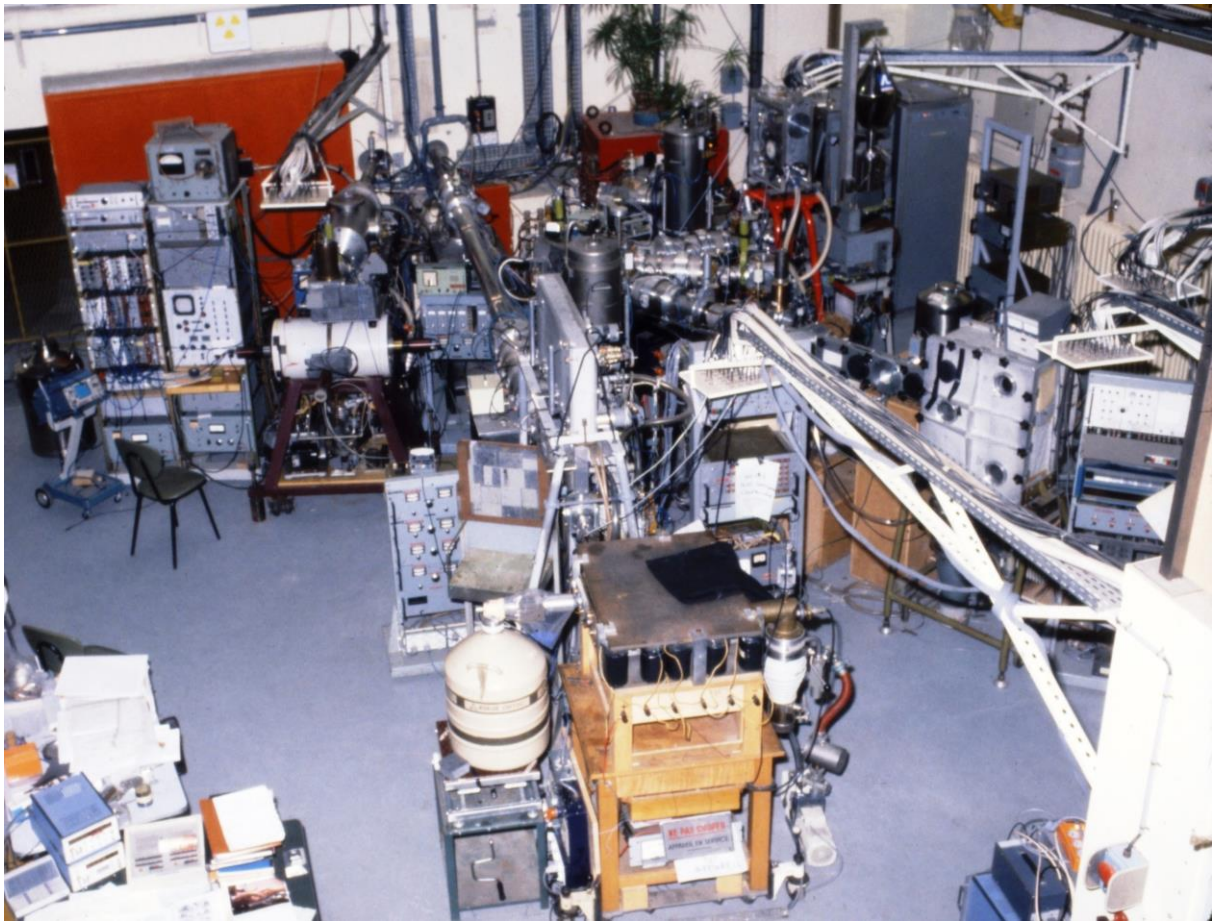


Photo 45 1980 Salle de physique. De gauche à droite : le double spectromètre Gerholm installé sur la ligne 3, le spectrographe à 180° posé sur son support en bois installé sur la ligne 2, le dérouleur DF installé au poste de mesure M1 de la ligne 1. Au fond l'expérience de détection d'électrons avec sélection magnétique associée au dérouleur de bande DP2 installé sur le poste de mesure M3 de la ligne 1

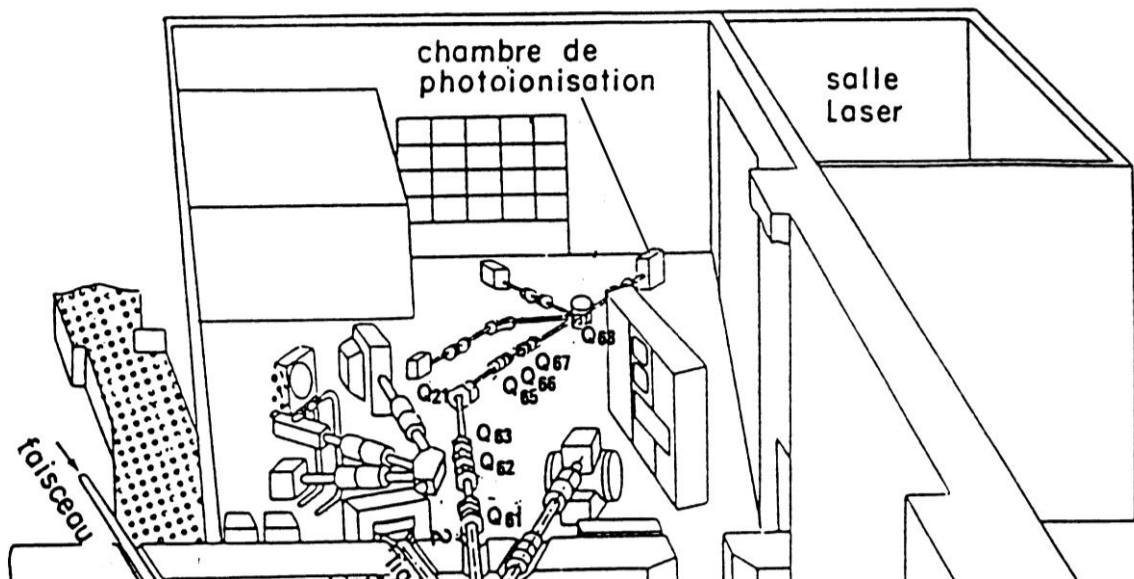


Fig. 13 1989 Schéma de l'installation de la salle de physique d'ISOCELE II, l'expérience PILIS 2 montée sur la ligne 2 est représentée schématiquement au fond de la salle



## 4 RESULTATS

### 4.1 Fonctionnement des installations ISOCELE

Une cinquantaine de personnes, chercheurs, ingénieurs et techniciens ont contribué à l'étude, la construction et la mise au point de l'installation ISOCELE I. L'importante motivation de toutes les personnes concernées a permis la réalisation de ces étapes en moins de trois ans.

L'exploitation de l'installation a débuté au rythme d'environ deux expériences de 12 à 24 h par mois. Ce rythme d'expériences de courte durée était particulièrement bien adapté pour tester de nouvelles cibles. Le développement des nouveaux ensembles cible-source d'ions a été assuré par une équipe équivalant à environ quatre personnes à temps plein.

Avec l'installation ISOCELE II, la durée des expériences est devenue couramment de 36 à 48 h et a atteint jusqu'à une centaine d'heures.

### 4.2 Performances des installations ISOCELE

Le choix d'un séparateur à courant moyen qui permettait l'extraction d'une intensité du faisceau d'ions pouvant aller jusqu'à 2 mA, s'est révélé très judicieux. En effet, dans ces conditions, une certaine consommation de la cible était acceptable. De plus, une séparation chimique pouvait être réalisée puisqu'il était possible d'introduire un gaz, comme le tétrafluorure de carbone,  $CF_4$ , en quantité suffisante au niveau de la cible. Un effort particulièrement important a été fait pour le développement des ensembles cible-source d'ions aboutissant à la mise au point de 32 ensembles qui ont permis l'extraction et la séparation en masse de faisceaux d'ions pour 42 éléments.

L'optique ionique originale proposée par Pierre Paris, en simplifiant la conduite des faisceaux d'ions, a rendu l'exploitation de l'installation ISOCELE II beaucoup plus aisée que celle de l'installation ISOCELE I.

Les importants développements réalisés pour le ralentissement des ions du faisceau délivré par l'installation ISOCELE II, avant leur collection, se sont révélés d'une grande utilité. Ils ont permis, non seulement, de détecter des électrons de très basse énergie avec une haute résolution en énergie mais aussi d'obtenir une bonne efficacité de la désorption par laser des atomes collectés pour les mesures de spectroscopie atomique (expérience PILIS).

### 4.3 Résultats les plus originaux obtenus auprès des installations ISOCELE

#### 4.3.1 Forme du noyau atomique, « coexistence de formes », « transition de forme »

Ce sujet a fait l'objet de nombreuses expériences réalisées auprès des installations ISOCELE I et ISOCELE II.

Le noyau atomique peut avoir différentes formes symétriques ou asymétriques par réflexion. Les principales formes symétriques par réflexion sont sphéroïdale, ellipsoïdale allongée ou ellipsoïdale aplatie. Les deux dernières correspondent à des déformations « quadrupolaires ». La principale forme asymétrique par réflexion correspond à une déformation « octupolaire », le plus simple exemple correspond à la forme d'une poire.

En 1973, le phénomène de « transition de forme » entre deux isotopes voisins venait d'être découvert. En effet, dans la série isotopique de mercure une augmentation importante et brutale de la déformation du noyau atomique avait été observée entre les isotopes de masse 186 et 185 [Bo72]. Les études théoriques suggéraient fortement que cette augmentation de la déformation était due à la transition de la forme ellipsoïdale aplatie du noyau du mercure de masse 186 à la forme ellipsoïdale allongée du noyau du mercure de masse 185 [Ca73].

En 1974, les expériences réalisées auprès de l'installation ISOCELE I ont permis de découvrir un autre phénomène, plutôt surprenant à l'époque, la coexistence de formes différentes au sein d'un même noyau. La première « coexistence de formes » a été découverte pour le noyau de mercure de masse 186 dont l'état fondamental correspond à un noyau peu déformé alors qu'un état excité correspond à un noyau très déformé [Be75, Be77]. Ainsi il a été démontré qu'un noyau atomique dans deux états proches en énergie peut avoir deux formes très différentes. A la même époque ce phénomène était aussi observé à partir d'expériences réalisées auprès de l'installation UNISOR.

Par la suite, les installations ISOCELE ont permis la mise en évidence de nombreuses « transitions de forme » et « coexistences de formes » en particulier, dans les séries isotopiques des thallium, mercure, or et platine qui sont situés dans une région dite de « déformation intermédiaire » c'est-à-dire entre une région où les noyaux ont des formes sphéroïdales et celle où les noyaux ont des formes ellipsoïdales allongées très déformées. Pour les états fondamental et isomérique du noyau atomique, les expériences de physique atomique ont donné accès au rayon moyen de la distribution des protons et, dans certains cas, aux moments nucléaires [Le89]. Ces données décisives ont complété les résultats de spectroscopie nucléaire et de calculs théoriques. Elles ont servi, non seulement à déterminer la déformation mais aussi, dans certains cas, à établir définitivement la forme ellipsoïdale aplatie ou allongée du noyau atomique dans son état fondamental et/ou isomérique. Par exemple, seulement une forme ellipsoïdale allongée peu déformée de l'état fondamental des noyaux de platine de masse 189 et 187 s'est révélée être compatible avec tous les résultats expérimentaux [Sa00].

Par ailleurs, des expériences effectuées auprès de l'installation ISOCELE II ont permis de trouver des noyaux atomiques ayant les propriétés de noyaux de forme « octupolaire », dans les séries isotopiques de francium, radium, actinium et thorium. La détermination des propriétés des états excités de ces noyaux a largement contribué à l'étude de la nature du phénomène qui peut être dû à une forme « octupolaire » stable du noyau atomique ou au couplage d'un état de particule d'un noyau de forme sphéroïdale avec une vibration de type « octupolaire ». Dans le cas d'un noyau situé dans une région de « déformation intermédiaire » où les effets de la force de Coriolis peuvent être importants, la nature du phénomène s'est révélée être complexe et donc plus difficile à analyser [Li90].

#### **4.3.2 Transitions « super-converties » dans le noyau atomique**

La transition du noyau entre deux de ses états s'effectue par l'émission de rayonnements gamma,  $\gamma$ , ou l'éjection d'électrons du cortège électronique de l'atome. Les coefficients de conversion interne représentent le rapport entre l'intensité des électrons et celle des rayonnements  $\gamma$  émis pour une même transition. Ils dépendent du nombre de protons dans le noyau, de l'énergie et des propriétés des rayonnements  $\gamma$ ; ils ont été calculés et sont récapitulés dans des tables.

Dès 1974, les coefficients de conversion interne déterminés pour quatre des transitions observées pour le noyau du platine de masse 187 se sont révélés plus grands que ceux attendus d'un facteur égal ou supérieur à 9. Ces résultats étaient extrêmement surprenants, mais après maintes vérifications, l'existence de ces transitions « super converties » fut confirmée [Be79].

Par la suite, 17 autres transitions « super converties » ont été observées pour des noyaux situés dans la même région de masse : or de masse 185 et 183, platine 185 et 181 et iridium 181. La présence de ce phénomène a été également observée pour d'autres noyaux atomiques de la même région de masse lors d'expériences effectuées auprès de l'installation UNISOR.

Ces transitions « super converties » bien que leur nature exacte ne soit pas complètement élucidée, indiquent une pénétration des électrons du cortège électronique à l'intérieur du noyau.

### 4.3.3 Observation de nouveaux noyaux

Vingt noyaux ou isomères ont été observés pour la première fois et leurs périodes de désintégration mesurées. L'observation de trois d'entre eux avait déjà été annoncée mais avec des périodes mesurées très différentes, ce qui remet fortement en cause leur identification. Ces mesures précédentes n'ont pas été retenues dans le tableau récapitulatif des données primordiales des noyaux atomiques publié en 2011 [Tu11] Tableau 4.

Tableau 4 Nouveaux noyaux observés pour la première fois avec l'installation ISOCELE

ISOCELE			Mesure précédente	Période adoptée
Noyau ou Isomère (*)	Période mesurée	Référence		
<sup>78</sup> Sr	150 ± 18 s	[Li82]	30,6 ± 2,3 min	160 ± 8 s
<sup>82</sup> Zr	32 ± 5 s	[Li82]	2,5 min	32 ± 5 s
<sup>84</sup> Zr	24,0 ± 1,3 min	[Li82]	5,0 ± 0,5 min	25,8 ± 0,5 min
<sup>122m</sup> Cs*	0,36 ± 0,02 s	[We83]		0,36 ± 0,02 s
<sup>124m</sup> Cs*	6,3 ± 0,3 s	[Li81]		6,3 ± 0,2 s
<sup>130m</sup> Cs*	3,46 ± 0,06 min	[We83]		3,46 ± 0,06 min
<sup>127m</sup> Ba*	1,9 ± 0,2 s	[Li81a]		1,9 ± 0,2 s
<sup>136</sup> Sm	41 ± 1 s	[Po81]		47 ± 2 s
<sup>146</sup> Dy	30 ± 2 s	[Sa84]		29 ± 3 s
<sup>150</sup> Ho	88 ± 15 s	[Li80]		72 ± 4 s
<sup>152m</sup> Tm*	5,2 ± 0,6 s	[Li80]		5,2 ± 0,6 s
<sup>162</sup> Hf	38 ± 0,2 s	[Li81b]		39,4 ± 0,9 s
<sup>163</sup> Hf	44 ± 2 s	[Li81b]		40,0 ± 0,6 s
<sup>164</sup> Hf	114 ± 3 s	[Li81b]		111 ± 8 s
<sup>165</sup> Hf	75 ± 3 s	[Li81b]		76 ± 4 s
<sup>162</sup> Ta	3,5 ± 0,2 s	[Li85]		3,57 ± 0,12 s
<sup>163</sup> Ta	10,5 ± 1,8 s	[Li85]		10,6 ± 1,8 s
<sup>164</sup> Ta	13,7 ± 0,6 s	[Li82]		14,2 ± 0,3 s
<sup>165</sup> Ta	31,0 ± 1,5 s	[Li82]		31,0 ± 1,5 s
<sup>220</sup> At	3,71 ± 0,04 min	[Li89]		3,71 ± 0,04 min

### 4.4 Communication

Les résultats obtenus avec les installations ISOCELE ont fait l'objet de :

- Soixante-seize publications
- Quatre-vingt-six communications dans les conférences
- Treize thèses de doctorat de troisième cycle, d'état ou d'Université
- Cinq rapports internes
- Dix notices

La liste complète de ces communications se trouve à la fin de ce document





## 5 APRES L'ARRET DE LA PHYSIQUE AU SYNCHROCYCLOTRON D'ORSAY

Le savoir-faire acquis auprès des installations ISOCELE a été d'une grande utilité pour la poursuite des activités dans ce domaine que ce soit pour poursuivre les expériences auprès des installations ISOLDE III et ISOLDE-Booster ou pour développer de nouvelles installations.

### 5.1 Poursuite des expériences auprès d'ISOLDE III et ISOLDE-Booster

**5.1.1 Expériences de spectroscopie atomique** (collaboration de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay avec l'université McGill de Montréal, le laboratoire Aimé Cotton d'Orsay et l'Institut de physique de l'université de Mayence)

Des expériences de spectroscopie atomique ont été proposées auprès d'ISOLDE III avec une version adaptée de l'ensemble expérimental PILIS 2 développé auprès d'ISOCELE II. En 1990, une première expérience a été réalisée sur les isotopes de platine obtenus par la décroissance radioactive des isotopes de mercure produits dans une cible de plomb fondu bombardée par le faisceau de protons de 600 MeV délivré par le synchrocyclotron du CERN. L'intensité du faisceau de protons tolérée par la cible de plomb fondu était alors limitée à 0,5  $\mu$ A. Cette première expérience n'a pas fourni de nouveaux résultats, elle a montré qu'il était indispensable d'améliorer la cible de plomb pour qu'elle supporte une plus haute intensité du faisceau de protons et produise un plus grand nombre d'isotopes de mercure afin de pouvoir réaliser les expériences projetées.

A la fin de 1990, le synchrocyclotron du CERN a été arrêté définitivement et ISOLDE a été transféré auprès du « Booster » du PS qui délivre un faisceau de protons de 1 GeV très intense mais sous la forme de 10 impulsions émises toutes les 1,2 s et qui durent seulement 2,4  $\mu$ s. Un certain nombre de ces impulsions étant envoyé sur la cible d'ISOLDE-Booster, celui-ci bénéficiait donc d'une partie du faisceau et pouvait travailler parallèlement aux autres installations.

Pour effectuer les expériences de spectroscopie atomique auprès d'ISOLDE-Booster, un nouvel ensemble expérimental COMPLIS (Collaboration for spectroscopic Measurements using a Pulsed Laser Ion Source), inspiré de PILIS 2 a alors été développé.

Il a été nécessaire :

- d'ajouter un injecteur de faisceaux d'atomes stables de l'élément étudié sur COMPLIS pour effectuer les réglages, en particulier ceux des faisceaux laser, puisque ISOLDE-Booster ne pouvait pas délivrer de faisceau d'isotopes stables des éléments platine, or et iridium
- d'étudier une nouvelle cible de plomb fondu capable de supporter l'intensité maximale et la structure extrêmement traumatisante du faisceau de protons délivré par le Booster, cette étude a été réalisée en collaboration étroite avec les membres du groupe en charge du développement des cibles d'ISOLDE
- de tenir compte de la structure du faisceau incident de protons lors de la réalisation des expériences

### 5.1.2 Expériences avec le spectrographe à 180°

L'installation utilisée à ISOCELE II a été modifiée en particulier pour adapter le dispositif de ralentissement des ions radioactifs à la valeur de la haute tension de 60 kV utilisée à ISOLDE-Booster beaucoup plus élevée que celle de 44 kV utilisée à ISOCELE.

## 5.2 Etudes PARRNe, Production d'Atomes Radioactifs Riches en Neutrons

Les atomes radioactifs dont le noyau a plus de neutrons que son(ses) isotope(s) stable(s) sont produits par la fission d'atomes très lourds tels que ceux d'uranium. Le but des études PARRNe était de déterminer les meilleures conditions expérimentales pour produire ces atomes par bombardement de l'uranium avec des neutrons rapides. Un faisceau de deutons délivré par un accélérateur frappait un convertisseur en béryllium ou en carbone pour briser les deutons et ainsi produire les neutrons rapides qui bombardaient une cible d'uranium.

Les premiers résultats sur les productions des gaz rares ont été assez encourageants [Ka00] pour décider d'élargir ces études à d'autres éléments en installant un séparateur en ligne, PARRNe 2, sur une des lignes de faisceau du TANDEM de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay qui délivrait un faisceau de deutons de 26 MeV avec une intensité jusqu'à un microampère. Les études poursuivies, par exemple [Ro06], ont permis de réaliser avec succès les premières expériences de physique en 2004 [Ve07].

Parallèlement en 1999 la photofission apparut comme une méthode très prometteuse pour produire les atomes riches en neutrons d'après une étude de W.T. Diamond [Di99]. Les rayonnements gamma devaient alors être produits par le ralentissement, dans un convertisseur en tungstène ou une cible d'uranium, d'un faisceau d'électrons de 20 à 50 MeV.

En 2002, Yu.TS. Oganessian et al. [Og02] utilisèrent un faisceau d'électrons de 25 MeV et d'une intensité de 20 microampères ralenti dans un convertisseur en tantale pour produire les rayonnements gamma servant à bombarder une cible d'uranium de masse 238. Les productions d'atomes riches en neutrons ainsi obtenus confirmèrent l'intérêt de la méthode.

Un test de production a alors été réalisé, au CERN à Genève, auprès de LIL (injecteur de l'accélérateur LEP) qui délivrait des faisceaux d'électrons de 50 MeV dont le freinage fournissait les rayonnements gamma nécessaires pour provoquer la fission de l'uranium contenu dans la cible. Les productions des atomes radioactifs recherchés se sont révélées effectivement supérieures avec l'utilisation de la photofission à celles obtenues avec le bombardement de la cible par les neutrons rapides provenant de la cassure des deutons de 26 MeV [Ib02]. Pendant la réalisation du test, au cours d'une conversation le responsable de l'accélérateur d'électrons LIL, a confié à Jacques Obert qu'il ne connaissait pas l'avenir de l'accélérateur puisque le LEP devait bientôt s'arrêter. Jacques Obert a transmis l'information à Alex Muller qui a obtenu que l'accélérateur devenu inutile au CERN soit cédé à l'IPN. L'accélérateur d'électrons a alors été installé auprès du séparateur PARRNe 2 donnant naissance à ALTO, Accélérateur Linéaire et Tandem à Orsay [Es03] et par conséquent à une nouvelle aventure ISOL à Orsay.

## 6 REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères vont à Jacques Obert pour l'aide extrêmement précieuse qu'il m'a apportée au cours de l'élaboration de ce document. Jacques Obert avait aussi très soigneusement archivé les diapositives réalisées pendant la construction et le fonctionnement des installations ISOCELE, je lui en suis très reconnaissante car elles m'ont été très utiles pour illustrer le propos.

Brigitte Roussière, Christine Jauretche, Christine Zaoui, David Verney, Evelyne Cottreau, Luc Petizon et Sophie Heurteau m'ont procuré les ouvrages, documents, matériels et/ou photographies nécessaires à la réalisation du document, que tous trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie chaleureusement Brigitte Roussière, Marie-Thérèse Commault, Fadi Ibrahim, David Verney et Jacques Obert qui ont accepté d'effectuer une lecture critique du document.

Enfin, Luc Petizon et Valérie Frois m'ont conseillée et aidée avec patience et gentillesse pour améliorer la présentation de l'ouvrage, je les en remercie très sincèrement.

## 7 REFERENCES

- [Ar86] J. Arianer, note technique SFEC T-34 (1986)
- [Ar88] J. Arianer, note technique SFEC T-37 (1988)
- [Be75] R. Béraud, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, P. Kilcher, J. Letessier, ISOCELE, Dijon 1975, Journal de Physique colloques, 36, C5 (1975) 101
- [Be77] R. Béraud, M. Meyer, M.G. Desthuilliers, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, ISOCELE, Nucl. Phys. A 284 (1977) 221
- [Be79] A. Ben Braham et al., Nucl. Phys. A 332 (1979) 397
- [Bo72] J. Bonn, G. Huber, H.-J. Kluge, L. Kugler, E.W. Otten, Phys. Lett. B 38 (1972) 308
- [Bo74] M. Bouet, C. Bourgeois, J. Obert, J.-C. Putaux, C.F. Liang, Rapport interne IPNO-74-02 et les références incluses
- [Bo77] C. Bourgeois, Thèse d'état, Université Paris-Sud, 21 avril 1977
- [Ca73] M. Cailliau, J. Letessier, H. Flocard, P. Quentin, Phys. Lett. B 46 (1973) 11
- [Ca76] A. Caruette et al., Rapport interne IPNO-76-10 et références incluses
- [Ch65] I. Chavet, Thèse d'université, Paris (1965)
- [Co75] J.R. Mc Connell, W.L. Talbert, Nucl. Instr. and Meth. 128 (1975) 227
- [Di99] W.T. Diamond, Nucl. Instr. and Meth. A 432 (1999) 471
- [Es03] S. Essabaa et al., Nucl. Instr. and Meth. B 204 (2003) 780 et références incluses
- [Fo73] R. Foucher, P. Paris and J.L. Sarrouy, proc. 8th. Int. EMIS Conf. (1973) p. 341
- [Ib02] F. Ibrahim et al., Eur. Phys. J. A 15 (2002)357 et références incluses
- [Ka00] S. Kandri-Rody et al., Nucl. Instr. and Meth. B 160 (2000) 1
- [Ki89] P. Kilcher et al., Nucl. Instr. and Meth. A 274 (1989) 485
- [Kl65] R. Klapisch and R. Bernas, Nucl. Instr. and Meth. 38 (1965) 291
- [Ko51] O. Kofoed-Hansen and K.O. Nielsen, Matematisk fysiske Meddelelser, bind 26, nr. 7 (1951)
- [Le76] G. Lempert and I. Chavet, Nucl. Instr. and Meth. 139 (1976) 7
- [Le88] J.K.P. Lee et al., Nucl. Instr. and Meth. B 34 (1988) 252
- [Le89] F. Leblanc, Thèse d'Université, Université Paris VII 1989, IPNO-T-90-01
- [Li80] C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, H. Szichman, ISOCELE, Z. Physik A 297 (1980) 303
- [Li81] C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, B. Weiss, A. Gizon, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 485
- [Li81a] C.F. Liang, A. Péghaire, P. Paris, B. Weiss, A. Gizon, Z. Physik A 299 (1981) 185
- [Li81b] C.F. Liang, P. Paris, G. Bastin, J. Obert, J.C. Putaux, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 709
- [Li82] C.F. Liang, P. Paris, D. Bucurescu, S. Della Negra, J. Obert, J.-C. Putaux, Z. Phys. A 309 (1982) 185 et références incluses
- [Li85] C.F. Liang, P. Paris, M.G. Porquet, J. Obert, J.C. Putaux, Z. Physik, A 321 (1985) 695
- [Li89] C.F. Liang, P. Paris, E. Ruchowska, C. Briançon, J. of Physics G 15 (1989) L31
- [Li90] C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, Nucl. Phys. A 520 (1990) 361
- [Og02] Yu.Ts. Oganessian et al., Nucl. Phys. A 701 (2002) 87c
- [Pa75] P. Paris, ISOCELE- note technique, CSNSM, 75-01
- [Pa76] P. Paris, V. Berg, A. Caruette, J. Obert, J.-C. Putaux, J.-L. Sarrouy, Nucl. Instr. and Meth. 139 (1976) 251
- [Pa76b] P. Paris, ISOCELE- note technique, CSNSM, 76-01
- [Pa81] P. Paris et al., Nucl. Instr. and Meth. 186 (1981) 91
- [Pi77] J. Pinard and S. Liberman, Opt. Commun. 20 (1977) 344
- [Po81] M.G. Porquet, Thèse d'état, Université Paris-Sud, 6 mai 1981
- [Pu74] J.-C. Putaux, J. Obert, P. Aguer, Nucl. Instr. and Meth. 121 (1974) 615

- [Pu81] J.-C. Putaux et al., Nucl. Instr. and Meth. 186 (1981) 321
- [Ro06] B. Roussière et al., Nucl. Instr. and Meth. B 246 (2006) 288
- [Ro81] B. Roussière, Thèse 3<sup> me</sup> cycle, Université Pierre et Marie Curie, 6 mai 1981
- [Ro86] B. Roussière, Thèse d' tat, Université Paris-Sud, 16 décembre 1986
- [Sa00] J. Sauvage et al., Int. Conf. on Nuclear Structure and related Topics, Dubna, june 2000, IPNO-DR 00-21 and Hyperfine Interaction 129 (2000) 303
- [Sa65] J.-L. Sarrouy, J. Camplan, J.S. Dionisio, J. Fournet-Fayas, G. Levy, J. Obert, Nucl. Instr. and Meth. 38 (1965) 29
- [Sa84] J. Sauvage et al., TRIUMF-ISOL WORKSHOP, June 1984, proc. TRI-84-1
- [Tu11] J.K. Tuli, Nuclear Wallet Cards, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA, 8<sup> me</sup> Edition 2011
- [Ve07] D. Verney et al., Phys. Rev. C 76 (2007) 054312-1
- [We83] B. Weiss, C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, A. Gizon, Z. Physik A 313 (1983) 173
- [Ze79] A. Zerrouki, Thèse 3<sup> me</sup> cycle, Université Paris-Sud, 16 juin 1979

## 8 PUBLICATIONS

«On-line separation of thulium isotopes »

J.C. Putaux, J. Obert, P. Aguer, *Nuclear Instruments and Methods* 121 (1974) 615

« Coexistence de forme dans le noyau  $^{187}\text{Au}$  »

M.A. Deleplanque, C. Gerschel, M. Ishihara, N. Perrin, V. Berg, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, J.P. Husson, P. Kilcher, J. Letessier, *Journal de Physique* 36 (1975) L-205

«Some features of odd Au nuclei revealed by half-life measurements »

V. Berg, C. Bourgeois, R. Foucher, *Journal de Physique* 36 (1975) 613

« The decay of 4 min  $^{158}\text{Tm}$  »

P. Aguer, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, A. Chavet, R. Duffait, G. Marguier, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 249 (1975) 239

«Etude du schéma de désintégration du thulium-159»

P. Aguer, G. Bastin, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, *Compte Rendu de l'Académie des Sciences Paris B* 281 (1975) 509

«The decay of 80s  $^{156}\text{Tm}$ »

P. Aguer, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, A. Charvet, R. Duffait, G. Marguier, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 252 (1975) 293

« $^{188}\text{Hg}$ , cas limite des noyaux critiques»

C. Bourgeois, M. Bouet, A. Caruette, A. Ferro, R. Foucher, J. Fournet, A. Höglund, L. Kotfila, G. Landois, C.F. Liang, B. Merlant, J. Obert, A. Péghaire, J.C. Putaux, J.L. Sarrouy, W. Watzig, A. Wojtasiewicz, V. Berg, ISOCELE, *Journal de Physique* 37 (1976) 49

« Band crossing in  $^{186}\text{Hg}$  »

R. Béraud, M. Meyer, M.G. Desthuilliers, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 284 (1977) 221

«Etude de la décroissance de  $^{157}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 3,3$  min) et de  $^{155}\text{Tm}$  ( $T_{1/2} = 25$  s)»

P. Aguer, G. Bastin, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, *Journal de Physique* 38 (1977) 435

« Etude par spectroscopie « en ligne » des états d'énergie de  $^{187}\text{Au}$  : interprétation en termes de déformations nucléaires triaxiales »

C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, V. Berg, M.G. Desthuilliers, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 295 (1978) 424

« Etude de la désintégration radioactive de  $^{187}\text{Au}$  : existence de transitions E0 dans  $^{187}\text{Pt}$  »

A. Ben Braham, V. Berg, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, M.G. Desthuilliers-Porquet, C. Shück, A. Huck, A. Knipper, C. Richard-Serre, A. Höglund, ISOCELE, ISOLDE, *Nuclear Physics A* 332 (1979) 397

« Single-electron detection and timing with channel-plate electron multipliers »

J. Oms, J. Pouthas, G. Landois, J. Girard, *Nuclear Instruments and Methods* 165 (1979) 549

«New Results in the Decay of  $^{150}\text{Ho}$  and  $^{152}\text{Tm}$ »

C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, H. Szychman, ISOCELE, *Zeitschrift für Physik A* 297 (1980) 303

«Transition probabilities between the first excited state and the ground state in the  $N = 81$  nuclei,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{141}\text{Nd}$ ,  $^{143}\text{Sm}$  and  $^{145}\text{Gd}$ »

M.C. Abreu, V. Berg, J. Oms, K. Heyde, M. Waroquier, P. Van Isacker, G. Wenes, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 349 (1980) 301

«New isomers in neutron-deficient isotopes of  $^{124}\text{Cs}$  and  $^{127}\text{Ba}$ »

C.F. Liang, A. Péghaire, P. Paris, B. Weiss, A. Gizon, *Zeitschrift für Physik A* 299 (1981) 185

«Decay of  $^{185\text{m}+\text{g}}\text{Hg}$ : low-spin levels of  $^{185}\text{Au}$  as a test of nuclear models»

C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage-Letessier, M.G. Porquet, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 386 (1982) 308

«Selective On-Line Separation of new Ta, Zr and Sr Isotopes»

C.F. Liang, P. Paris, D. Bucurescu, S. Della Negra, J. Obert, J.C. Putaux, *Zeitschrift für Physik A* 309 (1982) 185

«New isomers and their decay in odd-odd neutron-deficient cesium isotopes»

B. Weiss, C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, A. Gizon, *Zeitschrift für Physik A* 313 (1983) 173

«Transition rates between negative-parity states in odd-mass gold nuclei»

V. Berg, Z. Hu, J. Oms, C. Ekstrom, *Nuclear Physics A* 410 (1983) 445

«Half-life measurements of excited levels in  $^{157,159,161}\text{Er}$ »

V. Berg, J. Oms, M.C. Abreu, K. Fransson, Z. Hu, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 399 (1983) 119

«Shape coexistence in the odd-odd  $^{186}\text{Au}$  nucleus»

M.G. Porquet, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 411 (1983) 65

« $\beta^+$ /EC Decay of  $^{181}\text{Au}$ , Gamma-Ray Identification»

F. Bragança-Gil, C. Bourgeois, P. Kilcher, G. Parot, M.G. Porquet, B. Roussière, J. Sauvage-Letessier, ISOCELE, *Portugaliae Physica* 15 (1984) 59

«Decays of  $^{183}\text{Hg}$  and  $^{183}\text{Au}$ »

M.I. Macias-Marques, C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage, M. C. Abreu, M.G. Porquet, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 427 (1984) 205

«Decays of the  $^{108\text{g}}\text{In}$  and  $^{106\text{g}}\text{In}$ »

B. Roussière, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, C. Bourgeois, R. Béraud, R. Duffait, M. Meyer, J. Genevey-Rivier, J. Tr herne, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 419 (1984) 61

«Decay of  $^{185}\text{Au}$ : sign of shape coexistence in  $^{185}\text{Pt}$ »

B. Roussière, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage, M.G. Porquet, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 438 (1985) 93

«Half-life measurements in doubly-odd  $^{186,188,190}\text{Au}$  nuclei and the  $^{188}\text{Hg} \rightarrow ^{188}\text{Au}$  decay»

M.C. Abreu, V. Berg, K. Fransson, A. Höglund, J. Oms, M.G. Porquet, *Nuclear Physics A* 437 (1985) 324

«On line separation of  $^{163}\text{Ta}$  and  $^{162}\text{Ta}$ »

C.F. Liang, P. Paris, M.G. Porquet, J. Obert, J.C. Putaux, C.F. Liang, *Zeitschrift für Physik A* 321 (1985) 695

« $^{124}\text{Ba}$  decay to the  $^{124}_{55}\text{Cs}_{69}$  low-spin levels»

B. Weiss, A. Gizon, C.F. Liang, P. Paris, ISOCELE, *Zeitschrift für Physik A* 323 (1986) 227

«Half-life and electromagnetic de-excitation rate measurements for  $1/2^+$  and  $3/2^+$  states in odd-proton nuclei around  $Z=82$ »

V. Berg, J. Oms, K. Fransson, Z. Hu, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 453 (1986) 93

«Transition probabilities in neutron deficient odd cesium and xenon nuclei»

K. Fransson, J. Oms, M.C. Abreu, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 469 (1987) 323

«Decay of  $^{83}\text{Zr}$  and low-energy level structure of  $^{83}\text{Y}$ »

M.S. Rapaport, C.F. Liang, P. Paris, *Physical Review C* 36 (1987) 303

« Relative energies of the  $\pi h_{11/2}$  and  $\pi s_{1/2}$   $\beta$ -decay isomers of  $^{147}\text{Tb}_{82}$  and  $^{151}\text{Ho}_{84}$  »

C.F. Liang, P. Paris, P. Kleinheinz, B. Rubio, M. Piiparinen, D. Schardt, A. Plochocki, R. Barden, *Physics Letters B* 191 (1987) 245

«Structure of Doubly-Odd Nucleus  $^{184}\text{Ir}$  from the Decay of  $^{184}\text{Pt}$ »

A. Ben Braham, C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage, M. G. Porquet, A.J. Kreiner, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 482 (1988) 553

«Decay of  $^{183}\text{Ir}$ : Shape of  $^{183}\text{Os}$  and  $^{185}\text{Pt}$  in their low-spin states»

B. Roussière, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage, M.G. Porquet, A. Wojtasiewicz, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 485 (1988) 111

«PILIS: Post-ISOCELE Laser Isobar Separation – an apparatus for laser spectroscopic studies of laser-desorbed atoms»

J.K.P. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Nuclear Instruments and Methods B* 34 (1988) 252

«Charge-radius changes in even-A platinum nuclei »

J.K.P. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, *Physical Review C* 38 (1988) 2985

«A new isotope  $^{220}_{85}\text{At}_{135}$ »

C.F. Liang, P. Paris, E. Ruchowska, C. Briançon, *Journal of Physics G* 15 (1989) L31

«Decay of  $^{183}\text{Au}$ : Low-spin states of  $^{183}\text{Pt}$ »

B. Roussière, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage, M.G. Porquet, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 504 (1989) 511

«Decay of Doubly-Odd Nucleus  $^{184}\text{Ir}$ »

M.G. Porquet, C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage, H. Dautet, J.K.P. Lee, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 499 (1989) 495

«Very Low-Energy Conversion Electron Detection (VLECED) System at the ISOCELE On-Line Isotope Separator, Orsay»

P. Kilcher, J. Sauvage, A. Wojtasiewicz, J. Munsch, J. Obert, A. Caruette, A. Ferro, G. Boissier, J. Fournet-Fayas, M. Ducourtieux, G. Landois, R. Sellem, D. Sznajderman, ISOCELE, *Nuclear Instruments and Methods A* 274 (1989) 485



- «Quasiparticle states in  $^{152}\text{Dy}$  observed in  $\beta$ -decay of  $9^+$  and  $2^-$   $^{152}\text{Ho}$ »  
A. Gadea, B. Rubio, J.L. Tain, P. Kleinheinz, C.F. Liang, P. Paris, *Zeitschrift für Physik A* 333 (1989) 407
- «Decay of  $^{133}\text{Nd}$  and structure of  $^{133}\text{Pr}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, D. Bucurescu, M.S. Rapaport, *Physical Review C* 40 (1989) 2796
- «Shape Transition in Neutron Deficient Pt Isotopes»  
H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, G. Savard, J.K.L. Lee, J.E. Crawford, G. Thekkadath, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Physics Letters B* 217 (1989) 401
- «Decay of  $^{133}\text{Pr}$  and structure of  $^{133}\text{Ce}$ »  
M.S. Rapaport, D. Bucurescu, C.F. Liang, P. Paris, *Physical Review C* 42 (1990) 1959
- «Collective and quasiparticle excitations in  $^{180}\text{Pt}$ »  
M.J.A. De Voigt, R. Kaczarowski, H.J. Riezebos, R.F. Noorman, J.C. Bacelar, M.A. Deleplanque, R.M. Diamond, F.S. Stefens, J. Sauvage, B. Roussière, *Nuclear Physics A* 507 (1990) 472
- «Laser Spectroscopy of Laser-Desorbed Gold Isotopes»  
G. Savard, J.E. Crawford, J.K.P. Lee, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 512 (1990) 241
- «Reflection asymmetry in the near spherical nucleus  $^{219}\text{Fr}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *Nuclear Physics A* 520 (1990) 361
- «The  $\beta$  decay of  $^{215}\text{Bi}$  and a firm identification of  $^{216}\text{Bi}$ »  
E. Ruchowska, J. Zylicz, C.F. Liang, P. Paris, C. Briançon, *Journal of Physics G* 16 (1990) 255
- «Reflection asymmetry shape in  $^{221}\text{Ra}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, C. Briançon, R.K. Sheline, *International Journal of Modern Physics A* 5 (1990) 1551
- «Level structure and reflection asymmetry shape in  $^{223}\text{Ac}$ »  
R.K. Sheline, C.F. Liang, P. Paris, *International Journal of Modern Physics A* 5 (1990) 2821
- «Structure of low-spin states in  $^{186}\text{Ir}$ »  
A. Ben Braham, C. Bourgeois, P. Kilcher, F. Le Blanc, B. Roussière, J. Sauvage, A.J. Kreiner, M.G. Porquet, ISOCELE, *Nuclear Physics A* 533 (1991) 113
- « $^{219}\text{Fr}$ , a transitional reflection asymmetric nucleus»  
C.F. Liang, P. Paris, J. Kvasil, R.K. Sheline, *Physical Review C* 44 (1991) 676
- «Symmetry properties of the  $K = 0^\pm$  bands in reflection asymmetric  $^{224}\text{Ac}$ »  
R.K. Sheline, J. Kvasil, C.F. Liang, P. Paris, *Physical Review C* 44 (1991) R 1732
- «Non-yrast level structure of  $^{121}\text{Xe}$  via  $\beta$ -decay of  $^{121\text{m}+\text{g}}\text{Cs}$ »  
J. Genevey, A. Gizon, G. Marguier, C. Richard-Serre, A. Knipper, P. Paris, C.F. Liang, B. Weiss, ISOLDE, ISOCELE, *Zeitschrift für Physik A* 338 (1991) 405
- « $\beta^+$ -endpoint measurements near  $^{100}\text{Sn}$  and  $^{146}\text{Gd}$ »  
H. Keller, R. Kirchner, O. Klepper, E. Roeckl, D. Schardt, R.S. Simon, P. Kleinheinz, R. Menegazzo, C.F. Liang, P. Paris, K. Rykaczewski, J. Zylicz, *Zeitschrift für Physik A* 340 (1991) 363

- «Reflection asymmetry in the transitional odd-odd nucleus  $^{220}\text{Fr}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *International Journal of Modern Physics E 1* (1992) 363
- «Octupole instability and E1 transitions in  $^{223}\text{Ra}$  and in the neighbouring even isotopes of radium»  
E. Ruchowska, J. Zylicz, C.F. Liang, P. Paris, Ch. Briancon, *Journal of Physics G 18* (1992) 131
- «New investigation of  $^{83}\text{Zr}$  and  $^{85}\text{Zr}$  beta decay»  
D. Bucurescu, M.S. Rapaport, C.F. Liang, P. Paris, G. Cata-Danil, *Zeitschrift für Physik A 342* (1992) 403
- «Decays of  $^{181}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 3.6$  s) and  $^{181}\text{Au}$  ( $T_{1/2} = 11.4$  s), and low-spin states of  $^{181}\text{Pt}$  and  $^{177,181}\text{Ir}$ »  
J. Sauvage, C. Bourgeois, P. Kilcher, F. Le Blanc, B. Roussière, M.I. Macias-Marques, F. Bragança Gil, M.G. Porquet, H. Dautet, ISOCELE, *Nuclear Physics A 540* (1992) 83
- «Evidence for abnormal M1 transition in  $^{187}\text{Pt}$ »  
B. Roussière, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, J. Sauvage, H. Dautet, ISOCELE, *Nuclear Physics A 548* (1992) 227
- «PILIS: Post-ISOCELE Laser Isobar Separation – a high efficiency apparatus for laser spectroscopy»  
F. Le Blanc, J. Pinar, J. Arianer, J.E. Crawford, H. Dautet, H.T. Duong, P. Kilcher, J.K.P. Lee, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, G. Thekkadath, ISOCELE, *Nuclear Instruments and Methods B 72* (1992) 111
- «Reflection asymmetry in the odd-odd nucleus  $^{224}\text{Ac}$ »  
R.K. Sheline, J. Kvasil, C.F. Liang, P. Paris, *Journal of Physics G 19* (1993) 617
- «Shell model level structure in  $^{215}\text{At}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *Physical Review C 47* (1993) 1801
- «Alpha-decay of  $^{216}\text{At}$  and the level structure of  $^{212}\text{Bi}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *Physical Review C 49* (1994) 1872
- «Evidence for  $\gamma$  vibrations and shape evolution through the transitional  $^{184, 186, 188, 190}\text{Hg}$  nuclei»  
J.P. Delaroche, M. Girod, G. Bastin, I. Deloncle, F. Hannachi, J. Libert, M.G. Porquet, C. Bourgeois, D. Hojman, P. Kilcher, A. Korichi, F. Le Blanc, N. Perrin, B. Roussière, J. Sauvage, H. Sergolle, *Physical Review C 50* (1994) 2332
- « Gradient-field electron guides for conversion electron studies »  
P. Paris, C.F. Liang, B. Legrand, *Nuclear Instruments and Methods A 357* (1995) 398
- «The low-spin states in the doubly odd  $^{182}\text{Ir}$  nucleus and the influence of the proton-neutron interaction»  
J. Sauvage, D. Hojman, F. Ibrahim, B. Roussière, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, J. Libert, ISOCELE, (1995) *Nuclear Physics A 592* (1995) 221
- «Location of the  $^{181}\text{Os}$  isomeric state»  
B. Roussière, F. Ibrahim, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, J. Sauvage, A. Wojtasiewicz, ISOCELE, *Zeitschrift für Physik A 351* (1995) 127
- «Structure and reflection asymmetry in  $^{227}\text{Th}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, D. Nozek, J. Kvasil, *Physical Review C 51* (1995) 1199

«Level structure of  $^{216}\text{At}$ »

R.K. Sheline, C.F. Liang, P. Paris, *Physical Review C* 53 (1996) 2152

«Lifetime measurements by delayed coincidences with and without a complete knowledge of the prompt curve. Application to levels in  $^{184}\text{Ir}$  and  $^{185,187}\text{Pt}$ »

J. Oms, M.C. Abreu, C. Bourgeois, F. Bragança Gil, ISOCELE, *Nuclear Instruments and Methods A* 368 (1996) 403

«Transitional nature of the level structure of  $^{217}\text{Rn}$ »

C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *Physical Review C* 55 (1997) 2768

«The configurations and level structure of  $^{214}\text{At}$ »

R.K. Sheline, P. Alexa, C.F. Liang, P. Paris, *Physical Review C* 59 (1999) 101

«Level structure of  $^{123}\text{Cs}$  observed from  $^{123}\text{Ba}$  decay and described using the IBFM and CQPC models»

A. Gizon, B. Weiss, P. Paris, C.F. Liang, J. Genevey, J. Gizon, V. Barci, Ch. Căta-Danil, J.S. Dionisio, J.M. Lagrange, M. Pautrat, J. Vanhorenbeeck, Ch. Vieu, L. Zolnai, J.M. Arias, J. Barea, Ch. Droste, *European Physical Journal A* 8 (2000) 41

«Low-spin states in  $^{182}\text{Os}$  and  $K^\pi = 0^+, 2^+$  excited bands»

M.A. Cardona, D. Hojman, B. Roussière, J. Libert, J. Genevey, J. Sauvage, ISOCELE, ISOLDE, *European Physical Journal A* 31 (2007) 141

«Decay of  $^{185}\text{Tl}$ ,  $^{185\text{m}+\text{g}}\text{Hg}$ ,  $^{189\text{m}+\text{g}}\text{Pb}$  and energy location of the  $13/2^+$  isomeric states in  $^{185}\text{Hg}$ ,  $^{189}\text{Pb}$ ,  $^{193}\text{Po}$  and  $^{197}\text{Rn}$ »

J. Sauvage, B. Roussière, J. Genevey, S. Franchoo, A.N. Andreyev, N. Barr , A. Ben Braham, C. Bourgeois, J.F. Clavelin, H. De Witte, D.V. Fedorov, V.N. Fedoseyev, L.M. Fraile, X. Grave, G. Huber, M. Huyse, P. Kilcher, U. K ster, P. Kunz, S.R. Leshner, B.A. Marsh, I. Mukha, J. Oms, M.G. Porquet, M. Seliverstov, I. Stefanescu, K. Van de Vel, P. Van Duppen, YU.M. Volkov, A. Wojtasiewicz, *European Physical Journal A* 49 (2013) 109

## 9 COMMUNICATIONS DANS LES CONFERENCES

« The Orsay on-line separator »

R. Foucher, P. Paris, J.-L. Sarrouy, ISOCELE, *EMIS 8 Skövde 1973, proceedings p. 341*

« Target ion source systems at ISOCELE on-line separator»

J.C Putaux, J. Obert, C.F. Liang, *Aarhus 1975*

«Étude en Ligne sur ISOCELE de la Désintégration  $^{186}\text{Tl} \rightarrow ^{186}\text{Hg}$ »

R. Béraud, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, P. Kilcher, J. Letessier, ISOCELE, *Dijon 1975, Journal de Physique Colloques, 36 (1975) C5-101*

« Etude de la transition de forme aplatie à allongée entre  $^{187}\text{Pt}$  et  $^{185}\text{Pt}$ »

M.A. Deleplanque, C. Gerschel, N. Perrin, B. Ader, V. Berg, C. Bourgeois, J.P. Husson, P. Kilcher, J. Letessier, *Dijon 1975, Journal de Physique 36 (1975) C5-97*

« Etude de la décroissance de  $^{158}\text{Tm}$  »

P. Aguer, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, A. Charvet, R. Duffait, G. Marguier, *Dijon 1975, Journal de Physique colloques, 36 (1975) C5-104*

« Coexistence de forme dans le noyau  $^{187}\text{Au}$  »

M.A. Deleplanque, C. Gerschel, M. Ishihara, N. Perrin, V. Berg, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, J.P. Husson, P. Kilcher, J. Letessier, *Dijon 1975, Journal de Physique 36 (1975) C5-105*

« Low-Lying States of  $^{187}\text{Au}$ »

V. Berg, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, P. Kilcher, J. Letessier, *Symposium on Nuclear Structure Balaton 1975*

« The decay of 80 s  $^{156}\text{Tm}$ »

P. Aguer, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, A. Charvet, R. Duffait, G. Marguier, *Symposium on Nuclear Structure Balaton 1975*

«Development of the Orsay High Current On-Line Separator ISOCELE»

P. Paris, V. Berg, A. Caruette, J. Obert, J.C. Putaux, J.L. Sarrouy, ISOCELE, *EMIS 9 Kiryat Anavim 1976, Nuclear Instruments and Methods 139 (1976) 251*

« Shape Transition between  $^{187}\text{Pt}$  and  $^{185}\text{Pt}$ »

C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, P. Kilcher, J. Letessier, J.P. Husson, V. Berg, A. Höglund, A. Huck, A. Knipper, C. Richard-Serre, C. Sebillé-Schück, M.A. Deleplanque, C. Gerschel, M. Ishihara, N. Perrin, B. Ader, ISOCELE, *Cargèse 1976, CERN 76-13 p. 456*

«The decay of 200 sec  $^{157}\text{Tm}$ »

P. Aguer, G. Bastin, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, ISOCELE, *Cargèse 1976, CERN 76-13 p. 380*

«Transitional even erbium isotopes »

P. Aguer, G. Bastin, C.F. Liang, J. Libert, P. Paris, A. Péghaire, A. Charvet, R. Duffait, G. Marguier, ISOCELE, *Cargèse 1976, CERN 76-13 p. 377*

« Low spin-low energy phase transitions in atomic nuclei »

V. Berg, C. Bourgeois, R. Foucher, J.P. Husson, W. de Wiclawick, J. Dionisio, C.F. Liang, A. Péghaire, C. Vieu, W. Watzig, A. Höglund, A. Wojtasiewicz, *Cargèse 1976, CERN 76-13 p. 367*

«Competition of nuclear shapes in Hg, Au and Pt isotopes near A=186»

C. Bourgeois, V. Berg, R. Foucher, J. P. Husson, P. Kilcher, J. Letessier, M.A. Deleplanque, C. Gerschel, N. Perrin, B. Ader, M.G. Desthuilliers, C.F. Liang, A. Péghaire, R. Béraud, A. Höglund, W. Watzig, A. Wojtasiewicz, M. Ishihara, ISOCELE, Baku 1976, *Izvestiya Akademii Nauk SSSR 40 n° 10 (1976) 74*

«The  $\pi h_{9/2}$  intruder state in the odd-mass Au nuclei»

C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, M.G. Desthuilliers, F. Beck, T. Byrski, A. Knipper, *Tokyo 1977, proceedings p. 432*

«EO multipolarities in  $^{187}\text{Pt}$ »

A. Ben Braham, V. Berg, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Letessier, M.G. Desthuilliers, C. Sébille-Schück, A. Huck, A. Knipper, C. Richard-Serre, *28<sup>th</sup> National Conférence on Spectroscopy and Structure of the Atomic Nucleus, Alma Ata 1978*

«The new Orsay on-line separator ISOCELE and the beginning of its exploitation for nuclear research»

V. Berg, *Symposium Nashville 1979, proceedings p. 353*

«Nuclei far from the stability line and subjectivity»

R. Foucher, *Symposium Nashville 1979, proceedings p. 365*

«New Results on  $^{185}\text{Au}$  Revealed by Detection of Low-Energy Electrons»

C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers-Porquet, P. Kilcher, J.Sauvage-Letessier, B. Roussière, C. Schück, ISOCELE, *Berkeley 1980, proceedings abstracts p. 152*

«Level Scheme of  $^{188}\text{Au}$  from the  $^{188}\text{Hg} \beta^+/\text{EC} \ ^{188}\text{Au}$  Decay (3.3 m) »

M.C. Abreu, V. Berg, C. Bourgeois, A. Höglund, P. Kilcher, J. Oms, J. Sauvage-Letessier, C. Schück, ISOCELE, *Berkeley 1980, proceedings abstracts p. 742*

«New results on  $^{185}\text{Au}$  revealed by detection of low-energy electrons»

C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers-Porquet, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, B. Roussière, C. Schück, M.C. Abreu, V. Berg, K. Fransson, J. Oms, ISOCELE, *Berkeley 1980, proceedings p. 152*

«Esquema de níveis do núcleo  $^{188}\text{Au}$ »

M.C. Abreu, V. Berg, C. Bourgeois, J. Oms, J. Sauvage-Letessier, C. Schück, A. Höglund, ISOCELE, *Congres "FISICA 80", Porto 1980*

«Target Ion Source Systems at the Orsay ISOCELE II Separator»

J.C. Putaux, J. Obert, L. Kotfila, B. Roussière, J. Sauvage-Letessier, C. F. Liang, A. Péghaire, P. Paris, J. Giroux, ISOCELE, *EMIS 10 Zinal 1980, Nuclear Instruments and Methods A 186 (1981) 321*

«Description and Performance of the ISOCELE II Separator»

P. Paris, C.F. Liang, D. Lecouturier, M. Arianer, J. Obert, A. Caruette, A. Ferro, J. Fournet, J.C. Putaux, J.L. Sarrouy, ISOCELE, *EMIS 10 Zinal 1980, Nuclear Instruments and Methods A 186 (1981) 91*

«Derniers résultats concernant les noyaux d'or de masse impaire»

J. Sauvage-Letessier, V. Berg, C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers, Z. Hu, P. Kilcher, J. Oms, B. Roussière, *Journées de spectroscopie nucléaire IN2P3 Lyon 1981*

- «Mise en évidence des états  $O^+$  dans les cadmium pairs-pairs»  
B. Roussière, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, R. Béraud, R. Duffait, M. Meyer, J. Genevey-Rivier, J. Tr herne, *Journées de spectroscopie nucléaire IN2P3 Lyon 1981*
- «Search for first  $O^+$  excited states in  $^{108}\text{Cd}$  and  $^{106}\text{Cd}$ »  
B. Roussière, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, R. Béraud, R. Duffait, M. Meyer, J. Genevey-Rivier, J. Tr herne, *ISOCELE, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 465*
- «A new 6.3 seconds isomer in  $^{124}\text{Cs}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, B. Weiss, A. Gizon, *Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 485*
- «New isomer and low-energy intrinsic states in  $^{127}\text{Ba}$ »  
C.F. Liang, P. Paris, A. Péghaire, B. Weiss, A. Gizon, *Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 487*
- «The decay of  $^{153}\text{Ho}$  to the transitional  $N = 87$  nucleus  $^{153}\text{Dy}$ »  
P. Paris, C.F. Liang, A. Péghaire, *ISOCELE, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 598*
- «The decay of  $^{185}\text{Hg}$ : low-spin states in  $^{185}\text{Au}$  as a probe of the nuclear models»  
C. Bourgeois, M.G. Desthuilliers-Porquet, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage-Letessier, *ISOCELE, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 618*
- « $\gamma$ -transition rates in transitional odd gold nuclei»  
V. Berg, Z. Hu, J. Oms, *ISOCELE, Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 628*
- «On-line separation of refractory hafnium and tantalum isotopes at the ISOCELE separator»  
C.F. Liang, P. Paris, G. Bastin, J. Obert, J.C. Putaux, *Helsingor 1981, CERN 81-09 p. 709*
- «The  $^{185\text{m}}\text{Hg} \rightarrow ^{185}\text{Hg}$  decay»  
C. Bourgeois, P. Kilcher, M.G. Desthuilliers-Porquet, B. Roussière, J. Sauvage-Letessier, *ISOCELE, 4<sup>th</sup> International Symposium on Neutron-Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics Grenoble 1981, proceedings p. 245*
- «Nuclear lifetime measurements and the systematic behaviour of some low-energy levels in odd-odd  $^{186,188,190,192}\text{Au}$ »  
M.C. Abreu, V. Berg, K. Fransson, Z. Hu, J. Oms, M.G. Porquet, *ISOCELE, Amsterdam 1982, proceedings V. 1, p. 274*
- «Shape coexistence in the odd-odd  $^{186}\text{Au}$  nucleus»  
M.G. Porquet, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage, *ISOCELE, Amsterdam 1982, proceedings V.1, p. 156*
- «Structure of the  $1^-_g$  and  $2^-_1$  states in doubly-odd  $^{188,190,192}\text{Au}$ »  
M.C. Abreu, V. Berg, C. Bourgeois, K. Fransson, Z. Hu, P. Kilcher, J. Oms, M.G. Porquet, B. Roussière, J. Sauvage, *Florence 1983, proceedings V. 1, B23*
- « $1/2^- [521]$  quasi-rotational band in neutron deficient platinum isotopes»  
B. Roussière, C. Bourgeois, F. Bragança-Gil, P. Kilcher, M.I. Macias-Marqu s, M.G. Porquet, J. Sauvage, *Symposium Debrecen 1984, proceedings p. 387*
- «Low-spin states of  $^{185}\text{Pt}$ »  
B. Roussière, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage-Letessier, M.G. Desthuilliers-Porquet, *Symposium Debrecen 1984, proceedings p. 389*

«Isomeric States in Neutron-Deficient Mercury and Platinum Isotopes»

C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage, M.G. Porquet, M.I. Macias-Marquès, A. Wojtasiewicz, ISOCELE, *Darmstadt-Seeheim 1984, AMCO-7, proceedings (1984) 251*

« $Q_{\beta}$  Measurements of  $^{184,188}\text{Hg}$ ,  $^{184,188}\text{Au}$ »

H. Dautet, N. Campeau, J.K.P. Lee, C. Bourgeois, B. Roussière, A. Houdayer, *Darmstadt-Seeheim 1984, AMCO-7, proceedings (1984) 257*

«ISOCELE II Separator: Interest of Medium Currents, Recent Results and Future Developments »

J. Sauvage, C. Bourgeois, A. Caruette, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, A. Ferro, J. Fournet, L. Kotfila, C.F. Liang, P. Paris, M.G. Porquet, G. Cornudet, *Workshops Mont-Gabriel 1984, proceedings: TRI-84-1, p. 161*

«Extrapolation of the ISOCELE methods for nuclear spectroscopy studies in new regions at ISOLDE 3»

P. Paris, C.F. Liang, J. Obert, J.C. Putaux, *Workshop on the ISOLDE programme, Zinal juin 1984*

«Beta spectroscopy of  $^{185,187}\text{Au}$ »

H. Dautet, J.K.P. Lee, G. Pepin, B. Roussière, ISOCELE, *Eastern Regional Nuclear Physics Meeting Chalk-River 1986*

«Comparison between Nier-Bernas and Nielsen type ion sources for extracted ion-beam intensities in the mA range»

J.C. Putaux, J. Obert, G. Boissier, P. Paris, ISOCELE, EMIS 11 Los Alamos 1986, *Nuclear Instruments and Methods B 26 (1987) 213*

«Study of  $^{183}\text{Os}$  and  $^{181,183}\text{Pt}$ »

B. Roussière, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Sauvage, M.G. Porquet, A. Wojtasiewicz, M.I. Macias-Marquès, F. Bragança-Gil, *Crète 1987, proceedings vol. 1, p. 79*

«High Resolution Laser Spectroscopy of Radioactive Atoms»

H.T. Duong, S. Liberman, J. Pinard, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, J.K.L. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, *8<sup>th</sup> International Conference on Laser Spectroscopy Åre 1987, proceedings p. 165*

«Detection of Low-Energy Conversion Electrons and Location of Isomeric States»

P. Kilcher, J. Sauvage, C. Bourgeois, F. Le Blanc, J. Oms, B. Roussière, J. Munsch, J. Obert, A. Caruette, A. Ferro, G. Boissier, J. Fournet-Fayas, M. Ducourtieux, G. Landois, R. Sellem, D. Szadjerman, A. Wojtasiewicz, M.C. Abreu, A. Ben Braham, K. Fransson, M.G. Porquet, ISOCELE, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 517*

«Low-spin states in  $^{122}\text{Cs}$ »

B. Weiss, A. Gizon, C.F. Liang, P. Paris, ISOCELE, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 415*

«Resonant ionization spectroscopy of laser-desorbed gold isotopes»

J.K.P. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 205*

«Study of transitional doubly-odd  $^{186}\text{Ir}$  and  $^{184}\text{Ir}$ »

A. Ben Braham, C. Bourgeois, P. Kilcher, J. Oms, B. Roussière, J. Sauvage, M.G. Porquet, A.J. Kreiner, ISOCELE, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 513*

«The Alpha-Decay of Mass-Separated  $^{225}\text{Th}$ »

C.F. Liang, P. Paris, Ch. Briançon, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 521*

«Proton-neutron interaction and the relative isomer masses in  $^{148}\text{Tb}$ »

J. Styczen, P. Kleinheinz, W. Starzecki, B. Rubio, G. de Angelis, H.J. Hähn, C.F. Liang, P. Paris, R. Reinhardt, P. Von Brentano, J. Blomqvist, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988)489*

«Q-values and isomer energies from high-resolution alpha- and gamma-ray spectroscopy above  $^{146}\text{Gd}$ »

D. Schardt, R. Barden, R. Kirchner, O. Klepper, A. Plochocki, E. Roeckl, P. Kleinheinz, M. Piiparinen, B. Rubio, K. Zuber, C.F. Liang, P. Paris, A. Huck, G. Walter, G. Marguier, H. Gabelmann, J. Blomqvist, *Rosseau Lake 1987, AIP 164 (1988) 477*

«Charge Radius Changes in Neutron-Deficient Platinum by Laser Spectroscopy»

J.K.P. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *26<sup>th</sup>International Winter Meeting on Nuclear Physics Bormio 1988, proceedings p. 523*

«First Laser Spectroscopy Results for Radioactive Isotopes»

J.E. Crawford, J.K.P. Lee, G. Savard, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Eastern Regional Nuclear Physics Meeting Montreal 1988*

« High Resolution Laser Spectroscopy of Laser-Desorbed Atoms »

G. Savard, J.K.P. Lee, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Symposium Gaithersburg 1988, proceedings IPCS N° 94 (1988) 171*

« Charge Radius Changes in Radioactive Platinum Isotopes»

J.K.P. Lee, G. Savard, J.E. Crawford, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Meeting Baltimore 1988, Bull. A.P.S. N° 4 (1988) 982*

«Nuclear Charge Radius Variations of Gold Isotopes from A = 186 to 199»

J. Sauvage, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, J.E. Crawford, J.K.P. Lee, G. Savard, G. Thekkadath, ISOCELE, *Bull. A.P.S. 33 (1988) 1190*

«Laser Spectroscopy of Laser-Desorbed Radioactive Atoms»

J. Sauvage, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, J.E. Crawford, J.K.P. Lee, G. Savard, G. Thekkadath, ISOCELE, *Ion Guide Workshop Pelussin 1988*

«Nuclear Moments and Charge Radius Changes in Platinum Isotopes»

B. Roussière, F. Le Blanc, G. Savard, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, J.K.P. Lee, J.E. Crawford, G. Thekkadath, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, J. Sauvage, ISOCELE, *Workshop Oxford 1988, Hyperfine Interactions 43 (1988) 473*

«Charge Radius Changes and Nuclear Moments in  $^{185-198}\text{Pt}$ »

J.E. Crawford, G. Savard, J.K.P. Lee, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, ISOCELE, *Santa Fe 1988, Bull. A.P.S. 33 (1988) 1604*



«Spectroscopy of unstable (radioactive) atoms»

S. Liberman, J. Pinard, H.T. Duong, G. Savard, F. Le Blanc, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, *Eleventh International Conference on Atomic Physics, Paris 1988*

«Au and Pt Nuclear Charge Radius Changes and Electromagnetic Moments Studied by Resonant Ionization Laser Spectroscopy»

F. Le Blanc, J.E. Crawford, H. Dautet, H.T. Duong, P. Kilcher, J.K.P. Lee, S. Liberman, J. Obert, J. Oms, J. Pinard, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, G. Savard, G. Thekkadath, *International Nuclear Physics Conference São Paulo 1989, Abstract P5-16*

«Laser-Spectroscopy Measurements of the Shape Transition in Neutron-Deficient Gold Isotopes»

F. Le Blanc, J. Arianer, P. Kilcher, J. Oms, J. Obert, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, J.E. Crawford, H. Dautet, J.K.P. Lee, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, ISOCELE, *Iguazu Falls 1989, proceedings p. 174*

«Mesures de moments quadrupolaires par spectroscopie laser: transition de forme dans les noyaux d'or déficients en neutron»

F. Le Blanc, J. Arianer, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, J.E. Crawford, H. Dautet, J.K.P. Lee, G. Thekkadath, ISOCELE, *Congrès de la Société Française de physique Lyon 1989, Abstract FC-16*

«An investigation of laser desorption of Au by PIXE and RBS techniques using a He beam»

A.J. Houdayer, P. Bélanger, I. Brissaud, J.E. Crawford, H. Dautet, G. Gagnon, J.K.P. Lee, J. Obert, J. Pinard, K. Scholberg, *9<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis Kingston 1989, Nuclear Instruments and Methods B 45 (1990) 632*

« An investigation of laser desorption by PIXE and RBS »

I. Brissaud, P. Bélanger, J.E. Crawford, H. Dautet, G. Gagnon, A. Houdayer, J.K.P. Lee, J. Obert, J. Pinard, K. Scholberg, *Amsterdam 1989, Nuclear Instruments and Methods B 49 (1990) 94*

«On-Line Studies of Implanted Isotopes with RIMS: The PILIS Systems»

F. Le Blanc, J. Arianer, P. Kilcher, J. Obert, J. Oms, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, J.E. Crawford, J.K.P. Lee, G. Savard, H. Dautet, G. Thekkadath, H.T. Duong, J. Pinard, S. Liberman, ISOCELE, *RIS Varèse 1990, proceedings p. 4*

«Reflection asymmetry in the near spherical nucleus  $^{219}\text{Fr}$ »

C.F. Liang, P. Paris, R.K. Sheline, *Oak Ridge avril 1990*

« $\beta^+$ -endpoint measurements of neutron-deficient nuclei near  $^{100}\text{Sn}$  and  $^{146}\text{Gd}$ »

H. Keller, R. Kirchner, O. Klepper, E. Roeckl, K. Rykaczewski, D. Schardt, R.S. Simon, P. Kleinheinz, W. Meczynski, R. Menegazzo, C.F. Liang, P. Paris, J. Zylicz, *Strasbourg avril 1990*

«Shape Transition in Neutron-Deficient Gold isotopes by Nuclear Moment Measurements»

J.E. Crawford, J. Arianer, H. Dautet, H.T. Duong, P. Kilcher, F. Le Blanc, J.K.P. Lee, S. Liberman, J. Obert, J. Oms, J. Pinard, J.C. Putaux, B. Roussière, J. Sauvage, G. Thekkadath, *Workshop Cargèse 1991, Abstract p. 13, Poster*

«First Evidence for  $\gamma$ -vibration in light Hg Nuclei»

J.P. Delaroche, M. Girod, G. Bastin, I. Deloncle, F. Hannachi, J. Libert, M.G. Porquet, C. Bourgeois, D. Hojman, P. Kilcher, A. Korichi, N. Perrin, F. Le Blanc, B. Roussière, J. Sauvage, H. Sergolle, *Workshop Cargèse 1991, Abstract p. 16, poster*

«PILIS : A high efficiency apparatus for laser spectroscopy»

P. Kilcher, J.C. Putaux, J.E. Crawford, H. Dautet, H.T. Duong, F. Le Blanc, J.K.L. Lee, J. Obert, J. Oms, J. Pinard, B. Roussière, J. Sauvage, G. Savard, G. Thekkadath, ISOCELE, *International Symposium on Lasers in Nuclear Physics Riken 1991, poster*

«Internal Conversion Anomaly around A = 187»

B. Roussière, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, J. Sauvage, H. Dautet, ISOCELE, *Workshop Cargèse 1991, ASI B 289 (1992) 359*

«PILIS : Post-ISOCELE Laser Isobar Separation. A high efficiency apparatus for laser spectroscopy»

P. Kilcher, J.C. Putaux, J.E. Crawford, H. Dautet, H.T. Duong, F. Le Blanc, J.K.L. Lee, J. Obert, J. Oms, J. Pinard, B. Roussière, J. Sauvage, G. Savard, G. Thekkadath, ISOCELE, *EMIS12 Sendai 1991, Nuclear Instruments and Methods B 70 (1992) 537*

«Directional polarization of the  $h_{11/2}$  proton pair in the  $^{149}_{66}\text{Dy}_{83}$  ground state from a study of its Gamov-Teller decay»

W. Meczynski, K. Zuber, R. Broda, R. Menegazzo, P. Kleinheinz, M.C. Bosca, P. Paris, C.-F. Liang, J. Blomqvist, *Bernkastel-Kues 1992, Proceedings: Institute of Physics Conference Series 132, section 5 (1992) 695*

«Odd-odd nuclei around A = 184»

F. Ibrahim, D. Hojman, C. Bourgeois, J. Davidson, M. Davidson, M. Debray, I. Deloncle, F. Hannachi, P. Kilcher, A. Knipper, A. Korichi, A.J. Kreiner, F. Le Blanc, J. Libert, G. Marguier, J. Oms, N. Perrin, D.G. Popescu, M.G. Porquet, P. Quentin, B. Roussière, J. Sauvage, H. Sergolle, H. Somacal, *Bernkastel-Kues 1992, proceedings: Institute of Physics Conference Series 132, section 5 (1992) 731*

«Conversion Anomalies in the Nuclei Close to  $^{187}\text{Pt}$ »

B. Roussière, F. Ibrahim, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, J. Sauvage, ISOCELE, *Wiesbaden 1992, Abstract 1.1.26*

« M3 transitions in odd and odd-odd nuclei »

B. Roussière, J. Genevey, A. Gizon, F. Ibrahim, P. Kilcher, A. Knipper, F. Le Blanc, D. Lunney, G. Marguier, J. Oms, C. Richard-Serre, J. Sauvage, A. Wojtasiewicz, *Aghia Pelagia Cr te 1993, proceedings p. 17*

«Shape coexistence and  $\gamma$ -vibrational Bands in Hg Isotopes»

J. Sauvage, G. Bastin, C. Bourgeois, J.P. Delaroche, I. Deloncle, M. Girod, F. Hannachi, D. Hojman, P. Kilcher, A. Korichi, F. Le Blanc, J. Libert, N. Perrin, M.G. Porquet, B. Roussière, H. Sergolle, *Aghia Pelagia Cr te 1993, proceedings p. 85*

« M3 transitions in odd and odd-odd nuclei »

B. Roussière, J. Genevey, A. Gizon, F. Ibrahim, P. Kilcher, A. Knipper, F. Le Blanc, D. Lunney, G. Marguier, J. Oms, C. Richard-Serre, J. Sauvage, A. Wojtasiewicz, *Symposium Fribourg 1993, proceedings p. 231*

«Shape coexistence and  $\gamma$ -vibrational Bands in Hg Isotopes»

J. Sauvage, G. Bastin, C. Bourgeois, J.P. Delaroche, I. Deloncle, M. Girod, F. Hannachi, D. Hojman, P. Kilcher, A. Korichi, F. Le Blanc, J. Libert, N. Perrin, M.G. Porquet, B. Roussière, H. Sergolle, *Symposium Fribourg 1993, proceedings p. 322*

«Is a shape coexistence present in  $^{184}\text{Au}$ ? »

F. Ibrahim, D. Barnéoud, R. Béraud, G. Cata-Danil, J. Blachot, I. Deloncle, R. Duffait, E. Emsallem, J. Genevey, A. Gizon, D. Hojman, P. Kilcher, A. Knipper, A. J. Kreiner, F. Le Blanc, J. Libert, G. Marguier, J. Oms, P. Quentin, B. Roussière, J. Sauvage, *Antibes 1994, proceedings : Frontières p. 477*

«The low-spin states in the doubly-odd  $^{182}\text{Ir}$  nucleus and the influence of the proton-neutron interaction»

J. Sauvage, D. Hojman, F. Ibrahim, B. Roussière, J. Libert, P. Kilcher, F. Le Blanc, J. Oms, *ENAM 95, Arles 1995, proceedings : Frontières p. 597*

«The  $^{184}\text{Au}$  puzzle»

F. Ibrahim, D. Barnéoud, R. Béraud, J. Blachot, C. Bourgeois, G. Cata-Danil, J. Davidson, M. Davidson, M. Debray, I. Deloncle, R. Duffait, A. Emsallem, J. Genevey, A. Gizon, D. Hojman, P. Kilcher, A. Knipper, A. Korichi, A.J. Kreiner, F. Le Blanc, J. Libert, G. Marguier, J. Oms, N. Perrin, M.G. Porquet, B. Roussière, J. Sauvage, H. Sergolle, H. Somacal, *ENAM 95, Arles 1995, proceedings : Frontières p. 493*

## 10 RAPPORTS INTERNES, THESES, NOTICES TECHNIQUES

### Rapports internes

«Essais en ligne des sources d'ions et cibles du séparateur ISOCELE»

M. Bouet, C. Bourgeois, J. Obert, J.C. Putaux, C.F. Liang 1974, *Rapport interne IPN 74-02*

« Résultats expérimentaux sur les noyaux de transition Hg, Au et Pt»

C. Bourgeois, Journées d'études, avril 1975, *Rapport interne IPNO-PhN-75-26*

«Le séparateur ISOCELE en ligne avec le synchrocyclotron d'Orsay»

A. Caruette, A. Ferro, R. Foucher, J. Fournet-Fayas, L. Kotfila, J. Obert, J.C. Putaux, J.L. Sarrouy, J. Camplan, C.F. Liang, P. Paris, M. Barbier (autres collaborateurs : P. Aguer, M. Arianer, G. Bastin, V. Berg, M. Bouet, C. Bourgeois, L. Bruderlein, J.B. Chalfen, C. Dany, M. Dedieu, M.G. Desthuilliers, A. Goblot, J.P. Husson, P. Kilcher, A. Lafoux, G. Landois, M. Leblanc, D. Lecouturier, B. Legrand, J. Letessier, G. Levy, Y. Legoux, J. Libert, A. Marion, J. Mérinis, M. Morniche, A. Péghaire, F. Plault, F. Reide, J.P. Torrès, A. Dona, G. Hilaire, J. Camon, R. Choquet, G. Guyon, C. Pleven, J. Neuville), 1976, *Rapport interne IPNO 76-10*

«La détection des électrons de basse énergie à ISOCELE. Application à l'étude de la désintégration des isotopes  $^{185}\text{Hg}$  et  $^{187}\text{Hg}$ »

C. Bourgeois, P. Kilcher, A. Wojtasiewicz, ISOCELE, *Rapport interne IPNO-DRE 83-33*

«Spin value of  $^{184}\text{Ir}$  ground state»

M.G. Porquet, C. Bourgeois, P. Kilcher, B. Roussière, J. Sauvage, H. Dautet, J.K.P. Lee, *Rapport interne IPNO-DRE 87-38*

### Thèses

« Etude et réalisation d'un mesureur de masse au séparateur ISOCELE »

D. Lecouturier, *mémoire du C. N. A. M. Paris 1974*

« Contribution à l'étude de la structure nucléaire par la mesure des probabilités de transition»

Axel Valter Berg, *Thèse de doctorat d'état, Université Paris-Sud 1976, Orsay série A n° d'ordre 1591*

« Contribution à la connaissance des noyaux impairs « critiques » (A voisin de 186) »

Christian Bourgeois, *thèse de doctorat d'état, université Paris-Sud 1977, IPNO-T-77-02, Orsay série A n° d'ordre 1822*

«Etude des noyaux d'erbium dans la région de transition»

Pierre Aguer, *thèse de doctorat d'état, université Paris-Sud 1977, Orsay série A*

« Adaptation aux expériences en ligne sur le séparateur ISOCELE II d'un spectrographe à 180° et mesure d'électrons de conversion dans  $^{187}\text{Pt}$  »

Abdelkader Ben Braham, *thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, université Paris-Sud 1978, IPNO-PhN 78-T-06*

« Contribution à l'étude des noyaux de transition de masse impaire :  $^{185}\text{Hg}$ ,  $^{187}\text{Hg}$ ,  $^{189}\text{Hg}$  et  $^{183}\text{Ir}$  »

Ahmed Zerrouki, *thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, université Pierre et Marie Curie, Paris VI 1979, IPNO-T-79-08*

« Spectroscopie de noyaux transitionnels et déformés ; Description de leurs états de basse énergie à partir d'une interaction effective nucléon-nucléon »

Jean Libert, *thèse de doctorat d'état, Université Paris VII 1981*

« Recherche des premiers états excités 0+ dans les noyaux  $^{108}\text{Cd}$  et  $^{106}\text{Cd}$  »

Brigitte Roussière, *thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 1981, IPNO-T-81-05*

« Contribution à l'étude des modes de couplage neutron-proton dans les noyaux de transition : états de haut spin et de bas spin de  $^{140}_{61}\text{Pm}_{79}$  et  $^{186}_{79}\text{Au}_{107}$  »

Marie-Geneviève Porquet-Desthuilliers, *thèse de doctorat d'état, université Paris-Sud 1981, Orsay n°d'ordre 2430*

« Da medição da vida-media à estrutura nuclear (de la mesure des vies moyennes à la structure nucléaire)»

Maria da Conceição Abreu e Silva, *thèse, Université de Lisbonne 28 mai 1982*

«Contribution à l'étude de noyaux impairs déficients en neutrons, de platine (A = 187, 185, 183) et d'osmium (A = 183): Déformations nucléaires et anomalies de conversion interne»

Brigitte Roussière, *thèse de doctorat d'état, université Paris-Sud 1986, IPNO-T-86-05*

«Laser spectroscopy of neutron deficient gold and platinum isotopes»

Guy Savard, *thèse de PhD, université de McGill, Montréal 1988*

« Contribution à l'étude des noyaux d'or et de platine : Transition de forme par spectroscopie laser »

François Le Blanc, *Thèse d'Université, Université Paris VII 1989, IPNO-T-90-01*

## Notices techniques

ISOCELE II. Note concernant les diverses implantations possibles

P. Paris, *notice technique IPNO, NTTS-39 (1974)*

ISOCELE II. Version 1 bis

P. Paris, *notice technique IPNO, NTTS-43 (1974)*

Ligne de transport de faisceau ISOCELE

J. Camplan, *rapport CSNSM, LRB 74/1 (1974)*

Faisceau du S.C. vers le séparateur ISOCELE II

P. Paris, B. Merlant, *notice technique IPNO, NTTS-74 (1975)*

ISOCELE II : Projet d'optique ionique

P. Paris, *note technique ISOCELE, CSNSM, 75-01*

ISOCELE II : Projet d'optique ionique (suite)

P. Paris, *note technique ISOCELE, CSNSM, 76-01*

Evaluation de la radioactivité résiduelle  $\gamma$ . Irradiation de cibles de Cu, Fe et Al avec des protons de 200 MeV

V. Berg, *notice technique IPNO, NTTS-101 (1976)*

Intensités d'un faisceau de protons absorbées dans une cible  
V. Berg, *note technique ISOCELE, GPI. 1-03-75 (1975)*

Etude de la modification de la ligne 2 d'ISOCELE en vue d'une expérience d'ionisation résonante  
J. Arianer, *note technique SFEC T-34 (1986)*

Etude de la modification de la ligne PILIS  
J. Arianer, *note technique SFEC T-37 (1988)*