



**HAL**  
open science

# Développement d'un système d'identification pour SPIRAL et test d'une cible d'uranium liquide dans le cadre du projet PARRNe

S. Kandri-Rody

► **To cite this version:**

S. Kandri-Rody. Développement d'un système d'identification pour SPIRAL et test d'une cible d'uranium liquide dans le cadre du projet PARRNe. Physique Nucléaire Expérimentale [nucl-ex]. Faculte des Sciences El Jadida, 2000. Français. NNT: . in2p3-00016171

**HAL Id: in2p3-00016171**

**<https://in2p3.hal.science/in2p3-00016171>**

Submitted on 3 Oct 2016

**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.

**UNIVERSITE CHOUAIB DOUKKALI  
FACULTE DES SCIENCES  
EL JADIDA**

**THESE**

Présentée à la Faculté des Sciences pour obtenir  
LE DIPLOME DE DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES PHYSIQUES

Spécialité : Instrumentation Nucléaire

Par

**Samir KANDRI RODY**

---

**DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME D'IDENTIFICATION POUR  
SPIRAL ET TEST D'UNE CIBLE D'URANIUM LIQUIDE DANS  
LE CADRE DU PROJET PARRNe**

.....

---

**soutenu le 11 mars 2000 devant la Commission d'Examen :**

|                              |   |            |
|------------------------------|---|------------|
| <b>Mr A. C. Mueller</b>      | Institut de Physique Nucléaire d'Orsay          | Président  |
| <b>Mr A. C. C. Villari</b>   | Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen | Examineur  |
| <b>Mr B. Raine</b>           | Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen | Examineur  |
| <b>Mr M. Benjelloun</b>      | Faculté des Sciences, El Jadida                 | Examineur  |
| <b>Mr A. Morsad</b>          | Faculté des Sciences, Casablanca                | Examineur  |
| <b>Mme M-G Saint Laurent</b> | Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen | Rapporteur |
| <b>Mr A. Nourreddine</b>     | Faculté des Sciences, El Jadida                 | Rapporteur |

C.E.A.  
BIBLIOTHÈQUE  
S. Ph. N.

*Un grand merci à toi Amal pour ton soutien, ta compréhension et ton aide*

*A ma femme  
A la mémoire de mon père  
A ma mère  
A mes frères et sœurs*

## Remerciements

Je remercie chaleureusement Messieurs : le Directeur du GANIL D. Guerreau, le Chef du projet SPIRAL M. Lieuvin, le Directeur de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay S. Gales, le Chef du service Recherche et Développement Accélérateurs Faisceaux Exotiques A. C. Mueller, pour m'avoir accueilli au sein de leurs laboratoires et services respectifs et permis de réaliser ce travail.

Je remercie tous les membres du jury Mme M-G. Saint-Laurent, Messieurs : A. C. Mueller, A. C. C. Villari, B. Raine, A. Morsad, M. Benjelloun et A. Nourreddine, pour avoir accepté de juger cette thèse.

Merci à Mr A. C. Mueller pour avoir bien voulu présider ce jury de thèse.

Toute ma gratitude à Mme M-G Saint-Laurent pour avoir dirigé ce travail et pour tout le soutien qu'elle m'a prodigué durant toute sa réalisation.

Merci à Mr A. C. C. Villari pour sa disponibilité et son aide qui m'ont été précieuses.

Merci à Mr B. Raine pour son soutien et son aide qui m'ont été très utiles.

Un merci tout particulier pour Mr A. Nourreddine qui a suivi ce travail et a pris la responsabilité de cette thèse.

Je remercie vivement tous les membres du service radioprotection de l'IPN d'Orsay et en particulier Mr F. Clapier pour ses conseils, son aide, ses discussions fructueuses et sa bonne humeur. Je remercie aussi mes collègues de travail du même service N. Pauwels pour sa disponibilité et sa gentillesse, J. Proust pour son aide.

Je tiens aussi à remercier Messieurs : J. Obert, O. Bajeat, C. Lau, H. Lefort, C. F. Liang ainsi que Mr B. Launé pour son soutien et son aide.

Un merci tout particulier à Mme E. Cottreau pour son soutien, sa disponibilité et les corrections apportées à cette thèse.

Durant la réalisation de ce travail, j'ai pu côtoyer plusieurs personnes de différents horizons, électroniciens, informaticiens et physiciens, je n'oublie donc pas de les remercier tous et en particuliers, D. Etasse, B. Piquet, J. P. Leblay, L. Olivier, F. Saillant, J. M. Gautier, G. Wittwer, A. Boujrad, L. Fortin, D. Vaillant et C. Mary.

Toute ma gratitude également pour le personnel du groupe SPIRAL essentiellement Messieurs : R. Leroy, C. Barué, G. Gaubert, P. Jardin, J. Y. Pacquet, F. Chautard, F. Varenne et pour Melle N. Lecesne pour sa contribution à ce travail.

Je remercie aussi mes compagnons de route pour tous les bons moments que nous avons partagés : L. Maunoury, F. Pellemoine, L. Boy, D. Ridikas, J. Guillot et S. Gibouin.

Un grand merci au personnel du GANIL qui m'a très vite intégré au sein du laboratoire.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à mes collègues du département de physique de la faculté des sciences d'El Jadida pour m'avoir aidé à bénéficier de stages afin de mener à bien ce travail.

Je finis par remercier toutes les personnes qui ont de près ou de loin apporté une aide à la bonne réalisation de ce travail.

Merci

# Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Partie I : Identification du faisceau radioactif pour SPIRAL .....</b>             | <b>9</b>  |
| <b>I Les faisceaux radioactifs .....</b>  | <b>11</b> |
| I-1 La physique avec des faisceaux radioactifs .....                                  | 11        |
| I-2 Production des faisceaux d'ions radioactifs au GANIL .....                        | 13        |
| I-3 Présentation du système SPIRAL .....  | 15        |
| I-3-1 Faisceaux primaires disponibles à GANIL .....                                   | 15        |
| I-3-2 Ensemble cible-source .....   | 15        |
| I-3-3 Ligne très basse énergie et son système d'identification .....                  | 19        |
| I-3-4 Le cyclotron CIME .....   | 19        |
| I-3-5 Equipements physiques associés à SPIRAL .....                                   | 21        |
| <b>II Identification des faisceaux radioactifs .....</b>                              | <b>23</b> |
| II-1 Introduction .....   | 23        |
| II-2 Choix de la méthode de mesure .....  | 23        |
| II-3 Les modes de décroissance des noyaux radioactifs .....                           | 25        |
| II-3-1 La désintégration alpha ( $\alpha$ ) et la fission spontanée .....             | 25        |
| II-3-2 Les désintégrations $\beta$ et la capture électronique .....                   | 25        |
| II-3-3 La transition isomérique .....   | 28        |
| II-3-4 La décroissance par émission de particules retardées .....                     | 28        |
| II-3-5 La décroissance par émission de particules directes .....                      | 28        |
| II-4 Les rayonnements observables .....   | 28        |
| II-4-1 Les rayonnements $\gamma$ .....  | 28        |
| II-4-2 Les particules $\beta$ .....   | 30        |
| II-4-3 Les protons .....  | 30        |
| II-4-4 Les neutrons .....   | 30        |
| II-5 Le temps de vie des noyaux radioactifs .....                                     | 30        |
| II-5-1 La loi de décroissance radioactive .....                                       | 31        |
| II-5-2 Evolution de l'activité en fonction du temps de vie .....                      | 32        |
| <b>III Présentation générale du système d'identification pour SPIRAL .....</b>        | <b>33</b> |
| III-1 Introduction .....  | 33        |
| III-2 Vue schématique du dispositif de détection du système d'identification .....    | 35        |
| III-3 Structure en temps du faisceau radioactif .....                                 | 35        |
| III-4 Le dérouleur de la bande .....  | 38        |
| III-4-1 L'implantation des ions .....   | 38        |
| III-4-2 La synchronisation : bande, présence faisceau, détection des particules ..... | 39        |

|  |           |
|--|-----------|
| III-5 La détection gamma.....  | 40        |
| III-5-1 Le détecteur Germanium.....  | 40        |
| III-5-2 Emplacement des détecteurs.....  | 41        |
| III-5-3 Annihilation de particule $\beta^+$ et absorbant de $\gamma$ .....                                   | 42        |
| III-5-4 Protection contre le bruit de fond.....  | 42        |
| III-5-4-1 Protection des cristaux de germanium par du plomb.....   | 42        |
| III-5-4-2 Protection par du plomb des sources de rayonnement $\gamma$ .....                                  | 43        |
| III-5-5 Spectres en énergie attendus.....  | 44        |
| III-5-6 Efficacités.....   | 45        |
| III-6 La détection bêta.....   | 46        |
| III-6-1 Principe de fonctionnement des détecteurs plastiques scintillants.....                               | 46        |
| III-6-2 Emplacement des détecteurs plastiques scintillants.....  | 46        |
| III-6-3 Efficacités des détecteurs plastiques scintillants.....  | 47        |
| III-7 La détection des protons.....  | 47        |
| III-7-1 Principe des détecteurs Silicium.....  | 47        |
| III-7-2 Emplacement des détecteurs Silicium.....   | 47        |
| III-7-3 Efficacités et calibrations des détecteurs Silicium.....   | 47        |
| III-8 Les différents modes d'identification des noyaux radioactifs.....                                      | 48        |
| III-8-1 Méthode générale de calcul de flux.....  | 48        |
| III-8-2 Cas des parents.....   | 49        |
| III-8-3 Les différents modes de détection utilisés.....  | 49        |
| III-8-4 Méthode d'identification par le temps de vie.....  | 53        |
| III-8-5 Calculs des flux pour les différents modes de détection du système<br>d'identification.....          | 54        |
| III-8-5-0 Calcul du nombre de noyaux implantés sur la bande.....   | 54        |
| III-8-5-1 Mesure directe dans la chambre haute.....  | 55        |
| III-8-5-2 Mesure directe avec dérouleur dans la chambre haute.....   | 56        |
| III-8-5-3 Mesure indirecte avec dérouleur dans la chambre basse.....   | 57        |
| III-8-5-4 Mesure indirecte avec hacheur dans la chambre haute.....   | 58        |
| III-8-5-5 Mesure indirecte avec dérouleur et hacheur dans la chambre<br>basse.....                           | 59        |
| <b>IV Structure générale et fonctionnement du système d'identification.....</b>                              | <b>61</b> |
| IV-1 Introduction.....   | 61        |
| IV-2 Commande et contrôle de l'équipement de détection du système d'identification.....                      | 62        |
| IV-2-1 Le dérouleur de la bande.....   | 62        |
| IV-2-2 Les détecteurs (Germanium 1 et 2, plastique, Silicium).....   | 65        |
| IV-3 Acquisition réalisée pour le système d'identification.....  | 66        |
| IV-3-1 Modules électroniques utilisés.....   | 66        |
| IV-3-2 Acquisition temps réel.....   | 68        |
| IV-4 Le serveur d'identification et l' interface graphique réalisés pour le système<br>d'identification..... | 71        |
| IV-4-1 Serveur d'identification.....   | 74        |
| IV-4-1-1 Domaine principal.....  | 78        |
| IV-4-1-2 Domaine Interface Homme – Machine (IHM).....  | 78        |
| IV-4-1-3 Domaine application.....  | 80        |



|  |            |
|--|------------|
| IV-4-2 Interface graphique (application Labview) .....                       | 82         |
| IV-4-2-1 Fenêtre principale .....  | 82         |
| IV-4-2-2 Fenêtre fichier .....   | 84         |
| IV-4-2-3 Fenêtre édition .....   | 85         |
| IV-4-2-4 Fenêtre équipements .....   | 85         |
| IV-4-2-5 Fenêtre acquisition .....   | 87         |
| IV-4-2-6 Fenêtre paramètres d'analyse .....                                  | 88         |
| <b>Partie II : Production d'ions radioactifs dans le projet PARRNe .....</b> | <b>91</b>  |
| <b>V Production d'atomes radioactifs riches en neutrons .....</b>            | <b>93</b>  |
| V-1 Introduction .....   | 93         |
| V-2 L'expérience PARRNe 0 .....  | 94         |
| V-3 Les expériences PARRNe 1 à Orsay et PARRNe 0 à Saturne .....             | 95         |
| V-3-1 Expérience PARRNe 1 avec une cible $UC_x$ .....                        | 95         |
| V-3-2 Expérience PARRNe 0 à Saturne .....                                    | 97         |
| V-3-3 Expérience PARRNe 1 avec une cible d'uranium liquide .....             | 99         |
| V-3-3-1 Description .....  | 99         |
| V-3-3-2 Résultats des mesures et comparaison avec la cible $UC_x$ .....      | 102        |
| V-4 PARRNe 2 .....   | 106        |
| <b>Conclusion .....</b>  | <b>109</b> |
| <b>Annexes .....</b>   | <b>113</b> |
| <b>Annexe A .....</b>  | <b>117</b> |
| <b>Annexe B .....</b>  | <b>125</b> |
| <b>Annexe C .....</b>  | <b>143</b> |
| <b>Bibliographie .....</b>   | <b>153</b> |

# Introduction

Les connaissances actuelles en physique nucléaire sont grandement basées sur l'étude de noyaux stables naturels. La découverte des noyaux exotiques : noyaux radioactifs ayant un nombre de neutrons déficient ou excédentaire par rapport à son isotope stable, ouvre de nouveaux horizons de recherche. L'utilisation des faisceaux radioactifs riches en neutrons à des énergies proches de la barrière coulombienne ouvrent des perspectives nouvelles pour l'étude de la structure nucléaire.

Au GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), les premiers faisceaux radioactifs ont été obtenus dans le spectromètre LISE (Ligne d'Ions Super Epluchés) dès 1984 par fragmentation d'un faisceau d'ions lourds à travers une cible mince. Depuis, l'intérêt suscité par ces ions radioactifs n'a cessé de croître, tant en physique nucléaire qu'en astrophysique ou en physique des matériaux, initiant un effort constant d'amélioration tant au niveau de la production de ces faisceaux qu'au niveau des détecteurs de physique associés. L'introduction de sources ECR (Résonance Electronique Cyclotronique) en 1985, les opérations OAE (Opération Augmentation d'Energie) en 1989, OAI (Opération Augmentation d'Intensité) en 1991, THI (Transport de Hautes Intensités) visant à augmenter l'intensité du faisceau primaire d'un facteur quinze ont élargi la variété des faisceaux primaires disponibles tout en augmentant leur intensité. En parallèle, les performances des spectromètres utilisés pour identifier et caractériser ces faisceaux radioactifs ont été constamment améliorées avec, par exemple, en 1992 l'ajout dans LISE d'un filtre de Wien permettant de séparer les ions en fonction de leur vitesse. Enfin, depuis 1994 une augmentation significative de l'intensité et de la qualité des faisceaux secondaires a été obtenue avec la source SISSI (Source d'Ions à Solénoïdes Supraconducteurs Intenses) en focalisant fortement le faisceau primaire sur une cible mince puis en collectant les produits de réaction à l'aide de deux solénoïdes supraconducteurs placés de part et d'autre de la cible.

Avec les énergies disponibles à GANIL, la fragmentation des ions du faisceau primaire permet de bien produire des noyaux très exotiques. Les ions radioactifs créés dans une cible mince sortent de celle-ci avec une vitesse proche de celle du faisceau primaire qui correspond à une énergie comprise entre 30 et 95 MeV/A. Pour obtenir des énergies plus faibles il faut donc ralentir, par exemple autour de la barrière coulombienne en physique nucléaire ou en dessous pour l'étude de la nucléosynthèse en astrophysique. Au GANIL, l'utilisation de feuilles, placées après la cible, permet de diminuer l'énergie des ions. Malheureusement, les diffusions multiples dans ces feuilles accroissent fortement la dispersion angulaire et la dispersion en énergie du faisceau radioactif entraînant une dégradation de son émittance et donc de l'intensité disponible. Aussi, pour obtenir des faisceaux de bonne qualité à basse énergie il est préférable d'utiliser une autre méthode de production, appelée ISOL (Isotope Separation On Line). Après une première expérience à Copenhague vers les années cinquante [Nie51], cette méthode a été développée à ISOLDE au CERN ; elle est basée sur l'utilisation d'une cible épaisse qui arrête complètement le faisceau primaire et les fragments exotiques produits. Les

éléments créés dans la cible sont ensuite extraits, ionisés puis accélérés à l'énergie désirée dans un post-accélérateur. Les caractéristiques du faisceau d'ions radioactifs (énergie, émittance, résolution en énergie,... etc) ainsi obtenu sont alors entièrement déterminées par la source d'ions et le post-accélérateur utilisés.

En 1992, le projet SPIRAL (Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne) de production et accélération de faisceaux d'ions radioactifs, fondé sur l'utilisation de cibles épaisses, a été lancé. Ce projet utilisera dans la partie production la méthode ISOL. Un faisceau primaire délivré par l'accélérateur GANIL est arrêté dans une cible épaisse de carbone. Les atomes radioactifs produits diffusent hors de la cible. Ils sont ionisés dans une source d'ions de type ECR puis accélérés par un cyclotron CIME (Cyclotron pour Ions de Moyenne Energie). Avec la mise en service de SPIRAL prévu fin 2000, deux procédés de production complémentaires couvrant une large gamme d'énergie seront alors disponibles au GANIL faisant de ce laboratoire l'une des installations les plus performantes dans le domaine de la physique des ions radioactifs de moyenne énergie.

Ce travail de thèse traite, dans une première partie, un point important du projet SPIRAL [Lie95]: l'étude et la réalisation d'un système d'identification des faisceaux radioactifs à basse énergie. Il s'agit de caractériser sans ambiguïté les faisceaux radioactifs issus de l'ensemble cible-source de production. La méthode d'identification utilise les décroissances radioactives. Ce système, répondant à un cahier de charges bien déterminé, est automatisé et doit permettre une utilisation par un non-spécialiste.

Selon le procédé de production décrit ci-dessus, SPIRAL produira dans une première phase les noyaux radioactifs de masse inférieure à 100 u.m.a. aussi bien riches en protons qu'en neutrons. Un autre procédé de production des faisceaux radioactifs riches en neutrons grâce auquel on peut atteindre des masses supérieures à 100 u.m.a., qui sera utilisé dans une deuxième phase de SPIRAL, est en cours d'étude dans le cadre du projet européen SPIRAL phase II [Sai98] et du projet PARRNe (Production d'Atomes Radioactifs Riches en Neutrons) [Cla98] à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (IPNO). Ce travail de thèse présente la description et les résultats du test en ligne d'une cible d'uranium liquide dans le cadre de ce programme PARRNe.

Le premier chapitre, après une introduction descriptive des faisceaux radioactifs et de leur mode de production, présente le laboratoire GANIL et le projet SPIRAL. Ce dernier est décrit dans son ensemble en abordant successivement la production, l'identification, l'accélération et la conduite du faisceau. Les équipements physiques associés à SPIRAL sont décrits brièvement.

Le deuxième chapitre présente les différentes méthodes de mesure de l'intensité des faisceaux radioactifs et justifie le choix de la méthode de mesure par décroissance. Les différents types de désintégration des noyaux radioactifs sont aussi présentés.

Le troisième chapitre donne une présentation générale du système d'identification avec une description des équipements utilisés pour la détection : détecteurs germanium, plastique, silicium et le dérouleur de la bande. Les différents modes d'identification sont aussi présentés.

Le quatrième chapitre explicite la structure générale du fonctionnement du système. Les quatre grandes parties réalisées sur ce dernier, que j'ai pris particulièrement en charge, sont détaillées : le commande - contrôle de l'équipement de détection, la partie acquisition, le serveur d'identification qui représente le noyau du système ainsi que l'interface graphique qui a été réalisée pour faciliter son utilisation.

Le cinquième chapitre présente le programme de recherche et développement mené à l'IPN d'Orsay pour produire des faisceaux d'ions radioactifs riches en neutrons. Une analyse et description des expériences réalisées auxquelles j'ai participé, représentant les différentes étapes du projet PARRNe, sont présentées. Une des expériences utilisait pour la première fois sous faisceau une cible d'uranium liquide. Je détaillerai le dépouillement et l'analyse des résultats que j'ai réalisé sur cette expérience.

La conclusion rappelle les principaux résultats de ce travail et présente les perspectives d'amélioration et de développement envisagées.

**PARTIE I**

**IDENTIFICATION DU FAISCEAU RADIOACTIF  
POUR SPIRAL**

# Chapitre I

## Les faisceaux radioactifs

### I-1 La physique avec des faisceaux radioactifs

La physique nucléaire a permis de comprendre de nombreuses propriétés des noyaux stables (masse, forme, structure nucléaire etc...) et de créer des théories capables de reproduire ces propriétés. Le comportement des noyaux radioactifs est souvent différent de celui de ceux stables. Les noyaux exotiques représentent plus de 80% de la carte des noyaux. La production de ces noyaux offre la possibilité d'étendre les études expérimentales aux régions de plus en plus exotiques. Nous espérons ainsi découvrir, par exemple, quelles sont les limites de la liaison nucléaire, quels sont les éléments les plus lourds possibles, quelle est la forme de la force effective responsable de la cohésion de la matière nucléaire, combien de nouvelles structures et de nouveaux modes d'excitation peuvent exister....Plusieurs voies de recherche pourront être poursuivies grâce à ces nouveaux faisceaux de noyaux radioactifs.

A partir des réactions nucléaires utilisant des faisceaux d'ions radioactifs, on a eu accès à de nouvelles informations : taille, distribution de matière et déformation des noyaux exotiques. Un nouveau comportement de la matière (halo de nucléons) a été découvert. Avec les futurs faisceaux d'ions radioactifs, nous pourrions approfondir ces études précédentes et accéder à de nouvelles informations.

De nouveaux phénomènes ont déjà été mis en évidence pour des valeurs élevées du rapport  $N/Z$  dans les noyaux possédant un excès de neutrons ou de protons. Citons les noyaux à halos de neutrons,  $^{11}\text{Li}$ ,  $^{11}\text{Be}$ ,  $^{17}\text{B}$  et  $^{19}\text{C}$  par exemple, dont l'étude est très intéressante puisque les énergies de séparation de ces nucléons sont faibles [Tan85, Han94]. Cet état particulier de la matière nucléaire permet d'explorer la structure des forces effectives entre nucléons qui devient décisive pour la stabilité ou l'instabilité des espèces. Quand un noyau a un excès de neutrons, le volume occupé par ces derniers dépasse celui occupé par les protons, formant ainsi une « peau » de neutrons. On peut avoir une apparition des mêmes effets pour des noyaux avec de larges excès de protons. Il est donc intéressant d'étudier le changement des propriétés nucléaires dû à ces peaux de nucléons.

D'autres domaines gagneront à être explorés avec les noyaux exotiques. Citons par exemple :

- L'étude des noyaux à très haut moment angulaire et à très grande déformation dans les régions éloignées de la stabilité. En effet, l'exploration de nouvelles zones de superdéformation et l'hyperdéformation ne peut se faire qu'à l'aide de faisceaux

radioactifs. L'étude des déformations extrêmes permettrait d'approfondir la recherche de nouvelles symétries et pourrait révéler d'autres phénomènes encore non observés.

- L'accès aux noyaux superlourds ne peut avoir lieu qu'avec des faisceaux et des cibles radioactifs en utilisant des réactions de fusion-évaporation. Un îlot de noyaux superlourds stables est prédit autour du noyau sphérique  $^{292}_{114}$ . Cet élément est composé de 178 neutrons et 114 protons qui sont prédits comme étant de nouveaux nombres magiques lui donnant une structure stable.
- L'étude de la cohésion des forces nucléaires : en effet à travers des mesures de masse [Gil86, Bol96, Cha96] on a accès à l'énergie de liaison du dernier nucléon ainsi qu'aux « dripe-line » (la limite des très faibles énergies de liaison, très près de la limite de stabilité) neutrons et protons.
- L'étude des noyaux magiques loin de la vallée de stabilité : en effet des noyaux semi-magiques (ayant seulement le nombre de neutrons ou de protons magiques) sont observés très déformés, par exemple le  $^{32}\text{Mg}$  avec 20 neutrons [Mot95]. Il sera donc intéressant de déterminer, loin de la vallée de stabilité, les noyaux les plus sphériques (modes vibrationnels) et les noyaux les plus déformés (modes rotationnels). L'énergie et la probabilité de transition des premiers niveaux sont des indications de la déformation des noyaux.
- La compréhension de la formation de l'univers : l'astrophysique a pour objectif de comprendre la synthèse nucléaire des éléments chimiques composant notre monde. Ces nucléosynthèses se produisent sous forme de réactions en chaîne dans des milieux à haute énergie comme la novae, supernovae... Un grand nombre de chaînes de réactions impliquent des noyaux loin de la vallée de stabilité. Par conséquent les noyaux exotiques portés à des conditions stellaires en température et pression représentent un outil pour étudier de tels schémas de réactions.

En outre, des nouveaux noyaux seront créés et identifiés, leurs propriétés de base seront étudiées. Ainsi, la masse, le moment électromagnétique, le rayon, le spin de chaque noyau doivent être mesurés et ses modes de décroissance observés. Ces mesures peuvent être faites avec précision soit en arrêtant le faisceau et en étudiant ses noyaux tels quels, soit en étudiant le faisceau par l'intermédiaire de réactions de diffusion élastique ou inélastique, d'excitation coulombienne ou de transfert de nucléons, s'il possède d'excellente qualité optique.

Plusieurs installations au monde (Louvain-la-Neuve en Belgique, ISOLDE au CERN, TRIUMF au Canada, Argonne aux Etats Unis ...etc) produisent des faisceaux d'ions radioactifs selon des critères différents : le faisceau primaire (nature de l'ion, énergie et intensité), les ensembles cibles-sources, la nature du faisceau secondaire désiré, le type du

postaccélérateur, les machines existantes, ...Le GANIL "Grand Accélérateur National d'Ions Lourds" en France est l'un des laboratoires qui permet de produire ce type de noyaux.

## I-2 Production des faisceaux d'ions radioactifs au GANIL

La production des faisceaux radioactifs au GANIL se fait par deux méthodes :

- la fragmentation du projectile en vol : consiste à bombarder une cible mince avec un faisceau d'ions lourds. Les ions radioactifs ainsi produits quittent la cible avec une grande vitesse, le tiers de la vitesse de la lumière, proche de celle du projectile. Malheureusement, les qualités optiques du faisceau secondaire sont dégradées. Cette méthode produit des faisceaux radioactifs avec de grandes dispersions en angle et en énergie. Ces faisceaux sont analysés dans un spectromètre. Deux équipements de ce type existent au GANIL : LISE « Ligne d'Ions Super Epluchés » [Ann87, Ann92] et SISSI " Source d'Ions à Solénoïdes Supraconducteurs Intenses" [Jou91] (figure I-2). L'équipement SISSI peut accepter des faisceaux primaires très intenses. Il est composé de deux solénoïdes supraconducteurs qui concentrent le faisceau en une tâche de  $\pm 0,2$  mm sur une cible mince. Les produits de fragmentation sont recueillis dans un grand angle solide et forment un faisceau transporté dans toutes les aires expérimentales.

- la méthode ISOL (Isotope Separation On Line) : consiste à bombarder une cible épaisse avec un faisceau d'ions (protons, deutons, ions lourds). Les atomes radioactifs ainsi produits sont stoppés dans la cible. Cette dernière doit être chauffée entre 1800 – 2300K pour faire migrer les atomes à l'extérieur de celle-ci. Un tube de transfert, reliant la cible à la source d'ions (mono ou multichargée [Van92]), permet la migration des atomes vers cette dernière. Dans le système SPIRAL (Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne) actuel (figure I-1), les atomes radioactifs sont produits par fragmentation d'un faisceau d'ions lourds sur une cible légère. Les ions formés dans la source sont accélérés et l'isotope souhaité est sélectionné au plan focal de l'aimant d'analyse avant d'être accéléré dans le cyclotron CIME (Cyclotron pour Ions de Moyenne Energie). Les faisceaux radioactifs ainsi produits ont de faibles énergies et des qualités optiques supérieures à celles des faisceaux obtenus par fragmentation en vol.

Nous disposons donc au GANIL de faisceaux d'ions radioactifs accélérés couvrant une gamme d'énergie entre 1,7 A.MeV et 95 A.MeV : le système SPIRAL permet de produire des faisceaux radioactifs de faible énergie (1,7 A.MeV à 25 A.MeV) tandis que les systèmes SISSI et LISE sont destinés à des faisceaux secondaires de hautes énergies (>25 A.MeV). Pour le système SPIRAL, il est cependant important de signaler que l'énergie maximale des faisceaux dépend fortement de l'exotécité des noyaux et que celle de 25 A.MeV n'est atteinte que pour certains noyaux comme il sera vu sur la figure I-5.



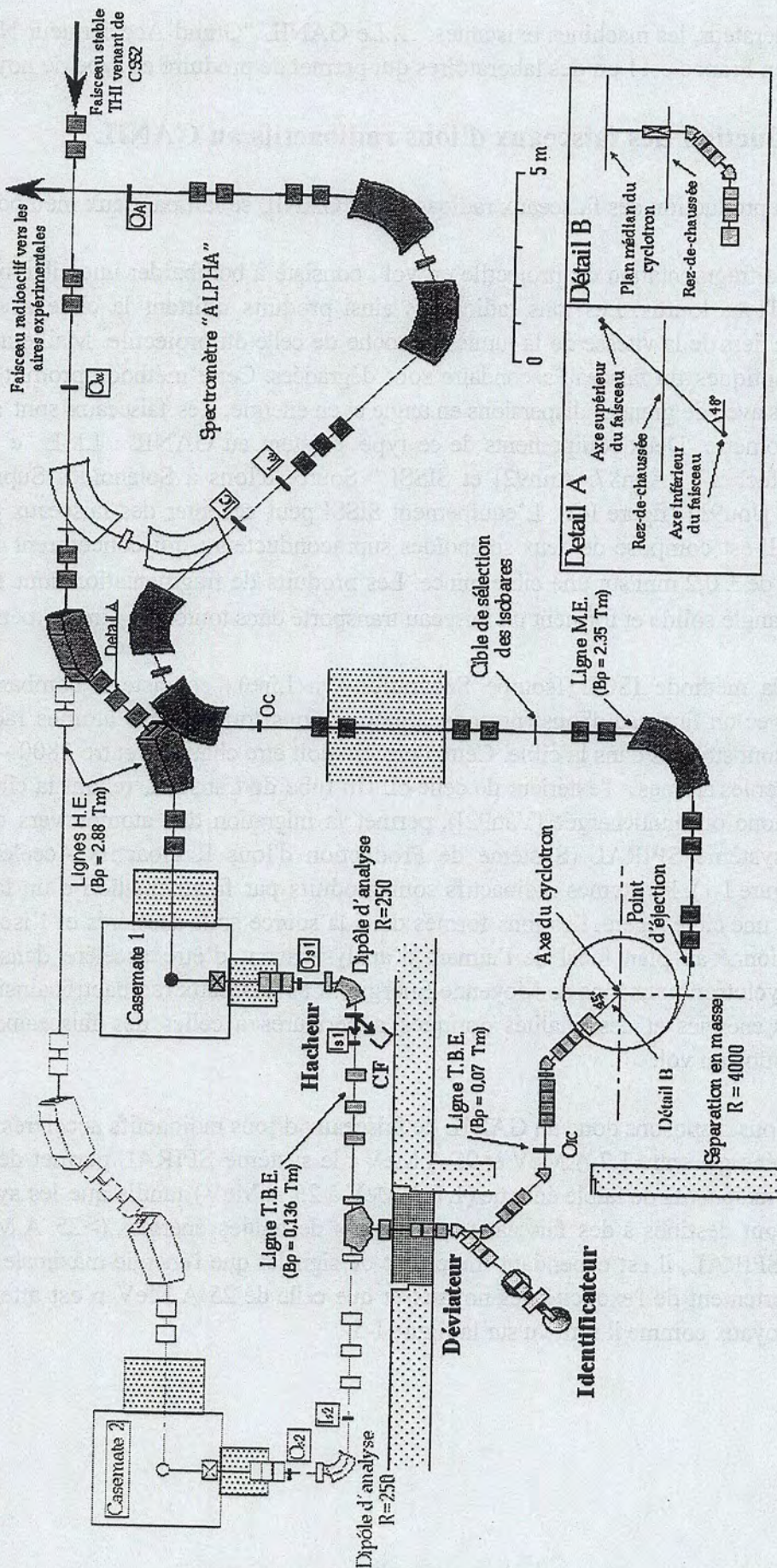


Figure I-1: Schéma du Système SPIRAL

## I-3 Présentation du système SPIRAL

Le système SPIRAL [Spi94, Lie95, Gue96, Vil97, Lau97] (figure I-1) est composé de cinq parties : la ligne HE "Haute Energie" délivrant le faisceau primaire, l'ensemble cible-source de production d'atomes radioactifs, la ligne TBE "Très Basse Energie" avec son système d'identification qui fait l'objet de ce travail, le cyclotron CIME et enfin la ligne ME "Moyenne Energie".

### I-3-1 Faisceaux primaires disponibles à GANIL

Le GANIL, représenté schématiquement sur la figure I-2, est composé de trois cyclotrons C0, CSS1 et CSS2 couplés en série. Une source d'ions à résonance cyclotronique électronique (ECR) [Sor94] fournit un faisceau continu d'ions stables multichargés ; ces ions sont regroupés en paquets de particules avant d'être accélérés dans un cyclotron compact appelé C0. Ce dernier donne au faisceau les caractéristiques adéquates (énergie, émittance, dispersion en énergie) avant son injection dans le cyclotron accélérateur CSS1 "Cyclotron à Secteurs Séparés 1". Ce premier cyclotron accroît l'énergie du faisceau d'un facteur 13,6. Le second cyclotron CSS2, quasi identique, est couplé au précédent. La deuxième accélération n'est possible que si la charge électrique des ions est augmentée. Les ions traversent donc une feuille de carbone très mince dite "éplucheur" située sur la ligne de faisceau entre les deux CSS, en perdant un certain nombre d'électrons sans que leur vitesse soit perturbée. Le deuxième cyclotron CSS2 multiplie l'énergie des ions d'un facteur 6,25. En sortie de CSS2, le faisceau est d'abord analysé dans le spectromètre de masse ALPHA afin d'éliminer ses impuretés et ensuite envoyé dans les aires expérimentales. Actuellement, le GANIL peut fournir une grande gamme de faisceaux d'ions lourds différents, allant du  $^{12}\text{C}$  à  $^{238}\text{U}$  avec des énergies variant de 24 A.MeV pour les plus lourds à 96 A.MeV pour les plus légers. Les intensités disponibles vont de  $6 \cdot 10^9$  à  $2 \cdot 10^{12}$  pps (particules par seconde), ce qui correspond à une puissance maximale de 400 W.

Le projet Très Haute Intensité (THI) [Bar95], actuellement en cours de réalisation, a pour but à terme d'augmenter l'intensité des faisceaux de  $1 \cdot 10^{12}$  à  $2 \cdot 10^{13}$  pps pour les ions légers et jusqu'à une puissance maximale de 6 kW pour les ions plus lourds. Ceci permettra par exemple d'avoir  $1,75 \mu\text{Ap}$  ou  $1 \cdot 10^{13}$  pps d' $^{36}\text{Ar}^{18+}$ . Récemment ce type de noyau a été accéléré avec une puissance de 2 kW ( $3,6 \cdot 10^{12}$  pps) pendant plusieurs heures [Bar98]. Ce projet a nécessité des modifications au niveau du cyclotron injecteur C0 et l'installation d'un regroupeur entre CSS1 et CSS2. De même, des améliorations ont été apportées à l'ensemble des accélérateurs (nouveaux faisceaux, systèmes de contrôle, diagnostics ...etc) afin d'adapter la machine à la création de faisceaux d'ions radioactifs en la rendant plus performante [Loy95, Bar99].

### I-3-2 Ensemble cible-source

L'ensemble de production est situé dans la casemate 1 ; une deuxième casemate sera équipée ultérieurement (fig. I-1). Il est composé d'une cible épaisse en carbone arrêtant totalement le faisceau primaire délivré par le GANIL. La production et la diffusion dans la

cible sont les deux phénomènes majeurs qui influencent les flux disponibles de noyaux radioactifs.

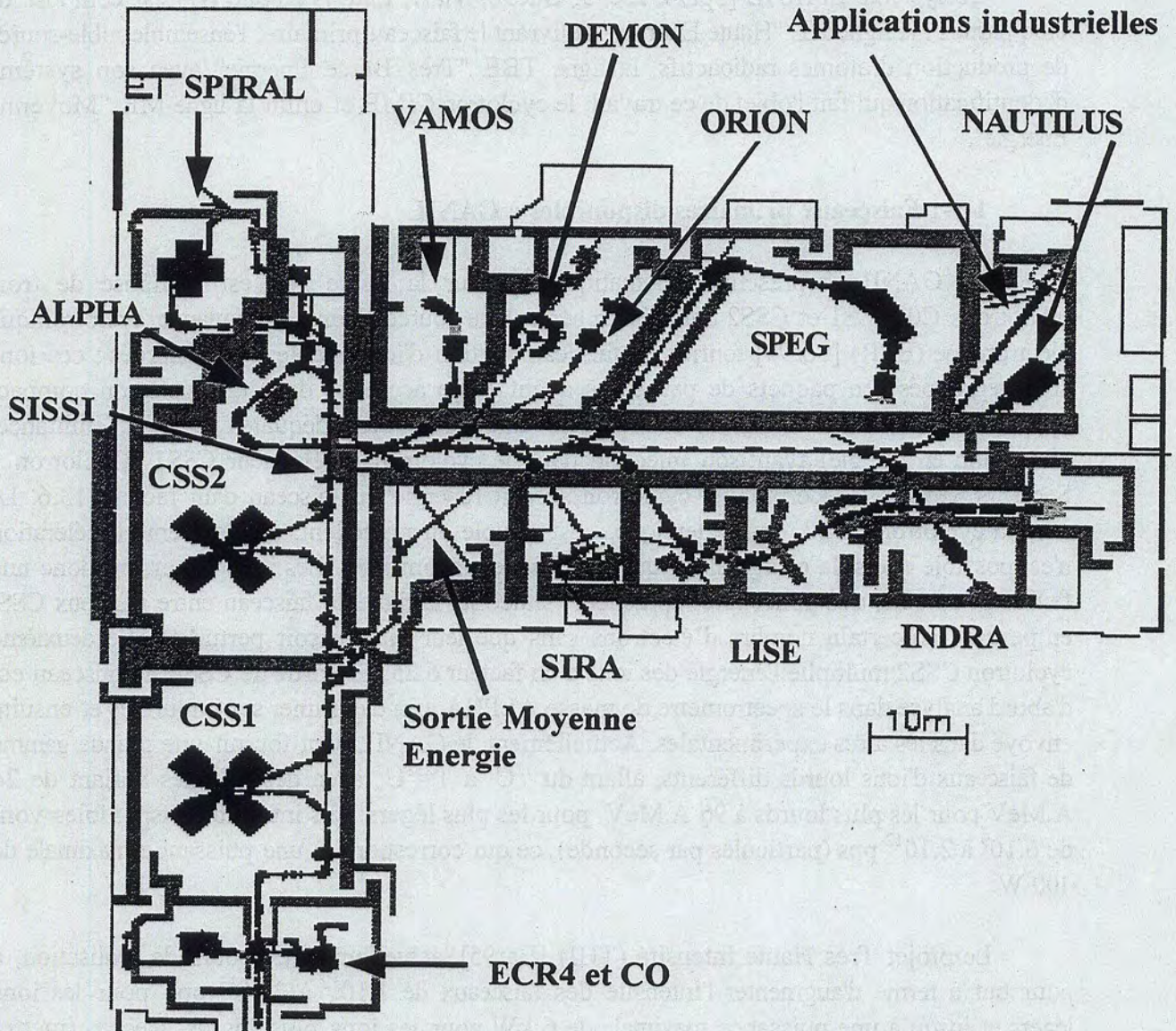


Figure I-2 : Schéma de l'accélérateur GANIL et des aires expérimentales.

Le taux de production  $\tau_{\text{production}}$  dans la cible est proportionnel au nombre de particules incidentes  $\phi_{\text{projectile}}$ , à la section efficace de production de l'atome radioactif considéré  $\sigma_{\text{production}}$ , et à la densité surfacique de matière dans la cible  $N_{\text{cible}}$  :

$$\tau_{\text{production}}(\text{pps}) = \phi_{\text{projectile}}(\text{pps}) \cdot \sigma_{\text{production}}(\text{cm}^2) \cdot N_{\text{cible}}(\text{atomes/cm}^2)$$

L'énergie ainsi que la nature du projectile et de la cible déterminent les processus dominants lors de la production. La géométrie et la nature de la cible ont été étudiées [Lec97-a, Mau98, Put97, Lic98] afin d'optimiser la production des radionucléides et leurs sorties du matériau. En outre dans le cadre du projet THI, cette cible doit résister à une puissance de faisceau incident de 6 kW [Fou96, Lic98].

Dans le cas d'une production dominée par la fragmentation du projectile, les meilleurs résultats sont obtenus quand le parcours dans la cible des ions incidents est important, c'est à dire avec une cible constituée d'éléments légers. Les premières cibles de SPIRAL seront en carbone (fig. I-3) [Lec97-a, Mau98]. Pour faciliter la diffusion hors de la cible des éléments créés, celle-ci est conçue avec une géométrie particulière. Elle est divisée en une trentaine de lamelles parallèles reliées par un axe central et le carbone utilisé est constitué de grains très fins (1  $\mu\text{m}$ ). Des études ont montré que la diffusion des produits de réaction est meilleure avec le graphite à grains fins par rapport à des graphites à grains plus gros [Lan99, Mau98].

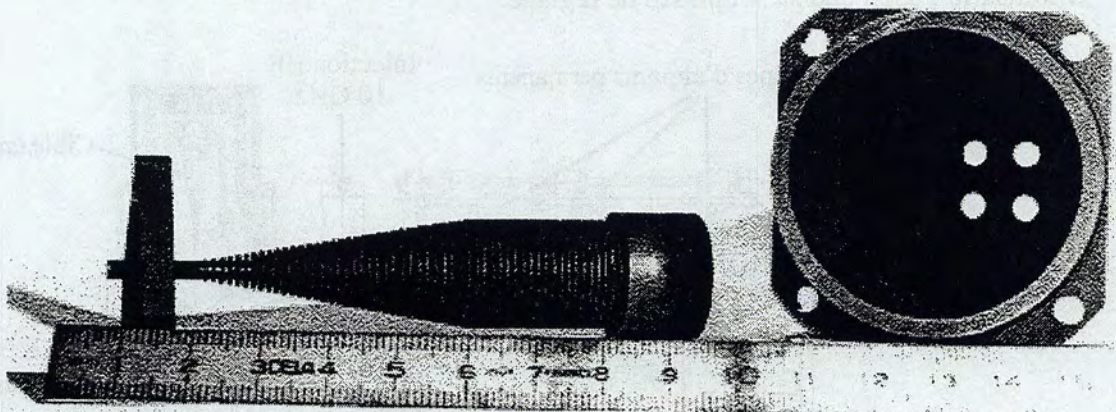


Figure I-3-a : Cible 2 kW pour la production de l'Ar et Ne pour SPIRAL.

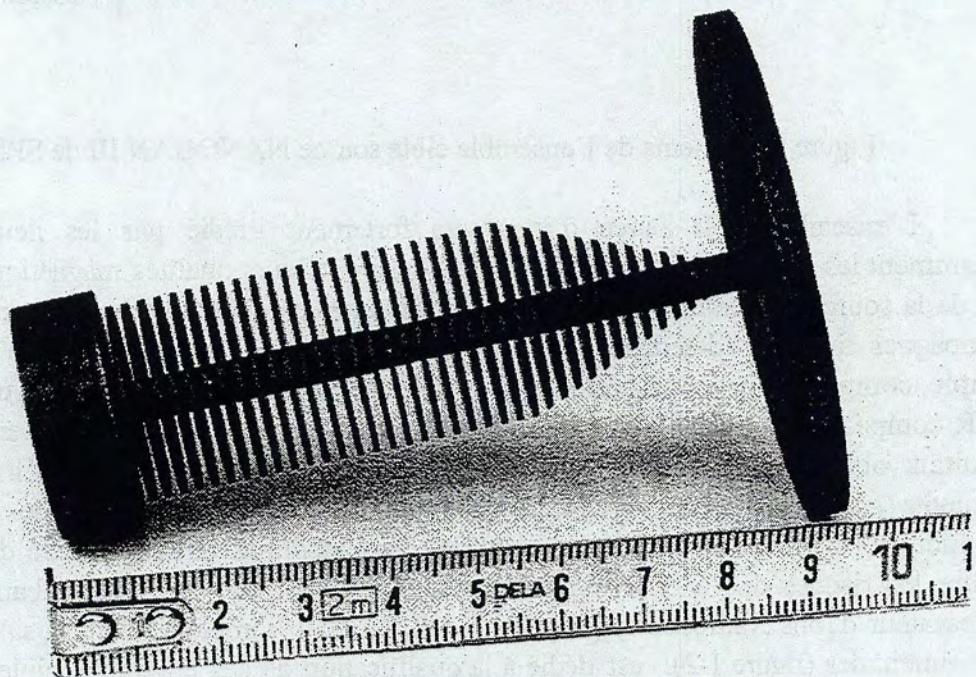


Figure I-3-b : Cible 6 kW pour SPIRAL.

Le faisceau primaire ayant un profil gaussien, l'intensité ou la puissance maximale se situe sur l'axe du faisceau et décroît radialement. Pour ne pas avoir un effet destructif du faisceau dans la cible, cette dernière doit avoir une forme particulière afin d'étaler le dépôt d'énergie des particules chargées. La puissance de 6 kW du faisceau primaire doit être déposée judicieusement pour ne pas endommager la cible, mais aussi pour obtenir une répartition en température homogène afin d'améliorer la diffusion des atomes, cette dernière dépend fortement de la température. Pour ce faire, on répartit l'énergie déposée sur plusieurs lamelles en utilisant une cible de forme conique, et en faisant tourner le faisceau primaire autour de l'axe de la cible [Ian99, Lic98]. Si la puissance du faisceau incident est insuffisante, un chauffage ohmique additionnel maintient une température aux environs de 2000°C.

Une source d'ions de type ECR (fig. I-4) a été choisie pour sa grande efficacité d'ionisation ainsi que sa souplesse de réglage.

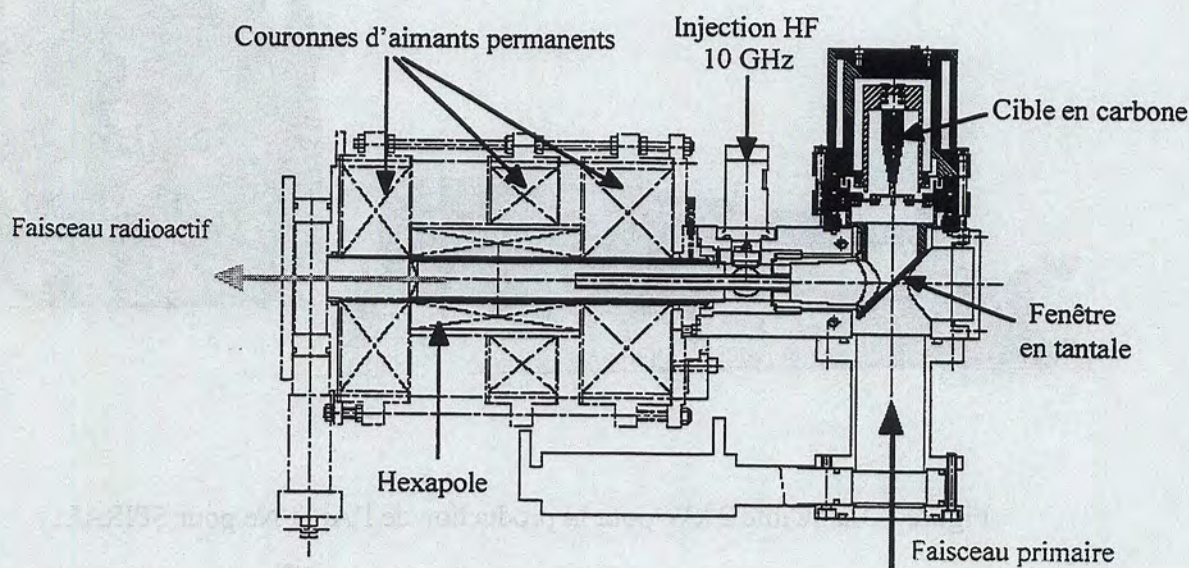


Figure I-4 Schéma de l'ensemble cible source NANOGAN III de SPIRAL.

L'ensemble cible-source d'ions sera fortement irradié par les neutrons produits, notamment les aimants de la source ECR qui perdront leurs qualités magnétiques. La durée de vie de la source est estimée à environ deux semaines, ce qui est compatible avec la durée des campagnes faisceaux déterminées par la radioprotection. La source d'ions doit donc être simple, compacte, aussi résistante que possible aux irradiations et peu coûteuse. Des sources ECR compactes à aimants permanents ont été développées au GANIL [Ler98] et les bons résultats obtenus lors des tests [Mau98] ont permis de valider leur utilisation pour les éléments gazeux. Un effort particulier est consacré à l'aménagement de la casemate de production (fig. I-1) afin d'assurer la sécurité des personnes ainsi que celle des équipements contre les risques dus à la présence de radioactivité [Jar97, Ler97]. Le banc de test SIRa (Séparateur d'Ions Radioactifs) [Ann93, Bri92, Lec97-b], implanté dans la salle D2 des aires expérimentales (figure I-2), est dédié à la qualification de ces ensembles cible-sources d'ions. La production d'ions radioactifs sur le séparateur SIRa utilise la méthode ISOL en exploitant

un faisceau primaire d'ions lourds de haute énergie et un ensemble cible-source ECR en ligne. Différents types d'expériences sont pratiqués sur SIRa [Lec97-b], production de faisceaux d'ions radioactifs, mesure du taux de production de ces ions et mesure de l'efficacité totale du séparateur. L'expérience acquise sur SIRa a été utilisée lors de l'installation des équipements de la casemate ainsi que de la ligne basse énergie du système SPIRAL.

### **I-3-3 Ligne très basse énergie et son système d'identification**

La ligne TBE effectue un premier tri du faisceau en l'analysant à l'aide d'un aimant à double focalisation et l'adapte optiquement pour l'injection dans le cyclotron CIME. Une déviation permet d'aiguiller les ions radioactifs vers le système d'identification [Kan98, Kan99] dont l'étude fait partie de cette thèse. Un dérouleur de bande a été réalisé pour le système afin de pouvoir collecter les ions ainsi déviés. Les ions collectés sur la bande peuvent être transportés devant un détecteur pour identification et comptage. Ce système permet aussi de déterminer les polluants présents dans le faisceau.

### **I-3-4 Le cyclotron CIME**

CIME est le post-accélérateur de SPIRAL [Spi94, Boy97] constitué d'un cyclotron à température ambiante dont la structure compacte engendre un champ magnétique très homogène. Sa constante  $K$ , égale à 265, correspond à l'accélération d'ions de nombre de masse 100 à une énergie de 6 A.MeV pour un rapport  $q/m$  d'environ 0,15. Ce cyclotron permet d'atteindre les basses énergies requises pour l'étude de la structure de la matière nucléaire proche de la barrière coulombienne. La tension d'extraction de la source ECR peut couvrir la plage de 7 kV à 34 kV afin d'adapter le faisceau TBE à l'injection dans CIME. Les conditions de fonctionnement de CIME pour cette gamme d'énergie en fonction du rapport  $q/m$  des ions délivrés par la source ECR sont illustrés en figure I-5, pour quelques exemples particuliers. Les rapports  $q/m$  des ions injectés dans le cyclotron sont compris entre 0,1 et 0,35. Les limites du diagramme sont relatives aux valeurs minimales et maximales du champ magnétique moyen (de 0,75 à 1,56 T) ainsi que de la fréquence de l'onde HF (de 1,92 à 7,25 MHz). La transmission totale du cyclotron devrait varier de 30 à 60% selon les conditions de réglage choisies et l'énergie du faisceau accéléré. Les différents problèmes de réglage et de séparation des ions radioactifs dans le cyclotron sont présentés dans la référence [Boy97]. Les intensités des premiers faisceaux SPIRAL, estimées à partir des différentes expériences réalisées sur le banc de test SIRa [Lec97-a, Mau98], sont présentées dans le tableau I-1.

| Faisceau                 | Etat de charge | Intensité avant accélération (pps) | Energie min. (A.MeV) | Energie max. (A.MeV) | Faisceau primaire | Puissance du faisceau primaire (kW) | Energie du faisceau primaire (A.MeV) |
|--------------------------|----------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <sup>6</sup> He (0,8s)   | +1             | 3,2 10 <sup>8</sup>                | 2,7                  | 7,2                  | <sup>13</sup> C   | 2                                   | 75                                   |
|                          | +2             | 8,0 10 <sup>7</sup>                | 6,8                  | 22,8                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>8</sup> He (0,12s)  | +1             | 5,0 10 <sup>5</sup>                | 2,7                  | 4,0                  | <sup>13</sup> C   | 2                                   | 75                                   |
|                          | +2             | 1,2 10 <sup>5</sup>                | 3,8                  | 16,3                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>17</sup> Ne (0,11s) | +(3-6)         | 3,0 10 <sup>4</sup>                | 2,7                  | 24,3                 | <sup>20</sup> Ne  | 0,4                                 | 95                                   |
| <sup>18</sup> Ne (1,7s)  | +(3-6)         | 3,0 10 <sup>6</sup>                | 2,7                  | 22,9                 | <sup>20</sup> Ne  | 0,4                                 | 95                                   |
| <sup>19</sup> Ne (17s)   | +(3-6)         | 5,0 10 <sup>7</sup>                | 2,7                  | 21,6                 | <sup>20</sup> Ne  | 0,4                                 | 95                                   |
| <sup>23</sup> Ne (37s)   | +(3-6)         | 1,2 10 <sup>7</sup>                | 2,7                  | 17,7                 | <sup>36</sup> S   | 0,4                                 | 77                                   |
| <sup>24</sup> Ne (3,4mn) | +(3-6)         | 4,0 10 <sup>7</sup>                | 2,7                  | 16,4                 | <sup>36</sup> S   | 0,4                                 | 77                                   |
| <sup>25</sup> Ne (0,61s) | +(3-6)         | 1,0 10 <sup>5</sup>                | 2,7                  | 15,1                 | <sup>36</sup> S   | 0,4                                 | 77                                   |
| <sup>31</sup> Ar (15ms)  | +3             | 7                                  |                      |                      | <sup>36</sup> Ar  | 2                                   | 95                                   |
| <sup>32</sup> Ar (98ms)  | +(6-8)         | 23,5 10 <sup>2</sup>               | 2,7                  | 16,4                 | <sup>36</sup> Ar  | 2                                   | 95                                   |
|                          | +9             | 14,1 10 <sup>2</sup>               | 4,8                  | 19,2                 |                   |                                     |                                      |
|                          | +10            | 4,7 10 <sup>2</sup>                | 6,0                  | 21,4                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>33</sup> Ar (0,17s) | +(6-8)         | 1,0 10 <sup>5</sup>                | 2,7                  | 15,4                 | <sup>36</sup> Ar  | 2                                   | 95                                   |
|                          | +9             | 5,0 10 <sup>4</sup>                | 4,6                  | 18,6                 |                   |                                     |                                      |
|                          | +10            | 2,5 10 <sup>4</sup>                | 5,6                  | 20,7                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>34</sup> Ar (0,17s) | +(6-8)         | 4,0 10 <sup>6</sup>                | 2,7                  | 14,5                 | <sup>36</sup> Ar  | 2                                   | 95                                   |
|                          | +9             | 2,0 10 <sup>6</sup>                | 4,3                  | 18,0                 |                   |                                     |                                      |
|                          | +10            | 1,0 10 <sup>6</sup>                | 5,3                  | 20,1                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>35</sup> Ar (1,78s) | +(6-8)         | 2,0 10 <sup>8</sup>                | 2,7                  | 13,7                 | <sup>36</sup> Ar  | 2                                   | 95                                   |
|                          | +9             | 1,0 10 <sup>8</sup>                | 4,0                  | 17,3                 |                   |                                     |                                      |
|                          | +10            | 5,0 10 <sup>7</sup>                | 5,0                  | 19,5                 |                   |                                     |                                      |
| <sup>72</sup> Kr (17s)   | +(15-16)       | 8,0 10 <sup>1</sup>                | 2,7                  | 12,9                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |
| <sup>73</sup> Kr (27s)   | +(15-16)       | 2,0 10 <sup>3</sup>                | 2,7                  | 12,6                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |
| <sup>74</sup> Kr (11mn)  | +(15-16)       | 1,0 10 <sup>3</sup>                | 2,7                  | 12,3                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |
| <sup>75</sup> Kr (4mn)   | +(15-16)       | 7,0 10 <sup>3</sup>                | 2,7                  | 11,9                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |
| <sup>76</sup> Kr (14,8h) | +(15-16)       | 3,0 10 <sup>6</sup>                | 2,7                  | 11,6                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |
| <sup>77</sup> Kr (74mn)  | +(15-16)       | 2,0 10 <sup>7</sup>                | 2,7                  | 11,3                 | <sup>78</sup> Kr  | 0,2                                 | 73                                   |

Table I-1 : Intensités attendues pour les premiers faisceaux du système SPIRAL.

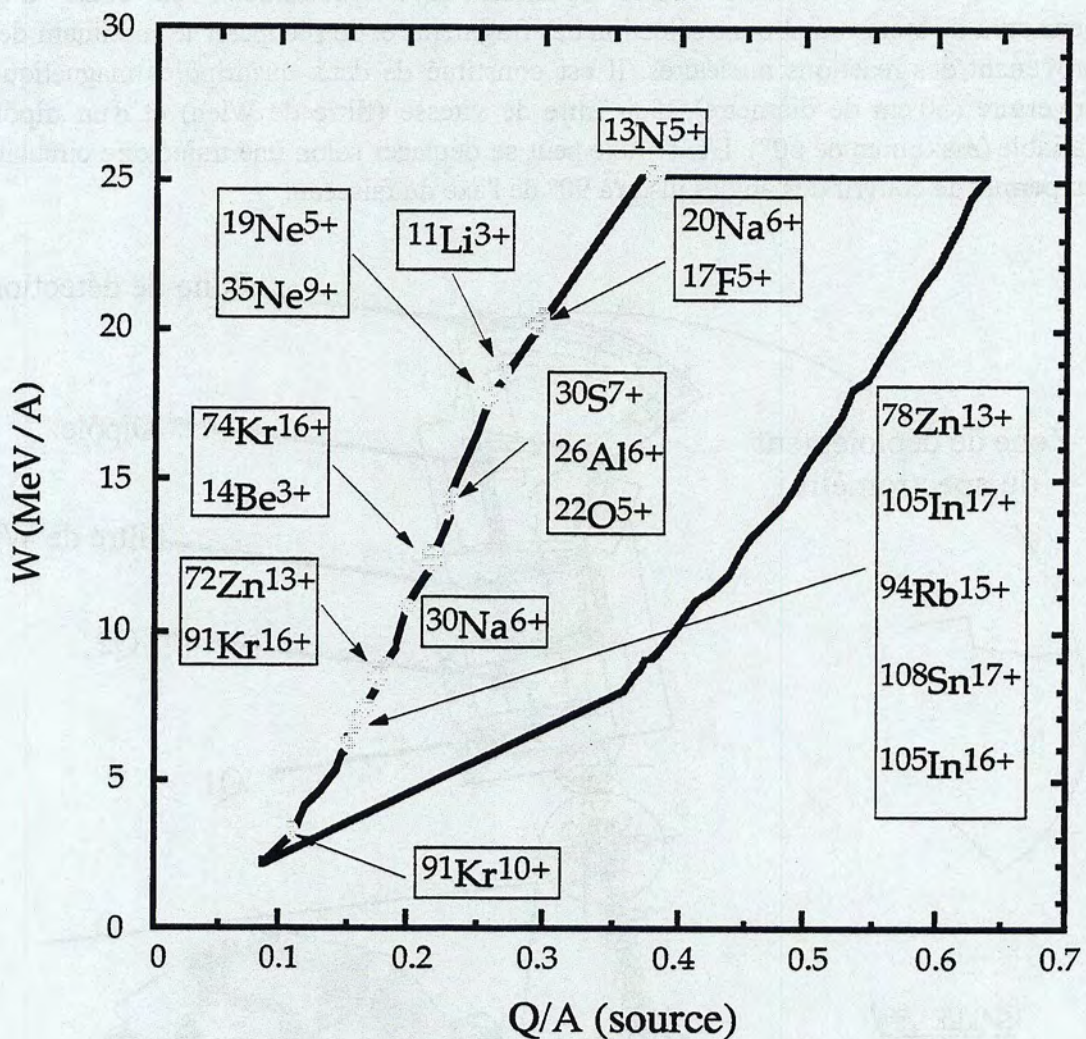


Figure I-5 Diagramme de fonctionnement du cyclotron CIME.

### I-3-5 Equipements physiques associés à SPIRAL

Etant donné l'implantation de SPIRAL en amont du spectromètre Alpha (fig. I-1), les faisceaux radioactifs pourront être distribués dans toutes les salles expérimentales. Cependant, étant donné la faible intensité des faisceaux délivrés par SPIRAL, des équipements ayant une grande efficacité de détection sont nécessaires (figure I-6) :

- EXOGAM (EXOtic GAMMa) est un détecteur  $4\pi$  gamma modulaire entourant la cible. Il est constitué de 16 modules de 4 cristaux de Ge très pur (60 mm de diamètre et 90 mm de long) afin d'obtenir une grande efficacité de détection des photons gamma. Pour augmenter le rapport signal sur bruit des spectres en énergie, une partie des photons gamma issus de la diffusion Compton est supprimée par anticoincidence avec un détecteur BGO entourant chaque module de Germanium. Pour un photon gamma d'énergie 1,3 MeV, on s'attend à une largeur à mi-hauteur de 2,3 keV pour une efficacité totale de 20%. D'autre part chaque détecteur est segmenté pour avoir une bonne définition angulaire.



-VAMOS (VARIABLE MOde Spectrometre): spectromètre en cours d'étude qui permettra d'obtenir une bonne sélection des fragments et de récupérer le maximum de produits provenant des réactions nucléaires. Il est constitué de deux quadripôles magnétiques à large ouverture (50 cm de diamètre), d'un filtre de vitesse (filtre de Wien) et d'un dipôle d'angle variable (maximum de 60°). L'ensemble peut se déplacer selon une trajectoire circulaire, ce qui lui permet de couvrir des angles jusqu'à 90° de l'axe du faisceau.

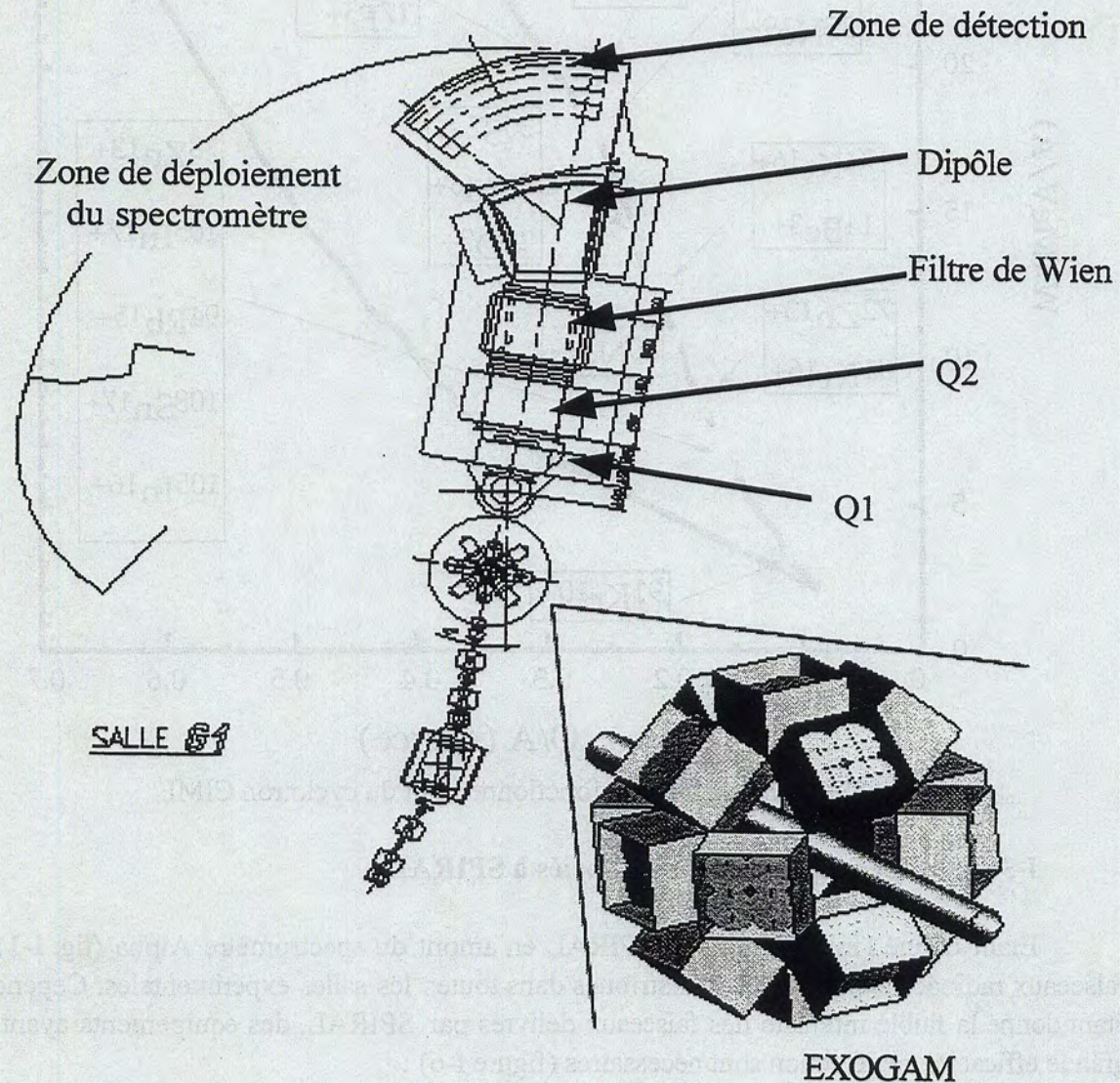


Figure I-6 Le détecteur modulaire EXOGAM et le spectromètre VAMOS.

L'association d'EXOGAM et de VAMOS permettra, par des coïncidences noyau-gammas, de sélectionner et donc d'étudier des événements rares dans des conditions satisfaisantes de bruit de fond.

# Chapitre II

## Identification des faisceaux radioactifs

### II-1 Introduction

Le but de ce travail est de mettre au point la caractérisation des faisceaux radioactifs très basse énergie, à savoir :

- vérifier l'identité des particules présentes dans le faisceau voulu,
- mesurer le flux du faisceau voulu,
- identifier les particules polluantes et mesurer leur proportion.

et ce à la sortie de l'ensemble cible – source, afin de vérifier si cet ensemble est bien réglé et de faciliter le réglage de CIME en connaissant les différents polluants injectés dans le cyclotron. Il s'agira donc d'identifier des faisceaux d'ions de très basse énergie ( $< 1$  MeV) ( Exemple : pour une tension d'accélération à la sortie de la source de 20 kV, l'énergie d'un ion  $^{35}\text{Ar}^{8+}$  est de 160 keV et sa vitesse est de  $9,4 \cdot 10^5$  m/s ).

### II-2 Choix de la méthode de mesure

Il s'agit de recenser les méthodes de mesure de l'intensité des faisceaux radioactifs et d'identification :

1) mesure de l'intensité dans une cage de Faraday ou par un transformateur d'intensité non interceptif. A Louvain la Neuve (Belgique), l'intensité d'un faisceau de  $^6\text{He}$  de  $10^6$  pps formé par une réaction de transfert sélectif, est mesurée à haute énergie, après sélection par le cyclotron, avec une cage de Faraday [Loi98].

2) mesure des électrons générés par l'impact des ions soit dans:

- une galette à micro canaux. Cette méthode est utilisée à St-Peterbourg pour les faisceaux de Lithium [Pan99].
- une bande. Les électrons générés sont multipliés par un photomultiplicateur. Cette méthode a été utilisée au CSNSM (Centre de Spectrométrie Nucléaire et Spectrométrie de Masse) à Orsay [Tou78].

Leurs source et ligne basse énergie sont suffisamment sélectifs, dans ces cas précis, pour garantir la pureté du faisceau.

Les méthodes 1 et 2 citées ci dessus permettent de mesurer de très faibles intensités. Cependant elles ne permettent pas d'identifier et de mesurer individuellement l'intensité des différents faisceaux sélectionnés.

3) mesure radioactive : La mesure de la radioactivité émise par les noyaux radioactifs après implantation dans la matière permet une identification et une comptabilisation relativement sûres car chaque noyau a ses propres caractéristiques de décroissance. Cette méthode est généralement la plus utilisée sur les systèmes de production d'ions radioactifs à basse énergie CERN, TRIUMF.... Elle présente cependant deux inconvénients :

- Elle ne permet pas d'identifier les faisceaux polluants stables produits simultanément par la fragmentation du projectile.

- Cette mesure intercepte le faisceau et demande de la statistique. Dans le cas d'une surveillance continue, elle prend du temps de faisceau au détriment de son utilisation pour les expériences de physique.

4) mesure de la perte d'énergie et de l'énergie totale ou mesure de la perte d'énergie et du temps de vol des ions. Cette méthode a été retenue pour identifier les faisceaux radioactifs de SPIRAL, à plus haute énergie, dans le cyclotron CIME et à son extraction [Lau98-a]. Elle n'est pas applicable pour les faisceaux de très basse énergie.

5) mesure du temps de vol des ions associé à un tri magnétique très sélectif. Cette méthode est difficile à mettre en œuvre à basse énergie. Elle nécessite :

- d'avoir une structure pulsée du faisceau; en effet à basse énergie, les ions n'ont pas suffisamment d'énergie pour traverser un détecteur en donnant un signal « start » et ensuite parcourir le trajet jusqu'au détecteur donnant le signal « stop ».

- une grande base de temps de vol car la différence de vitesse entre les différents ions est faible.

- un spectromètre de très haute résolution pour sélectionner en  $MV/Q$  le rapport masse sur charge et éliminer un grand nombre de polluants dans le cas d'un système cible-source non sélectif.

6) détection des rayonnements X : lors de l'implantation des ions dans la bande, le cortège électronique des ions se réarrange avec les électrons libres de celle-ci. Dans le cadre de SPIRAL, nous sommes également intéressés par des faisceaux très légers (tel que  ${}^6\text{He}$  et  ${}^8\text{He}$ ). Il s'agit alors de détecter des X de très faible énergie nécessitant un détecteur de bonne résolution dans cette gamme d'énergie et des conditions de bruit de fond défavorables. Il faut, d'autre part, lui associer un spectromètre de résolution suffisante pour éliminer les autres contaminants.

Dans le cadre de SPIRAL, le choix d'utiliser un mode de production non sélectif (fragmentation du projectile) et une source ECR (large distribution des états de charge) implique que de nombreux faisceaux seront présents en même temps que le faisceau recherché à la sortie de l'ensemble cible-source. Il est donc nécessaire de mesurer l'intensité mais aussi d'identifier les différents composants du faisceau. Dans le contexte de SPIRAL, la méthode

par mesure de radioactivité étant la mieux adaptée, a donc été retenue. Dans la suite de ce chapitre, nous allons décrire les différents modes de décroissance radioactive.

### II-3 Les modes de décroissance des noyaux radioactifs

L'identification des ions radioactifs et l'estimation de leurs taux de production se font en détectant les particules émises par radioactivité, soit directement si les particules émises sont caractéristiques du noyau détecté, soit indirectement en mesurant la période de décroissance après avoir coupé le faisceau par un hacheur situé en amont (figure I-1).

Les différents types de désintégration des noyaux radioactifs sont :

#### II-3-1 La désintégration alpha ( $\alpha$ ) et la fission spontanée

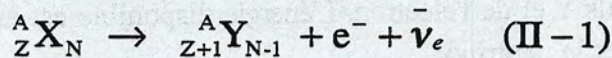
La désintégration  $\alpha$  correspond à l'émission d'un noyau d'hélium par le noyau radioactif. Pour la fission spontanée, le noyau radioactif se divise en deux ou trois fragments. Ces deux processus de désintégration concernent essentiellement les noyaux très lourds. Dans la première phase de SPIRAL, seuls des noyaux relativement légers seront produits. Ces deux processus ne sont donc pas pris en compte dans cette étude.

#### II-3-2 Les désintégrations $\beta$ et la capture électronique

C'est un mode de désintégration très courant pour les noyaux de masse atomique inférieures à 100. Deux types de désintégration  $\beta$  sont possibles:

##### a- La désintégration $\beta^-$

C'est une transformation d'un neutron grâce à l'interaction faible en un proton avec émission simultanée d'un électron et d'un antineutrino. Le noyau père X de charge Z se transforme en un noyau fils Y de charge Z+1 tout en conservant son nombre de nucléons A.



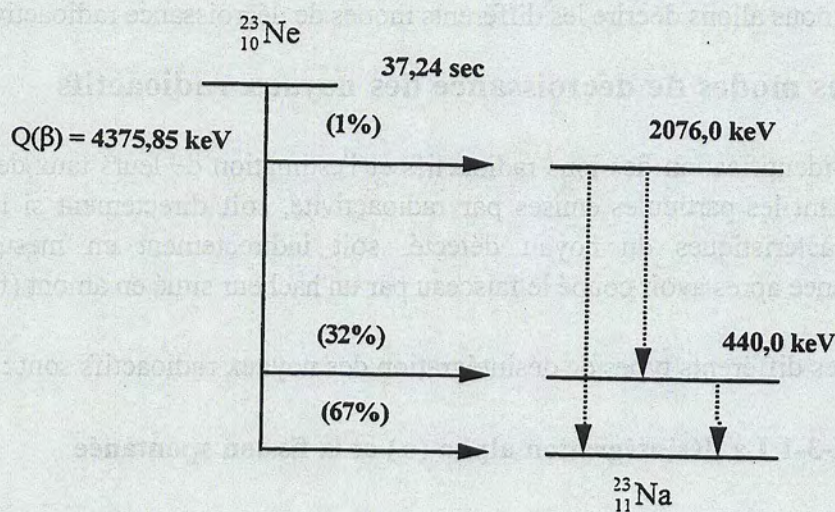
Le bilan énergétique est le suivant:

$$Q_{\beta^-} = M_X^{\text{at}} - M_Y^{\text{at}} \quad (\text{II-2})$$

où  $M_X^{\text{at}}$ ,  $M_Y^{\text{at}}$  sont respectivement l'énergie de masse au repos de l'atome père X et celle de l'atome fils Y. Ce dernier peut être créé dans un état excité si l'énergie disponible le permet. L'énergie restante est partagée aléatoirement entre l'électron  $\beta^-$  et l'antineutrino.

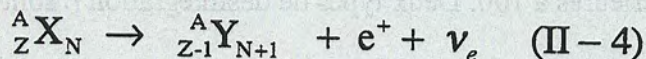
$$Q_{\beta^-} = E_Y^* + E_{\beta^-} + E_{\bar{\nu}_e} \quad (\text{II-3})$$

Le spectre en énergie du  $\beta^-$  est continu avec une énergie maximum  $E_{\beta^- \text{ max}}$ . Un exemple de schéma de désintégration  $\beta^-$  est illustré sur la figure (II-1).

Figure II-1 Exemple de schéma de désintégration  $\beta^-$ 

### b- La désintégration $\beta^+$

Dans ce cas un proton se transforme en un neutron avec émission d'un positron et d'un neutrino. Le noyau X de charge Z se transforme en un noyau Y de charge Z-1 tout en conservant son nombre de nucléons A.



Le bilan énergétique dans cette réaction est le suivant :

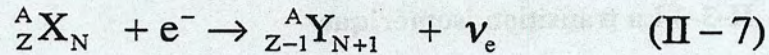
$$Q_{\beta^+} = M_X^{\text{at}} - M_Y^{\text{at}} - 2m_0c^2 \quad (\text{II} - 5)$$

où  $M_X^{\text{at}}$ ,  $M_Y^{\text{at}}$  et  $m_0c^2$  sont respectivement les énergies de masse au repos de l'atome père X, de l'atome fils Y et de l'électron. L'énergie disponible est emportée par le noyau fils excité, le positron  $\beta^+$  et le neutrino.

$$Q_{\beta^+} = E_Y^* + E_{\beta^+} + E_\nu \quad (\text{II} - 6)$$

### c- La capture électronique

La capture électronique CE transforme un noyau de charge Z en un noyau de charge Z-1. Ce processus n'entre en général pas en concurrence avec le mode de décroissance précédent dans le cas de noyaux de masse inférieure à 100. Dans cette désintégration, un électron du cortège électronique est capturé par un proton du noyau, qui se transforme en neutron tandis qu'un neutrino est émis.



Un exemple de schéma de désintégration  $\beta^+$  et CE est illustré sur la figure (II-2)

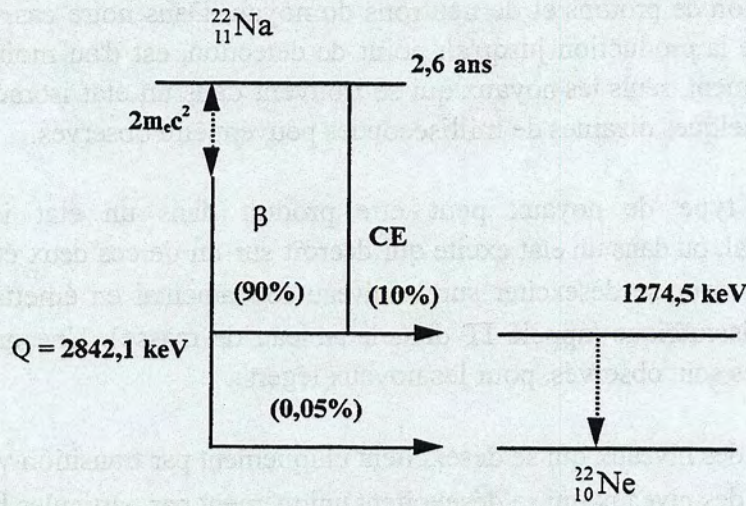


Figure II-2 Exemple de schéma de désintégration  $\beta^+$ .

En résumé, la carte des nucléides peut être divisée en deux parties de part et d'autre de la vallée de stabilité: les noyaux déficitaires en neutron qui se désintègrent en général par émission  $\beta^+$  (ou CE) et les noyaux riches en neutrons qui se désintègrent par émission  $\beta^-$ , chacun de ces processus s'effectuant le long d'une ligne isobarique. Ainsi un noyau de masse A éloigné de la ligne de stabilité engendre une cascade de décroissance  $\beta$  jusqu'à arriver au noyau stable de même masse A, comme le montre la figure (II-3).

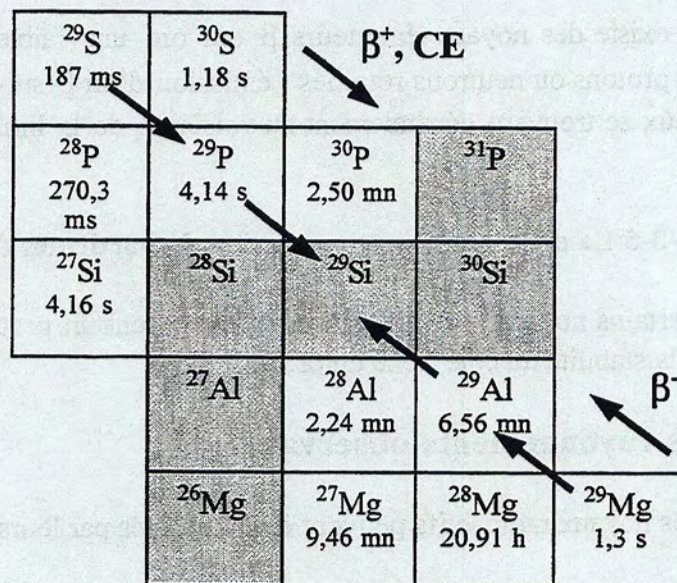


Figure II-3: Cascades de désintégration  $\beta^+$  et  $\beta^-$ .

### II-3-3 La transition isomérique

La transition isomérique apparaît lorsque le noyau possède un état excité ayant une durée de vie plus longue que les autres états excités. Elle ne modifie ni le nombre de masse, ni la proportion de protons et de neutrons du noyau. Dans notre cas, le temps de transport des noyaux, de la production jusqu'au point de détection, est d'au moins quelques millisecondes. Par conséquent, seuls les noyaux qui se trouvent dans un état isomérique dont la durée de vie dépasse quelques dizaines de millisecondes peuvent être observés.

Ce type de noyaux peut être produit dans un état isomérique, dans un état fondamental, ou dans un état excité qui décroît sur un de ces deux états. Le niveau isomérique peut à son tour se désexciter sur le niveau fondamental en émettant un rayonnement  $\gamma$  de transition isomérique (appelé IT dans le tableau de masse). Une grande diversité de niveaux isomériques sont observés, pour les noyaux légers:

- ◆ des niveaux qui se désexcitent uniquement par transition  $\gamma$ :  $^{38m}\text{Cl}$ ,
- ◆ des niveaux qui se désexcitent uniquement par particules  $\beta$ :  $^{26m}\text{Al}$ ,
- ◆ des niveaux qui se désexcitent par émission d'un  $\beta$  suivi d'un  $\gamma$ :  $^{34m}\text{Cl}$ .

Selon qu'il y ait ou non une transition  $\gamma$  entre l'état isomérique et le fondamental d'un noyau radioactif produit, et selon les périodes radioactives des deux noyaux correspondants à ces deux états, il faudra prendre en compte, pour le calcul de son flux, la radioactivité de son état fondamental et celle de son état isomérique ou seulement celle de l'un des deux. Chaque noyau étant un cas particulier, il doit être étudié individuellement.

### II-3-4 La décroissance par émission de particules retardées

Il existe des noyaux émetteurs  $\beta$  qui ont une faible probabilité d'émission d'un ou plusieurs protons ou neutrons retardés (émission d'un  $\beta$  suivi d'un proton ou d'un neutron). Ces noyaux se trouvent généralement au voisinage de la limite de la stabilité (exemple  $^{31}\text{Ar}$ ,  $^{32}\text{Ar}$ ).

### II-3-5 La décroissance par émission de particules directes

Certains noyaux peuvent émettre directement un proton. Ces noyaux se trouvent à la limite de la stabilité du côté riche en protons.

## II-4 Les rayonnements observables

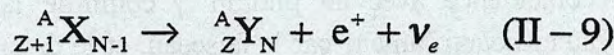
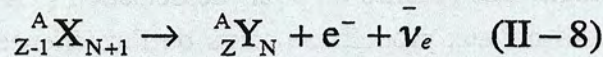
Les noyaux radioactifs peuvent être identifiés par leurs rayonnements associés:

### II-4-1 Les rayonnements $\gamma$

Généralement les transitions  $\beta$  des noyaux pères sur des niveaux excités des noyaux fils, s'accompagnent de l'émission d'un ou plusieurs rayonnement  $\gamma$  d'énergies distinctes dont

la probabilité d'émission, appelée rapport d'embranchement, a été mesurée et reportée dans la littérature [NND, LND]. Il faut faire attention en utilisant les rapports d'embranchement compilés dans les références [END90, Fir96, NND, LND]. Quelques erreurs se sont glissées entre l'article à referee publié et ces compilations. C'est le cas pour le  $^{28}\text{P}$  [Wil72] ainsi que pour  $^{32}\text{Ar}$  [Bjo85]. Un autre processus d'émission de rayonnements  $\gamma$  est l'annihilation du positron émis lors de la décroissance  $\beta^+$  avec un électron du milieu traversé; après avoir perdu toute son énergie cinétique dans la matière, il donne naissance à deux photons de 511 keV. Enfin la transition isomérique par désexcitation des noyaux donne lieu à une émission de rayonnements  $\gamma$  d'énergie bien définie.

On peut parfois avoir une décroissance de deux noyaux radioactifs de part et d'autre de la vallée de stabilité vers le même noyau stable, l'un par émission  $\beta^-$ , l'autre par émission  $\beta^+$ .



Selon leur différence de masse respective, un ou plusieurs niveaux excités du noyau fils peuvent être peuplés en commun, comme le montre la figure (II-4). Dans ce cas l'identification du noyau émetteur par rayonnement  $\gamma$  seul est insuffisante, il y a une indétermination (par exemple entre  $^{29}\text{P}$  et  $^{29}\text{Al}$ ). Il est alors nécessaire d'avoir recours au procédé de mesure du temps de décroissance afin de déterminer le noyau radioactif produit. Ce type de mesure sera abordé en détail dans le chapitre suivant.

Ainsi, la mesure de l'énergie d'un ou plusieurs rayonnement  $\gamma$  permet d'identifier un noyau père sans ambiguïté, uniquement si ces rayonnements sont caractéristiques d'une seule transition radioactive et s'ils sont émis en assez grande quantité pour être observables.

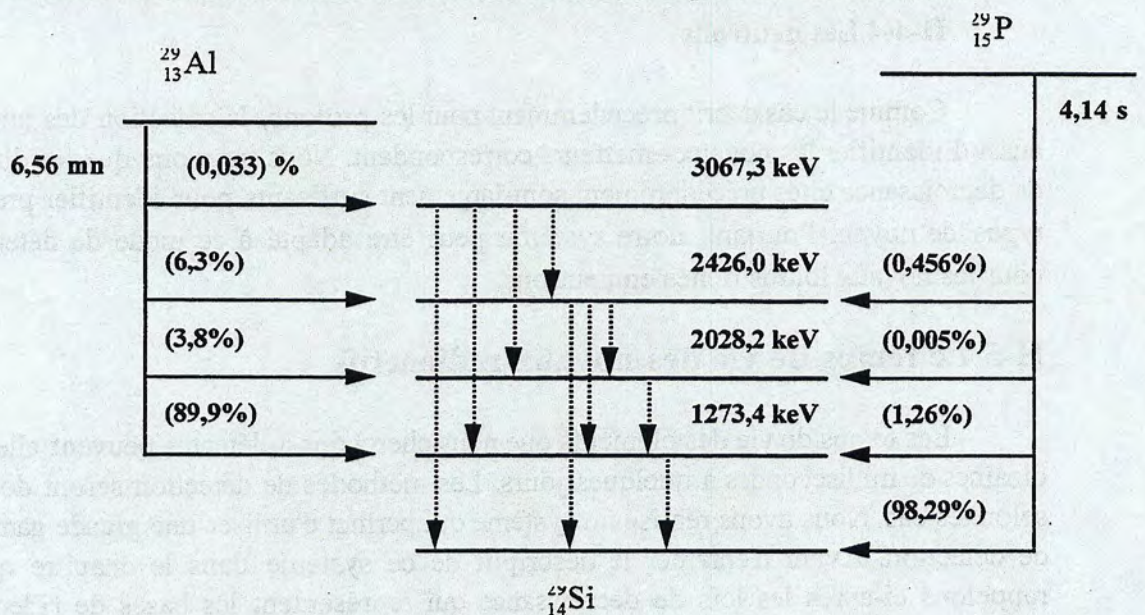


Figure II-4: Schéma de désintégration de deux noyaux qui peuplent les états excités d'un même noyau fils.



### II-4-2 Les particules $\beta$

Les spectres  $\beta$  présentent une distribution en énergie continue jusqu'à une énergie  $E_{\text{gmax}}$  et ne permettent donc pas d'identifier un noyau radioactif émetteur de ce type de particule. Toutefois, certains noyaux décroissent sur l'état fondamental du noyau fils sans émettre de rayonnements  $\gamma$  caractéristiques (par exemple  $^{18}\text{F}$  émetteur  $\beta^+$  ou  $^6\text{He}$  émetteur  $\beta^-$ ), ou bien émettent des rayonnements  $\gamma$  avec de très faibles rapports d'embranchement (par exemple le  $^{19}\text{Ne}$ ). La mesure de l'émission  $\beta$  en fonction du temps permet, dans ces cas particuliers, d'identifier le noyau grâce à sa période radioactive.

Dans certains cas, les  $\gamma$  du noyau recherché peuvent être noyés dans le bruit de fond engendré par les  $\gamma$  des matériaux proches du point de détection ( $^{40}\text{K}$  du béton) ou cachés par les  $\gamma$  provenant des autres noyaux produits au cours de l'expérience. Dans ce cas la mesure d'une émission  $\beta$  en coïncidence avec un photon  $\gamma$  confirme la présence sur la bande d'implantation d'un noyau radioactif amené par le faisceau, et le distingue ainsi des transitions  $\gamma$  du bruit de fond non détectées en coïncidence avec une particule  $\beta$ .

### II-4-3 Les protons

Les énergies des protons sont discrètes et caractéristiques du noyau émetteur. Par conséquent, ils peuvent être détectés pour identifier sans ambiguïté celui-ci. La détection du rayonnement proton, quand il est probable, est préféré à la détection du rayonnement  $\beta$  qui peut provenir d'un noyau polluant. Dans le cas de  $^{31}\text{Ar}$  par exemple, les transitions  $\gamma$  ne sont pas connues alors que les raies protons le sont. Dans le cas général, l'efficacité de détection des rayonnements  $\gamma$  est beaucoup plus faible que celle des protons.

### II-4-4 Les neutrons

Comme le cas décrit précédemment pour les protons, la détection des neutrons permet aussi d'identifier les noyaux émetteurs correspondant. Nous trouvons que les différents types de décroissance cités précédemment sont largement suffisants pour identifier presque tous les types de noyau. Pourtant, notre système peut être adapté à ce mode de détection [Gan98] pour les noyaux lourds riches en neutrons.

## II-5 Le temps de vie des noyaux radioactifs

Les temps de vie des éléments que nous cherchons à détecter peuvent aller de quelques dizaines de millisecondes à quelques jours. Les méthodes de détection seront donc différentes selon les cas. Nous avons réalisé un système qui permet d'utiliser une grande gamme de modes de détection. Avant d'entamer le descriptif de ce système dans le chapitre qui suit, nous rappelons ci-après les lois de décroissance qui représentent les bases de l'identification des noyaux radioactifs de notre système.

### II-5-1 La loi de décroissance radioactive

Un noyau radioactif de durée de vie  $T_{1/2}$  a une probabilité  $\lambda$  de se désintégrer par unité de temps tel que :

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} \quad (\text{II-10})$$

Considérons au temps  $t$  un échantillon composé de  $N$  noyaux identiques au précédent. La variation du nombre de ces radioéléments provoqués par leur désintégration entre les instants  $t$  et  $t+dt$  est:

$$dN = -\lambda N dt \quad (\text{II-11})$$

La loi de variation ou "loi de décroissance radioactive" est déduite en intégrant l'équation (II-11) au cours du temps, ce qui donne:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{II-12})$$

où  $N(t)$  et  $N_0$  représentent respectivement le nombre de noyaux présents au temps  $t$  et au temps  $t = 0$ . Le nombre de désintégration par unité de temps appelé activité est :

$$A(t) = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{II-13})$$

Si on a un flux de noyaux radioactifs  $\phi$  collecté en continu, la variation  $dN$  devient:

$$dN = \phi dt - \lambda N dt \quad (\text{II-14})$$

Pendant l'irradiation, le nombre de noyaux présents et l'activité s'écrivent comme suit:

$$N(t) = \frac{\phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (\text{II-15})$$

$$A(t) = \phi (1 - e^{-\lambda t})$$

avec  $N = 0$  à  $t = 0$ .

Si l'irradiation est arrêté au temps  $t_1$ , le nombre de noyaux présents au temps  $t$  et l'activité deviennent:

$$N(t) = \frac{\phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t} \quad (\text{II-16})$$

$$A(t) = \phi (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t}$$

$$\text{avec } N = \frac{\phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{à } t = 0$$

La mesure de l'activité permet ainsi de déterminer le flux incident.

### II-5-2 Evolution de l'activité en fonction du temps de vie

#### a) Les noyaux à temps de vie court

Comme on peut remarquer d'après l'équation (II-15), l'activité évolue de façon exponentielle avec le temps. Par conséquent au bout de 5 périodes, l'activité sera saturée car il y a autant de noyaux radioactifs qui arrivent avec le faisceau que de noyaux qui disparaissent par décroissance. C'est sur le plateau que la mesure de l'activité (ainsi que le taux de production) est la plus précise car elle peut être moyennée sur une longue durée. Pour les courts temps de vie, l'activité sature rapidement et on détermine le flux en utilisant l'équation (II-15).

#### b) Les noyaux à temps de vie long

Pour les noyaux de temps de vie supérieur à quelques minutes, on n'atteint pas le plateau de saturation rapidement. En revanche, si l'irradiation est arrêtée, l'activité varie selon une fonction exponentielle du temps de vie suivant l'équation (II-16). L'opération qui consiste à faire une mesure sans faisceau après un temps de collection sur la bande d'implantation, peut se répéter plusieurs fois. L'activité, donnée par la pente de décroissance, correspond à plusieurs cycles de mesure. Elle est moyennée et permet de déduire le flux incident à partir de l'équation (II-16). Cette méthode peut aussi être utilisée pour des noyaux qui ne sont identifiables que par leur temps de vie.

Nous avons présenté ci-dessus l'aspect général des différentes mesures utilisées. Une explication détaillée des différents types de mesure (acquisition et détection utilisées) ainsi que les équations pour les différents calculs de flux des noyaux produits seront présentées dans le chapitre suivant.

# Chapitre III

## Présentation générale du système d'identification pour SPIRAL

### III-1 Introduction

Le système d'identification des faisceaux radioactifs de SPIRAL est situé sur la ligne très basse énergie en aval de l'ensemble cible-source de production et en amont du cyclotron CIME. La nature et l'intensité des différents faisceaux issus en même temps de l'ensemble cible - source de SPIRAL sont des informations particulièrement importantes pour le réglage de cet ensemble de production ainsi que du cyclotron. Le faisceau très basse énergie peut être dévié par un aimant déviateur soit vers le cyclotron CIME, soit vers le système d'Identification Basse Energie (IBE) (figure III-1).

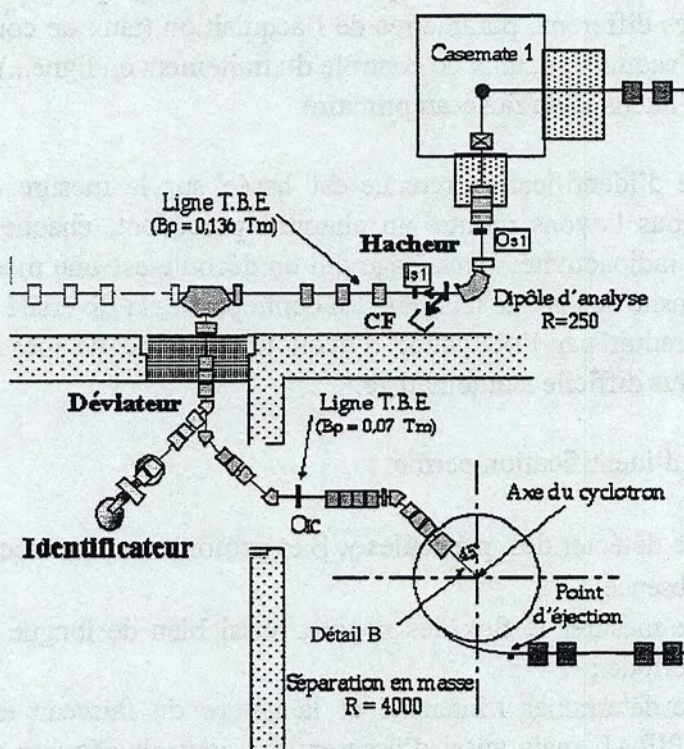


Figure III-1 : Emplacement du système d'identification par rapport aux autres équipements de SPIRAL.

Dans le cas des faisceaux de gaz rares prévus au démarrage de SPIRAL, la diversité des noyaux extraits de la source sera faible. En effet, les condensables produits resteront piégés sur les parois froides du tube de transfert et de la source d'ions et les faisceaux extraits seront uniquement composés de gaz. Les gaz rares ne seront donc pas pollués par leurs parents. La source ECR produisant des ions multichargés, le noyau d'intérêt peut également être pollué par plusieurs noyaux d'états de charge différents. Mais dans le cas des gaz rares, le nombre de faisceaux ayant un rapport de sélection magnétique  $q/m$  identique à celui du noyau d'intérêt est faible.

Par la suite, les ensembles cible - source évolueront pour réaliser des faisceaux radioactifs d'éléments condensables. Tous les atomes produits seront ionisés et par conséquent, le faisceau d'intérêt sera pollué aussi bien par les noyaux radioactifs parents que par les polluants présents dans la source; ces autres faisceaux peuvent être relativement nombreux car :

- le processus de fragmentation du projectile n'est pas un processus sélectif ;
- les sources permettant d'atteindre de hauts états de charge donnent simultanément une large distribution d'états de charge.

Le système d'identification est donc prévu pour ce cas général. Les informations fournies en ligne seront :

- le flux du noyau d'intérêt (choisi au préalable par l'utilisateur),
- le flux de son père et de ses polluants ;
- le flux d'un noyau non prévu au départ et qui peut être ajouté en ligne ;
- les différents paramètres de l'acquisition (taux de comptage, temps mort de l'acquisition, taux de contrôle du traitement en ligne...);
- l'intensité du faisceau primaire.

La méthode d'identification retenue est basée sur la mesure de la radioactivité des noyaux. Comme nous l'avons montré au chapitre précédent, chaque noyau a ses propres caractéristiques de radioactivité. L'avantage qui en découle est une mesure généralement sans ambiguïté de l'intensité de chaque faisceau. En contrepartie, la diversité des caractéristiques de désintégration se traduit par l'obligation d'avoir un système de mesure très diversifié donc plus complexe et plus difficile à automatiser.

Le système d'identification permet :

- de détecter des particules  $\gamma$ ,  $\beta$  et protons en présence du faisceau ou en son absence;
- de mesurer le flux des noyaux aussi bien de longue période que de courte période ;
- de déterminer l'intensité et la nature du faisceau en début de réglage de SPIRAL mais aussi d'assurer leur contrôle régulier quand SPIRAL est en exploitation (faisceau disponible aux utilisateurs) ;
- une utilisation à terme par des non spécialistes ce qui impose sa convivialité.

Dans la suite de ce chapitre nous allons voir successivement : la vue schématique de la station d'identification, les structures en temps du faisceau possibles sur cette station d'identification, les détecteurs et leur efficacité, et finalement les différents modes de détection possibles.

### III-2 Vue schématique du dispositif de détection du système d'identification

Le faisceau radioactif est implanté dans une bande mince de mylar aluminisé de  $35 \mu\text{m}$  d'épaisseur. Afin d'éviter les effets électrostatiques causés par un flux de particules chargées sur un matériau isolant, les deux faces de cette bande sont recouvertes d'une couche d'aluminium de l'ordre de 20 à 30 nm. Le courant électrique déposé est ainsi évacué. Le mylar est un matériau fragile qui se détériore rapidement sous des faisceaux d'intensité estimée expérimentalement supérieure à  $2 \mu\text{Ae}$  : il peut aller jusqu'à la rupture lors de la sélection d'un faisceau d'ions stables généré par les impuretés présentes dans la source d'ions. Il faut donc s'assurer, à l'aide d'une cage de Faraday située en amont, que le faisceau n'est pas accompagné d'un polluant stable de rapport charge sur masse ( $q/m$ ) très voisin de celui du noyau d'intérêt et d'intensité supérieure à  $2 \mu\text{Ae}$ .

Les noyaux radioactifs sont produits, dans la cible, dans des niveaux excités. La diffusion des noyaux hors de la cible de production est un processus long ( $> 1 \text{ ms}$ ) comparé à la durée de vie des niveaux excités dans lesquels se retrouvent les noyaux lors de leur production. Les noyaux radioactifs, lors de leur implantation sur bande, se trouvent donc soit dans leur état fondamental, soit dans un état isomérique s'ils en ont un, car ils auront eu le temps de se désexciter dans la cible de production. Le cortège électronique de l'ion radioactif implanté se recombine avec les électrons libres de la bande. Les ions se retransforment donc à l'état d'atome neutre.

L'élément d'intérêt, qui est un atome instable, sera détecté grâce à sa décroissance radioactive. Le dispositif de détection du système d'identification (figure III-2) doit nous permettre d'identifier des noyaux ayant différents types de radioactivité dans une gamme de temps de vie très étendue (10 ms à quelques jours). Il est donc composé de plusieurs types de détecteurs et de systèmes permettant de mesurer les temps de vie.

### III-3 Structure en temps du faisceau radioactif

Bien que le faisceau primaire incident issu du Cyclotron CSS2 soit pulsé, ce n'est plus le cas pour les faisceaux radioactifs issus de l'ensemble cible-source de SPIRAL. En effet, les particules diffusent hors de la cible et sont ionisées de façon aléatoire. Pour pouvoir mesurer une période radioactive, il est nécessaire de créer une pulsation. Cette pulsation peut être d'une durée de quelques dizaines de millisecondes (pour identifier des noyaux tels que :  ${}^6\text{He}$   $T_{1/2} = 806 \text{ ms}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$   $T_{1/2} = 8,5 \text{ ms}$ ) à quelques dizaines de secondes ou même minutes (pour identifier les noyaux tels que :  ${}^{18}\text{Ne}$   $T_{1/2} = 1,67 \text{ s}$  ;  ${}^{11}\text{C}$   $T_{1/2} = 20 \text{ mn}$  ). Pour réaliser cette structure en temps, nous avons plusieurs possibilités, soit :

- implanter les ions sur la bande du dérouleur, puis la déplacer hors de la trajectoire du faisceau radioactif, afin d'amener les ions implantés devant un détecteur de radioactivité,
- utiliser le hacheur rapide, commandé par l'IBE, présent sur la ligne très basse énergie (figure III-1). Dans ce cas le faisceau est dévié électrostatiquement selon une fréquence hacheur rapide prédéfinie ; le temps de montée et de descente de la haute tension étant de quelques microsecondes, il est ainsi possible de pulser le faisceau avec des intervalles de temps supérieurs à quelques dizaines de microsecondes.

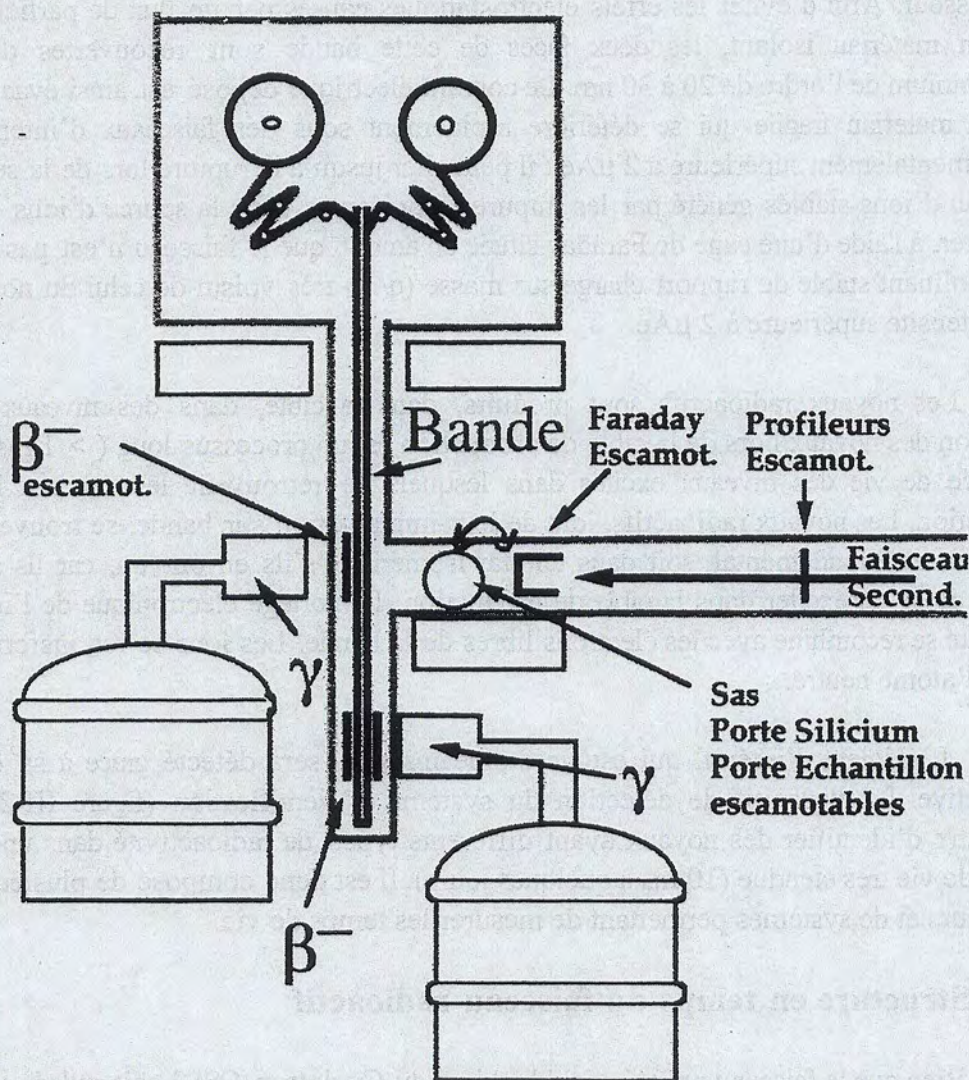


Figure III-2 : Vue schématique du dispositif de détection du système d'identification.

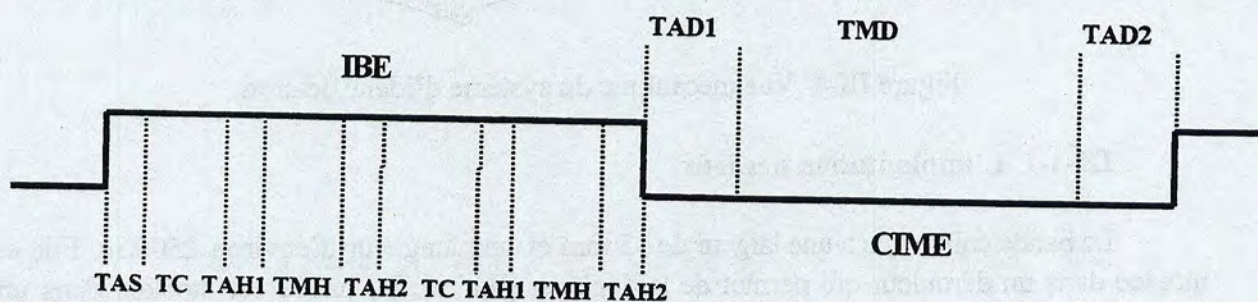
Le faisceau issu de l'ensemble de production de SPIRAL est dévié par un aimant déviateur soit vers le cyclotron CIME pour accélération, soit vers la station IBE pour réglage de la source, soit de façon mixte vers CIME et vers IBE en temps partagé. Cette dernière configuration permet de contrôler la nature qualitative et quantitative du faisceau au cours d'une expérience. Une deuxième structure en temps apparaît donc dans ce cas (figure III-3). Le temps de montée de l'aimant de déviation étant d'environ 500 ms, la commutation du faisceau

d'une ligne à l'autre se fait alors que si le faisceau est arrêté en amont par le hacheur rapide, ceci afin de ne pas polluer la ligne IBE. Le partage en temps, de longues périodes (quelques secondes à quelques minutes), entre CIME et IBE devra être choisi selon les besoins :

- de l'identification de l'ion ;
- des asservissements du cyclotron ;
- des physiciens utilisateurs.

Ce partage de temps est réalisé grâce à un signal envoyé au déviateur par le système de commande et contrôle de SPIRAL. Ce dernier doit rester maître et gérer la présence du faisceau indépendamment du commande et contrôle de la station d'identification. En effet, une expérience à basse énergie peut être montée derrière ou en parallèle à la station d'identification, sans que cette dernière soit utilisée, et peut nécessiter un partage du temps avec le déviateur indépendamment du commande et contrôle de la station d'identification. Un signal de présence-absence du faisceau vers l'équipement est envoyé par le commande-contrôle général de SPIRAL vers le système d'acquisition de l'IBE. Ainsi l'électronique est synchronisé par ce signal (voir paragraphe IV-3-1). De plus, pour le calcul du flux des faisceaux radioactifs, il est nécessaire d'avoir les durées de présence et d'absence du faisceau. Ces informations sont présentes dans un fichier géré par le commande-contrôle de SPIRAL et devront pouvoir être lues par le système de commande et contrôle de la station d'identification.

On a donc la possibilité de créer une structure en temps de faisceau sur la station d'identification (figure III-3). Chaque structure en temps est composée en général d'un temps de collection, d'un temps d'attente et d'un temps de mesure. Cependant, les utilisateurs de la station d'identification ne peuvent pulser le faisceau avec le hacheur rapide que pendant l'intervalle de temps où le faisceau est aiguillé vers la station d'identification par le déviateur magnétique. Le système de commande-contrôle de la station génère donc un signal envoyé vers le hacheur rapide uniquement pendant la « présence faisceau déviateur » sur la station d'identification.



TAS : temps d'attente du début de cycle ;  
 TC : temps de collection ;  
 TAH1 : temps d'attente 1 hacheur ;  
 TMH : temps de mesure hacheur ;  
 TAH2 : temps d'attente 2 hacheur ;

TAD1 : temps d'attente 1 déviateur ;  
 TMD : temps de mesure déviateur ;  
 TAD2 : temps d'attente 2 déviateur ;

Figure III-3 : Structure en temps du système d'identification.



### III-4 Le dérouleur de la bande

La figure III-4 présente une vue mécanique de la station d'identification.

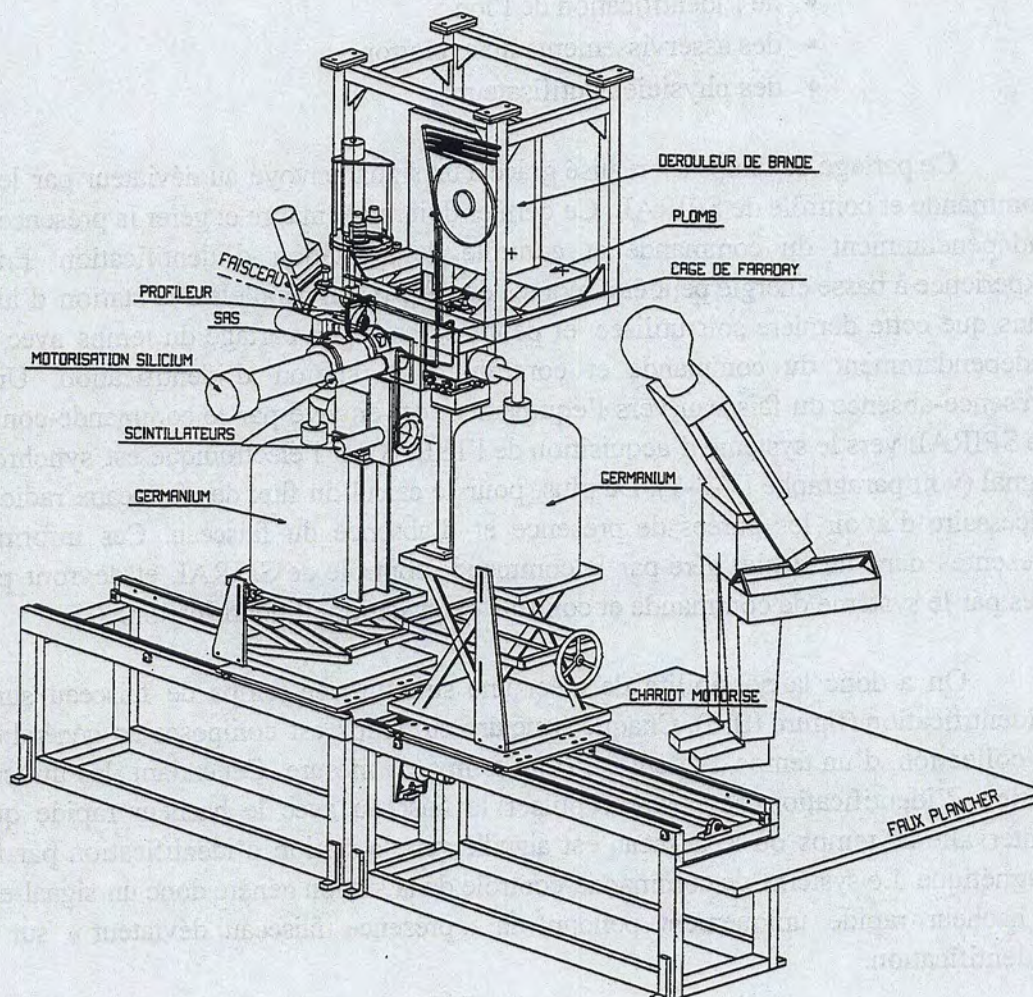


Figure III-4 Vue mécanique du système d'identification.

#### III-4-1 L'implantation des ions

La bande collectrice a une largeur de 15 mm et une longueur d'environ 2500 m. Elle est montée dans un dérouleur qui permet de la déplacer [Eta99]. La bande est stockée dans une enceinte située au dessus du système de détection. Elle est déroulée à travers une bobine émettrice pour être amenée dans une première chambre dite « haute », en face du faisceau, puis dans une deuxième chambre dite « basse » au dessous de la première, en dehors de l'axe du faisceau (figure III-4). La bande est ensuite enroulée sur une bobine réceptrice dans la même enceinte que précédemment. Les ions collectés peuvent être ainsi détectés soit dans la chambre haute en mode direct, le faisceau étant continu ou pulsé par le hacheur ou le déviateur en amont du système d'identification, soit dans la chambre basse en mode indirect après déplacement de la bande à l'aide du dérouleur.

Les ions radioactifs sont implantés dans la bande à une profondeur qui dépend principalement de leur énergie. Le tableau ci dessous illustre un exemple pour les ions :  ${}^6\text{He}^{2+}$ ,  ${}^{35}\text{Ar}^{8+}$  et  ${}^{77}\text{Kr}^{16+}$ , en utilisant une tension d'accélération à la sortie de la source de 20 kV.

| Ion radioactif           | Energie (keV) | Profondeur d'implantation dans la bande (nm) [Sri00] |
|--------------------------|---------------|--|
| ${}^6\text{He}^{2+}$     | 40            | 1310   |
| ${}^{35}\text{Ar}^{8+}$  | 160           | 156,5  |
| ${}^{77}\text{Kr}^{16+}$ | 320           | 161  |

Tableau III-1 : Exemple d'implantation des ions dans la bande.

Certains noyaux sont accompagnés de polluants stables d'intensité élevée qui pourraient endommager la bande. D'autres encore, possédant de très longs temps de vie, peuvent être étudiés longtemps après l'irradiation dans un endroit de très faible bruit de fond (par exemple le  ${}^{35}\text{S}$ ,  $T_{1/2} = 87,2$  jours). Dans ces cas particuliers, le faisceau peut être implanté directement sur un échantillon métallique inséré devant la bande du dérouleur à partir d'un sas (porte échantillon).

#### III-4-2 La synchronisation : bande, présence faisceau, détection des particules

Pour des mesures de radioactivité, il est important d'associer à la mesure de l'énergie et du type de la particule, la mesure du temps de sa détection ainsi que la présence ou l'absence du faisceau radioactif à l'instant de la détection de la particule. Nous avons donc décidé de gérer le déplacement de la bande, la coupure de faisceau par le hacheur, la réception du signal présence faisceau par le déviateur et les différentes séquences en temps par un nouveau module électronique (au standard VXI) appelé Horloge SMC (Spiral Master Clock) [Wit98]. Ce module est situé dans le système d'acquisition des paramètres des détecteurs, ceci afin de connaître pour l'analyse des particules, événement par événement, les différents temps, l'état de la bande et la présence du faisceau.

Chacune des fenêtres (collection, attente et mesure) est associée aux trois phases d'un cycle complet d'horloge (fig. III-3), à savoir :

- la phase de démarrage (start) pendant laquelle on peut programmer un temps d'attente de début d'acquisition pour un éventuel déplacement de la bande ;
- la phase IBE pendant laquelle on peut programmer un temps de collection pendant lequel le faisceau est implanté sur la bande, des temps d'attente qui peuvent correspondre par exemple au temps de déplacement de la bande et enfin un temps de mesure de la radioactivité ;
- la phase CIME pendant laquelle on peut programmer des temps d'attente pour le déplacement de la bande par exemple et un temps de mesure de la radioactivité sans faisceau.

L'horloge fournit également, événement par événement, différentes informations en temps. Ainsi, une horloge « universelle » remise à zéro uniquement en début d'acquisition permet d'avoir une information absolue en temps. Les horloges « collection » et « mesure de radioactivité » IBE et CIME sont réinitialisées à chaque nouveau cycle et donnent un temps relatif à chacune de ces deux séquences. Le principe de fonctionnement ainsi que la programmation à distance des différents temps du module horloge (SMC) seront présentés dans la partie acquisition du chapitre suivant. Les spectres d'activité en fonction du temps de collection ou de radioactivité (IBE et CIME) peuvent être créés en associant à chaque signal venant des détecteurs l'information temps donnée par l'horloge.

### III-5 La détection gamma

#### III-5-1 Le détecteur Germanium

L'énergie des rayonnements  $\gamma$  est mesurée par un détecteur Germanium coaxial de type N [Ger96]. Ce type de détecteur a été choisi pour son excellente résolution en énergie qui traduit sa capacité à séparer deux raies  $\gamma$  d'énergies voisines et qui correspond à la largeur à mi-hauteur d'un pic du spectre  $\gamma$  mesuré. Le détecteur utilisé Ge1 a une résolution de 1,95 keV pour la raie à 1332 keV du  $^{60}\text{Co}$ . A titre de comparaison, la résolution d'un détecteur scintillateur NaI, pour la même énergie, est d'une centaine de keV. Le Ge1 délivre un courant proportionnel à l'énergie déposée par le photon. Il est constitué d'un cristal de germanium d'une grande pureté, dopé n. Le cristal est un cylindre de diamètre extérieur 56 mm et de longueur 58 mm. L'ensemble est polarisé à l'aide d'une tension de quelques kV.

Afin de limiter le bruit intrinsèque de la jonction sur le courant de mesure et pour éviter que les impuretés de dopage ne migrent sous l'effet de la tension de polarisation, le germanium est refroidi à l'aide d'un ensemble cryogénérateur composé d'un compresseur et d'un cryostat contenant la tête cryogénique contrairement à ce qui se fait généralement pour ce type de détecteur, à savoir un refroidissement par l'azote liquide. Pour un ou deux détecteurs, il est moins onéreux et plus pratique d'avoir un tel système que toute une installation de remplissage d'azote ainsi que les sécurités vis à vis de l'utilisation de l'azote liquide dans un local exigü.

Le préamplificateur du détecteur présente une entrée « test ». Elle est utilisée pour estimer le temps mort instantané de l'acquisition, qui représente le rapport entre le nombre d'événements non pris en compte et le nombre total d'événements détectés. Des impulsions électriques, en nombre connu, sont délivrées par un générateur et injectées dans l'entrée test. Le nombre d'impulsions obtenu dans le spectre après acquisition est comparé au nombre initial.

La détection gamma ou béta-gamma sera suffisante pour un grand nombre des premiers noyaux radioactifs de SPIRAL où l'ensemble cible - source sera très sélectif, et fournira principalement des faisceaux de gaz rares relativement légers. Par la suite, il sera nécessaire occasionnellement de disposer d'un deuxième détecteur germanium pour effectuer des coïncidences gamma-gamma. L'emplacement pour ce dernier a été prévu sur le système d'identification.

### III-5-2 Emplacement des détecteurs

La figure III-5 présente la position schématique du détecteur gamma (Ge1) sur la station d'identification. Le germanium 1 est posé sur un support à hauteur réglable en deux niveaux pour pouvoir positionner le détecteur soit face à la chambre haute, soit face à la chambre basse. Ce support peut lui même être déplacé le long de rails disposés dans le prolongement de l'axe d'arrivée du faisceau, ceci afin d'éloigner le détecteur lorsque le taux de comptage est trop important. Le déplacement du support peut se faire soit en local à partir d'un module de commande, soit à distance à travers une liaison JBUS. Ces types de déplacements vont être traités dans la partie commande et contrôle de l'équipement de détection du chapitre suivant. Un deuxième germanium (Ge2) peut être éventuellement placé sur un deuxième support au niveau de la chambre basse sous l'arrivée du faisceau. Il ne pourrait être déplacé que manuellement. Par contre ses butées (niveau haut, niveau bas, distance minimale de la bande et distance maximale de la bande) peuvent être lues à distance. Les deux détecteurs germanium pourront être utilisés en même temps, lorsqu'il sera nécessaire de mesurer en coïncidence deux rayonnements  $\gamma$ .

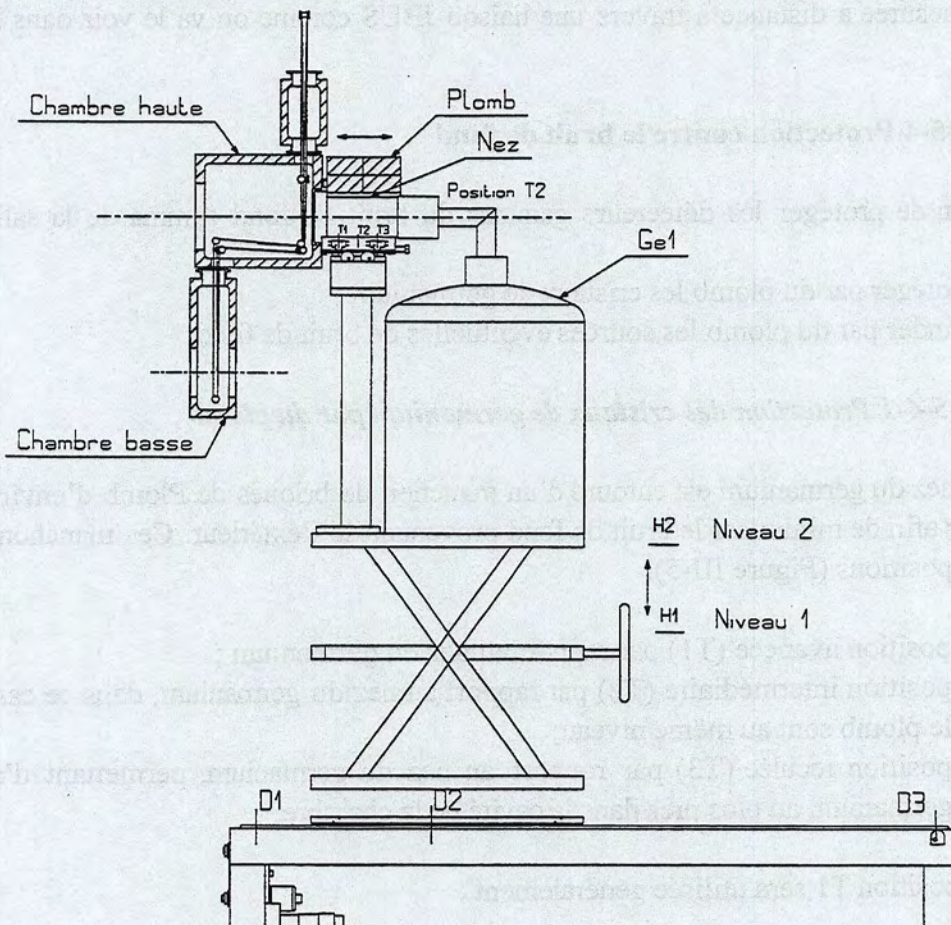


Figure III-5 : Vue schématique de l'emplacement du détecteur germanium ( Ge1).

Les chambres haute et basse possèdent respectivement une et deux cavités qui permettent aux « nez » contenant les cristaux des détecteurs germanium d'être insérés le plus près possible de la bande où sont implantés les noyaux.

### **III-5-3 Annihilation de particule $\beta^+$ et absorbant de $\gamma$ :**

Un disque de Plexiglas de 1 cm d'épaisseur est placé au fond des cavités pour favoriser l'annihilation des  $\beta^+$  avec les électrons du disque afin de détecter les rayonnements de 511 keV quand le noyau émetteur n'a pas de transition  $\gamma$  caractéristique.

De la même façon, un ou plusieurs disques de plomb d'épaisseurs différentes peuvent être placés devant le détecteur germanium pour atténuer les rayonnements  $\gamma$  lorsque le taux de comptage est trop élevé pour la chaîne électronique. Dans ce cas, un compromis devra être trouvé entre l'éloignement du détecteur et l'épaisseur du plomb à ajouter. L'atténuation par du plomb est utile si le bruit de fond à basse énergie est important et l'énergie du rayonnement  $\gamma$  à détecter élevée ( $>1000$  keV). L'épaisseur du plomb disposé dans la cavité de la chambre haute peut être mesurée à distance à travers une liaison JBUS comme on va le voir dans le chapitre suivant.

### **III-5-4 Protection contre le bruit de fond**

Afin de protéger les détecteurs gammas du bruit de fond gamma de la salle, il a été décidé de :

- protéger par du plomb les cristaux de germanium ;
- blinder par du plomb les sources éventuelles de bruit de fond

#### ***III-5-4-1 Protection des cristaux de germanium par du plomb***

Le nez du germanium est entouré d'un manchon de briques de Plomb d'environ 12 mm d'épaisseur afin de minimiser le bruit de fond provenant de l'extérieur. Ces manchons peuvent avoir trois positions (Figure III-5):

- position avancée (T1) par rapport au nez du germanium ;
- position intermédiaire (T2) par rapport au nez du germanium, dans ce cas le nez et le plomb sont au même niveau;
- position reculée (T3) par rapport au nez du germanium, permettant d'avancer le germanium au plus près dans la cavité de la chambre.

La position T1 sera utilisée généralement :

- quand le germanium sera placé très loin de la chambre pour éviter que le cristal ne détecte des gammas générés par les noyaux implantés dans la bande enroulée sur la bobine réceptrice.

- quand le taux de comptage est trop élevé pour l'acquisition et devra être réduit par absorption dans des disques de plomb. Avoir le nez du détecteur reculé par rapport au bord du manchon de plomb évitera un risque de collision du nez du détecteur avec le disque de plomb absorbant. L'ajout du disque de plomb change la distance minimale d'approche du détecteur dans le fond de la chambre.

La position T2 sera utilisée pour des faisceaux de faible intensité gamma avec un bruit de fond pas très gênant. La position du détecteur la plus proche de la bande dans ce cas est celle de l'entrée de la cavité de la chambre.

La position T3 sera utilisée pour des faisceaux de très faible intensité gamma pour lesquels on veut approcher le détecteur au plus près de la bande d'implantation, le manchon ne rentrant pas dans la cavité.

#### ***III-5-4-2 Protection par du plomb des sources de rayonnement $\gamma$***

Les sources de rayonnements gênantes sont :

- les noyaux implantés dans la bobine réceptrice de la bande d'implantation ;
- l'impact de collection des ions dans la chambre haute ;
- la cage de Faraday située devant la bande d'implantation.

L'utilisation d'une bande d'implantation du faisceau implique une répartition de l'activité de manière discontinue sur toute sa longueur. La bobine réceptrice de la bande sera donc une source de bruit de fond. Plusieurs briques de plomb sont disposées entre les bobines du dérouleur et la chambre haute pour protéger le Gel lorsqu'il est en position haute et approché.

Si une mesure de radioactivité a lieu dans la chambre basse au même temps qu'une collection des ions dans la chambre haute, il y a lieu de protéger le détecteur placé en position basse du rayonnement collecté en position haute. Un épais blindage en plomb tapisse le fond inférieur de la chambre haute.

La cage de Faraday, situé en face du détecteur gamma en position haute, peut être une source d'activité dont il sera difficile de se protéger. Pour minimiser son activation par le faisceau, il est donc important de l'utiliser uniquement comme instrument de mesure pour éviter de mettre une intensité trop forte sur la bande et non comme un système pour arrêter le faisceau. Ce dernier peut être arrêté dans une cage de Faraday situé sur la ligne TBE de SPIRAL si le faisceau n'est pas utilisé par CIME (figure III-1).

Le système d'identification étant situé dans une salle relativement éloignée de l'ensemble cible - source, il n'y a pas lieu, a priori avec SPIRAL phase 1, de se protéger des neutrons.

### III-5-5 Spectres en énergie attendus

Les interactions des rayonnements  $\gamma$  avec la matière (figure III-6) sont de trois types: l'effet photoélectrique, la diffusion Compton et la création de paires.

Dans le premier cas le photon transmet toute son énergie à un électron du milieu alors que dans le deuxième cas, il ne lui en laisse qu'une partie. Quand à la création de paires, elle apparaît lorsque le photon a une énergie supérieure à 1,022 MeV. Elle donne alors naissance à une paire électron positron. Ce dernier s'annihile dans la matière et donne à son tour naissance à deux rayonnements  $\gamma$  de 511 keV.

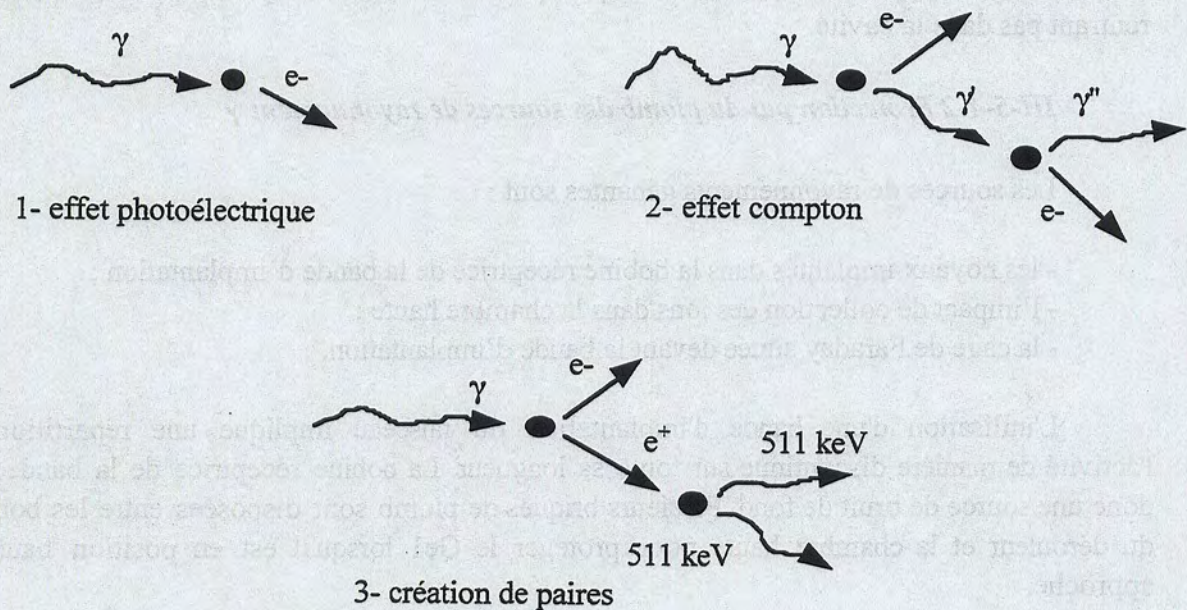


Figure III-6 : Interaction des rayonnements  $\gamma$  avec la matière.

Ainsi, les spectres en énergie attendus rassemblent plusieurs types d'événements caractéristiques:

- les pics de pleine énergie, ou photopics, apparaissent lorsque le rayonnement  $\gamma$  dépose toute son énergie dans le détecteur par un des trois processus d'interaction précédents. On distinguera les pics d'intérêt, qui viennent de la désintégration des noyaux recherchés, et les pics du bruit de fond qui viennent des radioéléments de longs temps de vie présents dans la salle (béton);
- le fond Compton apparaît lorsqu'un rayonnement  $\gamma$  diffusé n'est pas réabsorbé par le détecteur et sort du cristal. L'énergie laissée forme un spectre continu et contribue donc au bruit de fond;

- les pics de simple ou de double échappement apparaissent lors d'une création de paire si un ou les deux photons de 511 keV s'échappent du détecteur. Il faut alors que le nombre de rayonnements  $\gamma$ , d'énergie  $E_\gamma$  supérieure à 1,022 MeV, soit abondant pour que les pics d'énergie  $E_\gamma - 511$  keV et  $E_\gamma - (2*511$  keV) soient artificiellement créés et sortent du bruit de fond;
- les pics d'empilement apparaissent lorsque deux photons sont détectés simultanément dans le cristal. Ces photons peuvent être identiques ou différents, mais caractéristiques de noyaux émetteurs présents en quantité importante. Leurs énergies s'additionnent pour former ce pic. Cet événement est très rare dans notre cas, les taux de comptage ne donnant pas lieu à de fortes multiplicités.

### III-5-6 Efficacités

L'efficacité photopic intrinsèque  $\xi^i$  d'un détecteur pour une énergie  $E$  donnée traduit la capacité du cristal à détecter toute l'énergie d'un rayonnement  $\gamma$  émis dans l'angle solide vu par le détecteur. Elle est définie comme:

$$\xi^i(E) = N^{\text{pic}}(E) / [N^{\text{émis}}(E) * \Omega] \quad (\text{III-1})$$

où  $N^{\text{pic}}(E)$  est le nombre de photons détectés dans le pic d'énergie  $E$ ,  $N^{\text{émis}}(E)$  est le nombre de photons d'énergie  $E$  émis par une source de rayonnement, et  $\Omega$  est la fraction d'angle solide vue par le détecteur.

A titre de comparaison, il est fréquent d'utiliser l'efficacité relative  $\xi_r$  d'un détecteur par rapport à un détecteur NaI de 7,6 \* 7,6 cm, placé à la même distance de la source, pour la transition  $\gamma$  de 1,3 MeV du  $^{60}\text{Co}$ . On a alors:

$$\xi_r = (\xi_{(1,3 \text{ MeV})}^i * \Omega)_{\text{Ge}} / (\xi_{(1,3 \text{ MeV})}^i * \Omega)_{\text{NaI}} \quad (\text{III-2})$$

L'efficacité relative donnée par le constructeur est de 30% pour le Ge1.

L'efficacité absolue  $\xi^a$ , qui nous intéresse plus particulièrement, traduit la probabilité pour le cristal de détecter toute l'énergie d'un rayonnement  $\gamma$  émis dans  $4\pi$ . Elle est définie comme :

$$\xi^a = N^{\text{pic}}(E) / (N^{\text{émis}}(E) * \text{taux\_accept}) \quad (\text{III-3})$$

où  $\text{taux\_accept}$  est le taux d'acceptation de l'acquisition.

Expérimentalement, l'efficacité d'un détecteur germanium, placé à une distance  $d$  de la source radioactive étalonée, est estimée à partir de l'équation (III-3), en mesurant le nombre d'événements  $\gamma$  détectés dans plusieurs pics sur une gamme d'énergie la plus large possible. L'utilisation des sources de  $^{152}\text{Eu}$ , de  $^{22}\text{Na}$  et de  $^{208}\text{Tl}$  permet de couvrir une plage en énergie



allant de 121 à 2614 keV. Une extrapolation faite à partir des mesures obtenues donne l'efficacité en fonction de l'énergie E sous la forme:

$$\xi_d(E) = a(d) E^{b(d)} \quad (\text{III-4})$$

où a(d) et b(d) sont des coefficients variables en fonction de la distance d séparant le détecteur de la source. Cette extrapolation n'est cependant pas utilisable dans le cas de rayonnements  $\gamma$  d'énergie inférieure à 100 keV, pour lesquelles l'efficacité des détecteurs Germanium chute considérablement à cause de l'absorption des  $\gamma$  dans la matière.

Les positions des détecteurs Germanium sont variables et des atténuateurs de rayonnements en plomb peuvent être placés devant la source émettrice. Une mesure de l'efficacité en fonction de l'énergie doit donc être faite pour chaque configuration. Il est aussi possible d'extrapoler une courbe d'efficacité pour une nouvelle distance à partir de deux courbes mesurées à deux autres distances si par ailleurs les conditions de détection sont les mêmes.

### III-6 La détection bêta

Il est inutile de mesurer les énergies des  $\beta$  comme cela a été décrit dans le deuxième chapitre, mais en revanche il est important de détecter leur présence soit pour étudier leur temps de décroissance, soit pour vérifier l'existence de coïncidence  $\beta$ - $\gamma$ .

#### III-6-1 Principe de fonctionnement des détecteurs plastiques scintillants

Le principe de détection des  $\beta$  dans le plastique est basé sur la transformation en lumière de l'énergie déposée par la particule  $\beta$  grâce au phénomène de fluorescence. Les photons créés dans le matériau scintillant en NE102 sont guidés vers un photomultiplicateur. Ce dernier transforme à son tour la lumière en un signal électrique.

#### III-6-2 Emplacement des détecteurs plastiques scintillants

Deux détecteurs plastiques sont installés, l'un dans la chambre haute, l'autre dans la chambre basse.

Pour augmenter l'efficacité de détection des  $\beta$ , nous avons élargi l'angle solide couvert par les détecteurs en plaçant deux scintillateurs plastiques, NE102 de surface carrée de  $\sim 4 \text{ cm}^2$  et de 1 mm d'épaisseur, de part et d'autre de la bande collectrice dans la chambre basse.

Dans la chambre haute, le détecteur plastique a été placé uniquement derrière la bande du dérouleur pour que le faisceau puisse atteindre la bande.

Le détecteur plastique de la chambre haute est escamotable et commandé à distance à travers la même liaison JBUS que précédemment. Par contre le détecteur plastique dans la chambre basse est escamotable manuellement.

### III-6-3 Efficacités des détecteurs plastiques scintillants

Les détecteurs scintillants présentent une excellente efficacité de détection des particules  $\beta$ . Il est important de choisir judicieusement leur épaisseur pour avoir une efficacité en  $\beta$  proche de 100% et en  $\gamma$  proche de 0%. Une épaisseur de 1 mm a donc été retenue. Pour une telle épaisseur, seule une partie de l'énergie des  $\beta$  est déposée dans le plastique puisque ces derniers traversent le plastique. Mais cette perte d'énergie est suffisante pour indiquer la présence d'un  $\beta$ . Cette faible épaisseur du plastique évite que notre détection  $\beta$  soit entachée par la détection simultanée d'un  $\gamma$ .

L'efficacité du détecteur plastique est donc essentiellement une efficacité géométrique. Elle est proche de 100% pour le détecteur bas et de 50% pour le détecteur haut. Des mesures plus précises avec des sources radioactives sont prévues.

## III-7 La détection des protons

Il est utile de mesurer l'énergie des protons, comme cela a été décrit dans le deuxième chapitre, car leur énergie est typique d'un noyau donné.

### III-7-1 Principe des détecteurs Silicium

Les particules ionisantes créent des charges libres dans le Silicium. Ces charges sont accélérées par un champ électrique créé par la haute tension appliquée aux bornes du détecteur Silicium. L'intégrale du courant résultant est proportionnelle au dépôt d'énergie de la particule.

### III-7-2 Emplacement des détecteurs Silicium

Un ensemble de deux jonctions silicium juxtaposées, dont la première est recouverte d'un film de mylar aluminisé, peut être installé dans le sas (porte échantillon) au bout d'un piston et introduit en face du faisceau devant la bande du dérouleur, dans la chambre haute. Les deux jonctions ont un diamètre de 34,8 mm et une épaisseur de 300  $\mu\text{m}$ . Les ions du faisceau sont implantés dans la feuille en aluminium. Les protons émis lors de la décroissance des noyaux sont arrêtés et détectés dans la première jonction alors que les particules  $\beta$  déposent leur énergie et ne s'arrêtent que dans la deuxième. Une anti-coïncidence entre les deux jonctions silicium permet d'éliminer les événements  $\beta$  qui ont aussi déposé une partie de leur énergie dans la première jonction simultanément aux protons et qui détériorent l'énergie du proton observé.

### III-7-3 Efficacités et calibrations des détecteurs Silicium

Les protons de radioactivité (quelques MeV) déposent toute leur énergie dans le détecteur Silicium de 300 microns. L'efficacité intrinsèque est donc de 100%. Les ions sont implantés sur une feuille à la surface du détecteur. l'efficacité géométrique est donc proche de 50%. Dans le cas d'une anti-coïncidence avec le  $\beta$ , l'efficacité devient de l'ordre de 25%.

Les jonctions sont étalonnées en énergie et en efficacité avec les trois particules  $\alpha$  émises par une source contenant de  $^{244}\text{Am}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et du  $^{239}\text{Pu}$ . Dans ce cas, la résolution en énergie est d'environ 18 keV et l'efficacité de détection est d'environ 45%. L'utilisation de jonctions Silicium implique que le nombre d'ions incidents doit être limité à quelques  $5.10^3$  pps pour ne pas détériorer les semi-conducteurs.

### III-8 Les différents modes d'identification des noyaux radioactifs

Plusieurs configurations d'acquisition et de détection sont à envisager suivant le type du rayonnement émis par le noyau à identifier et son temps de vie. Pour pouvoir identifier et estimer le flux incident d'un noyau d'intérêt donné, il faut choisir la configuration adéquate qui dépend essentiellement de son mode de désintégration.

Dans notre cas, pour une seule configuration d'acquisition et de détection, deux types de flux sont calculés automatiquement suivant des délais de rafraîchissement choisis (délai instantané, délai cumulé) par l'utilisateur à partir d'une interface graphique réalisée pour gérer toute l'application:

- flux instantané qui tient compte du nombre de rayonnements émis au cours d'un intervalle de temps court;
- flux cumulé qui tient compte de toute la statistique depuis le démarrage de l'acquisition.

Ces flux pourront être comparés à un flux dit « simulé » qui est calculé à partir d'un modèle théorique.

#### III-8-1 Méthode générale de calcul de flux

D'une façon générale, le calcul d'un flux de particules incidentes données suit la procédure suivante:

- dans un premier temps, nous mesurons le nombre de rayonnements  $\gamma$ ,  $\beta$ - $\gamma$  ou proton, détectés dans le pic d'énergie choisi, ou le nombre total de rayonnement  $\beta$  seuls;
- ensuite, le nombre total de noyaux qui se sont désintégrés est estimé en corrigeant le nombre d'événements détectés par l'efficacité des détecteurs, le temps mort de l'acquisition, le taux d'acceptation du traitement et le rapport d'embranchement du rayonnement considéré;
- enfin, le nombre de noyaux implantés est calculé en corrigeant par la probabilité de désintégration en tenant compte des structures en temps (mode continu, hacheur, déviateur) et des temps de collection, d'attente et de mesure, entrant en jeu dans les différentes configurations d'acquisition et de détection.

### III-8-2 Cas des parents

Si le noyau père du noyau d'intérêt à identifier est produit en même temps et s'il est sélectionné car il présente le même rapport charge sur masse, l'estimation du flux doit en tenir compte. En effet la quantification des noyaux fils sur la bande dépendra du flux du faisceau incident et de la contribution des pères par leur décroissance. Il faut d'abord mesurer le flux du père pour retirer sa contribution dans le calcul du flux du fils. Il est préférable de faire la mesure des deux noyaux dans la même séquence d'acquisition pour s'affranchir des erreurs supplémentaires dues à d'éventuels changements de condition du faisceau ou de détection. Ceci n'est cependant pas possible lorsque la détection des noyaux père et fils nécessite deux modes d'identification différents.

Le calcul du nombre de noyaux fils implantés directement sur la bande est présenté dans le paragraphe III-8-5-0.

Nous présentons maintenant les différents modes de mesure des noyaux radioactifs utilisés dans notre système d'identification. Ces modes sont répartis en deux catégories:

- les modes sans déviateur: c'est le cas où le faisceau sera aiguillé en permanence vers le système d'identification IBE;
- les modes avec déviateur: c'est le cas où le faisceau sera aiguillé alternativement vers le système d'identification et vers le cyclotron CIME pour accélération. La déviation vers CIME prend en général la majorité du temps d'un cycle déviateur (~90%).

### III-8-3 Les différents modes de détection utilisés

#### A) Cas sans déviateur:

##### A-1 Mesure directe IBE dans la chambre haute : figure (III-7)

La mesure se fait en même temps que la collection des noyaux sur la bande dans la chambre haute.

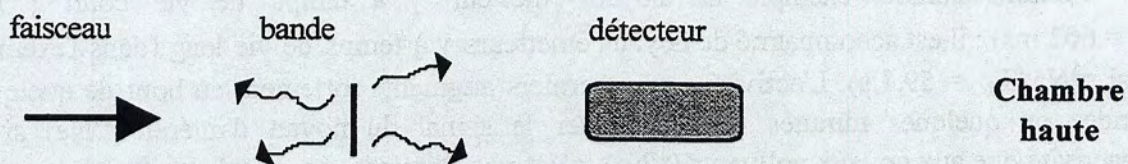


Figure III-7 : Configuration de détection pour le mode direct.

Cette mesure se fait en utilisant soit :

- le détecteur Germanium 1 pour la détection des  $\gamma$  si le noyau à détecter émet des  $\gamma$  caractéristiques;
- le détecteur Silicium si le noyau est un émetteur proton;
- les détecteurs Germanium 1 et plastique pour la détection des coïncidences  $\gamma$ - $\beta$ .

Cette configuration est utilisée pour les noyaux de durées de vie relativement courtes (au plus quelques mn), par exemple le  $^{18}\text{Ne}$  ( $T_{1/2} = 1,67$  s) émetteur de  $\gamma$  caractéristiques ou  $^{31}\text{Ar}$  ( $T_{1/2} = 15,3$  ms) émetteur de protons. Le calcul des flux instantané et cumulé dans ce cas est donné dans le paragraphe III-8-5-1.

#### A-2 Mesure directe IBE avec dérouleur dans la chambre haute : figure (III-8)

La mesure se fait en direct dans la chambre haute en même temps que la collection avec un déplacement régulier de la bande pendant les temps d'attente programmés dans l'horloge.

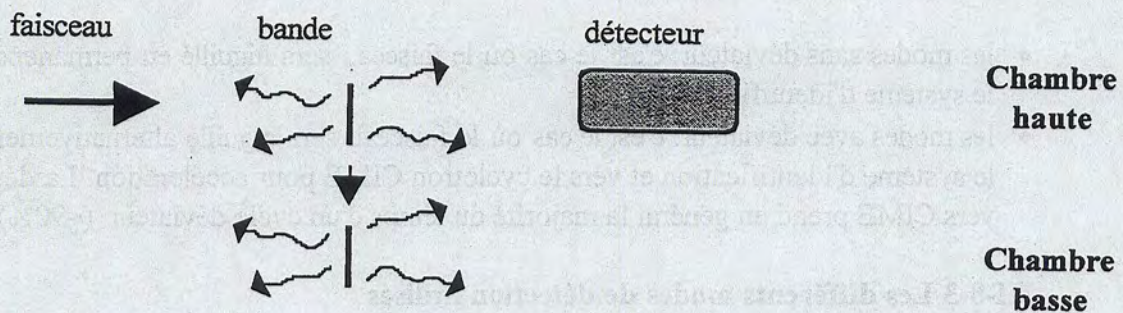


Figure III-8 : Configuration de détection pour le mode direct avec dérouleur.

Cette configuration est utilisée avec soit:

- le détecteur Germanium 1 si le noyau à détecter est émetteur  $\gamma$ ;
- les détecteurs Germanium 1 et plastique pour la détection des coïncidences  $\gamma$ - $\beta$ .

Prenons comme exemple un noyau émetteur  $\gamma$  à temps de vie court ( $^{25}\text{Ne}$ ,  $T_{1/2} = 602$  ms) ; il est accompagné de noyaux émetteurs  $\gamma$  à temps de vie long (dans l'exemple choisi,  $^{25}\text{Na}$ ,  $T_{1/2} = 59,1$  s). L'activité de ces derniers augmente fortement au bout de quelques secondes ou quelques minutes et peut noyer le signal du noyau d'intérêt ( $^{25}\text{Ne}$ ) si la radioactivité due aux noyaux polluants ( $^{25}\text{Na}$ ) n'est pas éliminée. Le calcul des flux instantané et cumulé dans ce cas est donné dans le paragraphe III-8-5-2.

#### A-3 Mesure indirecte IBE avec dérouleur dans la chambre basse: figure (III-9)

La collection et la mesure seront décalées dans le temps. Les noyaux sont collectés sur la bande dans la chambre haute pendant un temps  $t_c$  (temps de collection). Puis la bande est déplacée pendant un temps d'attente de 600 ms environ pour amener l'activité dans la chambre

basse où elle est mesurée pendant le temps  $t_m$  (temps de mesure). En conséquence, la mesure radioactive qui correspondra au cycle « n » aura lieu en même temps que la collection du cycle suivant « n + 1 ». Ce mode n'est possible que si on impose un temps de mesure et de collection identique :  $t_m = t_c$ .

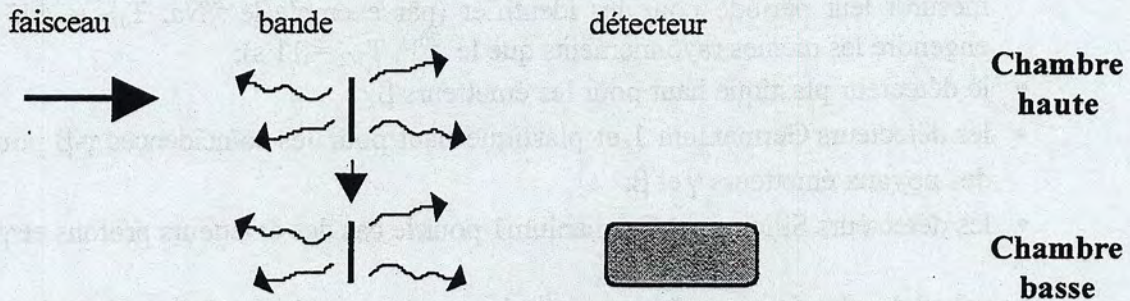


Figure III-9 : Configuration de détection pour le mode indirect avec dérouleur.

Cette configuration concerne les noyaux à temps de vie long (à partir de quelques mn). Elle est utilisée soit avec:

- le détecteur Germanium 1 dans le cas d'un noyau émetteur  $\gamma$  caractéristique ;
- le détecteur plastique bas dans le cas d'un noyau émetteur  $\beta$ ;
- les deux détecteurs Germanium1 et Germanium 2 pour les coïncidences  $\gamma$ - $\gamma$  dans le cas d'un émetteur  $\gamma$ , (exemple  $^{27}\text{Mg}$ ,  $T_{1/2} = 9,46$  mn);
- les deux détecteurs Germanium (Ge1 ou Ge2) et plastique pour les coïncidences  $\gamma$ - $\beta$  dans le cas des noyaux émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$ ;

Elle permet aussi d'identifier les noyaux à temps de vie supérieur à quelques secondes lorsqu'il est nécessaire de mesurer leur période pour les identifier (par exemple le  $^{29}\text{P}$ ,  $T_{1/2} = 4,14$  s qui engendre les mêmes rayonnements que le  $^{29}\text{Al}$ ,  $T_{1/2} = 6,56$  mn, ou bien le  $^{19}\text{Ne}$ ,  $T_{1/2} = 17,34$  s, qui émet essentiellement des particules  $\beta^+$ ). Le calcul des flux instantané et cumulé correspondant est donné dans le paragraphe III-8-5-3.

A-4 Mesure indirecte IBE avec hacheur dans la chambre haute: figure (III-10)

La collection et la mesure sont décalées dans le temps. La mesure a lieu dans la chambre haute, dans l'axe d'arrivée du faisceau. Les noyaux sont collectés sur la bande pendant un temps  $t_c$ , puis le hacheur placé en amont de la ligne arrête le faisceau sans déplacement de la bande. Les noyaux sont mesurés pendant cet arrêt (temps  $t_m$ ).

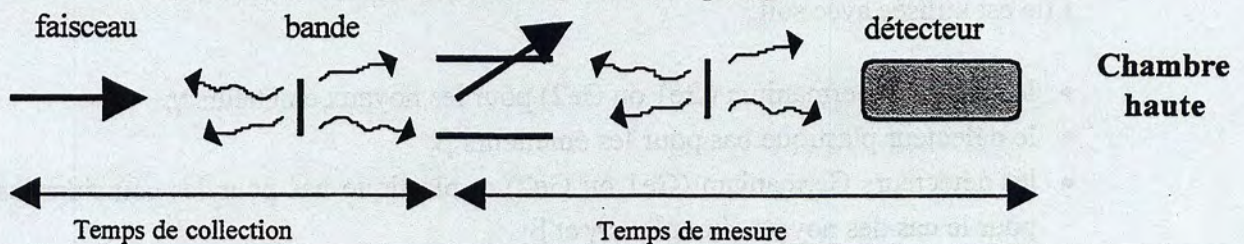


Figure III-10 : Configuration de détection pour le mode hacheur.

Cette configuration concerne particulièrement les noyaux à temps de vie court, elle est utilisée avec soit:

- le détecteur Germanium 1 pour les noyaux émetteurs  $\gamma$  lorsqu'il est nécessaire de mesurer leur période pour les identifier (par exemple le  $^{20}\text{Na}$ ,  $T_{1/2} = 445$  ms qui engendre les mêmes rayonnements que le  $^{20}\text{F}$ ,  $T_{1/2} = 11$  s);
- le détecteur plastique haut pour les émetteurs  $\beta$ ;
- les détecteurs Germanium 1 et plastique haut pour les coïncidences  $\gamma$ - $\beta$  pour le cas des noyaux émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$ ;
- les détecteurs Silicium et Germanium1 pour le cas des émetteurs protons et  $\gamma$ .

Le calcul des flux instantané et cumulé dans ce cas est donné dans le paragraphe III-8-5-4.

#### A-5 Mesure indirecte IBE avec dérouleur et hacheur dans la chambre basse : figure (III-11)

La mesure se fait de la même façon que dans le cas de A-3 avec un déroulement de la bande et un arrêt faisceau dans la chambre haute.

Cette configuration est utilisée lorsque l'activité engendrée par l'implantation des ions sur la bande, dans la chambre haute, est très importante et cause un bruit de fond trop élevé pour poursuivre la mesure simultanément dans la chambre basse.

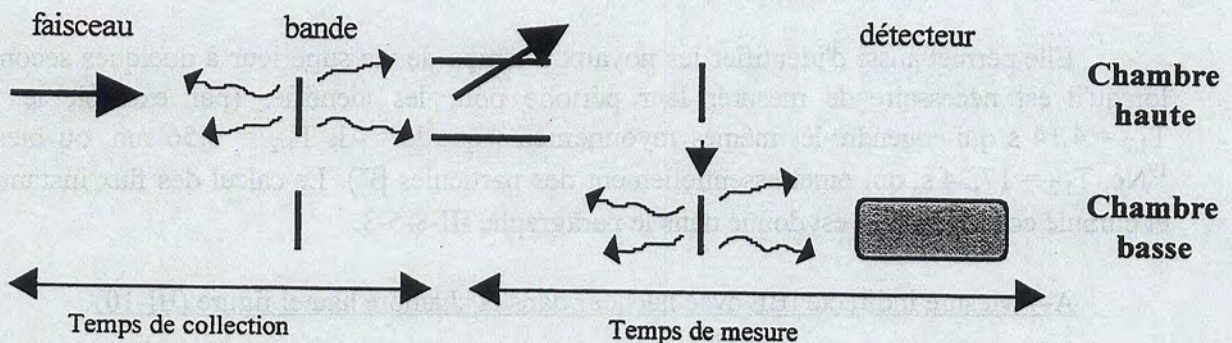


Figure III-11 : Configuration de détection pour le mode hacheur avec dérouleur dans la chambre basse.

Elle est utilisée avec soit:

- le détecteur Germanium (Ge1 ou Ge2) pour les noyaux émetteurs  $\gamma$ ;
- le détecteur plastique bas pour les émetteurs  $\beta$ ;
- les détecteurs Germanium (Ge1 ou Ge2) et plastique bas pour les coïncidences  $\gamma$ - $\beta$  pour le cas des noyaux émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$ ;
- les détecteurs Germanium 2 et Germanium1 pour les coïncidences  $\gamma$ - $\gamma$  dans le cas des émetteurs  $\gamma$ .

Le calcul des flux instantané et cumulé dans ce cas est donné dans le paragraphe III-8-5-5.

### B) Cas avec déviateur

Les différentes configurations vues précédemment peuvent être utilisées dans le cas où on est en mode mixte déviateur (faisceau dévié vers CIME et vers IBE en temps partagé) avec la même structure en temps qui ne sera appliquée que pendant le temps IBE (faisceau dévié vers le système d'identification).

Dans tous les cas où on déroule la bande, les calculs des flux seront identiques que précédemment. Par contre dans les autres cas, il faut tenir compte de la décroissance pendant le temps ( $t_{\text{cime}}$ ) où le faisceau est dévié vers le cyclotron CIME.

### **III-8-4 Méthode d'identification par le temps de vie**

C'est une méthode utilisée lorsque, dans un spectre en énergie des rayonnements  $\gamma$ , une raie correspond à deux noyaux émetteurs différents, ou bien lorsqu'une raie de ce même spectre correspond à un noyau inconnu, ou encore lorsqu'un noyau est uniquement émetteur  $\beta$ .

Le spectre de radioactivité est obtenu en sélectionnant, en fonction du temps de mesure  $t_m$ , soit les rayonnements d'un pic d'énergie choisi ( $\gamma$  ou proton), soit le signal de présence des rayonnements  $\beta$ . Ce spectre présente une pente de décroissance qui peut résulter du mélange de plusieurs temps de vie de noyaux différents. De plus, les décroissances des noyaux pères, lorsqu'ils sont présents, contribuent à augmenter le nombre final de noyaux.

La méthode de déconvolution de ce spectre consiste à reproduire l'activité totale mesurée à l'aide de la somme des activités calculées, en laissant comme paramètres libres le ou les flux des noyaux fils, leurs temps de vie, ou les deux à la fois. Les activités sont calculées à partir des formules décrites dans le paragraphe III-8-5 pour chaque configuration de détection. La convergence entre l'activité mesurée et l'activité calculée est atteinte par la méthode de minimisation du  $\chi^2$  [Bev69].

Lors d'une décroissance radioactive, le taux de comptage vu par le détecteur varie au cours du temps, il en résulte une variation du temps mort en fonction du temps. Si on utilise une valeur moyenne du temps mort pour corriger la période, cette valeur du temps mort peut conduire à une valeur erronée de la période. Il y a lieu, si la variation du taux de comptage est importante en fonction du temps, de mesurer la variation du temps mort  $TM$  en fonction du temps et de corriger la courbe de décroissance radioactive par cette fonction temps mort dépendant du temps. Cette fonction  $TM(t)$  est aisément obtenue par un générateur à taux fixe en fonction du temps envoyé simultanément dans l'acquisition. La dépendance du taux du générateur observée dans l'acquisition donne cette fonction. Cette procédure a été très utile pour déterminer un contaminant inconnu lors d'une mesure : il s'agissait de la molécule  $^{11}\text{CO}^+$  dont le  $^{11}\text{C}$  est émetteur  $\beta^+$  sans gamma. La raie 511 keV résultant de l'annihilation du  $\beta^+$  n'est



pas caractéristique uniquement du  $^{11}\text{C}$ . La mesure de la période correspondant à la raie 511 keV, sans correction du temps mort dépendant du temps, ne permettait pas de conclure à l'attribution  $^{11}\text{C}$ . Après correction, cette attribution était évidente.

### III-8-5 Calculs des flux pour les différents modes de détection du système d'identification

#### ❖ Nomenclature

- $f$  = noyau fils ;  
 $p$  = noyau père ;  
 $N$  = nombre de noyaux d'un isotope donné présent sur la bande de collection ;  
 $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  : probabilité de désintégration par unité de temps d'un atome donné de période  $T_{1/2}$  ;  
 $\phi$  = flux incident d'un isotope donné (en pps) ;  
 $t_{\text{acq}}$  = temps total d'acquisition ;  
 $t_c$  = temps de collection du faisceau sur la bande (en s) ;  
 $t_a$  = temps d'attente (en s) ;  
 $t_m$  = temps de mesure (en s) ;  
 $R_{\text{pf}}$  = rapport d'embranchement père fils ;  
 $\lambda_{\text{pf}} = (R_{\text{pf}} * \lambda_p)$  : probabilité de désintégration d'un atome père vers un atome fils ;  
 $N_{\text{des}}(t)$  = nombre de noyaux désintégrés pendant le temps  $t$  ;  
 $\text{ins}$  = instantané ;  
 $\text{cum}$  = cumulé ;

#### III-8-5-0 Calcul du nombre de noyaux implantés sur une bande

##### a) Faisceau avec un isotope

Le faisceau contenant les noyaux d'un isotope donné est implanté de façon continue sur la bande.

La variation du nombre de noyaux de cet isotope au cours du temps est :

$$\frac{dN}{dt} = \Phi - \lambda N \quad (\text{A-1})$$

après intégration, le nombre de noyaux présents au temps  $t$  s'écrit :

$$N = \frac{\Phi}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (\text{A-2})$$

##### b) Faisceau avec un isotope accompagné de son père

Le faisceau contenant les noyaux fils et les noyaux pères est implanté de façon continue sur la bande.

La variation du nombre de noyaux fils au cours du temps est :

$$\frac{dN_f}{dt} = \Phi_f + \lambda_p N_p - \lambda_f N_f = \Phi_f + \Phi_p (1 - e^{-\lambda_p t}) - \lambda_f N_f \quad (\text{A-3})$$

Après intégration, le nombre de noyaux fils présent au temps  $t$  s'écrit :

$$N_f = \left[ \frac{\Phi_f}{\lambda_f} - \frac{\lambda_{pf} \Phi_p}{\lambda_f (\lambda_f - \lambda_p)} \right] (1 - e^{-\lambda_f t}) + \frac{\lambda_{pf} \Phi_p}{\lambda_p (\lambda_f - \lambda_p)} (1 - e^{-\lambda_p t}) \quad (\text{A-4})$$

### III-8-5-1 Mesure directe dans la chambre haute

Le faisceau contenant les noyaux d'un isotope donné est implanté de façon continue sur la bande.

Le nombre instantané de noyaux désintégrés est :

$$\frac{dN_{des}}{dt} = \Phi - \lambda_f N_f \quad (\text{A-5})$$

#### a) Flux cumulé

Le nombre total de noyaux désintégrés pendant le temps total d'acquisition  $t_{cum}$  est :

$$N_{des(cum)} = \int_0^{t_{cum}} \lambda_f N_f dt \quad (\text{A-6})$$

Après intégration, le flux cumulé du noyau fils est déduit de l'équation (A-6) et s'écrit :

$$\Phi_f(cum) = \frac{1}{t_{cum} - \frac{1}{\lambda_f} (1 - e^{-\lambda_f t_{cum}})} \left[ N_{des(cum)} - \Phi_p \left( \frac{\lambda_{pf}}{\lambda_p} t_{cum} + \frac{\lambda_{pf} (1 - e^{-\lambda_f t_{cum}})}{\lambda_f (\lambda_f - \lambda_p)} - \frac{\lambda_{pf} \lambda_f (1 - e^{-\lambda_p t_{cum}})}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} \right) \right] \quad (\text{A-7})$$

#### b) Flux instantané

Le nombre de noyaux désintégrés pendant le temps instantané :  $t_{ins} = t_f - t_i$

$$N_{des(ins)} = \int_{t_i}^{t_f} \lambda_f N_f dt \quad (\text{A-8})$$

Après intégration, le flux instantané du noyau fils est déduit de l'équation (A-8) et s'écrit :

$$\Phi_f(ins) = \frac{1}{t_{ins} - \frac{1}{\lambda_f} (e^{-\lambda_f t_f} - e^{-\lambda_f t_i})} \left[ N_{des(ins)} - \Phi_p \left( \frac{\lambda_{pf}}{\lambda_p} t_{ins} + \frac{\lambda_{pf} (e^{-\lambda_f t_i} - e^{-\lambda_f t_f})}{\lambda_f (\lambda_f - \lambda_p)} - \frac{\lambda_{pf} \lambda_f (e^{-\lambda_f t_i} - e^{-\lambda_f t_f})}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} \right) \right] \quad (A-9)$$

### III-8-5-2 Mesure directe avec dérouleur dans la chambre haute

Le faisceau contenant les noyaux fils et les noyaux pères est implanté de façon continue et la bande est déplacée au bout d'un temps ( $t_a + t_m$ ). La mesure a lieu en même temps que la collection. Elle est arrêtée pendant le déplacement de la bande.

#### a) Flux cumulé

Le nombre de cycles de mesure pendant le temps total d'acquisition  $t_{cum}$  s'écrit :

$$N_{cycle} = \frac{t_{cum}}{t_m + t_a} \quad (A-10)$$

Le flux cumulé du noyau fils est calculé à partir de l'équation (A-7) en remplaçant  $N_{des(cum)}$  par  $\frac{N_{des(cum)}}{N_{cycle}}$  et  $t_{cum}$  par  $t_m$ .

#### b) Flux instantané

Le flux instantané est calculé en distinguant deux cas concernant le temps instantané  $t_{ins}$ :

$$\triangleright t_{ins} = N_{cycle(ins)} * (t_a + t_m) \text{ pour } t_{ins} > t_m$$

Le flux instantané du noyau fils est calculé à partir de l'équation (A-7) en remplaçant  $N_{des(cum)}$  par  $\frac{N_{des(ins)}}{N_{cycle(ins)}}$  et  $t_{cum}$  par  $t_m$ .

$$\triangleright t_m = N_{cycle(ins)} * t_{ins} \text{ pour } t_{ins} < t_m$$

Le flux instantané du noyau fils est calculé à partir de l'équation (A-9) avec  $t_{ins} = t_f - t_i$ .

**III-8-5-3 Mesure indirecte avec dérouleur dans la chambre basse**

Le faisceau contenant les noyaux d'un isotope donné est implanté pendant le temps  $t_c$ , la bande est déplacée pendant un temps d'attente  $t_a$ . L'activité est mesurée pendant le temps  $t_m$  dans la chambre basse, tandis que la collection du cycle suivant a lieu en même temps dans la chambre haute. Dans ce cas  $t_c = t_m$ .

**a) Flux cumulé**

Le nombre de cycle pendant le temps total de l'acquisition  $t_{cum}$  est :

$$N_{cycle} = \frac{t_{cum} - (t_c + t_a)}{t_c + t_a} \quad (A-11)$$

Le nombre total de noyaux désintégrés s'écrit, en tenant compte de tout l'historique de l'acquisition :

$$N_{des(cum)} = N_{cycle} \left[ \left( \frac{\Phi_f}{\lambda_f} - \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_f (\lambda_f - \lambda_p)} \right) (1 - e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} (1 - e^{-\lambda_f t_m}) + \frac{\lambda_f \Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} (1 - e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} (1 - e^{-\lambda_p t_m}) \right] \quad (A-12)$$

Le flux cumulé du noyau fils est déduit de l'équation (A-12) et s'écrit :

$$\Phi_{f(cum)} = \frac{\lambda_f}{(1 - e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} (1 - e^{-\lambda_f t_m})} \left[ \frac{N_{des(cum)}}{N_{cycle}} - \frac{\lambda_f \Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} (1 - e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} (1 - e^{-\lambda_p t_m}) \right] + \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{(\lambda_f - \lambda_p)} \quad (A-13)$$

**b) Flux instantané**

Le flux instantané est calculé en distinguant deux cas concernant le temps instantané  $t_{ins}$ :

➤  $t_{ins} = N_{cycle(ins)} * (t_c + t_a)$

Dans ce cas, le flux instantané du noyau fils est déduit de l'équation (A-13) en remplaçant  $\frac{N_{des(cum)}}{N_{cycle}}$  par  $\frac{N_{des(ins)}}{N_{cycle(ins)}}$  avec :

$$N_{cycle(ins)} = \frac{t_{ins} - (t_c + t_a)}{t_c + t_a} \quad (A-14)$$

$$\triangleright t_m = N_{\text{cycle(ins)}} * t_{\text{ins}}$$

Dans ce cas, le flux instantané du noyau fils calculé s'écrit :

$$\Phi_{f(\text{ins})} = \frac{1}{(1-e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} \frac{(e^{-\lambda_f t_i} - e^{-\lambda_p t_i})}{\lambda_f}} \left[ N_{\text{des(ins)}} - \frac{\lambda_f \Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p (\lambda_f - \lambda_p)} (1-e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} \frac{(e^{-\lambda_p t_i} - e^{-\lambda_f t_i})}{\lambda_p} \right] + \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{(\lambda_f - \lambda_p)}$$

(A-15)

#### III-8-5-4 Mesure indirecte avec hacheur dans la chambre haute

Le faisceau contenant les noyaux d'un isotope donné est implanté pendant le temps  $t_c$ , puis, après un éventuel temps d'attente  $t_a$ , l'activité est mesurée pendant le temps  $t_m$ . La bande n'est pas déplacée et l'activité est accumulée pendant tout le temps d'acquisition  $t_{\text{cum}}$ .

##### a) Flux cumulé

Le nombre de cycles pendant le temps total d'acquisition  $t_{\text{cum}}$  est :

$$N_{\text{cycle}} = \frac{t_{\text{cum}}}{t_c + t_a + t_m} \quad (\text{A-16})$$

Le temps d'un cycle s'écrit :

$$t_{\text{cycle}} = t_c + t_a + t_m \quad (\text{A-17})$$

Le nombre total de noyaux désintégrés s'écrit, en tenant compte de tout l'historique de l'acquisition :

$$N_{\text{des(cum)}} = \left[ \left( \frac{\Phi_f}{\lambda_f} - \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_f (\lambda_f - \lambda_p)} \right) (1-e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} (1-e^{-\lambda_f t_m}) \left( \sum_{i=1}^{N_{\text{cycle}}} (N_{\text{cycle}} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_f t_{\text{cycle}}} \right) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_f \Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} (1-e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} (1-e^{-\lambda_p t_m}) \left( \sum_{i=1}^{N_{\text{cycle}}} (N_{\text{cycle}} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_p t_{\text{cycle}}} \right) \right] \quad (\text{A-18})$$

Le flux cumulé du noyau fils est déduit de l'équation (A-18) et s'écrit :

$$\Phi_{f(cum)} = \frac{\lambda_f}{(1-e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} (1-e^{-\lambda_f t_m})} \left[ \sum_{i=1}^{N_{cycle}} (N_{cycle} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_f t_{cycle}} \right]$$

$$\left[ N_{des(cum)} - \frac{\lambda_f \Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p^2 (\lambda_f - \lambda_p)} (1-e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} (1-e^{-\lambda_p t_m}) \left[ \sum_{i=1}^{N_{cycle}} (N_{cycle} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_p t_{cycle}} \right] \right] + \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{(\lambda_f - \lambda_p)}$$

(A-19)

**b) Flux instantané**

Il est calculé sur  $N_{cycle(ins)}$  tel que :

$$N_{cycle(ins)} = \frac{t_{ins}}{t_{cycle}} \quad (A-20)$$

En tenant compte du nombre de noyaux désintégrés  $N_{des(ins)}$  pendant les  $N_{cycle(ins)}$ , le flux instantané s'écrit :

$$\Phi_{f(ins)} = \frac{\lambda_f}{(1-e^{-\lambda_f t_c}) e^{-\lambda_f t_a} (1-e^{-\lambda_f t_m})} \left[ \sum_{i=1}^{N_{cycle} - N_{cycle(ins)} + 1} N_{cycle(ins)} e^{-(i-1)\lambda_f t_{cycle}} + \sum_{i=N_{cycle} - N_{cycle(ins)} + 2}^{N_{cycle}} (N_{cycle} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_f t_{cycle}} \right]$$

$$\left[ N_{des(ins)} - \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{\lambda_p (\lambda_f - \lambda_p)} (1-e^{-\lambda_p t_c}) e^{-\lambda_p t_a} (1-e^{-\lambda_p t_m}) \left[ \sum_{i=1}^{N_{cycle} - N_{cycle(ins)} + 1} N_{cycle(ins)} e^{-(i-1)\lambda_p t_{cycle}} + \sum_{i=N_{cycle} - N_{cycle(ins)} + 2}^{N_{cycle}} (N_{cycle} - i + 1) e^{-(i-1)\lambda_p t_{cycle}} \right] \right] + \frac{\Phi_p \lambda_{pf}}{(\lambda_f - \lambda_p)}$$

(A-21)

**III-8-5-5 Mesure indirecte avec dérouleur et hacheur dans la chambre basse**

Le faisceau contenant les noyaux d'un isotope donné est implanté pendant le temps  $t_c$ , la bande est déplacée pendant un temps d'attente  $t_a$ . L'activité est mesurée pendant le temps  $t_m$ , dans la chambre basse, alors que la collection est arrêtée dans la chambre haute grâce au hacheur. L'irradiation de la bande reprend une fois que la mesure est terminée.

**a) Flux cumulé**

Le flux cumulé du noyau fils est calculé à partir de l'équation (A-13) en remplaçant  $N_{cycle}$  par l'expression suivante :

$$N_{cycle} = \frac{t_{cum}}{t_c + t_a + t_m} \quad (A-22)$$

## b) Flux instantané

En tenant compte du temps instantané  $t_{ins}$ , on distingue deux cas :

$$\triangleright t_m = N_{cycle(ins)} * t_{ins}$$

Le flux instantané dans ce cas est calculé de la même façon que dans l'équation (A-15).

$$\triangleright t_{ins} = N_{cycle(ins)} * t_m$$

Le flux instantané du noyau fils est déduit de l'équation (A-13) en remplaçant  $\frac{N_{des(cum)}}{N_{cycle}}$  par  $\frac{N_{des(ins)}}{N_{cycle(ins)}}$  avec :

$$N_{cycle(ins)} = \frac{t_{ins}}{t_c + t_a + t_m} \quad (A-23)$$

# Chapitre IV

## Structure générale et fonctionnement du système d'identification

### IV-1 Introduction

Le système d'identification est structuré comme le montre la figure IV-1 [Kan98, Kan99].

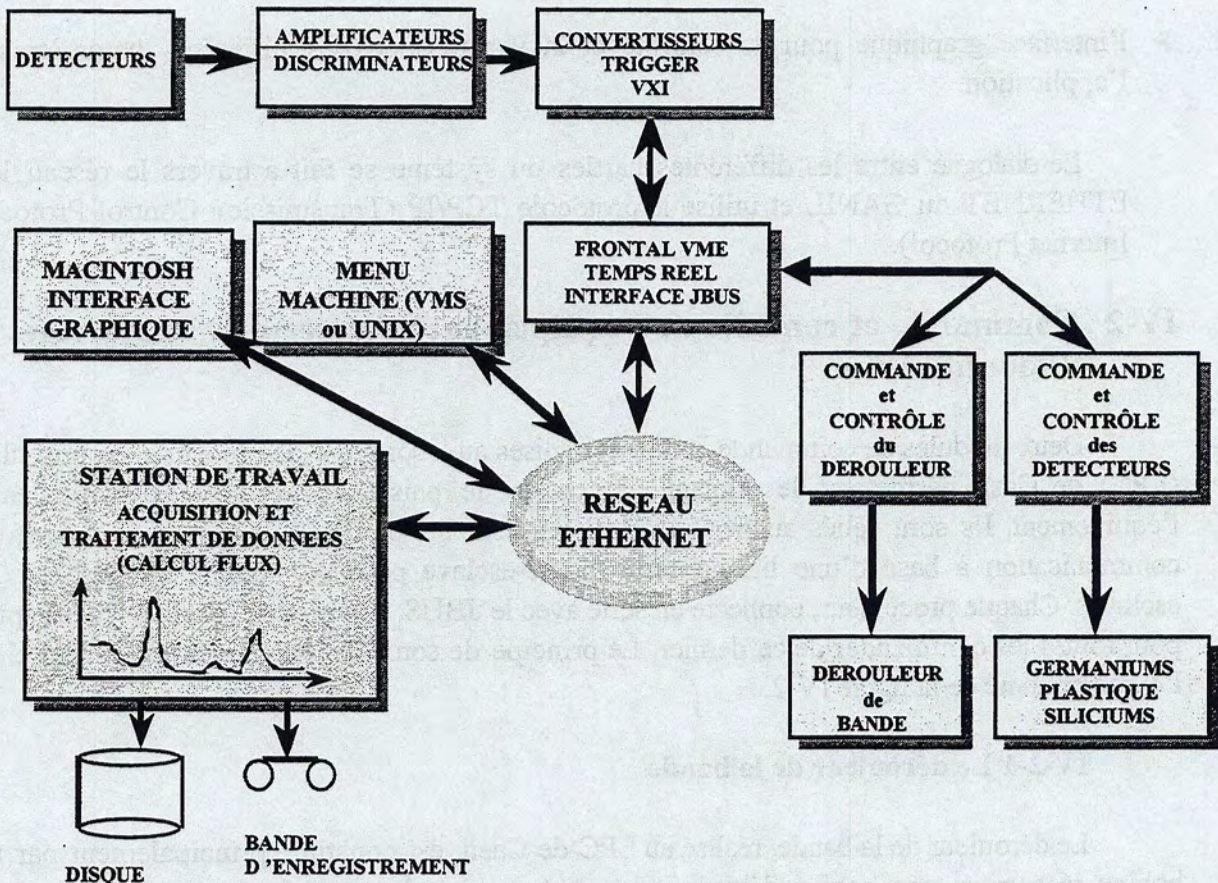


Figure IV-1 : Schéma synoptique du système d'identification



Il est constitué principalement de quatre grandes parties :

- le commande-contrôle de l'équipement de détection constitué de deux modules électroniques, un pour le dérouleur de la bande et l'autre pour les détecteurs Germaniums, plastique et Siliciums. On peut actionner l'équipement soit :
  - à distance en utilisant une interface JBUS ;
  - en local en utilisant des boutons sur les modules de commande.
- l'acquisition des données issues des détecteurs, comprenant des modules électroniques (amplificateurs, discriminateurs, trigger, convertisseurs...etc) et une station de travail pour le stockage et le traitement des données.
- le serveur d'identification qui représente le noyau de l'application. Il permet de gérer tout l'ensemble du système d'identification en dialoguant avec les différents processus qui lui sont connectés.
- l'interface graphique pour le contrôle et la visualisation des différents paramètres de l'application.

Le dialogue entre les différentes parties du système se fait à travers le réseau local ETHERNET du GANIL et utilise le protocole TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol).

## **IV-2 Commande et contrôle de l'équipement de détection du système d'identification**

Deux modules de commande-contrôle, réalisés au laboratoire de physique corpusculaire (LPC) de Caen permettent le pilotage des cartes de puissance et des entrées/sorties de l'équipement. Ils sont reliés au frontal VME par une liaison JBUS. Ce dernier permet une communication à base d'une liaison série maître-esclave pouvant commander jusqu'à 256 esclaves. Chaque processeur, connecté en série avec le JBUS, fonctionne en mode interruption pour toutes les commandes de ce dernier. Le principe de son fonctionnement est présenté sur l'organigramme de la figure IV-2.

### **IV-2-1 Le dérouleur de la bande**

Le dérouleur de la bande, réalisé au LPC de Caen, est constitué principalement par une bobine réceptrice, une bobine débitrice, des moteurs pas à pas et à courant continu et des capteurs. Le module de commande-contrôle du dérouleur, composé essentiellement d'un processeur et des interfaces de puissance, permet de commander le dérouleur en local et à distance en utilisant la liaison JBUS. Les bobines, permettant de dérouler la bande, sont commandées par le module à travers des moteurs pas à pas et à courant continu. Ces derniers sont commandés à leur tour par l'intermédiaire des interfaces de puissance [Eta99].

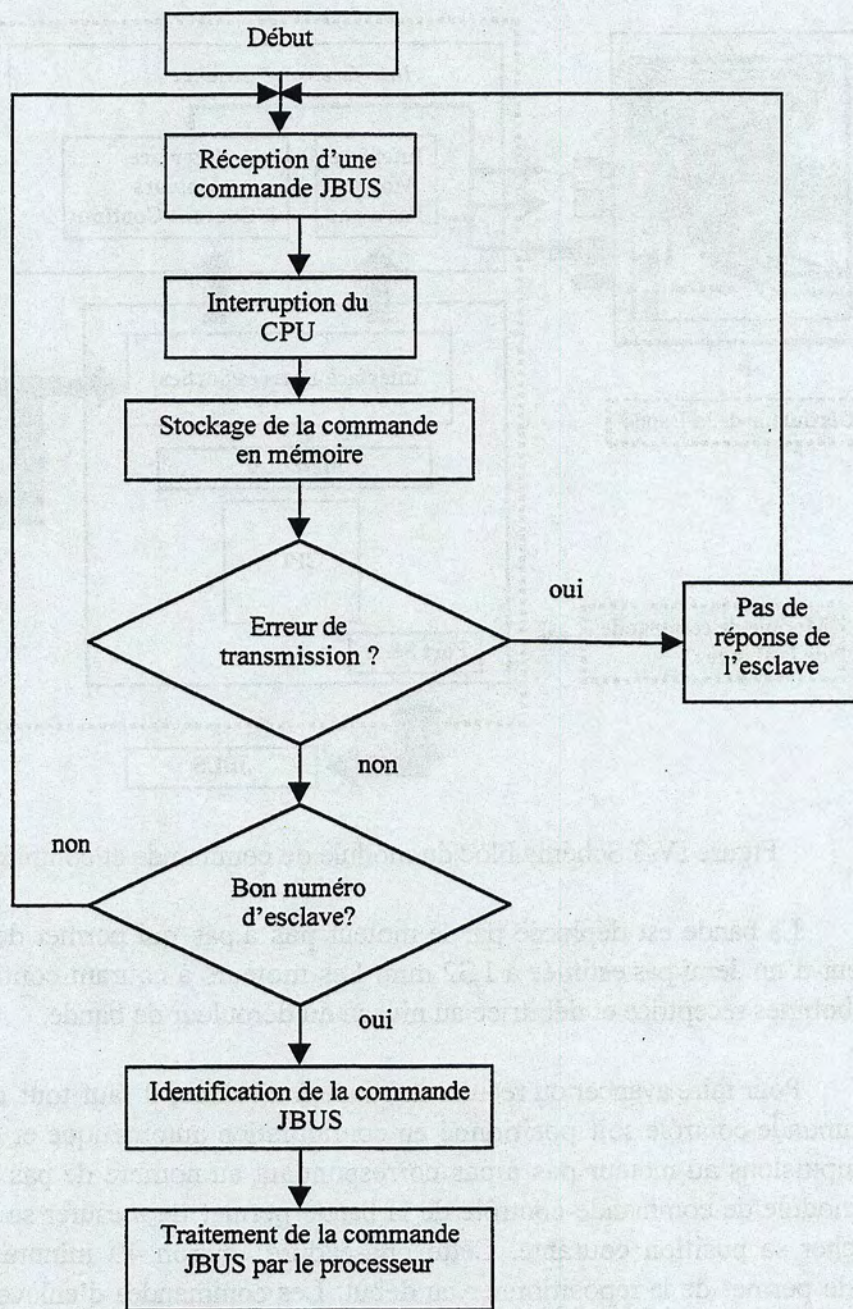


Figure IV-2 Organigramme général de fonctionnement des processeurs des modules de commande-contrôle de l'équipement de détection.

Les différentes connexions aussi bien internes qu'externes du module de commande et contrôle du dérouleur de bande sont illustrées sur la figure IV-3 :

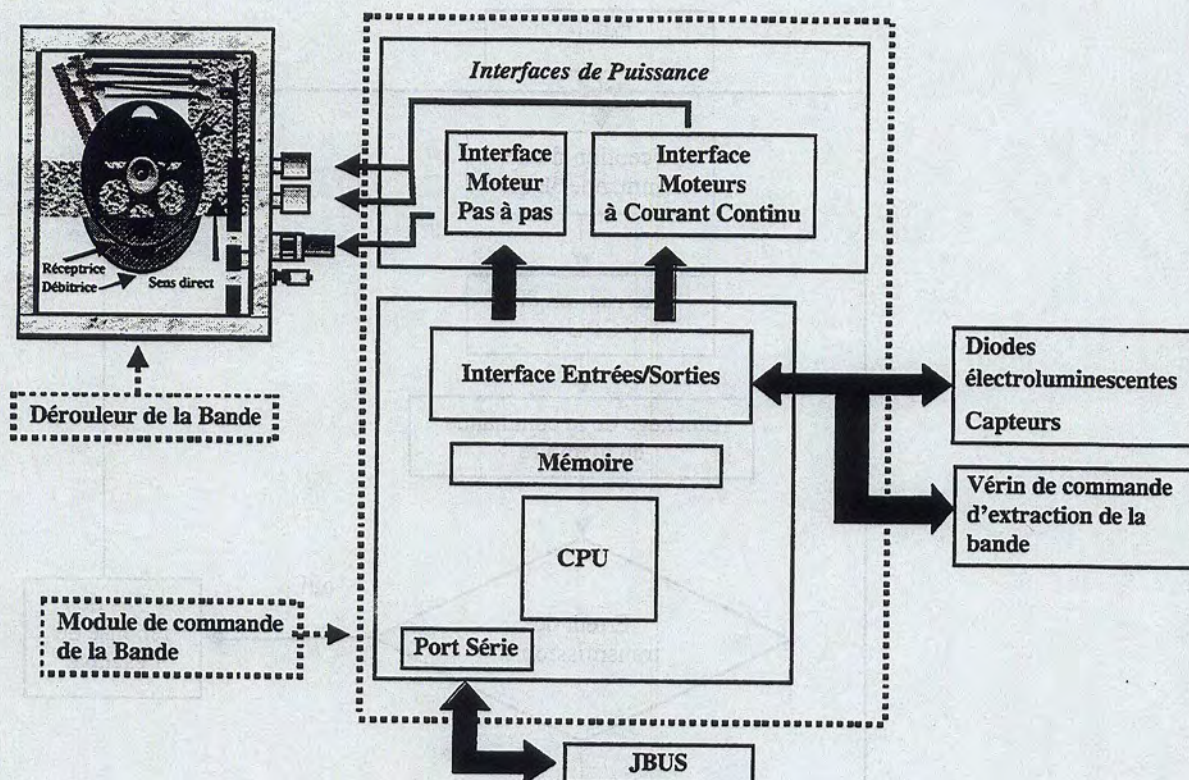


Figure IV-3 Schéma bloc du module de commande et contrôle du dérouleur de bande.

La bande est déplacée par le moteur pas à pas qui permet de la positionner avec une erreur d'un demi pas estimée à 1,32 mm. Les moteurs à courant continu permettent de piloter les bobines réceptrice et débitrice au niveau du dérouleur de bande.

Pour faire avancer ou reculer la bande à distance, il faut tout d'abord que le module de commande-contrôle soit positionné en configuration automatique et ensuite envoyer un train d'impulsions au moteur pas à pas correspondant au nombre de pas à générer. L'initialisation du module de commande-contrôle de la bande permet de mesurer sa longueur afin de pouvoir afficher sa position courante. Cette phase dure environ 40 minutes. Le rembobinage de la bande permet de la repositionner au début. Les commandes d'enlèvement et d'insertion de la bande donnent la possibilité d'utiliser le système d'identification pour des expériences sans dérouleur de bande.

Des capteurs et des diodes électroluminescentes placés respectivement dans le dérouleur de bande et le module de commande-contrôle permettent d'avoir à tout moment l'état de la bande, de son dérouleur et de son module de commande-contrôle. Les organigrammes de quelques fonctions de commande-contrôle à distance de la bande, citées précédemment, sont présentés dans l'annexe A.

### IV-2-2 Les détecteurs (Germanium 1 et 2, plastique, Silicium)

Comme décrit dans le chapitre précédent, le détecteur Germanium 1 (Ge1) est placé sur un chariot (figures III-4 et III-5) dont le déplacement est complètement automatisé avec une erreur de reproductibilité estimée à 0,002 mm, l'erreur absolue de positionnement du Ge1 est estimée inférieure à 5 mm. Le détecteur Germanium 2 ne peut être déplacé que manuellement. Les différents mouvements des détecteurs Germanium 1 (avancée, recul, ...etc), plastique (insertion, enlèvement) et Silicium (insertion, enlèvement) sont pilotés par le processeur du module de commande des détecteurs à travers des interfaces de puissance. La figure IV-4 présente un schéma bloc du module de commande des détecteurs.

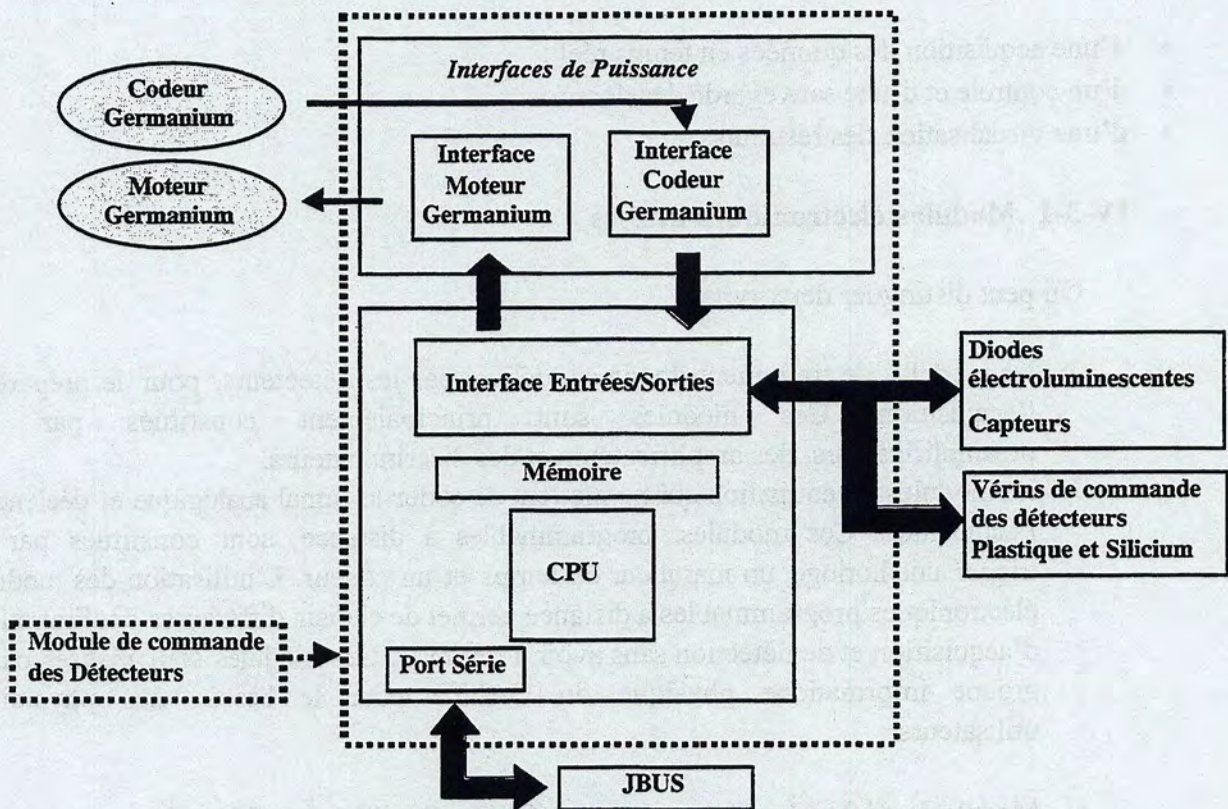


Figure IV-4 Schéma bloc du module de commande des détecteurs.

Pour faire déplacer le Germanium 1, on applique aux bornes du moteur à courant continu du chariot une tension continue proportionnelle à la vitesse de déplacement désirée. Le codeur numérique permet l'asservissement en position du chariot. Ce codeur renvoie un nombre d'impulsions proportionnel au déplacement effectué. Lorsque ce nombre est égal à celui correspondant au déplacement désiré, le chariot s'arrête.

Des capteurs, placés sur les rails, au niveau des chariots des deux Germaniums, au niveau de leur Plomb de protection et au niveau des propulseurs, permettent d'avoir à tout moment les états des détecteurs Germanium 1 et 2, du plastique et des Siliciums. L'emplacement des diodes électroluminescentes en face avant du module de commande-contrôle nous informent aussi sur les états de ce dernier.

Les organigrammes de quelques fonctions de commande-contrôle à distance des détecteurs (initialisation du module, déplacement Germanium 1, insertion plastique et silicium, enlèvement plastique et silicium, état du Germanium 2 ...etc) sont présentées dans l'annexe A.

### IV-3 Acquisition réalisée pour le système d'identification

L'acquisition des données du système d'identification est basée sur le système d'acquisition standard du GANIL [Gan96, Rai93]. Ce dernier permet d'assurer l'acquisition des données des expériences situées indifféremment dans toute salle d'expérience de physique. Il est principalement constitué:

- d'une acquisition des données en temps réel ;
- d'un contrôle et d'une sauvegarde des données ;
- d'une visualisation des résultats.

#### IV-3-1 Modules électroniques utilisés

On peut distinguer deux types :

- les modules de traitement du signal, délivré par les détecteurs, pour le préparer à l'acquisition. Ces modules sont principalement constitués par des préamplificateurs, des amplificateurs et des discriminateurs.
  - les modules d'acquisition qui permettent de coder le signal analogique et déclencher l'acquisition. Ces modules, programmables à distance, sont constitués par un trigger, une horloge, un marqueur en temps et un codeur. L'utilisation des modules électroniques programmables à distance permet de choisir différentes configurations d'acquisition et de détection sans avoir à décâbler. Ces modules sont réalisés par le groupe informatique physique du GANIL pour le besoin des physiciens utilisateurs.
- Module de déclenchement « trigger » (GMT : Ganil Master Trigger)

C'est un module de décision et de séquençement [Gip99-a]. Il permet de trier les événements physiques et de séquençer la chaîne d'acquisition. Quand un événement se présente en entrée du GMT et correspond à sa configuration logique choisie, le module génère une ou plusieurs fenêtres de coïncidence correspondant à une analyse rapide, lente ou mixte (rapide puis lente). L'analyse de la coïncidence des voies d'entrées avec ces fenêtres se traduit par une décision de rejet ou d'acceptation de l'évènement. Dans le cas d'un rejet, l'électronique de conversion et le GMT sont réinitialisés rapidement pour analyser un nouvel évènement. Dans le cas d'une acceptation, le GMT génère les signaux de gestion des codeurs synchrones et/ou asynchrones. Puis, il prévient le système de lecture de la présence d'un évènement valide. A l'issue de la lecture des données, l'ensemble des codeurs et le GMT sont initialisés pour prendre en compte un nouvel évènement. Le GMT peut aussi faire du marquage en temps sur 16 voies d'entrée (résolution de 5 ns sur une gamme de 2,5  $\mu$ s).

- Module de marquage universel (U2M : Universal Marker Module)

Ce module intègre trois fonctions de type « marquage » [Gip99-a]:

- fonction mémorisation sur 40 voies ;
- fonction marqueur de temps, d'une résolution de 5 ns sur une gamme de 2,5  $\mu$ s , pour 16 voies ;
- fonction échelle de comptage d'une fréquence maximale en entrée de 100 MHz sur 40 voies.

- Module horloge (SMC : SPIRAL Master Clock)

Comme mentionné au paragraphe III-4-2, ce module permet de synchroniser l'acquisition [Wit98]. Il permet d'avoir d'une part l'information temps relative à chaque événement et d'autre part il gère les partages en temps avec et sans faisceau.

Une suite de huit types de fenêtres peut être obtenue avec ce module. Chacune de ces fenêtres est associée aux trois phases d'un cycle complet, à savoir :

- la phase de démarrage (start) ;
- la phase pendant laquelle le faisceau est envoyé vers le système d'identification, au cours de laquelle une deuxième structure en temps peut être créée avec le hacheur ou le dérouleur ;
- la phase pendant laquelle le faisceau est dévié vers le cyclotron CIME.

Ces différentes fenêtres sont :

- temps d'attente du début d'acquisition (TAS), ce temps n'est permis que pendant le début du premier cycle ;
  - temps de collection (TC) ;
  - temps d'attente 1 hacheur (TAH1) ;
  - temps de mesure hacheur (TMH) ;
  - temps d'attente 2 hacheur (TAH2) ;
  - temps d'attente 1 déviateur (TAD1) ;
  - temps de mesure déviateur (TMD) ;
  - temps d'attente 2 déviateur (TAD2).
- } Faisceau dévié vers le système d'identification
- } Faisceau dévié vers CIME

Il est à signaler que pendant la déviation du faisceau vers le système d'identification, on peut programmer plusieurs cycles des temps collection, attente 1 hacheur, mesure hacheur et attente 2 hacheur. Par contre pendant la déviation du faisceau vers CIME, on ne peut programmer qu'un cycle des temps d'attente 1 déviateur, mesure déviateur et attente 2 déviateur. Toutes les fenêtres temps citées précédemment sont programmables de 1  $\mu$ s à plus de 22 heures, sauf la fenêtre temps d'attente 2 déviateur qui se resynchronise avec le signal présence et absence faisceau délivré par le poste de contrôle de la machine.

Le rôle du module horloge consiste à autoriser un déclenchement du trigger pendant trois des huit fenêtres seulement (TC, TMH, TMD). Pour ce faire, seize interrupteurs

électroniques (IN/OUT) peuvent être associés individuellement et par programmation à l'une de ces trois fenêtres. Ils seront donc fermés uniquement pendant leur fenêtre respective, autorisant ainsi le passage de l'impulsion logique issue du discriminateur et destinée à l'entrée du trigger. L'horloge nous permet d'avoir pour chaque événement un temps depuis le démarrage de l'acquisition appelé temps universel.

- Module de conversion (XDC : Analogic Digital Converter)

Ce module, qui peut être configuré par programme [Gip99-b], se caractérise par son traitement analogique des trois fonctions de base : l'amplitude A, la charge Q et le temps T. Dans notre cas, on utilise la fonction concernant l'amplitude. Ces convertisseurs analogique – numériques ont une dynamique en entrée de 10 V pour une gamme de 14 bits. Ce sont des modules comprenant 32 voies réparties en deux groupes de 16. Ce type de codeur admet un temps de conversion pour une voie de 3  $\mu$ s et un temps total de conversion inférieur ou égal à 24  $\mu$ s.

Le schéma de câblage de l'acquisition utilisée pour le système d'identification est présenté sur la figure IV-5.

#### **IV-3-2 Acquisition temps réel**

L'acquisition est réalisée à travers un frontal au standard VME (Versa Module Eurocard) qui accepte les données codées par les codeurs (XDC) au standard VXI (VMEbus eXtensions for Instrumentation). Le contrôle, la sauvegarde, le traitement des données et la constitution des spectres se font sur une station de travail ALPHA de Digital Equipment Corporation sous le système X-Windows/MOTIF.

L'ensemble de l'acquisition est composé de plusieurs tâches (process). Les trois principales sont respectivement consacrées à :

- la lecture des événements ;
- l'enregistrement des données sur support magnétique ;
- le contrôle de l'expérience.

Le processus de contrôle standard de l'acquisition fournit à l'utilisateur des points d'entrée pour adapter l'acquisition à sa configuration. Ceci en se basant sur un jeu de fonctions qui permet d'avoir accès à toutes les informations concernant l'acquisition (informations d'états, spectres, échelles de comptage, buffers ...etc).

Nous avons réalisé en utilisant ce jeu de fonctions un programme de contrôle, appelé à chaque événement, qui permet d'incrémenter les spectres et faire les calculs nécessaires demandés par l'utilisateur. En effet au cours de l'acquisition des données, les paramètres lus permettent de calculer automatiquement, suivant des délais de rafraîchissement choisis au préalable par l'utilisateur sur l'interface graphique, les flux (instantanés et cumulés) du noyau d'intérêt, de son père et de ses polluants. Un noyau, considéré comme quatrième polluant, peut être rajouté au cours de l'acquisition pour calculer ses flux instantané et cumulé. Certains paramètres d'acquisition sont des informations importantes pour le calcul des flux et pour le

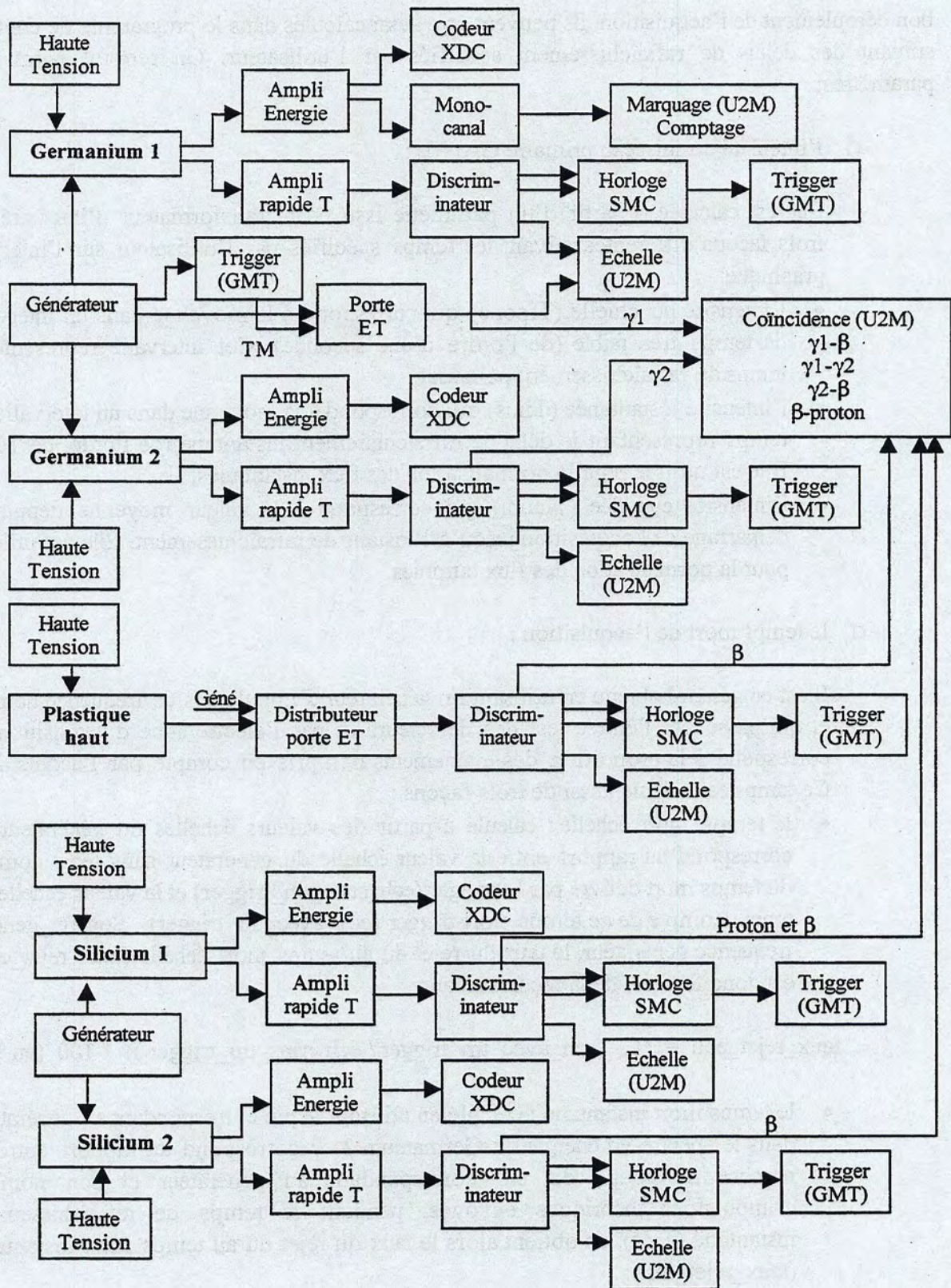


Figure IV-5 : Schéma de câblage de l'acquisition utilisé pour le système d'identification.



bon déroulement de l'acquisition, ils peuvent être aussi calculés dans le programme de contrôle suivant des délais de rafraîchissement spécifiés par l'utilisateur. On retrouve parmi ces paramètres:

□ l'intensité du faisceau primaire GANIL :

Elle est calculée, à partir d'un paramètre issu d'un transformateur d'intensité, de trois façons différentes suivant les temps spécifiés par l'utilisateur sur l'interface graphique:

- l'intensité ponctuelle (Tiponc) qui correspond à la moyenne dans un intervalle de temps très faible (de l'ordre d'une seconde). Cet intervalle représente le temps de rafraîchissement ponctuel ;
- l'intensité instantanée (Tiins) qui correspond à la moyenne dans un intervalle de temps représentant le délai de rafraîchissement instantané (de l'ordre de 10 s). Elle est utilisée pour la normalisation des flux instantanés;
- l'intensité cumulée (Ticum) qui correspond à la valeur moyenne depuis le démarrage de l'acquisition jusqu'à l'instant de rafraîchissement. Elle est utilisée pour la normalisation des flux cumulés.

□ le temps mort de l'acquisition :

Il est en général obtenu en utilisant un générateur d'impulsions de fréquence connue et qui passe par l'entrée test des détecteurs et par l'électronique d'acquisition. Il correspond à la proportion des événements non pris en compte par l'acquisition. Ce temps est calculé aussi de trois façons :

- le temps mort échelle : calculé à partir des valeurs échelles du générateur. Il correspond au rapport entre la valeur échelle du générateur sans tenir compte du temps mort délivré par le trigger ( $ech\_sans\_tm\_trigger$ ) et la valeur échelle en tenant compte de ce temps mort trigger ( $ech\_avec\_tm\_trigger$ ). Soit  $fre\_gene$  la fréquence générateur, le taux du rejet dû au temps mort échelle ( $taux\_rejet\_ech$ ) est donc formulé de la façon suivante :

$$taux\_rejet\_ech = (1 - (ech\_avec\_tm\_trigger / ech\_sans\_tm\_trigger)) * 100 \text{ (en \%)}$$

- le temps mort instantané : calculé en utilisant le pic correspondant au générateur dans le spectre en énergie du Germanium 1. Il correspond au rapport entre le nombre de coups du pic correspondant au générateur et son nombre d'impulsions théoriques envoyés, pendant le temps de rafraîchissement instantané ( $Tins$ ), on obtient alors le taux du rejet dû au temps mort instantané ( $taux\_rejet\_ins$ ) :

$$taux\_rejet\_ins = (1 - (nbre\_gene / (fre\_gene * Tins))) * 100 \text{ (en \%)}$$

- le temps mort cumulé : en suivant le même raisonnement et en prenant comme temps de rafraîchissement celui correspondant au cumulé, qui représente le temps depuis le début de l'acquisition (temps universel de l'horloge :  $Trun$ ) ,

on aura le taux du rejet dû au temps mort cumulé (taux\_rejet\_cum):

$$\text{taux\_rejet\_cum} = (1 - (\text{nbre\_gene} / (\text{fre\_gene} * \text{Trun}))) * 100 \quad (\text{en } \%)$$

- le taux de contrôle instantané de l'acquisition :

Il est calculé en connaissant le nombre d'évènements contrôlés (nb\_evet\_ctrl) par l'acquisition pendant le temps correspondant au délai de rafraîchissement instantané. Soit nb\_evet le nombre d'évènements reçus par l'acquisition, le taux de contrôle instantané est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de contrôle instantané} = (\text{nb\_evet\_ctrl} / \text{nb\_evet}) * 100 \quad (\text{en } \%)$$

- taux du détecteur :

Il correspond à la valeur échelle du nombre d'impulsions reçues par l'électronique. Il permet d'avoir une idée sur le nombre de coups reçus par l'acquisition.

L'organigramme de fonctionnement du programme de contrôle d'acquisition est présenté sur la figure IV-6. Ce programme est exécuté à la réception de chaque évènement par le processus acquisition.

Nous avons défini des modes d'acquisition (direct dans la chambre haute, avec dérouleur dans la chambre haute, avec dérouleur dans la chambre basse, ...etc) et des modes de détection (gamma 1, Bêta, proton, gamma 1- Bêta, ...etc) pour les différents modes d'identification cités dans le paragraphe (III-8). Chaque noyau à identifier admet un mode d'acquisition et un mode de détection suivant ses caractéristiques (période, type de désintégration, polluants ...etc). Ces modes sont spécifiés dans le fichier caractéristique du noyau en question. Au chargement de ce fichier, la configuration du trigger qui correspond aux modes d'acquisition et de détection est déterminée automatiquement et programmée dans le module GMT si on est en mode en ligne. Cette configuration correspond aux voies qui déclenchent l'acquisition et aux voies qui seront analysées pendant ce déclenchement.

Une librairie de fonctions a été réalisée par le groupe informatique physique du GANIL afin de pouvoir lancer et contrôler l'acquisition, à travers le réseau, à partir d'une station de travail distante. Nous avons utilisé cette librairie pour dialoguer avec le processus acquisition à partir du serveur d'identification. Ceci nous a permis de commander et contrôler l'acquisition à partir de l'interface graphique via le serveur.

## **VI-4 Le serveur d'identification et l'interface graphique réalisés pour le système d'identification**

Pour gérer tout l'ensemble du système d'identification et afin de rendre conviviale son utilisation nous avons réalisé :

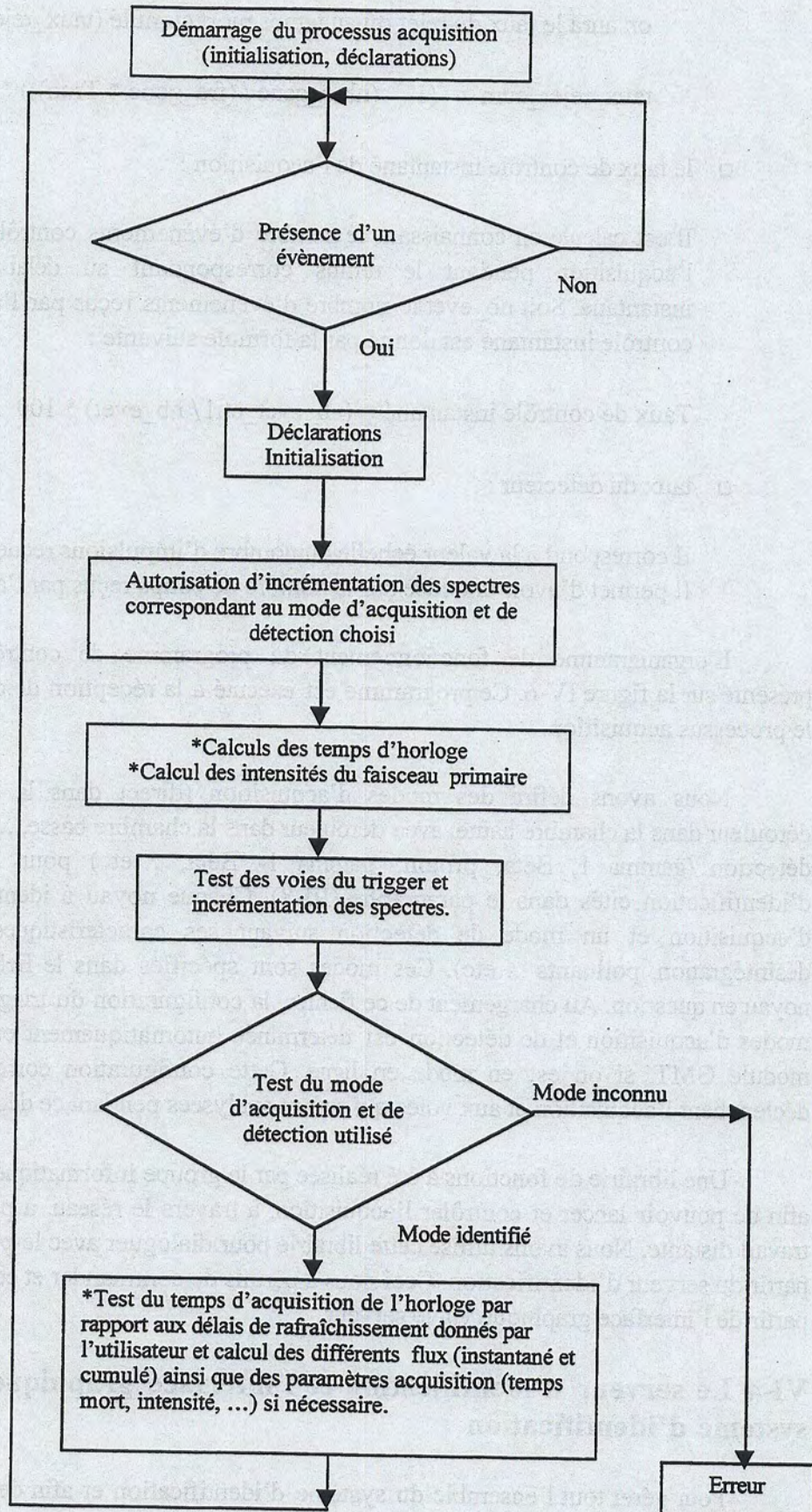


Figure IV-6 Organigramme de fonctionnement du programme de contrôle de l'acquisition.

- d'une part un programme serveur, qui représente le noyau de l'application, permettant d'effectuer tous les services demandés par une interface d'un niveau supérieur (graphique ou sous forme d'un menu) et de dialoguer avec tous les autres processus du système (JBUS, Acquisition). C'est à ce niveau que se font tous les contrôles de cohérence du système.
- d'autre part une interface graphique, à l'aide d'un logiciel Labview [Lab93, Lab99] de « National Instrument Coporation », qui tourne sur un micro-ordinateur de type « Macintosh ». Cette interface graphique contient toutes les fenêtres de commande – contrôle nécessaires pour la gestion du système. Un programme, représentant un menu des fonctions du serveur d'identification, a été réalisé sous les deux systèmes d'exploitation UNIX et VMS. Il nous permet de faire la mise au point de notre application serveur. Ce programme peut être utilisé en cas de problème, non prévu, sur l'application Labview.

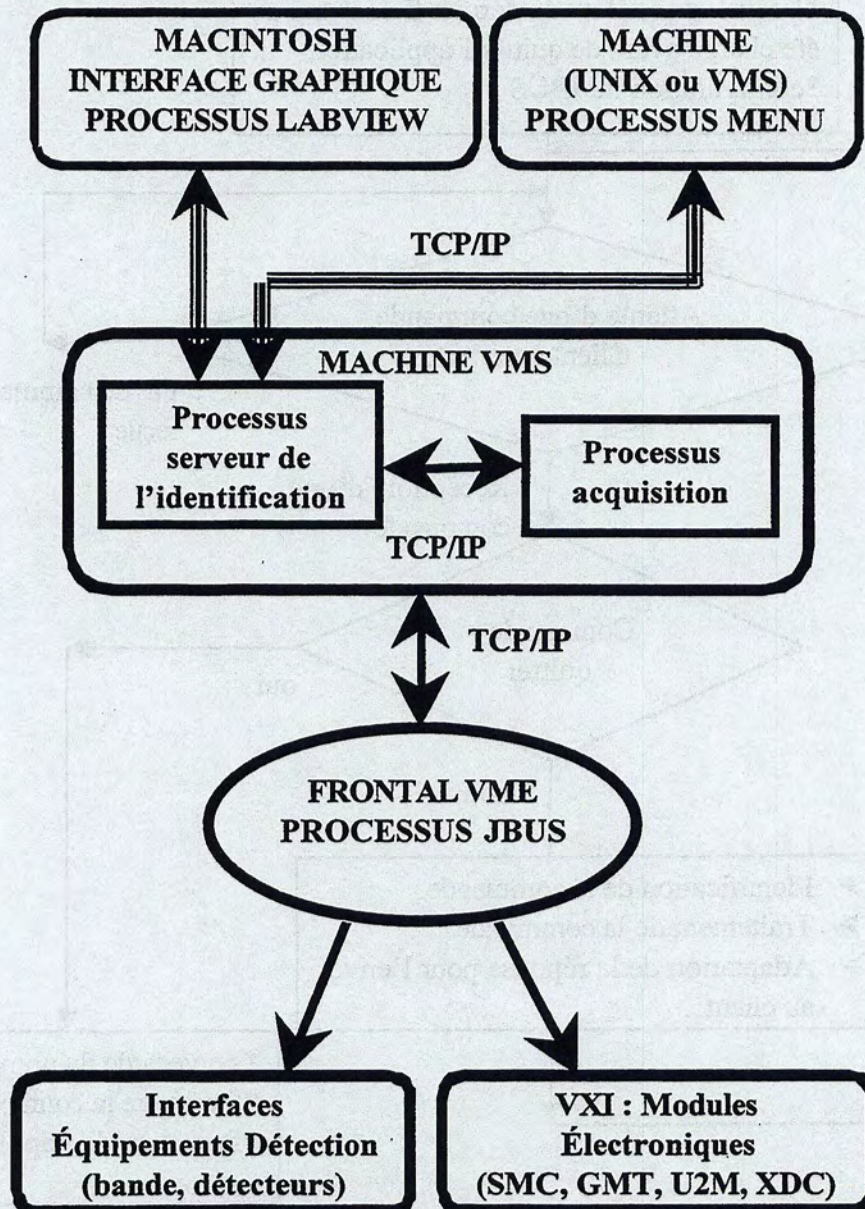


Figure IV-7 Vue schématique des dialogues entre les processus du système d'identification.

Un protocole de dialogue en TCP/IP du type maître – esclave a été établi entre l'interface graphique (ou menu) jouant le rôle du maître et le programme serveur représentant l'esclave. Une vue schématique des dialogues établis entre les différents processus est illustrée sur la figure IV-7.

#### IV-4-1 Serveur d'identification

L'organigramme général de ce programme serveur est présenté sur la figure IV-8 :

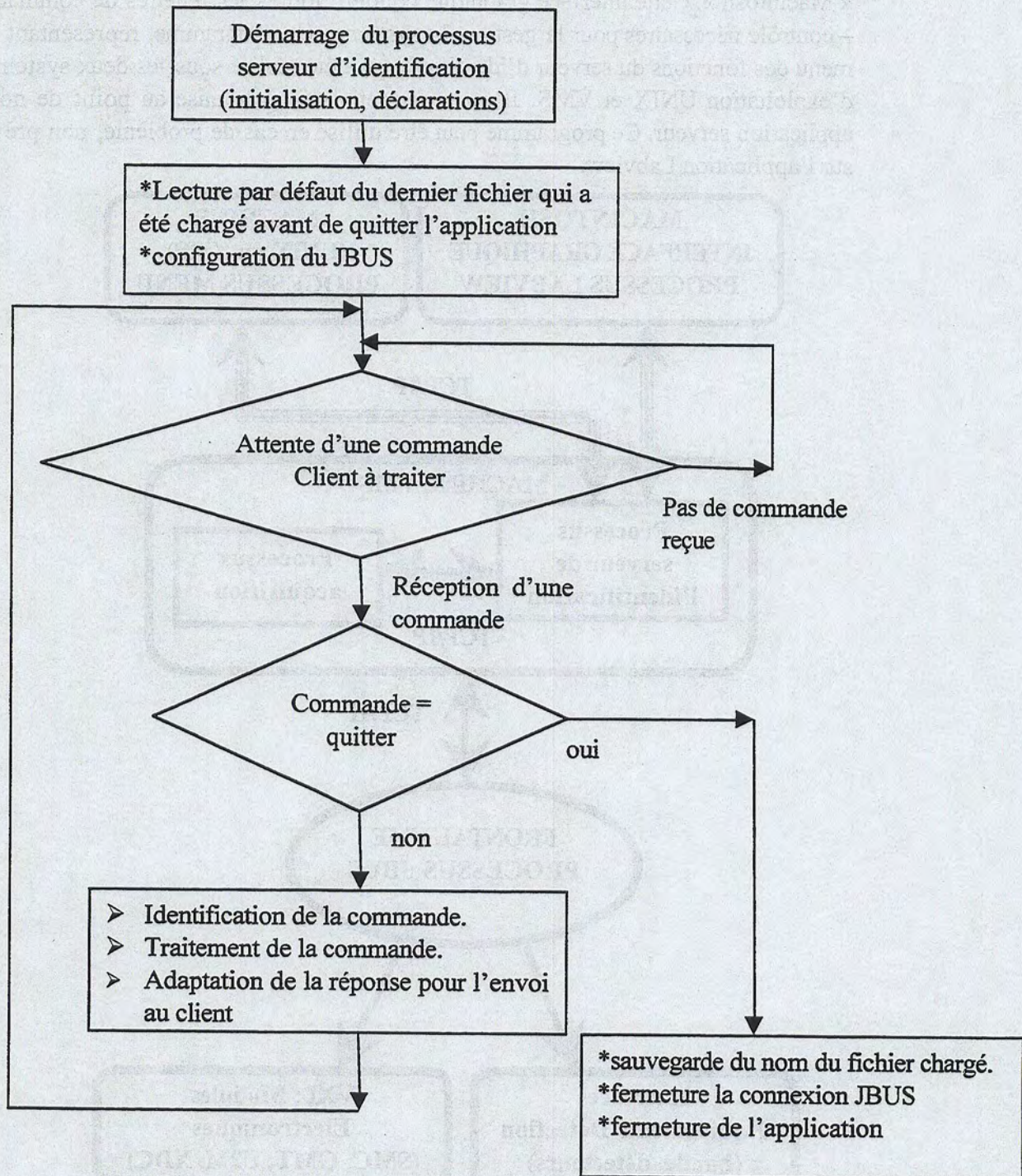


Figure IV-8 Organigramme général du programme serveur d'identification.

La conception et l'analyse du programme serveur, qui représente le noyau de toute l'application réalisée, ont été conçues en appliquant la méthodologie Classe-Relation. Cette dernière utilise un ensemble de notations graphiques permettant de représenter le modèle d'une application. Ainsi on peut représenter un modèle informatique objet par des concepts jugés les plus importants. Cette méthodologie permet de représenter les objets ayant des comportements et propriétés communs, dans des entités structurées appelées domaines, schémas et classes. Les classes peuvent être regroupées dans des schémas et ces derniers peuvent à leur tour se regrouper dans des domaines.

Une modélisation objet permet de définir les travaux de réalisation depuis la conception jusqu'à la programmation. Les vertus d'un modèle objet sont l'encapsulation, la réutilisation et l'extensibilité de l'application.

Le modèle Classe-Relation présente trois composantes :

- le modèle structurel : consiste à définir les domaines, schémas, classes et les liens entre eux, ceci afin de décrire les notions du problème posé ;
- le modèle opératoire : consiste à déterminer les services fournis par chacune de ces classes afin de fournir leurs modes d'emplois ;
- le modèle dynamique : consiste à déterminer le séquencement des traitements afin de définir leur fonctionnement. C'est l'étape où on commence à implémenter les fonctions des classes.

Les différentes étapes de la réalisation de l'application sont schématisées sur la figure IV-9.

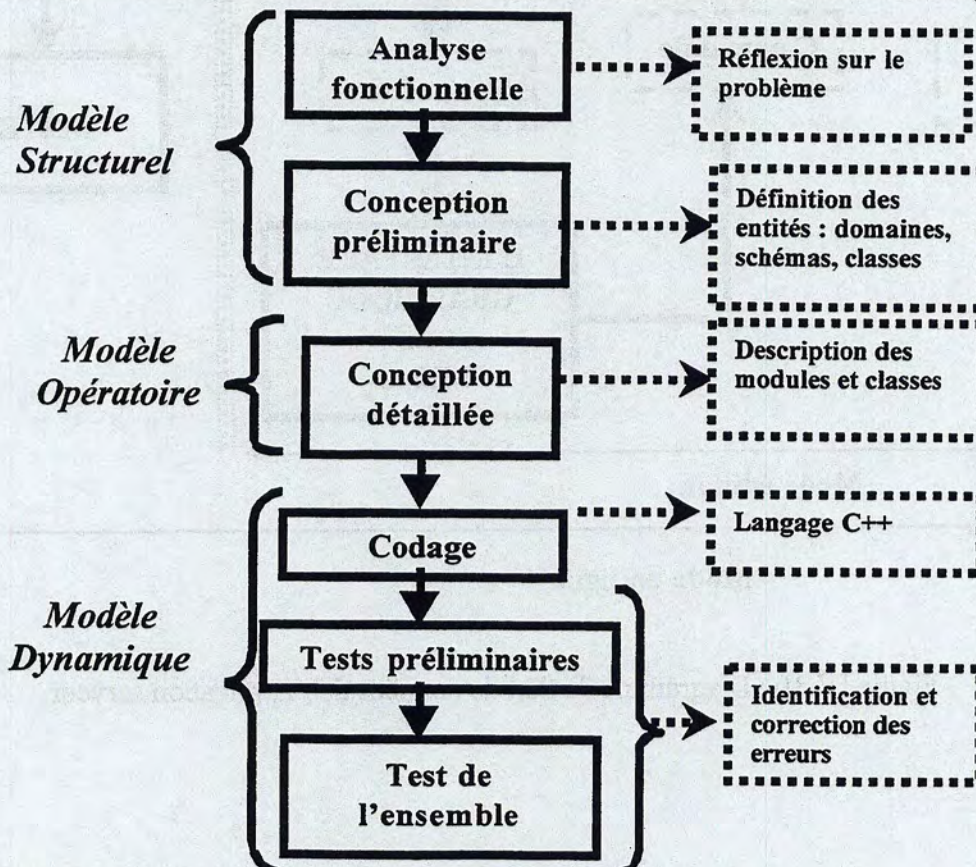


Figure IV-9 : Les étapes de réalisation du serveur d'identification.

Nous avons commencé par définir l'ensemble des fonctionnalités de l'application pour pouvoir déterminer les liens de haut niveau sur l'architecture globale. Cette analyse, qui représente le modèle structurel, nous a orientée vers la définition d'une part d'un diagramme de flux de données (figure IV-10) et d'autre part des différentes couches (domaines) constituant le serveur (figure IV-11). Une organisation de trois couches, avec différentes structures qui en découlent, a été définie.

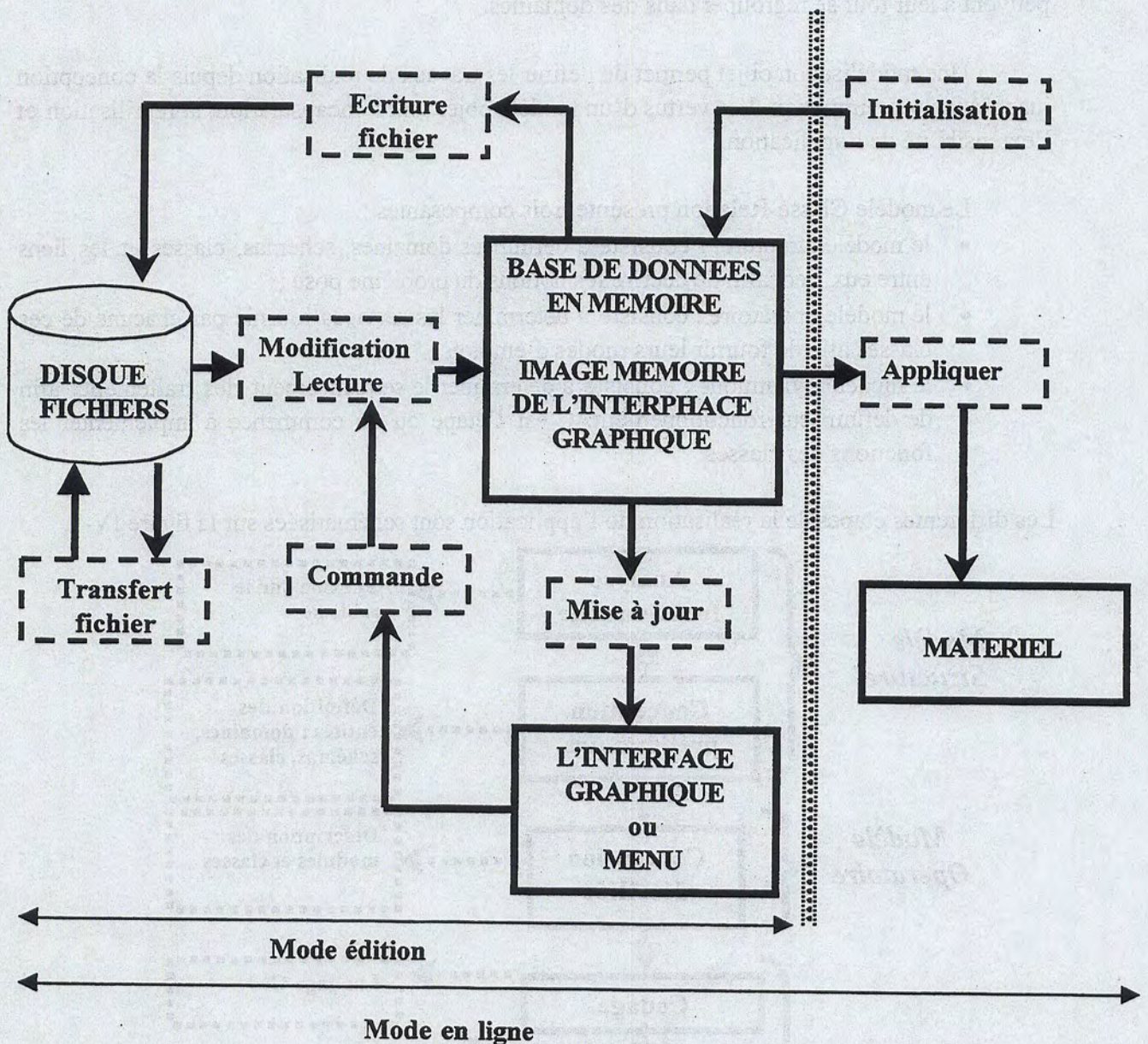


Figure IV-10 : Diagramme de flux de données de l'application serveur.

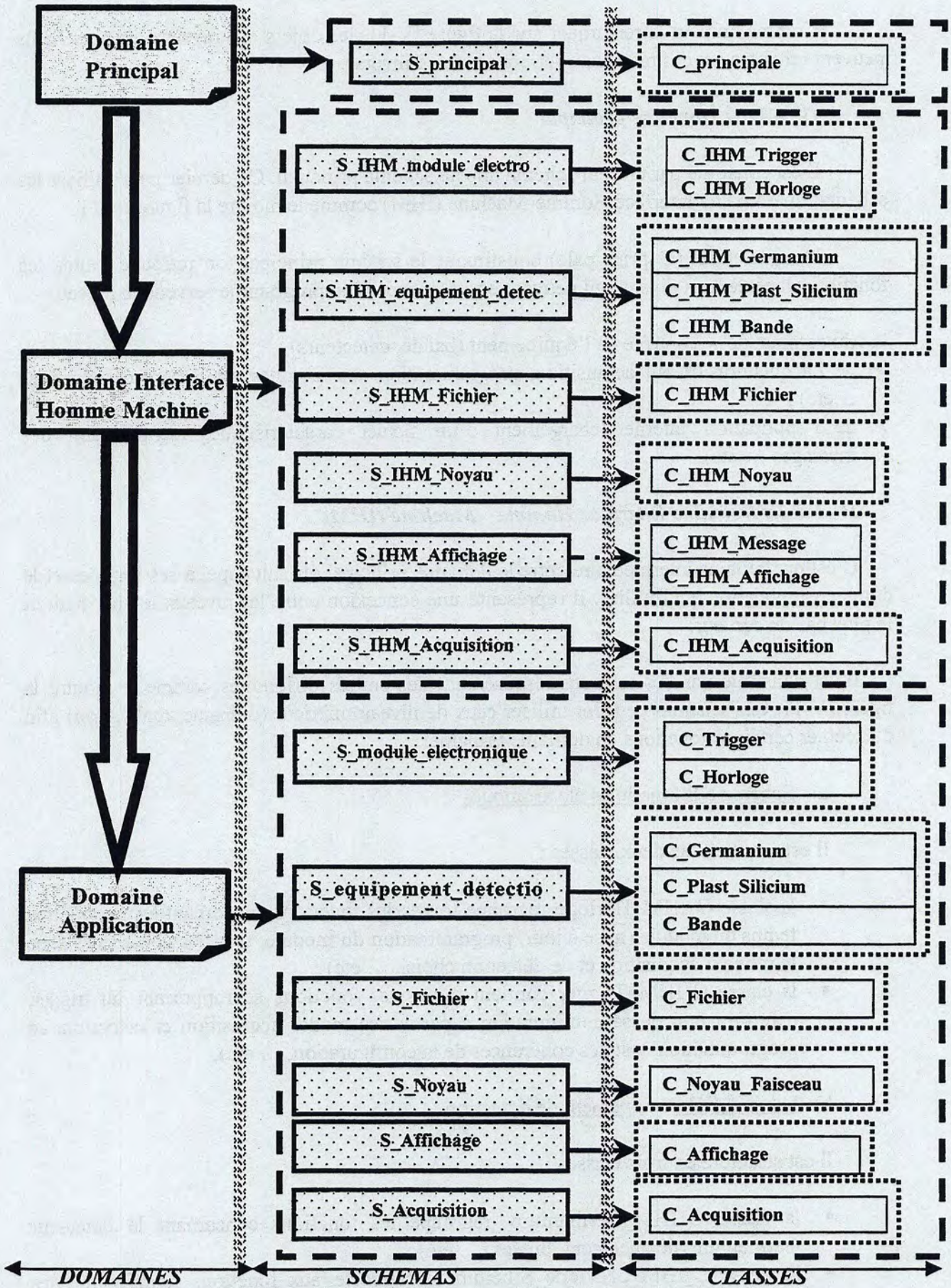


Figure IV-11 : Les différentes couches et structures constituant l'application serveur.



Comme on peut le remarquer sur la figure IV-11, les objets des niveaux les plus hauts peuvent utiliser ceux des niveaux inférieurs et non l'inverse.

#### ***IV-4-1-1 : Domaine principal***

Il est constitué par un seul schéma appelé schéma principal. Ce dernier peut utiliser les schémas du domaine Interface Homme-Machine (IHM) comme le montre la figure IV-11.

Dans la classe (C\_principale) constituant le schéma principal, on retrouve toutes les fonctionnalités de haut niveau qui peuvent être demandées au programme serveur au niveau:

- du commande - contrôle de l'équipement (bande, détecteurs) ;
- de l'acquisition (début acquisition, programmation des modules, traitement des données ...etc) ;
- de l'application interne (chargement d'un fichier caractéristique, identification des messages ... etc).

#### ***IV-4-1-2 : Domaine Interface Homme – Machine (IHM)***

C'est un domaine intermédiaire entre le domaine principal qui fait appel à ses services et le domaine application qui l'utilise. Il représente une connexion entre les niveaux le plus haut et le plus bas du serveur.

Il est constitué par des schémas représentant des entités différentes comme le montre la figure IV-11. Ces schémas peuvent utiliser ceux de niveau inférieur (domaine application) afin d'exécuter certaines fonctions du domaine principal.

##### **a) Schéma IHM modules électroniques**

Il est constitué de deux classes :

- la classe C\_IHM\_Horloge regroupe toutes les fonctions concernant les paramètres temps du module (mise à jour, programmation du module, test des cohérences avec le mode d'acquisition et de détection choisi, ... etc) ;
- la classe C\_IHM\_Trigger contient toutes les fonctions se rapportant au trigger, détermination de sa configuration à partir des modes acquisition et détection, sa programmation, test des cohérences de la configuration, ... etc).

##### **b) Schéma IHM équipement de détection**

Il est structuré en trois classes :

- la classe C\_IHM\_Germanium regroupe les fonctions concernant le détecteur Germanium (déplacement, butées, ... etc) ;
- la classe C\_IHM\_plastique\_Silicium se rapporte aux fonctions représentant les différentes actions sur ces détecteurs (enlèvement, insertion, butées, ...etc);

- la classe C\_IHM\_bande contient les fonctions de commande – contrôle de la bande (déplacement, rembobinage, enlèvement, .. etc).

c) Schéma IHM acquisition

Il concerne tous les paramètres se rapportant à l'acquisition. Il est constitué d'une seule classe C\_IHM\_Acquisition. Cette dernière contient les fonctions de commande – contrôle de l'acquisition (démarrage, arrêt, ...etc) ainsi que ses différents paramètres (délais de rafraîchissement, efficacité des détecteurs, ...etc). Ces fonctions dialoguent avec le processus acquisition par l'intermédiaire du domaine application.

d) Schéma IHM fichier

Un ensemble de fichiers caractéristiques des noyaux à identifier sont préparés à l'avance afin de pouvoir les charger par l'interface graphique. On a la possibilité de pouvoir changer les paramètres d'un fichier caractéristique, les sauvegarder et les utiliser dans le processus acquisition. On retrouve deux types de fichiers caractéristiques :

- fichiers caractéristiques d'extension « car » contenant des paramètres, choisis par l'utilisateur, pour une expérience concernant un noyau donné.
- fichiers caractéristiques d'extension « ref », appelés fichiers références , contenant les paramètres les mieux adaptés pour un bon déroulement de l'expérience avec un noyau donné.

Un noyau peut avoir plusieurs fichiers caractéristiques d'extension « car » et un seul fichier référence d'extension « ref ».

Ce schéma contient une seule classe (C\_IHM\_Fichier) qui permet d'accéder à toutes les fonctions concernant ces fichiers caractéristiques (chargement, sauvegarde, ... etc).

e) Schéma IHM affichage

Il est constitué de deux classes :

- la classe C\_IHM\_message concerne les fonctions d'identification et de récupération des messages. Ces derniers sont répartis en deux types : message d'erreur et message d'information.
- la classe C\_IHM\_Affichage : généralement pendant les expériences de physique les expérimentateurs notent dans un cahier de manip, toutes les actions et modifications qui ont été réalisées au cours de l'expérience. Dans notre cas, nous avons pensé à utiliser un fichier comme « Cahier-Manip » pour inscrire d'une façon automatique toutes les actions apportées sur le système, les messages identifiés (état et erreur) et les résultats des calculs (flux, paramètres acquisition ..etc) récupérés du processus acquisition. La classe C\_IHM\_Affichage concerne les fonctions se rapportant d'une part au fichier « Cahier-Manip » et d'autre part à toute visualisation sur écran.

f) Schéma IHM noyau :

Au lancement de l'application, un certain nombre d'objets noyaux sont créés au niveau le plus bas (domaine application), représentant ainsi tous les fichiers références. Chaque objet noyau créé représente l'image en mémoire du fichier référence correspondant.

Ce schéma contient une seule classe C\_IHM\_Noyau permettant ainsi d'accéder à toutes les fonctions concernant l'entité noyau et de gérer tous les objets noyaux créés.

**IV-4-1-3 : Domaine application**

C'est la couche de plus bas niveau du serveur. Au niveau de cette couche, nous avons réalisé toutes les fonctions nécessaires pour attaquer le matériel du système d'identification. Ce domaine est structuré de la façon présentée sur la figure IV-11. Il est composé des schémas :

a) Schéma modules électroniques

Il contient deux classes (C\_Trigger et C\_Horloge) qui sont utilisées par les classes du schéma IHM correspondant. Dans ces classes on retrouve toutes les fonctions de bas niveau pour la programmation des modules électroniques. Ces fonctions font appel à d'autres couches (couches réseau, couche VME, ... etc) pour remplir leurs tâches.

b) Schéma équipement de détection

Ce schéma est réparti en trois classes (C\_Germanium, C\_Plus\_Sili et C\_Bande) par analogie avec les classes correspondant dans l'IHM. Les fonctions de ces classes, appelées par l'IHM, font appel aussi aux couches inférieures (réseau, JBUS, ...etc) pendant leur exécution.

c) Schéma acquisition

On retrouve dans ce schéma la classe (C\_Acquisition) qui concerne les fonctions de bas niveau de l'acquisition. Parmi ces fonctions, on peut citer le démarrage et l'arrêt de l'acquisition, le dialogue et le récupération des résultats de calcul du processus acquisition.

c) Schéma fichier

Il contient une seule classe (C\_Fichier) où se trouvent les fonctions d'écriture et lecture dans le fichier caractéristique.

d) Schéma affichage

Ce schéma contient la classe (C\_Affichage) permettant l'accès aux fonctions de dialogues avec le fichier « Cahier-Manip ».

e) Schéma noyau

Il contient la classe C\_Noyau à partir de la quelle on peut créer les objets noyaux correspondants aux fichiers caractéristiques.

Les utilisations entre les différentes classes de domaine différent sont schématisées sur la figure IV-12.

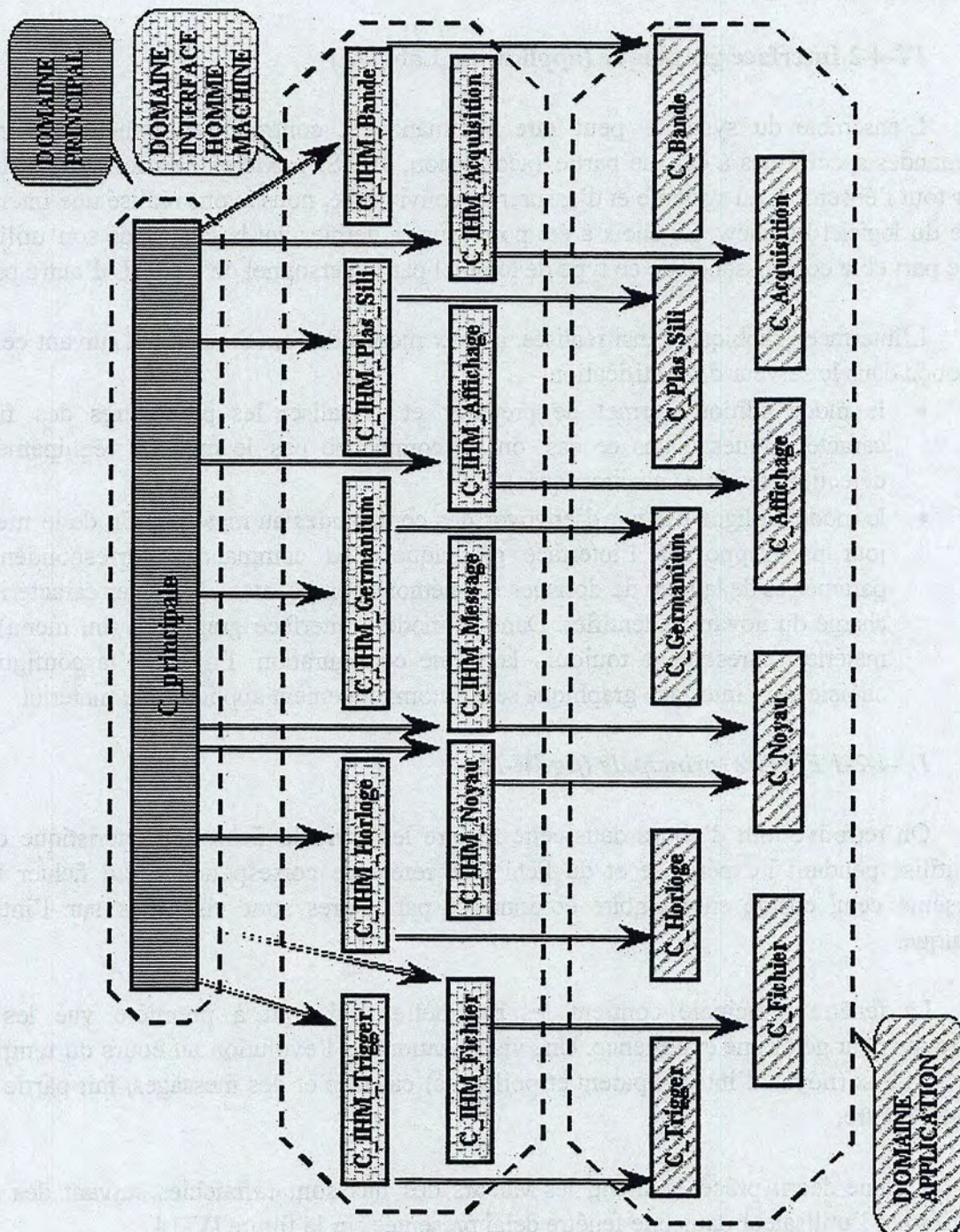


Figure IV-12 : Vue schématique des utilisations des classes de domaine différent.

L'implémentation des différentes fonctions des classes du programme serveur a été réalisée en utilisant le langage orienté objet C++ [Del94, Rit94]. Pour générer le code C++ des différentes classes décrites précédemment, nous avons utilisé le logiciel d'aide au développement « objectteering » de Softeam [Obj97]. En spécifiant d'une part le type de modélisation et le langage utilisé et d'autre part les différentes structures des domaines, schémas et classes ; ce logiciel génère le code C++ correspondant avec les différentes fonctions à implémenter. Les organigrammes des principales fonctions niveau haut du serveur d'identification sont présentés dans l'annexe A.

#### **IV-4-2 Interface graphique (application Labview)**

L'ensemble du système peut être commandé et contrôlé séparément à partir de commandes spécifiques à chaque partie (acquisition, JBUS, modules électroniques). Afin de gérer tout l'ensemble du système et d'assurer sa convivialité, nous avons réalisé une interface à l'aide du logiciel Labview. Le choix a été porté sur ce dernier, vu la facilité de son utilisation d'une part et la connaissance de ce type de logiciel par le personnel du GANIL d'autre part.

L'interface graphique, ainsi réalisée, a deux modes de fonctionnement suivant ce qui a été conçu dans le serveur d'identification:

- le mode édition permet de préparer et visualiser les paramètres des fichiers caractéristiques. Dans ce cas, on ne commande pas le matériel (équipement de détection, modules électroniques).
- le mode en ligne permet d'envoyer des commandes au matériel afin de le mettre à jour par rapport à l'interface graphique. Ces commandes correspondent aux paramètres de la base de données en mémoire représentant le fichier caractéristique chargé du noyau à identifier. Dans ce mode, l'interface graphique (ou menu) et le matériel représentent toujours la même configuration. En effet, la configuration choisie sur l'interface graphique sera automatiquement appliquée au matériel.

##### ***IV-4-2-1 Fenêtre principale (fig IV-13)***

On retrouve tout d'abord dans cette fenêtre les nom du fichier caractéristique qui va être utilisé pendant l'expérience et du fichier de référence correspondant. Le fichier utilisé représente celui chargé en mémoire et dont les paramètres sont visualisés sur l'interface graphique.

La fenêtre principale contient les paramètres qui sont à première vue les plus importants pour gérer une expérience. Une visualisation, de l'évolution au cours du temps des différents flux (noyau d'intérêt, parent et polluants) calculés et des messages, fait partie aussi de cette fenêtre.

Comme décrit précédemment, les valeurs des flux sont rafraîchies suivant des délais spécifiés par l'utilisateur dans une fenêtre délai présentée sur la figure IV-14.

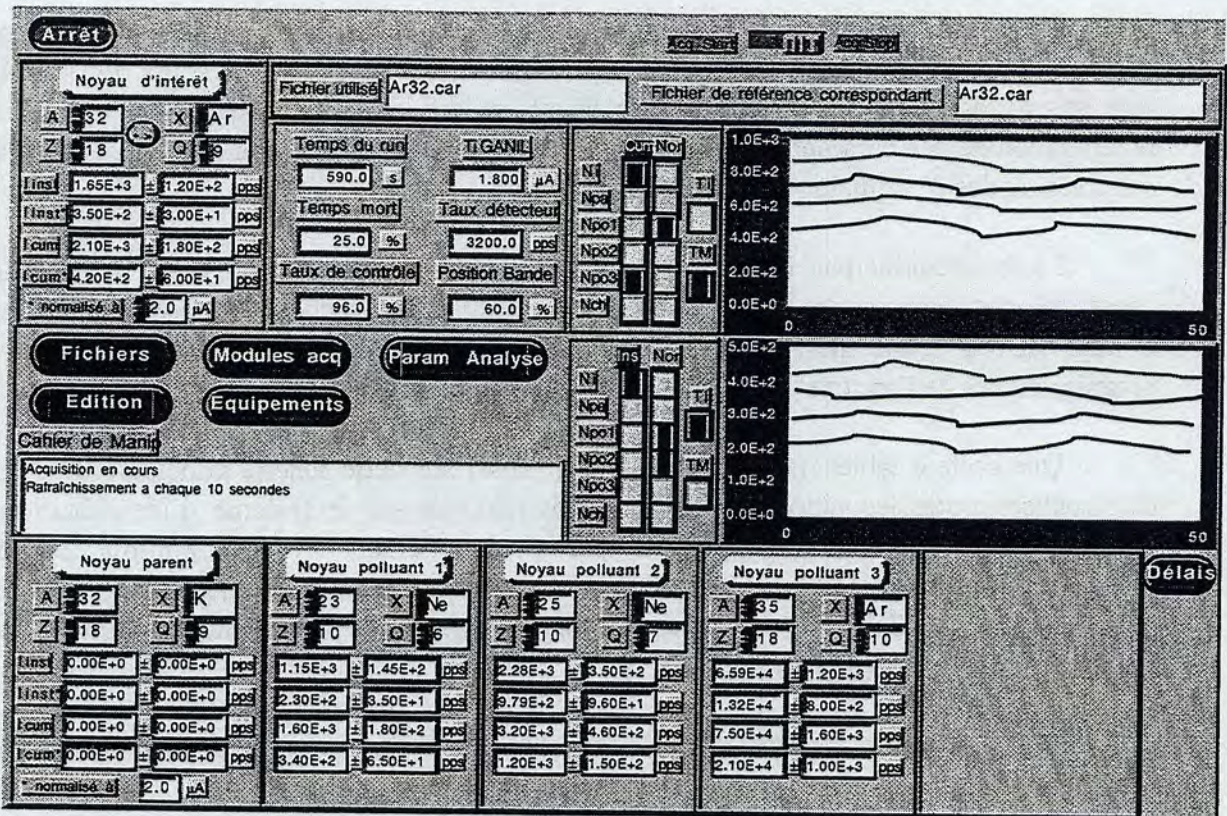


Figure IV-13 : Fenêtre principale de l'interface graphique du système d'identification

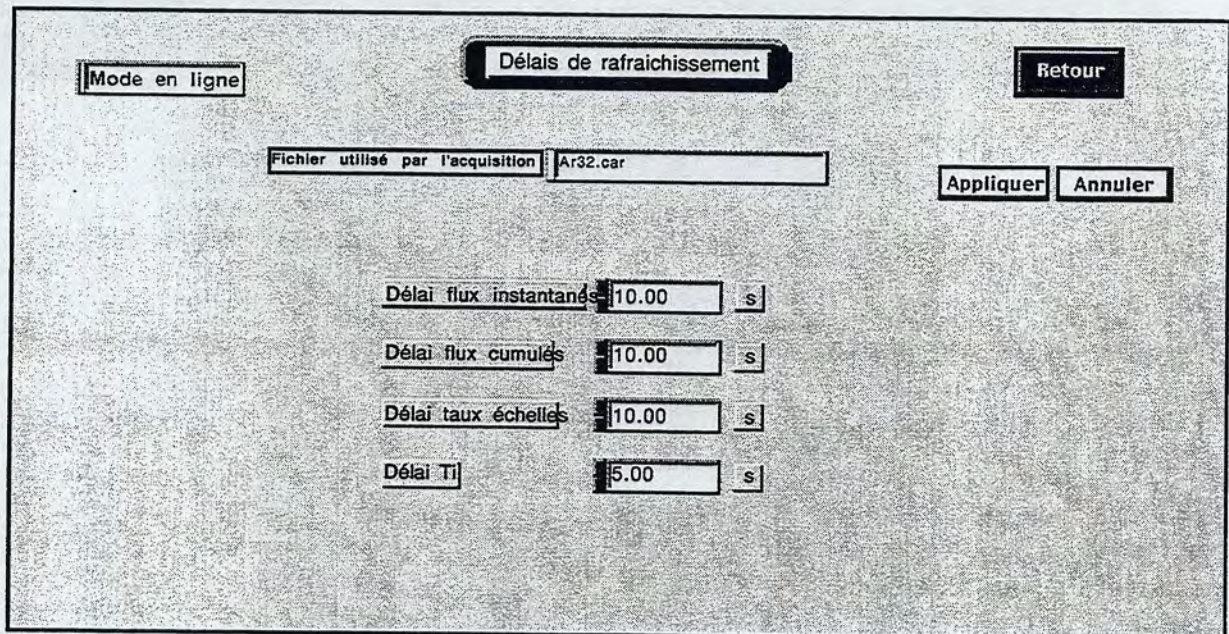


Figure IV-14 : Fenêtre délais de l'interface graphique du système d'identification.

Les paramètres acquisition (temps mort, temps du « run », intensité faisceau, taux de contrôle instantané de l'acquisition, taux du détecteur) calculés aussi au cours de l'acquisition sont visualisés et rafraîchis suivant des délais spécifiés dans la fenêtre délai. A chaque récupération de ces paramètres, le pourcentage du défilement de la bande est aussi mis à jour selon les modes d'acquisition et de détection utilisés.

La fenêtre principale donne aussi accès aux commandes de l'acquisition. L'exécution de l'une de ces commandes permet d'exécuter plusieurs tâches au niveau du serveur d'identification d'une part et au niveau du processus d'acquisition d'autre part. Les organigrammes de l'annexe A présentent plus de détail sur ces commandes.

Une boîte « cahier de Manip » apparaît aussi sur cette fenêtre principale. Elle permet de visualiser toutes les actions et modifications réalisées sur le système d'identification. Les messages affichés sont récupérés à partir du fichier « Cahier-Manip » mentionné précédemment. Au cours de l'acquisition, tous les paramètres calculés sont régulièrement enregistrés dans ce fichier. Ceci permet d'avoir un historique pour mieux comprendre ce qui s'est passé au cours de l'expérience.

Enfin des accès à d'autres fenêtres secondaires sont aussi présentes sur la fenêtre principale.

#### IV-4-2-2 Fenêtre fichier (fig IV-15)

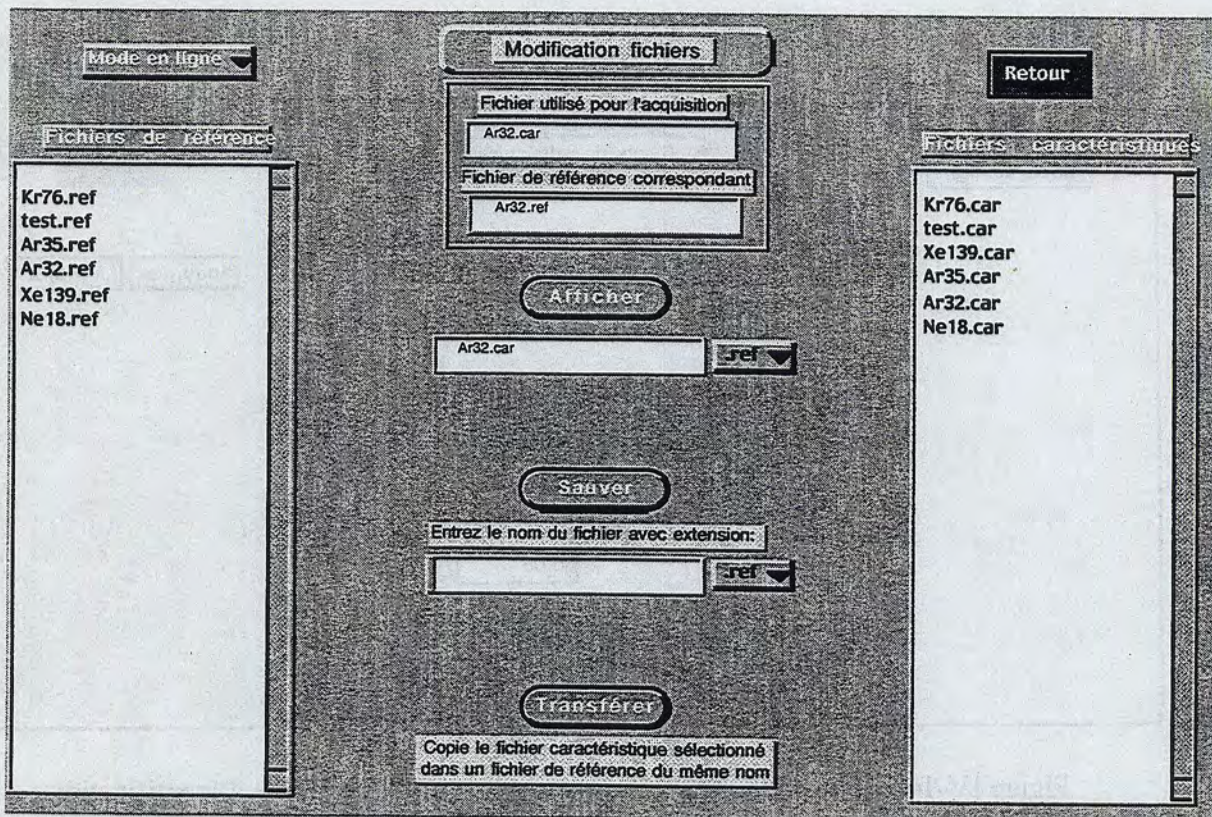


Figure IV-15 : Fenêtre fichier de l'interface graphique du système d'identification.

Cette fenêtre permet de gérer l'ensemble des fichiers caractéristiques à travers les différentes commandes réalisées (chargement, sauvegarde, ..etc). Une visualisation des noms des fichiers caractéristiques permet de les manipuler aisément.

#### IV-4-2-3 Fenêtre édition (fig IV-16)

Cette fenêtre permet de visualiser les informations concernant les caractéristiques des noyaux : noyau d'intérêt, noyau parent et les noyaux polluants. Ces informations sont lues dans le fichier caractéristique chargé, correspondant au noyau d'intérêt.

Mode en ligne Carte d'identité du noyau d'intérêt Retour

Fichier utilisé pour l'acquisition Ar32.car Appliquer Annuler

|                                       | Noyau d'intérêt | Parent  | Polluant 1 | Polluant 2 | Polluant 3 |
|---------------------------------------|-----------------|---------|------------|------------|------------|
| X                                     | Ar              | K       | Ne         | Ne         | Ar         |
| A                                     | 32              | 32      | 23         | 25         | 35         |
| Z                                     | 18              | 19      | 10         | 10         | 18         |
| Q                                     | 9               | 9       | 6          | 7          | 10         |
| Temps de vie                          | 98.00 ms        | 0.00 ms | 37.20 s    | 602.00 ms  | 1.78 s     |
| Energie gamma (keV)                   | 461.09          | 0.00    | 439.80     | 979.70     | 1219.30    |
| Rapport d'embranchement gamma (%)     | 0.00            | 0.00    | 33.00      | 18.10      | 1.35       |
| Rapport d'embranchement père-fils (%) | 100.00          |         |            |            |            |
| Energie proton (MeV)                  | 0.00            | 0.00    | 0.00       | 0.00       | 0.00       |
| Rapport d'embranchement proton (%)    | 0.00            | 0.00    | 0.00       | 0.00       | 0.00       |
| Coef de normalisation des flux        | 2.00            |         |            |            |            |
|                                       | 0               | 0       | 0          | 0          | 0          |
|                                       | 0               | 0       | 0          | 0          | 0          |
| Mode de désintégration                | gamma           |         | gamma      | gamma      | gamma      |
| Mode de détection                     | gamma_haut      |         | gamma_haut | gamma_haut | gamma_haut |
| Mode d'acquisition                    | direct          |         |            |            |            |

Figure IV-16 Fenêtre édition de l'interface graphique du système d'identification.

#### IV-4-2-4 Fenêtre équipements (fig IV-17)

C'est une fenêtre qui concerne toutes les commandes et les paramètres de contrôle de l'équipement de détection. Ce dernier est mis à jour au chargement d'un fichier caractéristique en mode en ligne.

De cette fenêtre on peut avoir accès aux butées des détecteurs à travers une fenêtre secondaire présentée sur la figure IV-18.



Mode en ligne

Modification équipements

Retour

Fichier utilisé par l'acquisition: Ar32.car

**Germanium**

Appliquer Annuler

Distance bande-germanium1

Voulue Lue

112 mm 112 mm

Butées

**Absorbant en plomb**

Epaisseur de l'absorbant

Proposée Mesurée

0 mm 0 mm

Mesurer l'épaisseur

**Bande**

Hors

Position courante de la bande

60.00 %

Avancer 0 cm

Reculer 0 cm

Rembobiner

**Plastique Hau**

Hors

**Silicium**

Hors

**Initialisatio**

Initialisation Bande

Initialisation Germanium

Figure IV-17 : Fenêtre équipement de l'interface graphique du système d'identification.

Butées Germaniums

Retour

Germanium 1 est à la distance max de la bande

Germanium 2 est à la hauteur min de la bande

Germanium 1 est à la distance min de la bande en bas

Germanium 2 est à la distance max de la bande

Germanium 1 est à la distance min de la bande en haut

Germanium 2 est à la distance min de la bande

Germanium 1 est en butée haute

Germanium 1 est en butée basse

Le plomb du Germanium 1 est en position avancée

Le plomb du Germanium 2 est en position avancée

Le plomb du Germanium 1 est en position intermédiaire

Le plomb du Germanium 2 est en position intermédiaire

Le plomb du Germanium 1 est en position reculée

Le plomb du Germanium 2 est en position reculée

Figure IV-18 : Fenêtre butée de l'interface graphique du système d'identification.

## IV-4-2-5 Fenêtre acquisition (fig IV-19)

Cette fenêtre concerne essentiellement tous les modules électroniques utilisés pour l'acquisition. Les différents temps d'horloge ainsi que leurs unités sont visualisés. Ces temps sont mis à jour à chaque chargement d'un fichier caractéristique et programmés dans le module horloge (SMC) si on est en mode en ligne.

La configuration du trigger, qui dépend principalement des modes d'acquisition et de détection utilisés, est présentée. Au chargement d'un fichier caractéristique et suivant les modes spécifiés dans ce dernier, la matrice est déterminée par le serveur d'identification d'une façon automatique et visualisée sur cette fenêtre. La programmation du module trigger (GMT) est aussi exécutée automatiquement si on est en mode en ligne.

The screenshot shows a graphical user interface for acquisition parameters. It is divided into several sections:

- Mode en ligne**: A button in the top left corner.
- Paramètres acquisition**: A title bar at the top center.
- Retour**: A button in the top right corner.
- Horloge SMC**: A section containing a text field for the acquisition file (Ar32.car) and a table of timing parameters.
- Temps**: A table with columns for different timing parameters and their units.
- Temps deviateur**: A section with input fields for IBE and CIME times.
- Coupure faisceau hacheur**: A section with an OFF button and a slider.
- Trigger GMT**: A section with dropdown menus for acquisition and detection modes, and a table for particle types and their timing.
- Distances d'avancée de la bande**: A section with dropdown menus for band advance distances.

| Temps de collection | Temps d'attente 1 IBE | Temps de mesure IBE | Temps d'attente 2 IBE | Temps d'attente 1 CIME | Temps de mesure CIME | Temps d'attente 2 CIME | Temps d'attente début acq |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| 100000.00           | 0.00                  | 0.00                | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                 | 0.00                   | 0.00                      |
| s                   | ms                    | ms                  | ms                    | μs                     | μs                   | μs                     | μs                        |

|           | Temps de collection | Temps de mesure IBE | Temps de mesure CIME |
|-----------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Gamma 1   | ON                  | ON                  | ON                   |
| Gamma 2   | ON                  | ON                  | ON                   |
| Beta haut | ON                  | ON                  | ON                   |
| Beta bas  | ON                  | ON                  | ON                   |
| Proton    | ON                  | ON                  | ON                   |

| Distance d'avancée         | Value         |
|----------------------------|---------------|
| pdt temps d'att. début acq | pas d'avancée |
| pdt temps d'att. 1 IBE     | pas d'avancée |
| pdt temps d'att. 2 IBE     | pas d'avancée |
| pdt temps d'att. 1 CIME    | pas d'avancée |
| pdt temps d'att. 2 CIME    | pas d'avancée |

Figure IV-19 : Fenêtre acquisition de l'interface graphique du système d'identification.

Les déplacements automatiques de la bande au cours de l'acquisition, pendant les temps d'attente de l'horloge, sont aussi présentés dans cette fenêtre. En effet, certains modes d'acquisition exigent ce déplacement de la bande afin d'évacuer la radioactivité.

Certaines informations (temps du faisceau sur IBE, temps du faisceau sur CIME, énergie faisceau SPIRAL, ...etc) peuvent être récupérées et visualisées sur cette fenêtre, en consultant le serveur de la machine qui gère le faisceau primaire GANIL.

## IV-4-2-6 Fenêtre paramètres d'analyse (fig IV-20)

La dernière fenêtre réalisée présente les différents paramètres utilisés par l'acquisition pour le calcul des surfaces des pics et des flux. Ces paramètres sont envoyés de l'interface graphique vers le processus acquisition à travers le serveur d'identification.

Les limites des pics des noyaux (intérêt, parent, polluants), du générateur d'impulsions et de l'énergie 511 keV sont lus dans le fichier caractéristique du noyau d'intérêt.

The screenshot shows a graphical user interface window titled "Paramètres d'analyse". At the top right, there are three buttons: "Retour", "Appliquer", and "Annuler". The main area is divided into several sections, each with a title and input fields:

- Calibration germanium:** Contains four input fields: a\_EG1 (0.0000), b\_EG1 (5.0000), a\_EG2 (0.0000), and b\_EG2 (0.0000).
- Calibration Tl:** Contains two input fields: a\_Tl (0.0000) and b\_Tl (0.0000), and a "Coefficient de normalisation Tl" field (0.0000).
- Générateur d'impulsions:** Contains "Fréquence géné" (0 Hz) and "Numéro du canal géné" (0).
- Efficacité germanium:** Contains "a\_eff\_G1" (0.0000), "b\_eff\_G1" (0.0000), and "Distance Germanium1-Bande" (0.0000 mm).
- Efficacité plastique HA:** Contains "Efficacité beta haut" (0.0000 %).
- Efficacité plastique BA:** Contains "Efficacité beta bas" (0.0000 %).
- Surface des pics germanium:** Contains "Surface du pic obtenu par:" (dropdown menu), "Résolution du fit" (dropdown menu), and "±" (0 canaux).
- Limites des pics géné et 511keV:** Contains a table with columns "Min" and "Max" for "Géné" and "Pc 511keV".

At the bottom center, there is a button labeled "Param. Horloges".

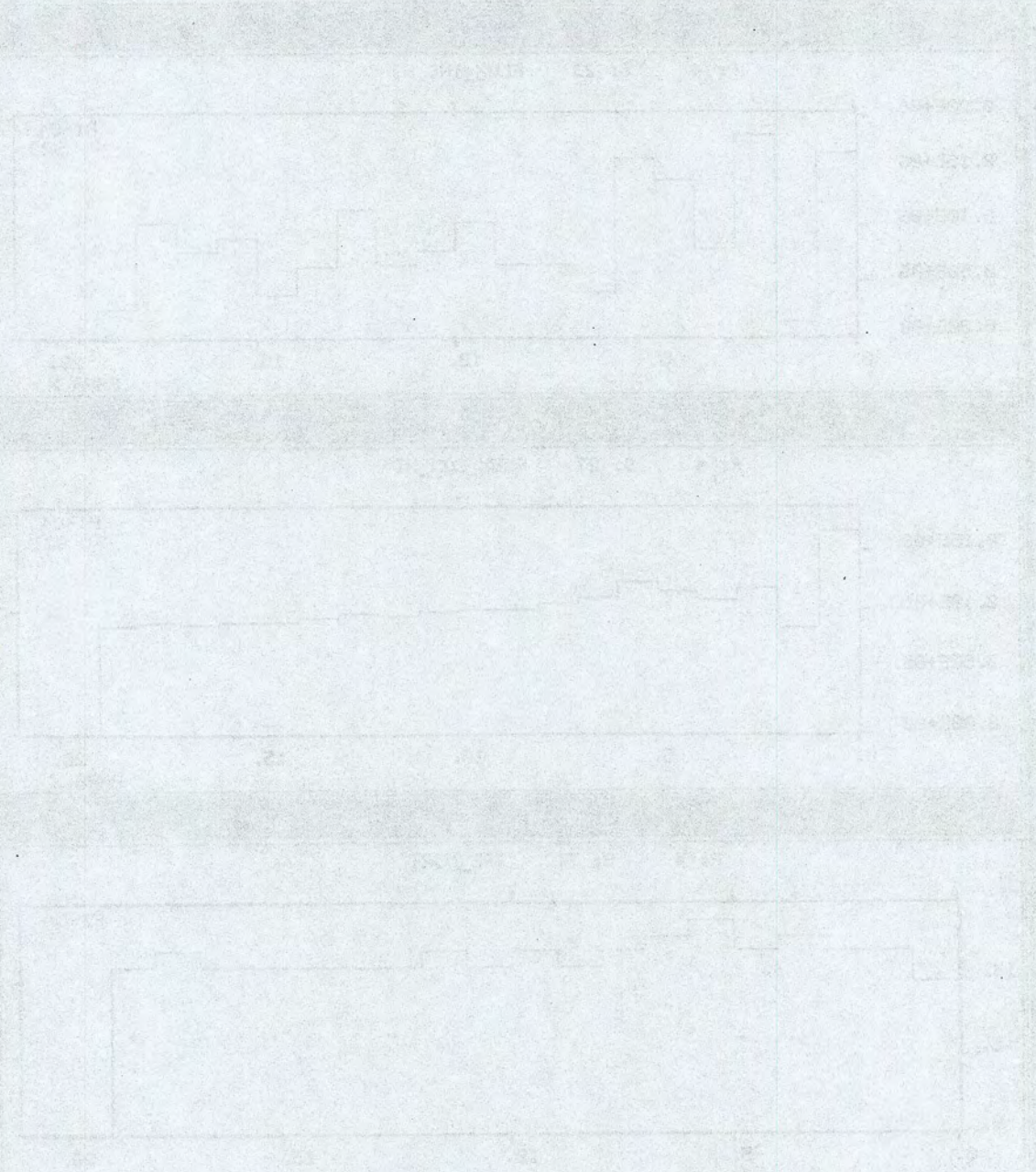
Figure IV-20 Fenêtre paramètres d'analyse de l'interface graphique du système d'identification.

Les organigrammes des différentes fonctions réalisées dans l'interface Labview, le protocole de dialogue établi entre cette interface et le serveur d'identification ainsi qu'un exemple de fichier caractéristique sont présentés dans l'annexe B. Une notice d'utilisation de l'interface graphique avec le détail des différents paramètres visualisés est présentée dans l'annexe C.

Plusieurs programmes de test, au niveau des couches les plus basses, ont été développés afin de tester chacune des parties du système (commande-contrôle de l'équipement, acquisition, serveur et interface graphique).

La figure IV-21 présente un exemple de test de la partie acquisition de notre système hors ligne. Elle représente l'évolution du flux (instantané et cumulé) de  $^{35}\text{Ar}$  ainsi que du temps mort pendant une expérience qui a été réalisée sur le séparateur SIRa. L'énergie choisie pour le calcul des flux est de 1219 keV ( $R = 1,35\%$ ) et le rafraîchissement est réalisé à chaque 10 secondes.

L'interface graphique décrite précédemment assure la convivialité de notre système afin de faciliter son utilisation. Le système sera opérationnel en ligne au démarrage de SPIRAL.



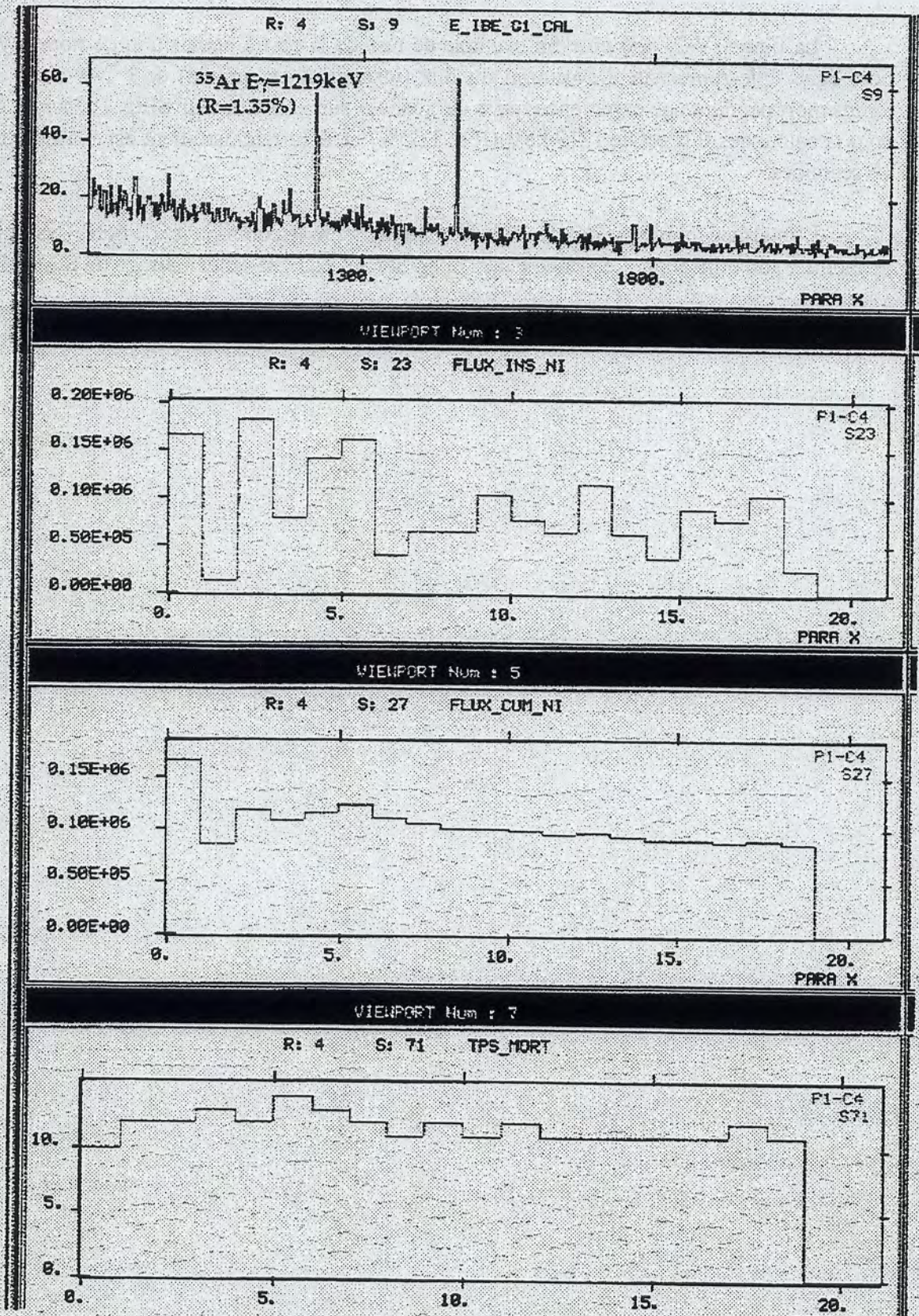


Figure IV-21 : Evolution des flux et du temps mort au cours des tests de l'acquisition du système d'identification.

## **PARTIE II**

# **PRODUCTION D'IONS RADIOACTIFS DANS LE PROJET PARRNe**

## Chapitre V

# Production d'atomes radioactifs riches en neutrons

### V-1 Introduction

Jusqu'à maintenant, nous avons vu la production des atomes radioactifs par fragmentation du projectile. Ces atomes sont généralement de masse inférieure à 140 u.m.a. Pour étendre la gamme des noyaux produits et accélérés dans le système SPIRAL, la production des atomes de masse élevée aussi bien riche en protons qu'en neutrons intéresse aussi les physiciens. La fission est le mécanisme le plus efficace pour produire des noyaux riches en neutrons. Celle de l' $^{235}\text{U}$  induite par neutrons thermiques permet de produire les noyaux au voisinage des Kr et des Xe avec une section efficace plus grande que celle obtenue par fragmentation [Mau98, Mir98, Lau99]. Tout comme la fission induite par protons rapides, la fission induite par des neutrons rapides [Nol93] devrait permettre de produire des noyaux dans une plus large gamme de masse avec des sections efficaces beaucoup plus élevées pour des masses qui se situent loin des régions des Kr et des Xe. Le programme de recherche et développement PARRNe mené par l'IPNO a pour objectif de déterminer les meilleures conditions de production de faisceaux radioactifs riches en neutrons. Les neutrons obtenus par cassure de deutons dans un convertisseur induisent la fission d'atomes de  $^{238}\text{U}$  (figure V-1). De tels faisceaux intéressent vivement les grandes installations de faisceaux radioactifs [Kor93, Ver97] comme SPIRAL à GANIL. Dans ce dernier cadre, une action de recherche et développement SPIRAL phase II [Sai98, Gan99] est lancée à l'échelle européenne. Cette collaboration, coordonnée par le GANIL (Caen) comprend les laboratoires IPN (Orsay), Jyväskylä (Finlande), Louvain-la-Neuve (Belgique) et K.V.I. (Hollande).

L'équipe de l'IPNO, en réalisant un premier test PARRNe 0, a utilisé les deutons de 20 MeV fournis par le Tandem d'Orsay. Suite au succès de ce test, d'autres expériences se sont succédées : PARRNe 0 à Saturne (Saclay), PARRNe 1 au Tandem d'Orsay. Nous allons présenter brièvement ces expériences.

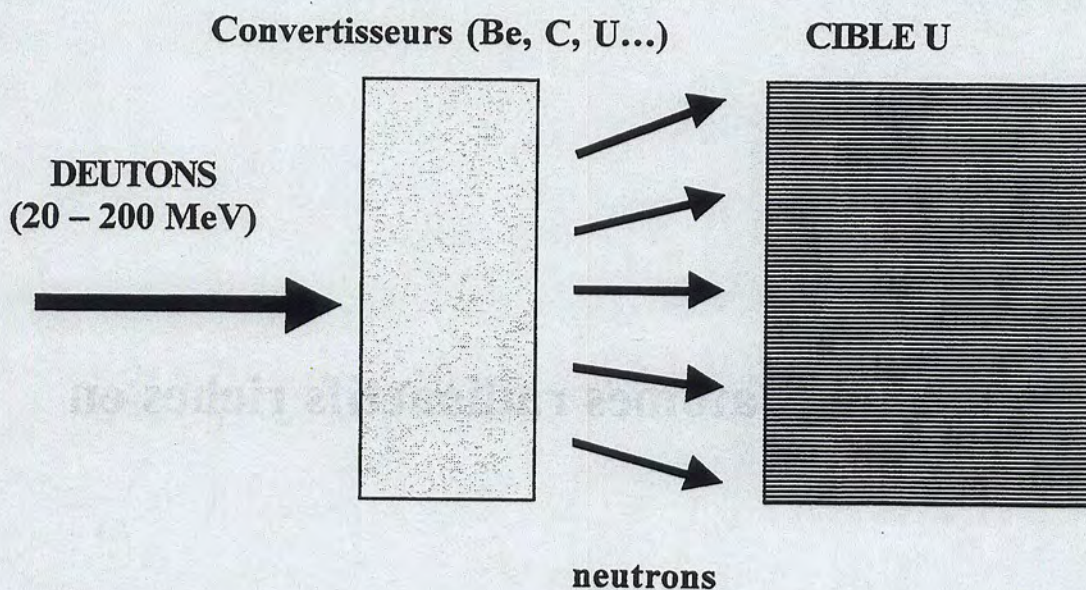


Figure V-1 Schéma de principe de production d'ions radioactifs par fission induite par neutrons rapides.

## V-2 L'expérience PARRNe 0

L'étape PARRNe 0 consistait à montrer la faisabilité de ces expériences :

- production d'un faisceau de neutrons à partir du faisceau des deutons du Tandem ;
- détection des produits de fission induits par ces neutrons dans une cible d'uranium par spectroscopie  $\gamma$  hors ligne.

Les neutrons sont produits par l'arrêt d'un faisceau de deutons de 20 MeV et de 100 nA, dans une cage de Faraday en carbone placée à 7 cm de la cible. Le flux de neutrons résultant est estimé à environ  $10^8$  neutrons/s. Ces neutrons irradiaient une cible d'U de 1 mm d'épaisseur placée juste derrière. Au bout de 2 minutes d'irradiation, la cible était déplacée devant un germanium pour détecter les photons  $\gamma$  issus de la radioactivité des fragments produits dans la cible. Le détecteur était entouré de béton afin de le protéger des rayonnements gamma et des neutrons provenant des réactions entre les deutons et le carbone. Les productions induites dans la cible étaient de l'ordre de  $6 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$  atomes/ $\mu\text{C}\{\text{deutons}\}/\text{g}\{\text{U}\}$ , [tableau V-1].

Cette expérience a montré que l'on pouvait identifier de nombreuses espèces radioactives avec un excédent de neutrons allant jusqu'à 10 pour le Sb [Cla98].

L'étape suivante PARRNe 1 avait pour objectif de produire et mesurer le taux de production des atomes radioactifs gaz rares.



| isotope                   | $T_{1/2}$ | Taux de production<br>( $10^3/\mu\text{C.g}$ ) | $\Delta n$ |
|---------------------------|-----------|--|------------|
| $^{84}\text{Se}$          | 3,1 mn    | 6,9  | 4          |
| $^{86}\text{Br}$          | 54 s      | 9,7  | 5          |
| $^{89}\text{Kr}$          | 3,07 mn   | 30   | 3          |
| $^{90}\text{Kr}$          | 32,32 s   | 25   | 4          |
| $^{94}\text{Sr}$          | 1,24 mn   | 54,9   | 6          |
| $^{103}\text{Tc}$         | 54,2 s    | 6,9  | 6          |
| $^{132}\text{Sn}$         | 40 s      | 6,2  | 8          |
| $^{132\text{m}}\text{Sb}$ | 2,8 mn    | 25   | 9          |
| $^{133}\text{Sb}$         | 2,3 mn    | 23   | 10         |
| $^{136\text{a}}\text{I}$  | 1,38 mn   | 20,8   | 9          |
| $^{136\text{b}}\text{I}$  | 46 s      | 9,7  | 9          |
| $^{140}\text{Cs}$         | 1,07 mn   | 39,6   | 7          |
| $^{137}\text{Xe}$         | 3,83 mn   | 45,2   | 1          |
| $^{139}\text{Xe}$         | 39,5 s    | 20,1   | 3          |
| $^{144}\text{La}$         | 40,7 s    | 27,8   | 5          |
| $^{145}\text{Ce}$         | 3 mn      | 26,4   | 3          |

Tableau V-1 : taux de production mesurés lors de l'expérience PARRNe 0 pour un faisceau de deutons de 20 MeV et d'intensité 100 nAp.

$\Delta n$  représente la richesse en neutrons du noyau par rapport à l'isotope stable le plus lourd.

### V-3 Les expériences PARRNe 1 à Orsay et PARRNe 0 à Saturne

#### V-3-1 Expérience PARRNe 1 avec une cible $\text{UC}_x$

Une cible épaisse de carbure d'uranium ( $\text{UC}_x$ ) de 50 pastilles de 14 mm de diamètre est placée à l'intérieur d'un container de carbone (figure V-2). Ce dernier est chauffé dans un four en tantale jusqu'à une température de 2300K afin d'améliorer la diffusion des atomes radioactifs hors de la cible [Cla98].

Tout ce dispositif est placé sous vide secondaire ( $\approx 10^{-6}$  mbar). Les atomes produits diffusent vers un tube de transfert à travers un trou de 1 cm de diamètre, positionné au centre du container. Un convertisseur en Be de 3 mm de longueur, placé à 8 cm de la cible, a été utilisé pour produire les neutrons. La production de ces derniers a été estimée à  $10^8$  neutrons/s [Cla98] pour une énergie des deutons de 20 MeV.

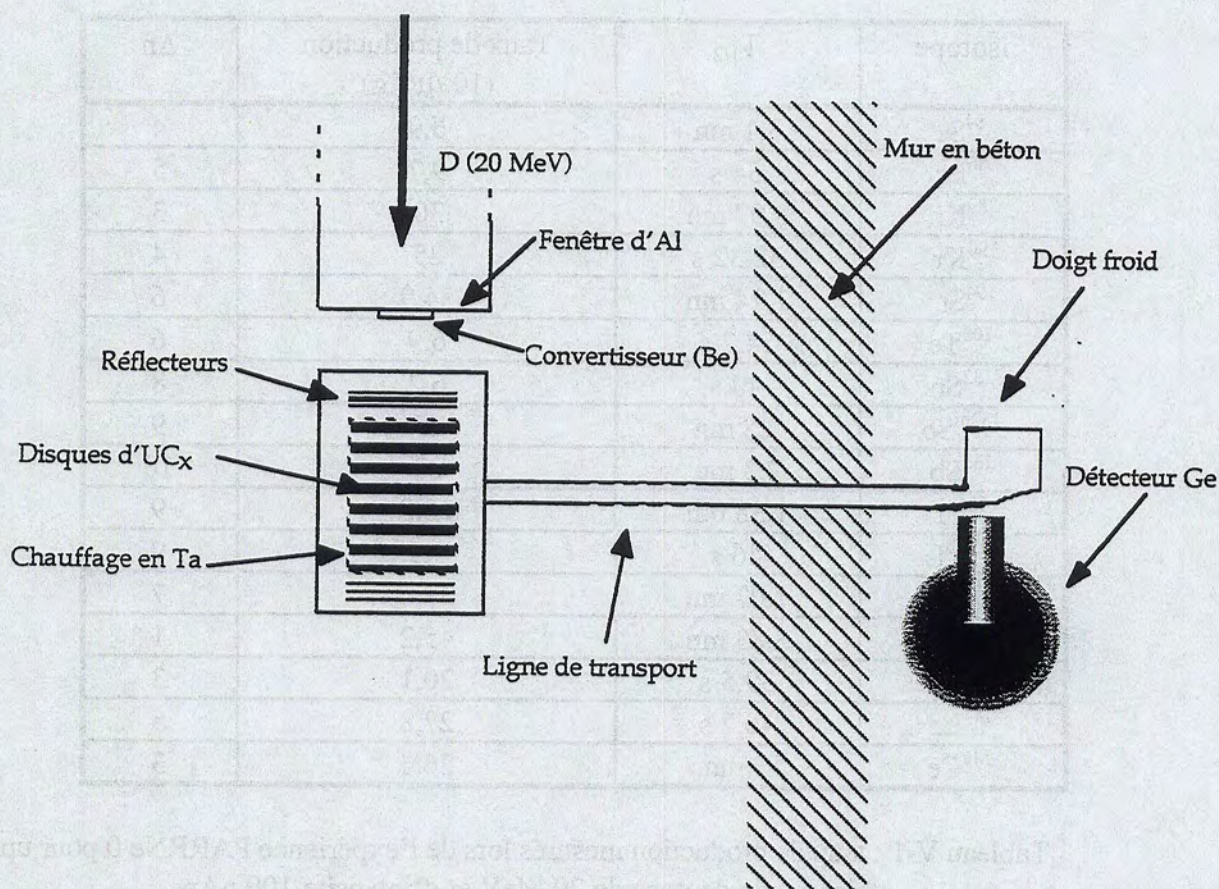


Figure V-2 Schéma de l'expérience PARRNe 1 visant à mesurer la production des gaz rares.

Les produits de fission diffusent vers une ligne sous vide de 7,2 m de long. Cette ligne guide les gaz rares vers un doigt froid, maintenu à 15 K, sur lequel ils sont piégés. Seuls les gaz rares arrivent jusqu'au doigt froid car les autres éléments se condensent dès leur sortie de l'ensemble cible.

L'acquisition des données permettait de faire des spectres de durée variable à partir desquels étaient identifiées les raies des photons gamma provenant d'atomes radioactifs ayant des périodes radioactives différentes. Le tableau V-2 montre les taux collectés pour  $^{90,91,92}\text{Kr}$  et  $^{139}\text{Xe}$  sur le doigt froid. Ces valeurs sont normalisées pour un faisceau de deutons de  $1 \mu\text{A}$ . Les taux de production sont de l'ordre de  $10^4 - 10^5$  pps.

| isotope           | $T_{1/2}$ | Taux de production<br>( $1/\mu\text{C}$ ) |
|-------------------|-----------|---|
| $^{90}\text{Kr}$  | 32,3 s    | $2 \cdot 10^5$                            |
| $^{91}\text{Kr}$  | 8,6 s     | $4 \cdot 10^4$                            |
| $^{92}\text{Kr}$  | 1,8 s     | $1 \cdot 10^4$                            |
| $^{139}\text{Xe}$ | 39,7 s    | $2 \cdot 10^5$                            |

Tableau V-2 : Taux de production mesurés lors de l'expérience PARRNe 1 avec une cible UCx [Cla98] et des deutons de 20 MeV.

Dans ce premier test, la cible a été volontairement maintenue à une température relativement modeste ( $T = 1560^{\circ}\text{C}$ ) afin de ne pas risquer sa détérioration prématurée. Les distributions de temps de relâchement et de transport ont été étudiées [Cla98, Let97]. Vu que l'énergie utilisée au Tandem était de 20 MeV, il fallait étudier la production à plus haute énergie ce qui a conduit à une expérience à Saturne avec des deutons de 200 MeV. Des mesures de distribution angulaire des neutrons, produits par interaction des deutons avec les noyaux d'une cible épaisse de Be et d'U, ont été aussi réalisées [Pau00].

### V-3-2 Expérience PARRNe 0 à Saturne

Nous avons utilisé deux convertisseurs épais de Be et U placé à 3 mm de la cible d'U (figure V-3). Cette dernière était constituée d'un disque d'U ( $\approx 12\text{g}$ ) de 1 mm d'épaisseur et 14 mm de diamètre. Nous avons utilisé plusieurs cibles afin de ne pas polluer les spectres avec les raies des atomes radioactifs à long temps de vie.

Pour mesurer uniquement les photons gamma provenant de la radioactivité et pour diminuer le bruit de fond généré par l'irradiation, un téléphérique de 6 m de long a été mis au point pour transporter la cible du point d'irradiation au point de détection. Le temps du parcours était de l'ordre de 3,2 s.

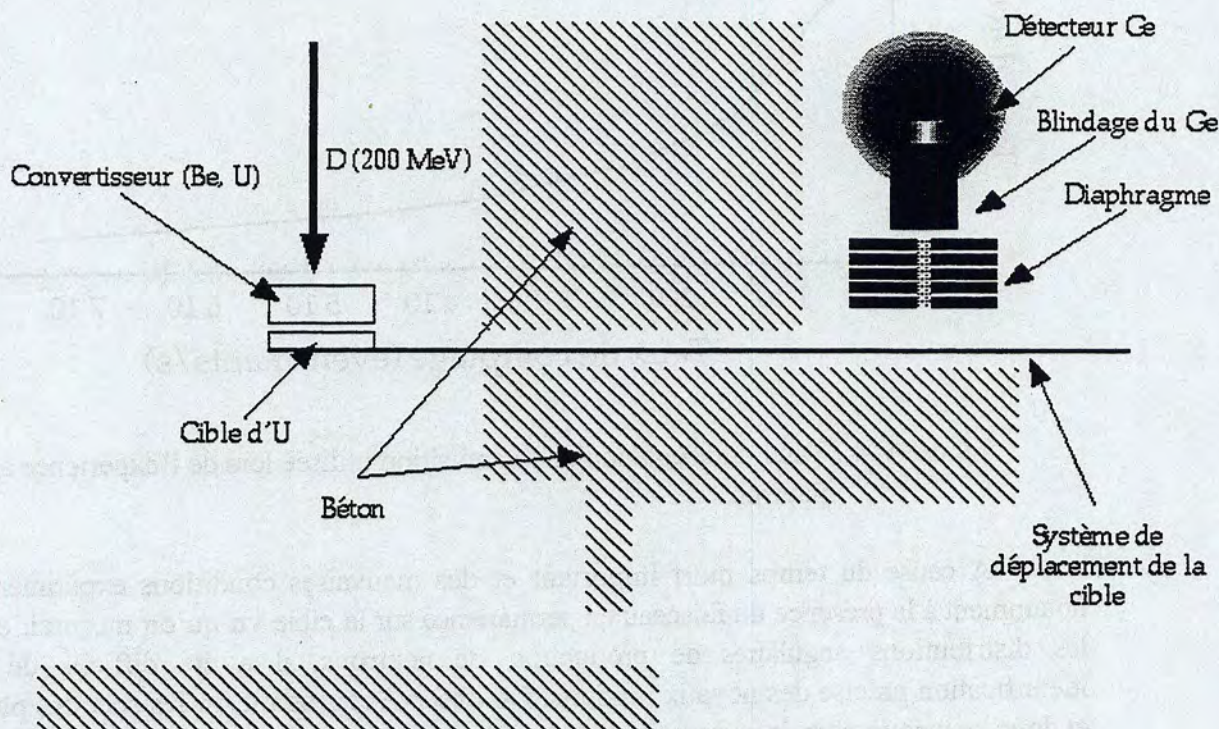


Figure V-3 : Dispositif expérimental de production d'atomes riches en neutrons pendant l'expérience PARRNe1 à Saturne (Saclay) avec un faisceau de deutons de 200 MeV.

Le détecteur Germanium utilisé était entouré d'un mur de béton de 1,5 m d'épaisseur. Le détecteur lui-même est protégé de l'environnement ambiant par un blindage composé de Plomb, Cu et Al l'enveloppant complètement. De plus, entre la cible et le détecteur,

un collimateur de 3,5 cm de Plomb percé d'un trou de 1 cm protégeait le détecteur. Ce dernier se trouvait à 47 cm de la cible. Le faisceau pulsé était toujours présent sur le convertisseur même pendant la mesure de la cible d'uranium. La détection a été réalisée à l'aide du logiciel d'acquisition de données Kmax associé à un Macintosh Power PC9200 [Mau98]. Cette acquisition présentait des avantages de portabilité, facilité d'installation et programmation. Son inconvénient majeur est la difficulté de traiter les événements un par un. Le taux d'acceptation était très faible dès que l'on comptait des événements comportant 6 paramètres à taux de 1000 événements par seconde (figure V-4).

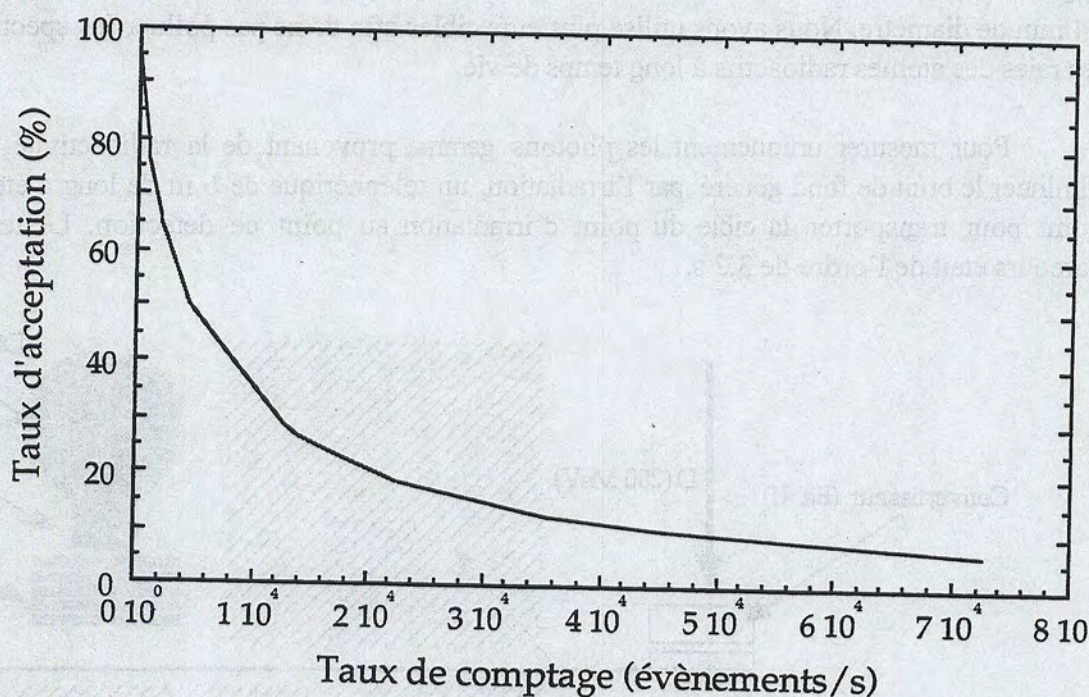


Figure V-4 : Taux d'acceptation de l'acquisition utilisée lors de l'expérience à Saturne.

A cause du temps mort important et des mauvaises conditions expérimentales dues notamment à la présence du faisceau en permanence sur la cible vu qu'on mesurait en parallèle les distributions angulaires de production de neutrons, il a été difficile de faire une identification précise des noyaux produits. On observe cependant sur les spectres plus de raies et donc beaucoup plus de noyaux dans le cas d'un convertisseur de Be que dans celui d'U.

Afin de tester une cible ayant une plus grande densité, une expérience a été effectuée auprès du Tandem de l'IPNO avec une cible d'uranium liquide. Cette expérience était une première mondiale.

### V-3-3 Expérience PARRNe 1 avec une cible d'uranium liquide [Kan00]

#### V-3-3-1 Description

L'expérience a été réalisée avec des convertisseurs de C et de Be de 3 mm d'épaisseur. Le convertisseur doit être placé le plus près possible de la cible afin d'avoir le meilleur angle solide. Le convertisseur Be ne peut pas être placé trop près de la cible car il fond à 1550K. Comme le montre la figure V-5, le Be est placé à 95 mm du centre de la cible qui correspond à peu près à la même distance (108 mm) que l'expérience PARRNe 1 avec UCx.

Par contre le convertisseur carbone a été placé à 19 mm du centre de la cible. Le convertisseur carbone est 1,4 fois moins performant que le Be [Men99] mais peut être placé beaucoup plus près, car il supporte des températures plus élevées.

La cible a une densité de  $18\text{g/cm}^3$  et contient 20 g d'uranium. Elle est maintenue à une température entre 1570K et 1670K. L'uranium liquide est chimiquement très corrosif. Trois types de creuset ont été testés hors ligne [Lau98-b] : Nitrure de bore (NB), Tribacor alliage de Ti, Nb, et W, et l'oxyde d'yttrium ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ). Ce dernier a été retenu car aucune réaction n'a été observée avec l'uranium après 70 heures à 1570K. De nombreux tests sont nécessaires avant d'effectuer des expériences en ligne à haute température. Des tests de ce creuset à des températures plus élevées sont prévus en collaboration avec ISOLDE au CERN.

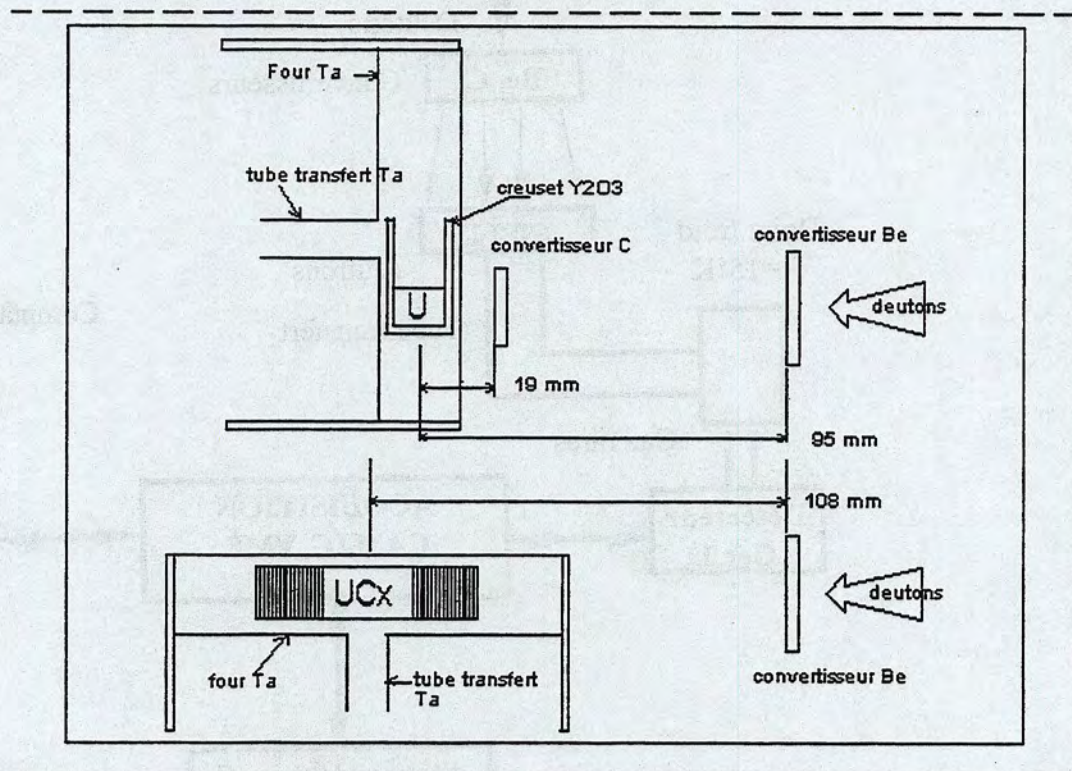


Figure V-5 Positions relatives des convertisseurs Be et C par rapport à la cible. Présentation des deux cas : uranium liquide et UC<sub>x</sub>.

Le creuset et l'uranium ont été placés dans un container en molybdène pour éviter toute fuite en cas de rupture du creuset. L'ensemble cible, creuset et container sont placés dans un four en tantale.

Les produits de fission diffusent hors de la cible et dans un tube de transfert de 20 cm qui peut être chauffé à 1700K. Les gaz rares effluent, à la fin du tube, le long d'un tube de 8 m à la température ambiante. De la même façon que l'expérience PARRNe 1 avec la cible  $UC_x$ , les gaz rares sont piégés dans un doigt froid à 15K. La radioactivité est mesurée par spectroscopie  $\gamma$  (figure V-6) en utilisant un détecteur germanium et une acquisition basé sur des modules CAMAC et un frontal VME (figure V-7).

A la sortie du tube transfert, 4 disques d'aluminium peuvent collecter les produits de fission condensables. Ces disques d'Al sont extraits manuellement et placés devant un deuxième germanium (Ge2) pour comptage.

La cible et le creuset n'ont présenté aucune anomalie pendant les 48 heures de l'expérience. L'intensité du faisceau de deutons était entre 60 et 200 nA et le vide au niveau du doigt froid était de  $1,3 \cdot 10^{-4}$  Pa.

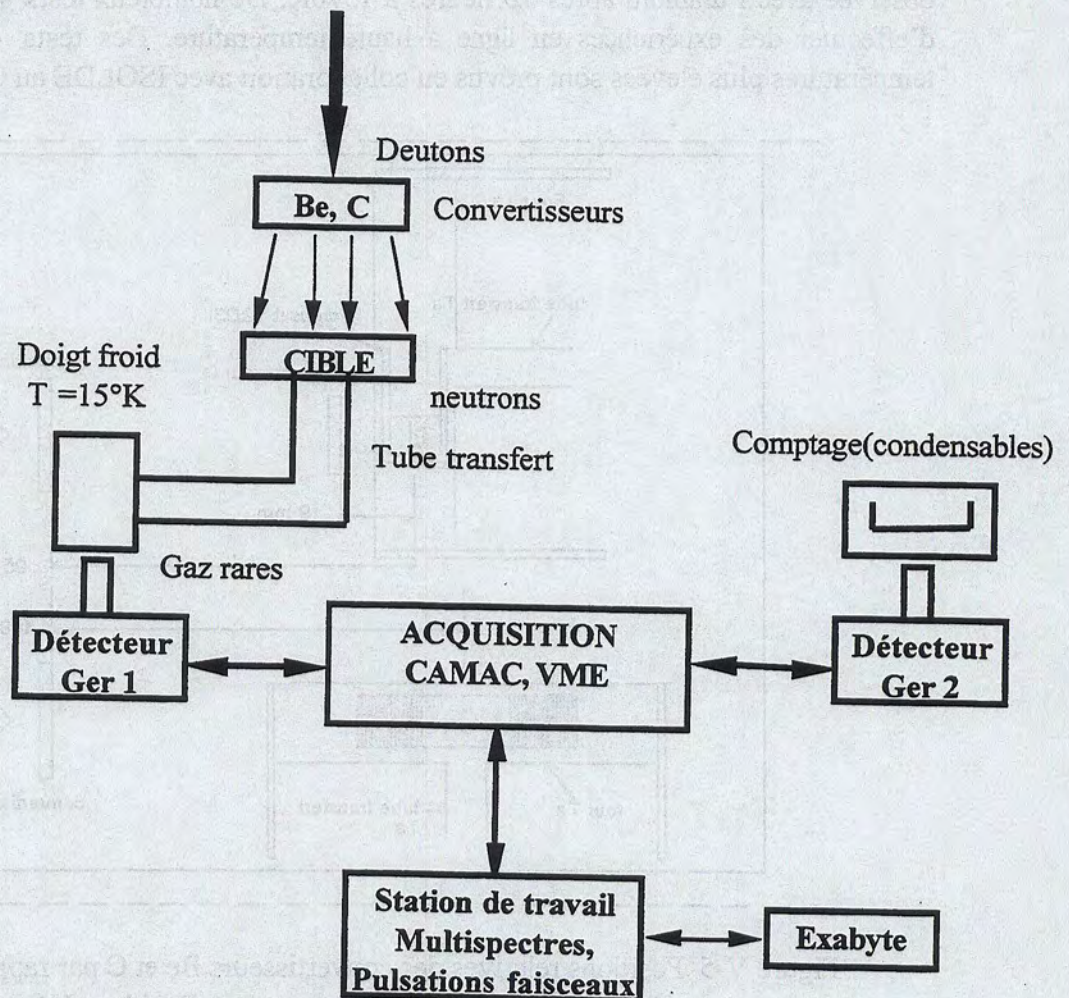


Figure V-7 Schéma synoptique du dispositif expérimental de l'expérience PARRNe 1 avec une cible d'uranium liquide.

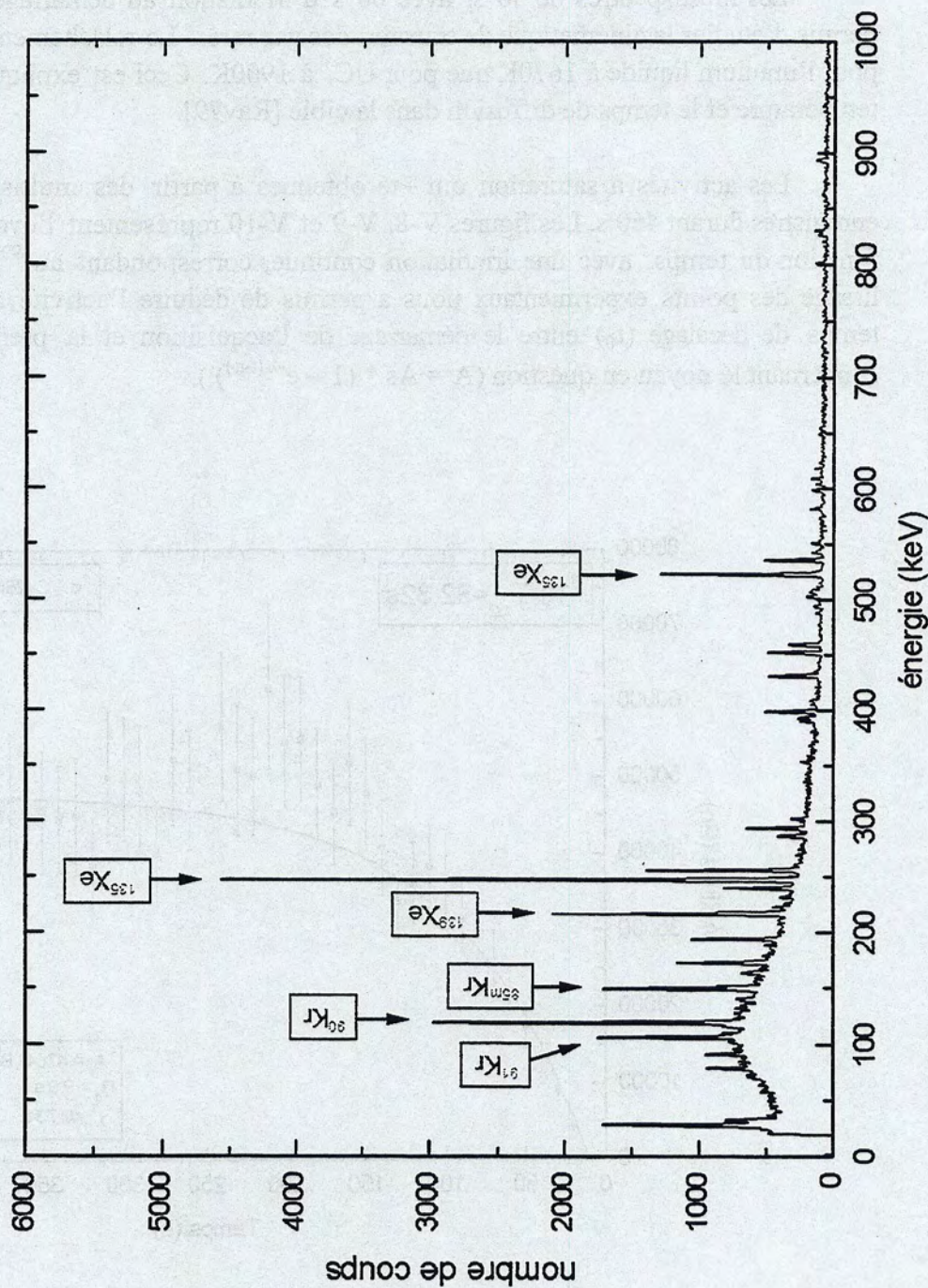


Figure V-6 Exemple de spectre des gaz rares piégés au doigt froid pendant l'expérience PARRNe 1 avec une cible d'uranium liquide.

VI-3-3-2 Résultats des mesures et comparaison avec la cible UC<sub>x</sub>

Les multispectres de 30 s, avec 60 s d'irradiation au démarrage de l'acquisition, ont permis d'étudier la cinématique de transfert des gaz rares. Le relâchement est apparu plus lent pour l'uranium liquide à 1670K que pour UC<sub>x</sub> à 1900K. Ceci est expliqué par la différence de température et le temps de diffusion dans la cible [Rav79].

Les activités à saturation ont été obtenues à partir des multispectres (46 spectres) enregistrés durant 460 s. Les figures V-8, V-9 et V-10 représentent l'évolution de l'activité en fonction du temps, avec une irradiation continue, correspondant au <sup>90</sup>Kr, <sup>91</sup>Kr et <sup>139</sup>Xe. Le lissage des points expérimentaux nous a permis de déduire l'activité à saturation A<sub>s</sub> et le temps de décalage (t<sub>0</sub>) entre le démarrage de l'acquisition et la première mesure acquise concernant le noyau en question ( $A = A_s * (1 - e^{-\lambda(t-t_0)})$ ).

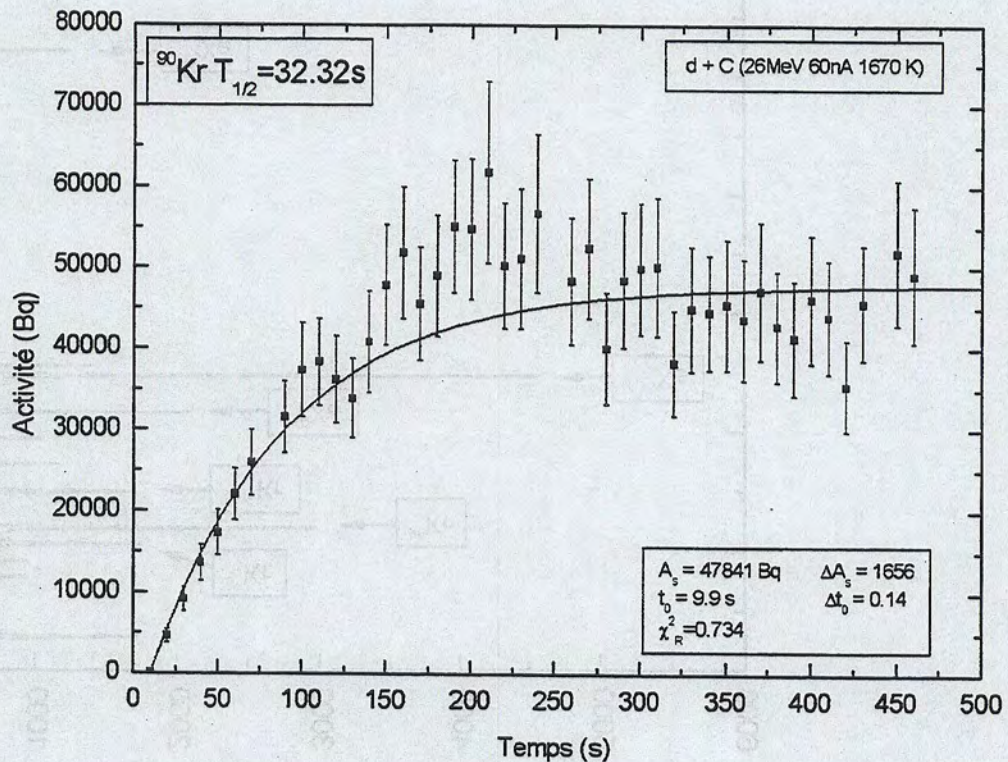


Figure V-8 : Activité <sup>90</sup>Kr (T<sub>1/2</sub> = 32, 32 s) en fonction du temps.

La courbe d'activité coupe l'échelle des temps à t<sub>0</sub> = 9,9 s.

Les barres d'erreurs (≈ 17%) représentent principalement l'erreur statistique (≈ 5%) et l'erreur sur l'efficacité (10%).



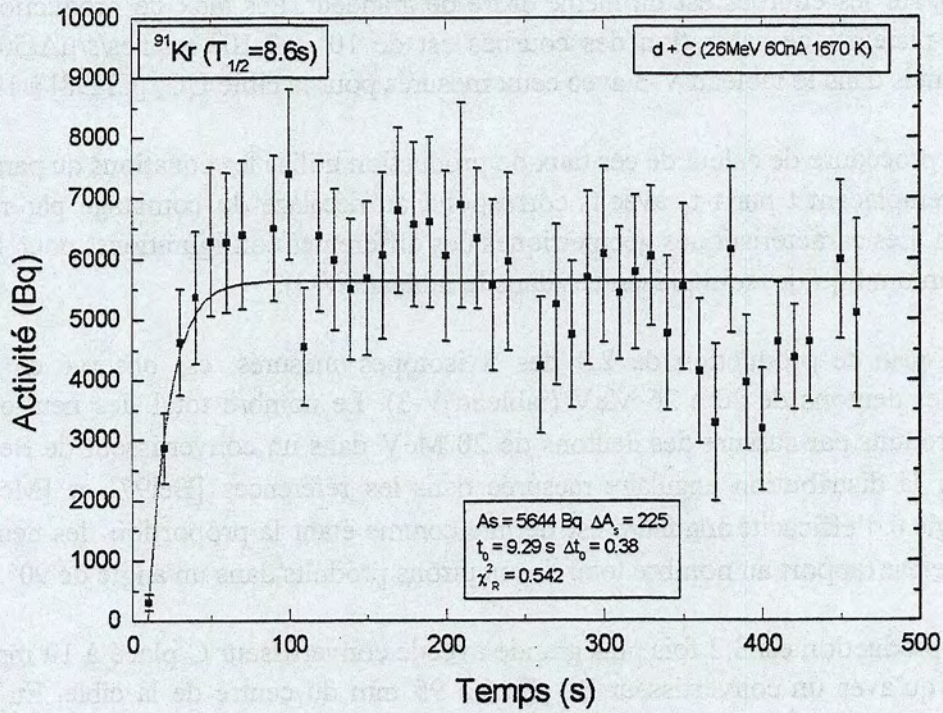


Figure V-9 : Activité  $^{91}\text{Kr}$  ( $T_{1/2} = 8,6\text{ s}$ ) en fonction du temps.  
 La courbe d'activité coupe l'échelle des temps à  $t_0 = 9,29\text{ s}$ .

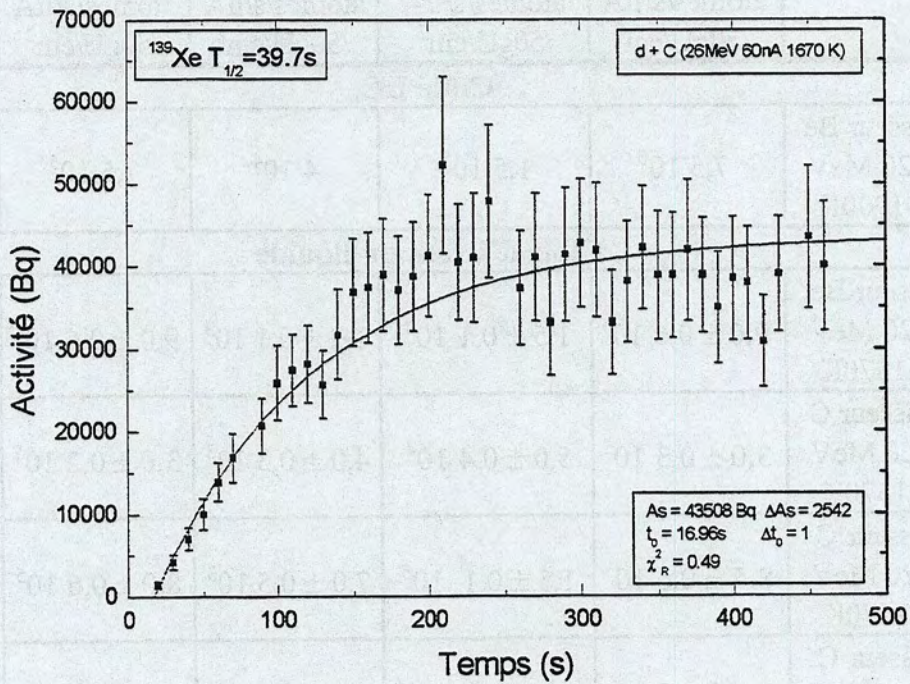


Figure V-10 : Activité  $^{139}\text{Xe}$  ( $T_{1/2} = 39,7\text{ s}$ ) en fonction du temps.  
 La courbe d'activité coupe l'échelle des temps à  $t_0 = 16,96\text{ s}$ .

Le temps du transport des atomes le long du tube de 8 m a été mesuré hors ligne avec une fuite calibrée. Ce temps est évalué à 13 s pour le  $^{84}\text{Kr}$  et 17 s pour le  $^{132}\text{Xe}$ . Le temps de décalage  $t_0$  sur les courbes est du même ordre de grandeur. Les taux de production déduits à partir des plateaux de saturation des courbes est de  $10^4$  à  $2 \cdot 10^6$  atomes/s/ $\mu\text{A}/50\text{gU}/\text{cm}^2$ . Ils sont présentés dans le tableau V-3 avec ceux mesurés pour la cible  $\text{UC}_x$  [Cla98] à 1900K.

La procédure de calcul de ces taux de production utilise les équations du paragraphe III-8-5-0 en remplaçant  $t$  par  $t-t_0$  avec  $t_0$  correspond au décalage du comptage par rapport à la production. Les caractéristiques géométriques des différentes configurations, pour les deux cas  $\text{UC}_x$  et uranium liquide, sont présentées dans le tableau (V-4).

Un gain de production de 2,3 des 5 isotopes mesurés, est observé en augmentant l'énergie des deutons de 20 à 26 MeV (tableau V-3). Le nombre total des neutrons dans un angle  $\theta$ , produits par cassure des deutons de 20 MeV dans un convertisseur de Be ou C a été calculé par la distribution angulaire mesurée dans les références [Bel97] et [Men99]. Pour chaque angle  $\theta$ , l'efficacité angulaire est définie comme étant la proportion des neutrons reçus par la cible par rapport au nombre total des neutrons produits dans un angle de  $90^\circ$ .

La production est 3,2 fois plus grande avec le convertisseur C placé à 19 mm du centre de la cible qu'avec un convertisseur Be placé à 95 mm du centre de la cible. En prenant en considération les différentes configurations géométriques (tableau V-4), on en déduit qu'une perte d'un facteur 2,6 est due à la nature du convertisseur.

|   | $^{90}\text{Kr}$<br>$T_{1/2} = 32,3 \text{ s}$<br>atomes/s/ $\mu\text{A}$<br>/50gU/cm <sup>2</sup> | $^{91}\text{Kr}$<br>$T_{1/2} = 8,6 \text{ s}$<br>atomes/s/ $\mu\text{A}$<br>/50gU/cm <sup>2</sup> | $^{92}\text{Kr}$<br>$T_{1/2} = 1,8 \text{ s}$<br>atomes/s/ $\mu\text{A}$<br>/50gU/cm <sup>2</sup> | $^{139}\text{Xe}$<br>$T_{1/2} = 39,7 \text{ s}$<br>atomes/s/ $\mu\text{A}$<br>/50gU/cm <sup>2</sup> | $^{140}\text{Xe}$<br>$T_{1/2} = 13,5 \text{ s}$<br>atomes/s/ $\mu\text{A}$<br>/50gU/cm <sup>2</sup> |
|---|--|---|---|---|---|
| <b>Cible <math>\text{UC}_x</math></b>   |  |   |   |   |   |
| Convertisseur Be<br>$E_{\text{deuton}} = 20 \text{ MeV}$<br>$T_{\text{cible}} = 1900\text{K}$ | $7,5 \cdot 10^5$   | $1,5 \cdot 10^5$  | $4 \cdot 10^4$  | $7,5 \cdot 10^5$  |   |
| <b>Cible d'Uranium liquide</b>  |  |   |   |   |   |
| Convertisseur Be<br>$E_{\text{deuton}} = 20 \text{ MeV}$<br>$T_{\text{cible}} = 1570\text{K}$ | $9,0 \pm 0,6 \cdot 10^4$   | $1,5 \pm 0,1 \cdot 10^4$  | $1,2 \pm 0,1 \cdot 10^3$  | $9,0 \pm 0,6 \cdot 10^4$  | $2,0 \pm 0,2 \cdot 10^4$  |
| Convertisseur C<br>$E_{\text{deuton}} = 20 \text{ MeV}$<br>$T_{\text{cible}} = 1570\text{K}$  | $3,0 \pm 0,3 \cdot 10^5$   | $5,0 \pm 0,4 \cdot 10^4$  | $4,0 \pm 0,3 \cdot 10^3$  | $3,0 \pm 0,2 \cdot 10^5$  | $8,0 \pm 0,6 \cdot 10^4$  |
| Convertisseur C<br>$E_{\text{deuton}} = 20 \text{ MeV}$<br>$T_{\text{cible}} = 1670\text{K}$  | $8,5 \pm 0,6 \cdot 10^5$   | $1,5 \pm 0,1 \cdot 10^5$  | $7,0 \pm 0,5 \cdot 10^3$  | $8,0 \pm 0,6 \cdot 10^5$  | $1,0 \pm 0,1 \cdot 10^5$  |
| Convertisseur C<br>$E_{\text{deuton}} = 26 \text{ MeV}$<br>$T_{\text{cible}} = 1670\text{K}$  | $2,0 \pm 0,2 \cdot 10^6$   | $2,5 \pm 0,2 \cdot 10^5$  | $2,5 \pm 0,2 \cdot 10^4$  | $1,5 \pm 0,2 \cdot 10^6$  | $3,0 \pm 0,2 \cdot 10^5$  |

Tableau V-3 : Taux de production des gaz rares collectés au doigt froid.

Le rapport des angles solides d'une part dans le cas de la cible UC<sub>x</sub> (convertisseur Be à 108 mm du centre de la cible) et d'autre part dans le cas de l'uranium liquide (Be à 95 mm du centre de la cible) est de 1,3 et est en accord avec le rapport des efficacités angulaires (1,1). Ce facteur géométrique explique 12% de la différence du taux de production entre les deux cibles (UC<sub>x</sub> et uranium liquide). La différence restante peut être expliquée par le temps de relâchement de la cible.

|                                   | UC <sub>x</sub> | U liquide | U liquide | U liquide |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Convertisseur                     | Be              | Be        | C         | Be        |
| distance convertisseur/cible (mm) | 108             | 95        | 19        | 19        |
| angle (°)                         | 3,7             | 3,5       | 17        | 17        |
| angle solide(msr)                 | 13,2            | 10,7      | 269       | 269       |
| efficacité angulaire [Bel97]      | 2,2 %           | 2,0 %     |           | 16,6 %    |
| efficacité angulaire [Men99]      | 2,4 %           | 2,2 %     | 19,1 %    | 15,3%     |

Tableau V-4 : Caractéristiques géométriques des différentes configurations de l'expérience. La dernière colonne présente des valeurs estimées.

Nous avons pu identifier des condensables comme le Br, I et Te. L'isotope <sup>136</sup>I, avec 9 neutrons de plus que le stable, a été mesuré. Le tellure est le père de l'iode et contribue marginalement à sa production. Les différentes abondances isotopiques relatives, collectées avec le convertisseur carbone à deux énergies différentes des deutons et deux températures de la cible, sont présentées dans le tableau V-5.

| Isotope                        | période | E <sub>deuton</sub> = 20 MeV<br>T <sub>cible</sub> = 1570K | E <sub>deuton</sub> = 20 MeV<br>T <sub>cible</sub> = 1670K | E <sub>deuton</sub> = 26 MeV<br>T <sub>cible</sub> = 1670K |
|--------------------------------|---------|--|--|--|
| <sup>134</sup> I atomes/s/μA   | 53 mn   | 1,5 ± 0,2 10 <sup>5</sup>                                  | 3,0 ± 0,4 10 <sup>5</sup>                                  | 1,0 ± 0,2 10 <sup>6</sup>                                  |
| <sup>136a</sup> I atomes/s/μA  | 1,4 mn  | 6 ± 2 10 <sup>4</sup>                                      | 1,0 ± 0,3 10 <sup>5</sup>                                  | 5,0 ± 0,8 10 <sup>5</sup>                                  |
| <sup>136b</sup> I atomes/s/μA  | 46 s    | 9 ± 1 10 <sup>4</sup>                                      | 7 ± 2 10 <sup>4</sup>                                      | 2,0 ± 0,3 10 <sup>5</sup>                                  |
| <sup>133</sup> Te atomes/s/μA  | 12,4 mn |  | 4 ± 1 10 <sup>3</sup>                                      | 6 ± 2 10 <sup>3</sup>                                      |
| <sup>133m</sup> Te atomes/s/μA | 55,4 mn | 1,0 ± 0,4 10 <sup>4</sup>                                  | 2,0 ± 0,6 10 <sup>4</sup>                                  | 6,0 ± 1,5 10 <sup>4</sup>                                  |
| <sup>134</sup> Te atomes/s/μA  | 41,8 mn | 5 ± 3 10 <sup>3</sup>                                      | 4,0 ± 0,6 10 <sup>4</sup>                                  | 6 ± 1 10 <sup>4</sup>                                      |
| <sup>84</sup> Br atomes/s/μA   | 31,8 mn | 1,0 ± 0,4 10 <sup>4</sup>                                  | 2,0 ± 0,5 10 <sup>4</sup>                                  | 1,5 ± 0,1 10 <sup>5</sup>                                  |

Tableau V-5: Abondances relatives des isotopes condensables observés pour la cible d'uranium liquide.

Comme on peut le constater dans le tableau ci dessus la production des isotopes condensables augmente avec la température et l'énergie des deutons (plus de neutrons produits).

La cible d'uranium liquide a été étudiée en ligne sous certaines conditions non optimales, notamment en ce qui concerne la température de la cible entre 1300°C et 1400°C. Malgré cela, les résultats obtenus sont très encourageants pour les développements à venir.

L'analyse du flux de neutrons pour les trois types de convertisseurs (Be, C, U) a été réalisée [Men99]. Au regard de la largeur de la distribution angulaire du flux de neutrons aux énergies utilisées, il est avantageux de placer le convertisseur le plus près possible de la cible. Un gain d'un facteur environ 3 a été obtenu avec un convertisseur en carbone qui, bien qu'ayant un rendement neutronique près de 1,5 fois moindre que celui du Beryllium, peut être placé à 1,9 cm de la cible chauffée au lieu de 9,5 cm [Kan00].

Etant donné la mobilité du montage de l'expérience PARRNe 1, il se prêtait à la problématique posée dans le cadre de la collaboration de recherche et développement européen SPIRAL II. Ce dernier consiste à développer une nouvelle technologie pour produire un faisceau d'ions radioactifs riches en neutrons. Des expériences PARRNe 1 ont été réalisées au cyclotron de Louvain-la-Neuve avec des deutons de 50 MeV et des faisceaux d'intensité 2,5  $\mu\text{A}$  [Leb98], au K.V.I. (Groningen) en Hollande dans la gamme de 80 à 200 MeV. Ceci afin de déterminer les conditions optimales (énergie, section efficace, structure de la cible...etc) pour obtenir des faisceaux radioactifs intenses. Les résultats de ces expériences sont en cours de traitement.

#### V-4 PARRNe 2

PARRNe 2 est une ligne de type ISOL installée auprès du Tandem de l'IPN d'Orsay qui peut fournir un faisceau de deutons de 1  $\mu\text{A}$  avec une énergie jusqu'à 26 MeV. Elle permet l'étude et l'analyse des éléments riches en neutrons produits.

La première cible utilisée est analogue à la cible UCx testée avec PARRNe 1 et contient 33 g d' $^{238}\text{U}$ . Un tube de transfert en tantale d'environ 25 cm de long à la sortie de la cible conduit par effusion les fragments de fission vers la chambre de la source d'ions. Le tube de transfert peut être chauffé jusqu'à environ 1100°C permettant ainsi de limiter la condensation d'espèces chimiques.

La source d'ions utilisée est une source à plasma de type Nier-Bernas qui peut ioniser presque tous les éléments. Le plasma est induit par une décharge d'arc avec cathode chaude [Lem76], sous un champ magnétique, produisant ainsi essentiellement des ions  $1^+$ . A l'aide d'une électrode d'extraction mobile, le faisceau est extrait avec une forte divergence horizontale pour obtenir de hautes intensités [Cha65].

Les atomes, après analyse par un dipôle magnétique, sont collectés sur une bande de mylar. Le programme de contrôle du dérouleur de la bande permet de gérer le temps de collection, le transport de la bande et la durée de la mesure. Afin d'améliorer les possibilités d'acquisition et de traitement des données, une nouvelle carte d'acquisition a été mise au point par l'IPNO, COMET (CODage Marqué En Temps). Son principe consiste à associer à chaque événement enregistré son temps absolu. L'échelle de temps est déclenchée par un signal de notre choix, par exemple l'ordre de comptage délivré par le PC qui contrôle le dérouleur de la bande. De cette façon, il est possible avec une seule acquisition de réaliser des multispectres avec autant de pas différents que l'on souhaite puisque chaque événement est connu avec son temps absolu. De plus si plusieurs détecteurs sont utilisés, il est possible de

déterminer les évènements en coïncidence. En effet, la caractéristique de cette carte est la précision de la mesure du temps, 400 ps pour une acquisition qui peut durer plusieurs minutes. Le premier essai en ligne a permis d'identifier les isotopes  $^{90,91,92}\text{Kr}$  et  $^{140}\text{Xe}$ .

Ce séparateur PARRNe 2 offre une nouvelle facilité pour tester des développements technologiques afin d'améliorer la production des atomes radioactifs riches en neutrons. Parmi ces développements, on cite en particulier :

- la diffusion dans les cibles ;
- les sources d'ions en ligne.

## Conclusion

Le système d'identification, ainsi réalisé, permet d'identifier et de déterminer l'intensité des ions noyaux radioactifs sur la ligne basse énergie de SPIRAL. La production du faisceau est basée sur la méthode ISOL. Le faisceau est ensuite identifié puis accéléré par le cyclotron compact à secteurs séparés, CIME. Ce système d'identification, indispensable pour SPIRAL, a pour but de nous informer sur la nature et l'intensité du faisceau et de ses polluants qui passent dans la ligne basse énergie avant accélération.

Nous avons montré l'utilité de ce système spécialement conçu et développé pour SPIRAL, suivant un cahier des charges déterminé avec les physiciens. Il a été réalisé avec la participation du:

- Groupe informatique physique du GANIL pour la partie acquisition et développement des modules électroniques adaptés ;
- Groupe du laboratoire de physique corpusculaire pour la partie mécanique du système et la réalisation du dérouleur de la bande.

Le cahier des charges s'est inspiré en grande partie de l'expérience acquise sur le séparateur SIRa. Un certain nombre d'expériences réalisées sur ce séparateur nous ont permis d'avoir une idée sur les différentes configurations nécessaires pour l'identification des premiers faisceaux SPIRAL.

Les premiers faisceaux délivrés par SPIRAL seront des gaz rares; le développement des ensembles cible – source dédiés à la production d'autres types de noyaux (condensables, Lithium,... etc) est en cours. Notre système est bien adapté à tous ces types de noyau, vu qu'il peut identifier une large gamme de noyaux radioactifs de période entre 10 ms à quelques jours et ayant différents types de décroissance.

Nous avons réalisé une application serveur d'identification, adaptée aux deux systèmes d'exploitation: UNIX et VMS. Ce dernier est actuellement utilisé au GANIL pour l'acquisition des données. Le serveur gère tout le système d'identification et dialogue avec plusieurs processus :

- JBUS pour le commande – contrôle de l'équipement de détection (les détecteurs et la bande) ;
- Acquisition pour le commande – contrôle de l'acquisition et le traitement des données.
- Interfaces de visualisation des paramètres de contrôle et des résultats de calcul : interface graphique Labview et un menu donnant accès aux différentes fonctionnalités du serveur. Ces deux interfaces sont connectées au serveur via un

protocole de communication qu'il a fallu établir. Il est à noter qu'étant donné le caractère modulaire du serveur, d'autres applications d'interfaçage peuvent être connectées en respectant le même protocole.

La conception modulaire du serveur d'identification permettra l'élargissement de l'application serveur afin de rajouter d'autres modes d'acquisition et de détection, non prévus pour le moment, sans remettre en cause les modules (programmes) qui existaient déjà.

Nous avons effectué les tests des différentes parties du système séparément afin de régler les différents problèmes, ceci en adaptant notre application aux différentes situations rencontrées. Nous avons corrigé certaines anomalies qui pouvaient poser problème au cours du fonctionnement SPIRAL afin d'assurer la fiabilité de notre système.

Les principaux problèmes rencontrés au niveau du serveur concernaient les dialogues avec les autres processus du système. Un premier test a été réalisé sous UNIX avant de transformer l'application sous VMS.

Au niveau de l'acquisition, nous avons réalisé des tests, en local dans un premier temps puis à distance, des principaux modes d'acquisition et de détection. En utilisant les outils d'acquisition du GANIL, nous avons pu résoudre les différents problèmes rencontrés.

Les premiers tests, hors ligne, de l'interface graphique ont été réalisés. Nous avons corrigé les erreurs essentiellement dues au dialogue entre le serveur et l'interface.

Nous prévoyons par la suite de:

- rajouter les modes d'acquisition et de détection en utilisant le détecteur germanium 2. Ce dernier sera utilisé pour des coïncidences  $\gamma\text{-}\gamma$  et  $\gamma\text{-}\beta$  dans la chambre basse.
- réaliser une recherche automatique des noyaux dans une bibliothèque de données à partir des pics identifiés, notamment pour déterminer les polluants.

Les objectifs du cahier des charges ont été atteints, même si les tests de certaines parties ne sont pas encore achevés. Les tests en grandeur nature auront lieu au démarrage de SPIRAL.

Une autre voie de recherche, à laquelle j'ai participé, est la production des noyaux riches en neutrons de masses élevées dans le cadre du programme de recherche et développement PARRNe. La méthode de production de ces noyaux, par fragmentation du projectile sur une cible, s'avère mal adaptée. La méthode de production étudiée est la fission de l'uranium par un faisceau de neutrons rapides, eux-mêmes produits par la cassure des deutons. Les résultats montrent que cette méthode permet d'espérer d'atteindre de fortes intensités.

Le test sous faisceau d'une cible d'uranium a permis de qualifier un creuset capable de contenir l'uranium liquide jusqu'à 1400°C. Les résultats prometteurs de cette expérience permettent d'envisager d'augmenter la quantité d'uranium de la cible considérablement.

Des modifications des conditions d'irradiation telles que l'énergie incidente, la distribution angulaire des neutrons vus par la cible, l'intensité du faisceau de deuton, la température de la cible, pourraient conduire à une amélioration de la production. C'est le but du séparateur en ligne PARRNE 2, installé auprès du Tandem d'Orsay (1  $\mu$ A deutons jusqu'à 26 MeV). Ce séparateur permettra aussi d'optimiser des ensembles cible-sources afin d'améliorer la production des produits de fission.

Dans le cadre de SPIRAL II, un programme d'expériences et de simulations est prévu en collaboration avec d'autres laboratoires européens (GANIL, IPN d'Orsay, Université catholique de Louvain-la-Neuve, Université de Jyväskylä et K.V.I.) pour étudier les conditions optimales de la méthode de production des noyaux riches en neutrons par fission induite par neutrons rapides. Parmi ces expériences, on cite :

- la production des neutrons à partir de la fragmentation des deutons sur différents convertisseurs et cibles. Des mesures en fonction de l'énergie ont été réalisées à l'IPN d'Orsay, Louvain-la-Neuve et K.V.I.
- la mesure des sections efficaces de production des fragments de fission à Jyväskylä : les dispositifs HENDES à Jyväskylä [Trz98-a, Trz98-b, Trz99] et IGISOL [Den98] ont été utilisés pour mesurer respectivement les distributions en masse et isotopiques des fragments.
- la mesure des taux de production des gaz nobles diffusés hors de cible épaisse. Le dispositif PARRNe 1 réalisé à l'IPN d'Orsay a été utilisé dans ce but à différentes énergies (50 MeV à Louvain-la-Neuve, 80 MeV et 130 MeV à K.V.I.).

Ce projet comporte d'autre part des simulations des taux de production [Rid98-a, Rid98-b, Rid99] ainsi qu'une étude concernant la radioprotection lié à un tel projet et l'accélération des deutons. Les premiers résultats de ces mesures montrent la viabilité de cette nouvelle méthode de production des atomes radioactifs. Des études sont en cours pour déterminer la nature et l'épaisseur de la cible d'uranium de production pour optimiser les propriétés de relâchement des produits de fission.



# Annexes

## Nomenclature

Pos\_cte = position courante ;  
Ge = détecteur Germanium ;  
Dis\_ger\_bde = distance entre le Germanium 1 et la bande ;  
Si = détecteur Silicium ;  
cmde = commande ;  
Pl = détecteur plastique ;  
val\_abs\_ope = valeur de l'absorbant donnée par l'utilisateur (opérateur) ;  
Epai\_Pb = épaisseur de l'absorbant ;  
délai\_ins = délai de rafraîchissement des résultats de calcul instantané ;  
délai\_cum = délai de rafraîchissement des résultats de calcul cumulé ;  
délai\_tm\_ech = délai de rafraîchissement du temps mort calculé à partir des échelles ;  
délai\_Ti\_ponc = délai de rafraîchissement du calcul ponctuel (sur une période très  
courte voisinant la seconde) de l'intensité faisceau primaire ;  
dis\_ava\_bde = distance demandée pour avancer la bande ;  
dis\_rec\_bde = distance demandée pour reculer la bande ;  
tps = temps ;  
bdt = base de temps ;  
unit\_tps = unité du temps ;  
unit\_bdt = unité de la base de temps ;  
tps\_ibe = temps où le faisceau est dévié vers le système d'identification ;  
tps\_cime = temps où le faisceau est dévié vers le cyclotron CIME ;  
code\_unit\_tps\_ibe = code correspondant à l'unité du tps\_ibe ;  
code\_unit\_tps\_cime = code correspondant à l'unité du tps\_cime ;  
ni = noyau d'intérêt ;  
par = noyau parent ;  
po1 = noyau polluant 1 ;  
po2 = noyau polluant 2 ;  
po3 = noyau polluant 3 ;  
nc = noyau choix (polluant 4) ;  
coef\_norm\_flux = coefficient de normalisation des flux ;  
T = période ;  
code\_unit\_T = code correspondant à l'unité de la période ;  
Eg = énergie du rayonnement gamma ;  
R = rapport d'embranchement correspondant à l'énergie Eg ;  
R\_p = rapport d'embranchement de la désintégration du père vers le fils ;  
E\_pro = énergie correspondant au proton ;  
R\_pro = rapport d'embranchement correspondant à E\_pro ;  
mod\_acq = mode d'acquisition ;  
mod\_det = mode de détection ;  
mod\_des = mode de désintégration ;

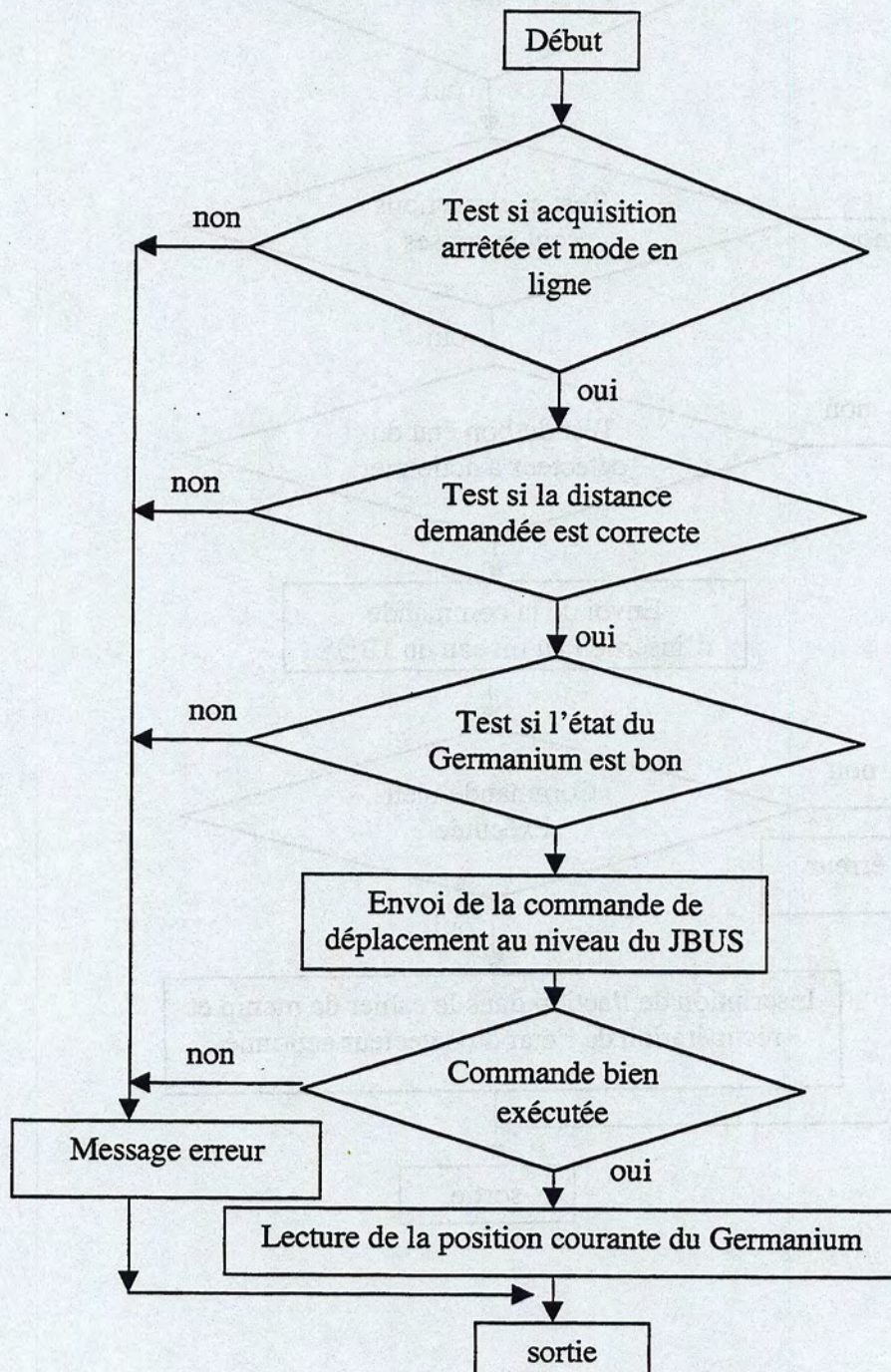
ind\_calcul\_surf = indicateur du type de calcul de la surface nette du pic;  
 résolution = résolution prise en compte dans le calcul de la surface nette du pic;  
 eff\_B-\_bas = efficacité du détecteur plastique bas ;  
 eff\_B-\_haut = efficacité du détecteur plastique haut ;  
 ai\_effi\_g, bi\_effi\_g = coefficients pour avoir l'efficacité du détecteur Germanium à la distance dis\_effi\_g ;  
 fque\_gene = fréquence du générateur d'impulsions;  
 limite\_min\_gene, limite\_max\_gene = limites du pic correspondant au générateur ;  
 a\_EG1, b\_EG1 = coefficients de calibration du Germanium 1 ;  
 a\_EG2, b\_EG2 = coefficients de calibration du Germanium 2 ;  
 a\_Ti, b\_Ti = coefficients de calibration de l'intensité primaire GANIL (Ti) ;  
 coef\_norm\_Ti = coefficient de normalisation de l'intensité primaire GANIL (Ti) ;  
 limite\_511\_min, limite\_511\_max = limites du pic correspondant à l'énergie 511 keV ;  
 canal\_gene = canal correspondant à l'impulsion du générateur ;  
 Hor\_Rad\_CIME = temps d'horloge de radioactivité pendant le temps CIME ;  
 Hor\_Rad\_IBE = temps d'horloge de radioactivité pendant le temps IBE ;  
 Hor\_coll = temps d'horloge de collection ;  
 Hor\_Univ = temps d'horloge universelle ;  
 HR\_IBE\_T1, HR\_IBE\_T2, HR\_IBE\_T3 = temps d'horloge de radioactivité pour effectuer des multispectres pendant le temps IBE;  
 HR\_CIME\_T1, HR\_CIME\_T2, HR\_CIME\_T3 = temps d'horloge de radioactivité pour effectuer des multispectres pendant le temps CIME;  
 deg\_cal\_fit = degré de calibration pour faire le lissage pour le calcul de la surface nette ;  
 A\_fai\_ganil = masse du noyau du faisceau primaire GANIL ;  
 Z\_fai\_ganil = nombre de protons du noyau du faisceau primaire du GANIL ;  
 Q\_fai\_ganil = charge du noyau du faisceau primaire du GANIL ;  
 E\_ganil = énergie du faisceau primaire GANIL ;  
 A\_cible\_spiral = masse du noyau de la cible de SPIRAL ;  
 Z\_cible\_spiral = nombre de protons du noyau de la cible de SPIRAL ;  
 source\_spiral = type de source utilisée pour l'ionisation ;  
 Brho = Brho utilisé pour la séparation ;  
 fente\_horiz = ouverture des fentes horizontales ;  
 fente\_verti = ouverture des fentes verticales ;  
 freq\_rot\_x = fréquence de rotation du faisceau suivant l'axe des x ;  
 freq\_rot\_y = fréquence de rotation du faisceau suivant l'axe des y ;  
 freq\_ret\_Hz = fréquence de rotation en Hz ;  
 ind\_ins = indicateur pour le calcul et le rafraîchissement des valeurs instantanées ;  
 ind\_cum = indicateur pour le calcul et le rafraîchissement des valeurs cumulées ;  
 ind\_tm\_ech = indicateur pour le calcul et le rafraîchissement du temps mort échelle ;  
 ind\_Ti\_ponc = indicateur pour le calcul et le rafraîchissement de la valeur ponctuelle de l'intensité du faisceau primaire GANIL (Ti) ;  
 Trun = temps du run ;  
 Tiponc = intensité du faisceau primaire ponctuelle ;  
 Tiins = intensité du faisceau primaire instantanée ;  
 Ticum = intensité du faisceau primaire cumulée ;  
 taux\_dete\_ech = taux de comptage du détecteur lu à partir des échelles ;  
 tm\_ech = temps mort calculé à partir des échelles ;  
 tm\_ins = temps mort instantané ;  
 tm\_cum = temps mort cumulé ;  
 taux\_ctrl\_ins = taux de contrôle de l'acquisition ;

coef\_norm\_flux = coefficient de normalisation des flux ;  
Dans ce qui suit **noy** = ni ou par ou po1 ou po2 ou po3 ou nc ;  
**Fnoy\_ins** = flux instantané du noyau **noy** ;  
**EFnoy\_ins** = erreur sur le flux instantané du noyau **noy** ;  
**FNnoy\_ins** = flux instantané normalisé à coef\_norm\_flux du noyau **noy** ;  
**EFNnoy\_ins** = erreur sur flux instantané normalisé du noyau **noy** ;  
**Fnoy\_cum** = flux cumulé du noyau **noy** ;  
**EFnoy\_cum** = erreur sur le flux cumulé du noyau **noy** ;  
**FNnoy\_cum** = flux cumulé normalisé à coef\_norm\_flux du noyau **noy** ;  
**EFNnoy\_cum** = erreur sur le flux cumulé normalisé du noyau **noy** ;  
posi\_cte\_bde = position courante de la bande en %.

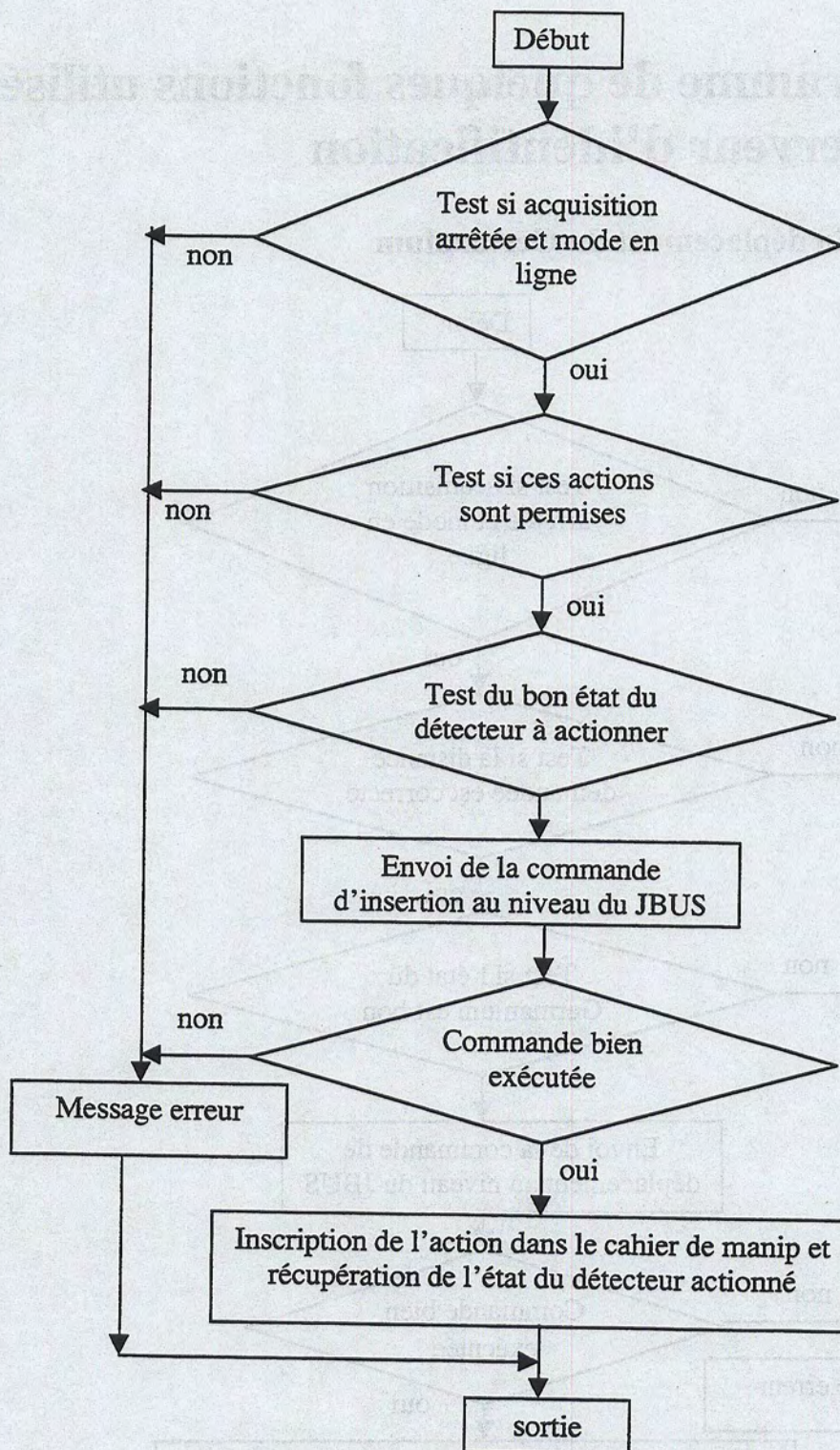
## Annexe A

# Organigramme de quelques fonctions utilisées dans le serveur d'identification

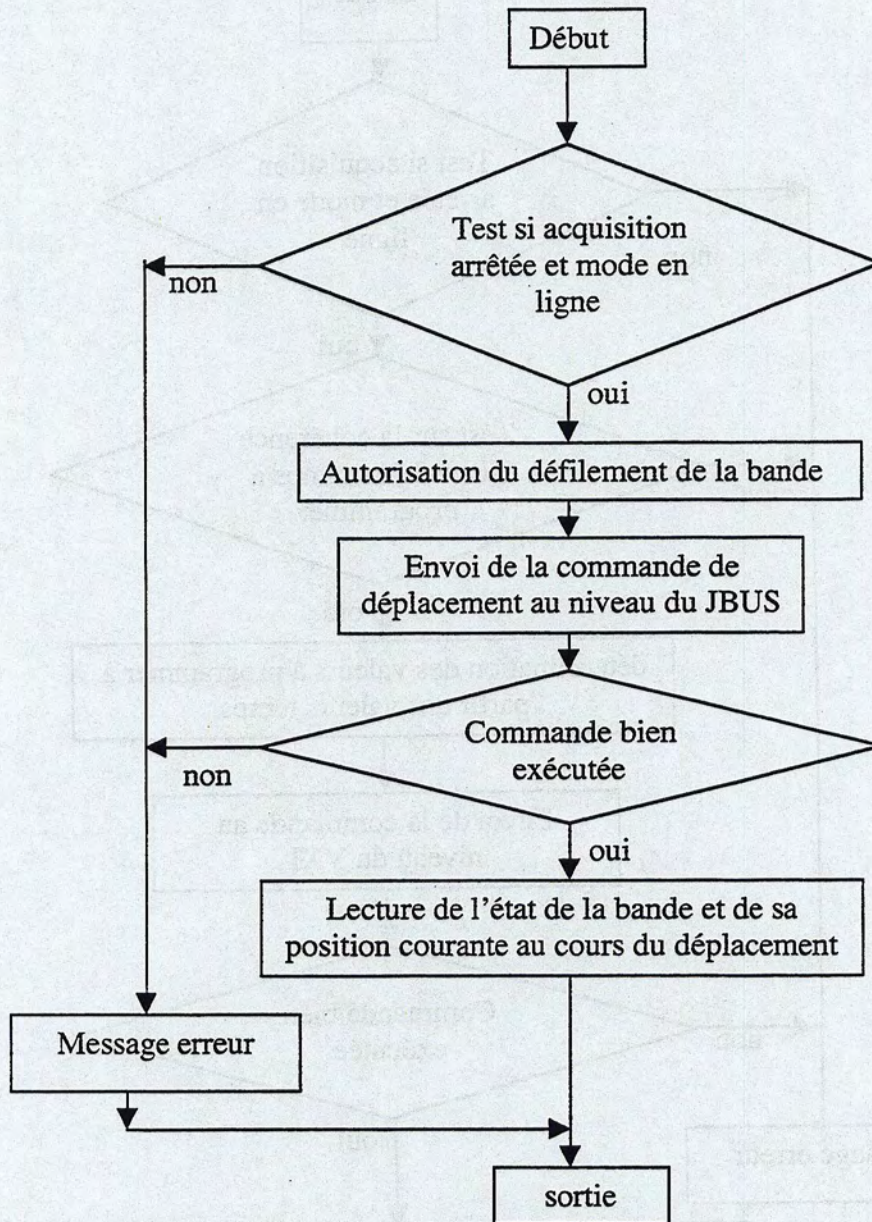
### 1- Fonction du déplacement du Germanium



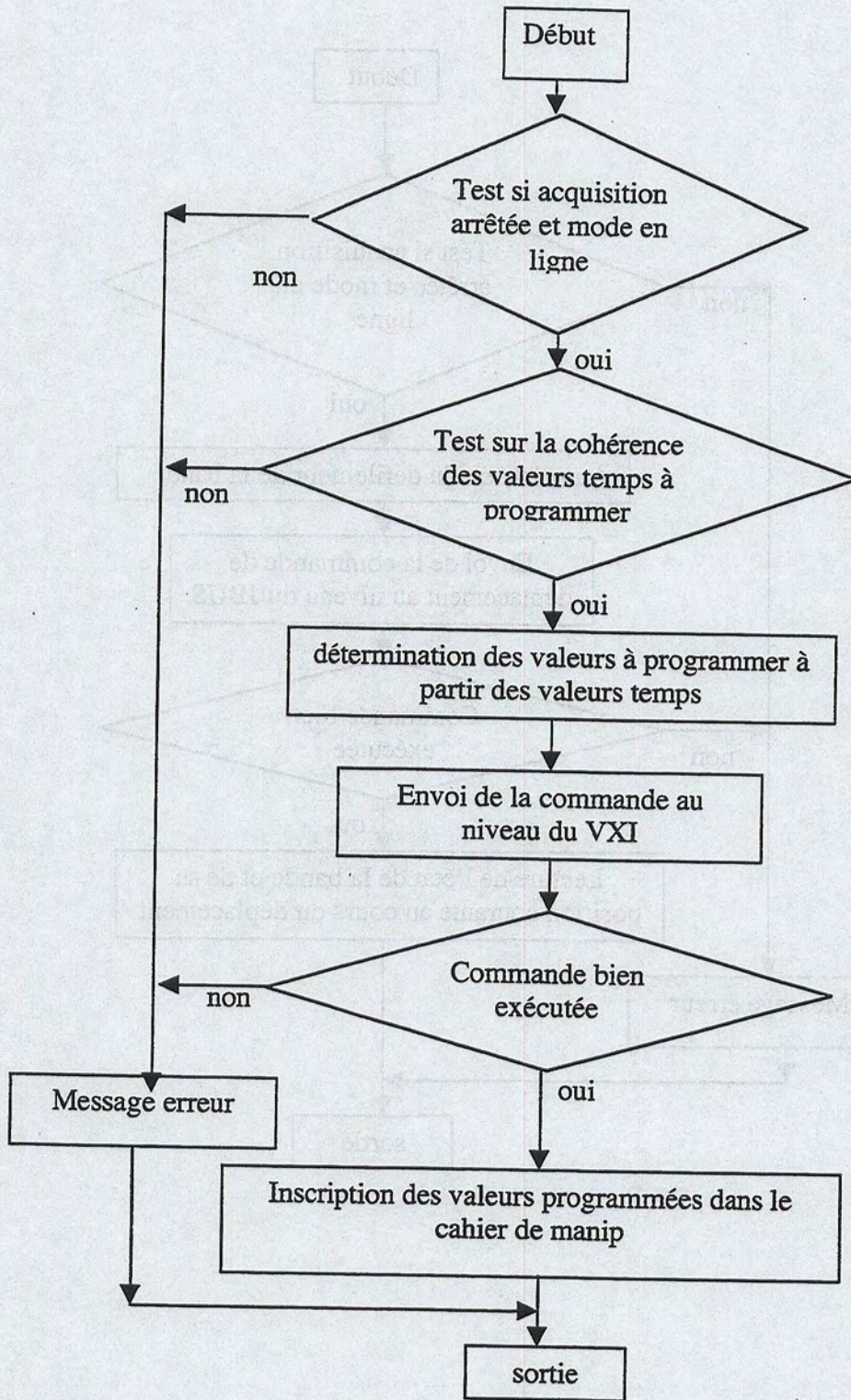
## 2- Fonction d'insertion du Silicium ou Plastique



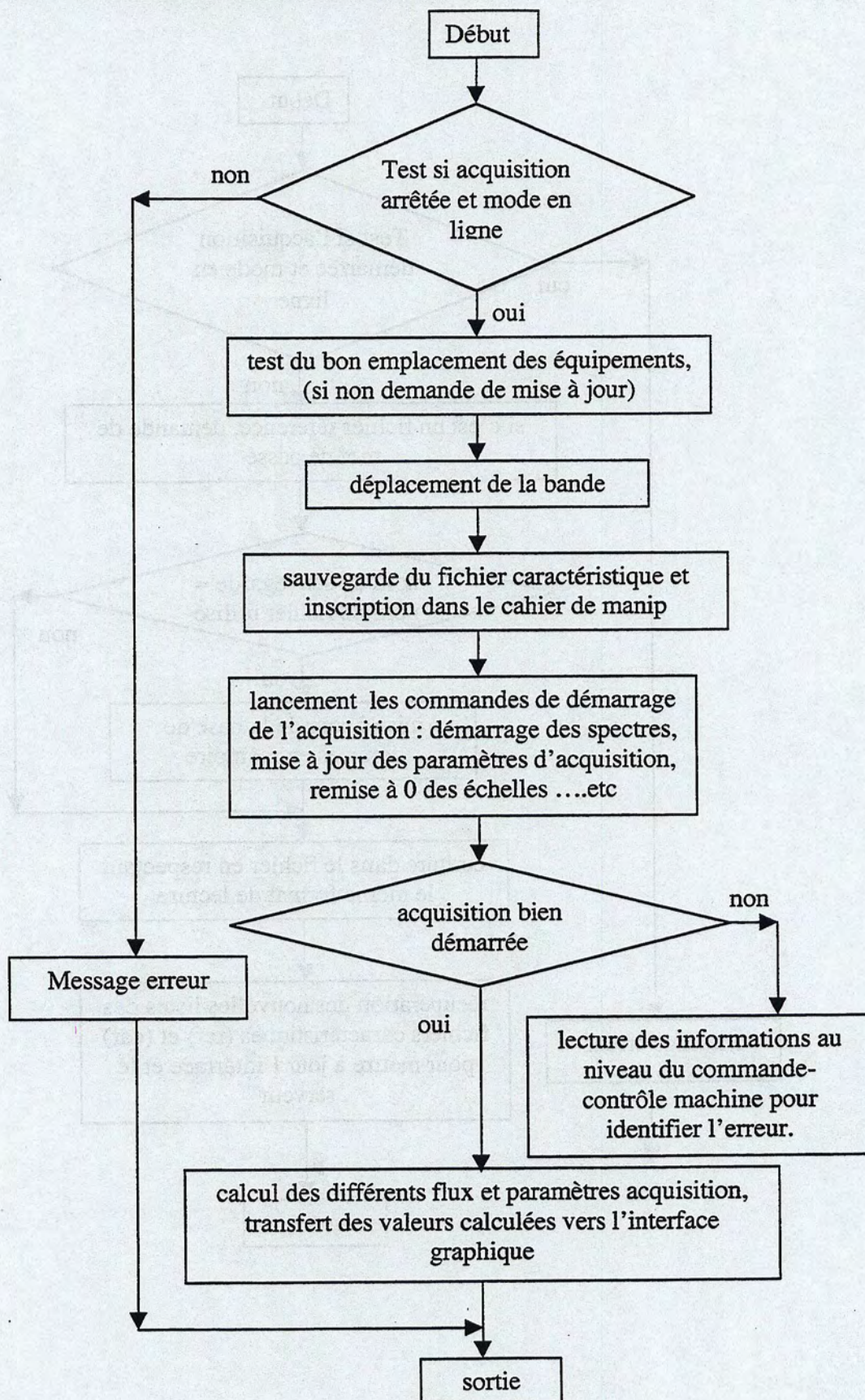
### 3- Fonction de déplacement de la bande



## 4- Fonction de programmation du module horloge

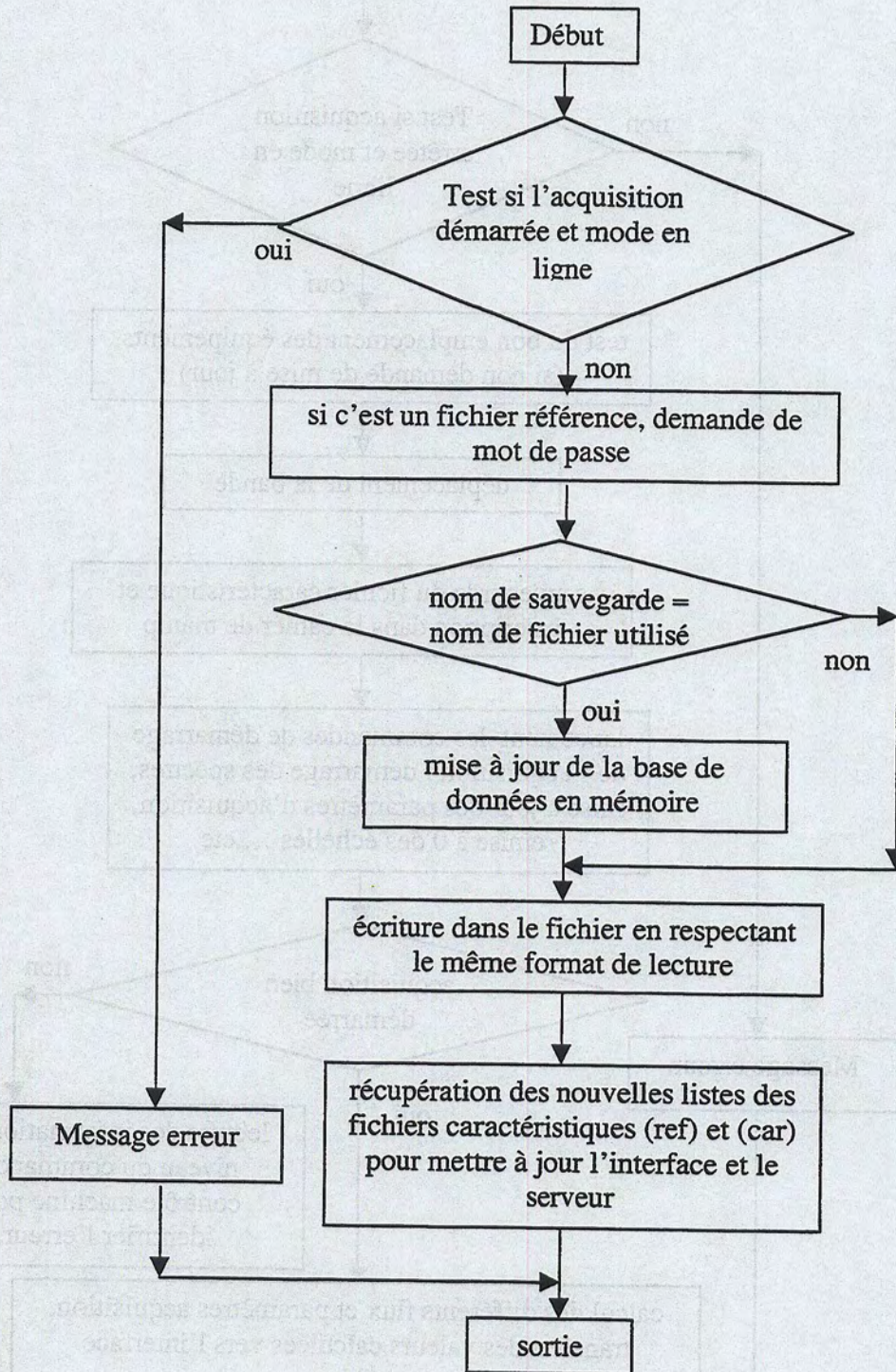


## 5- Fonction de démarrage de l'acquisition

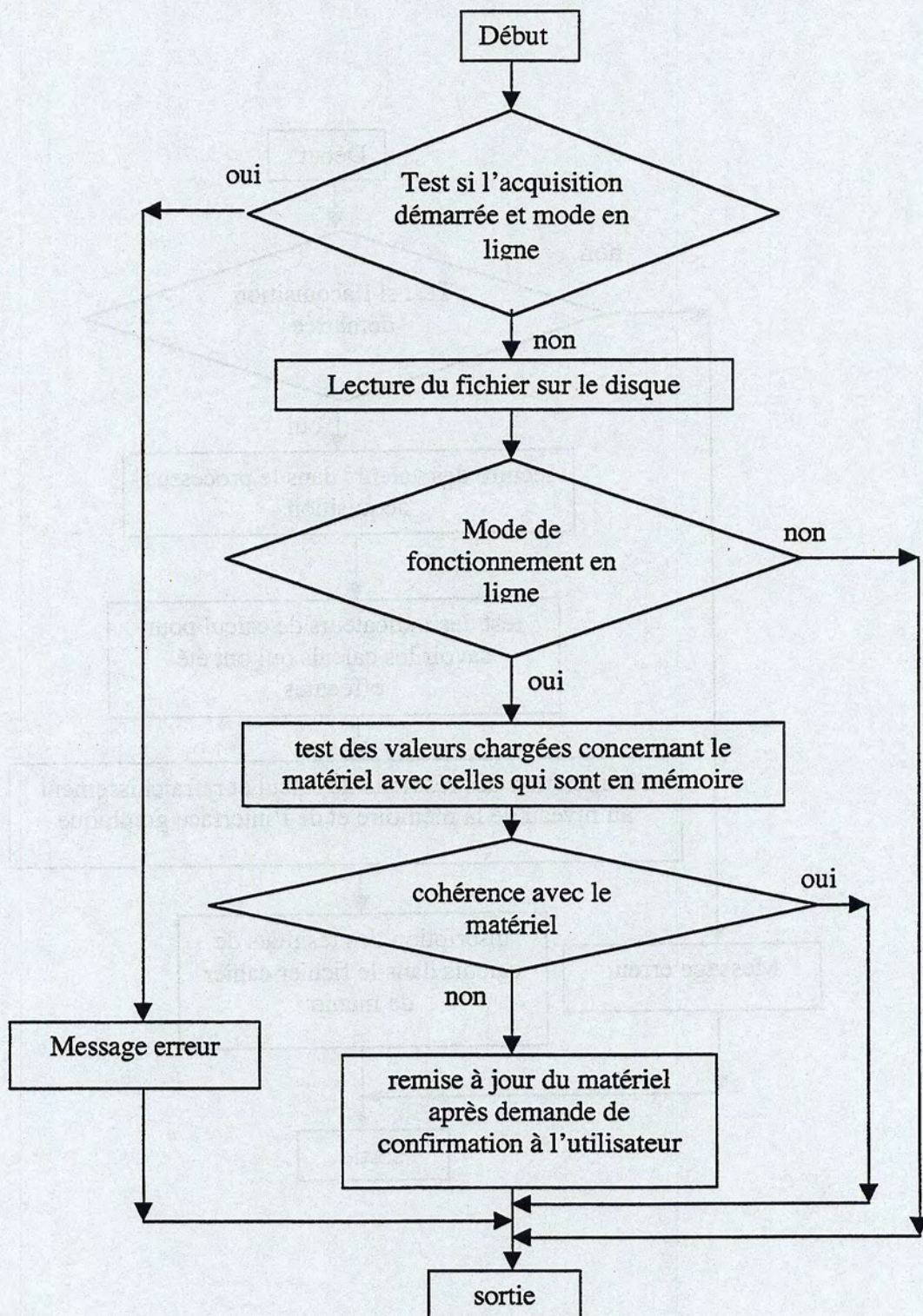




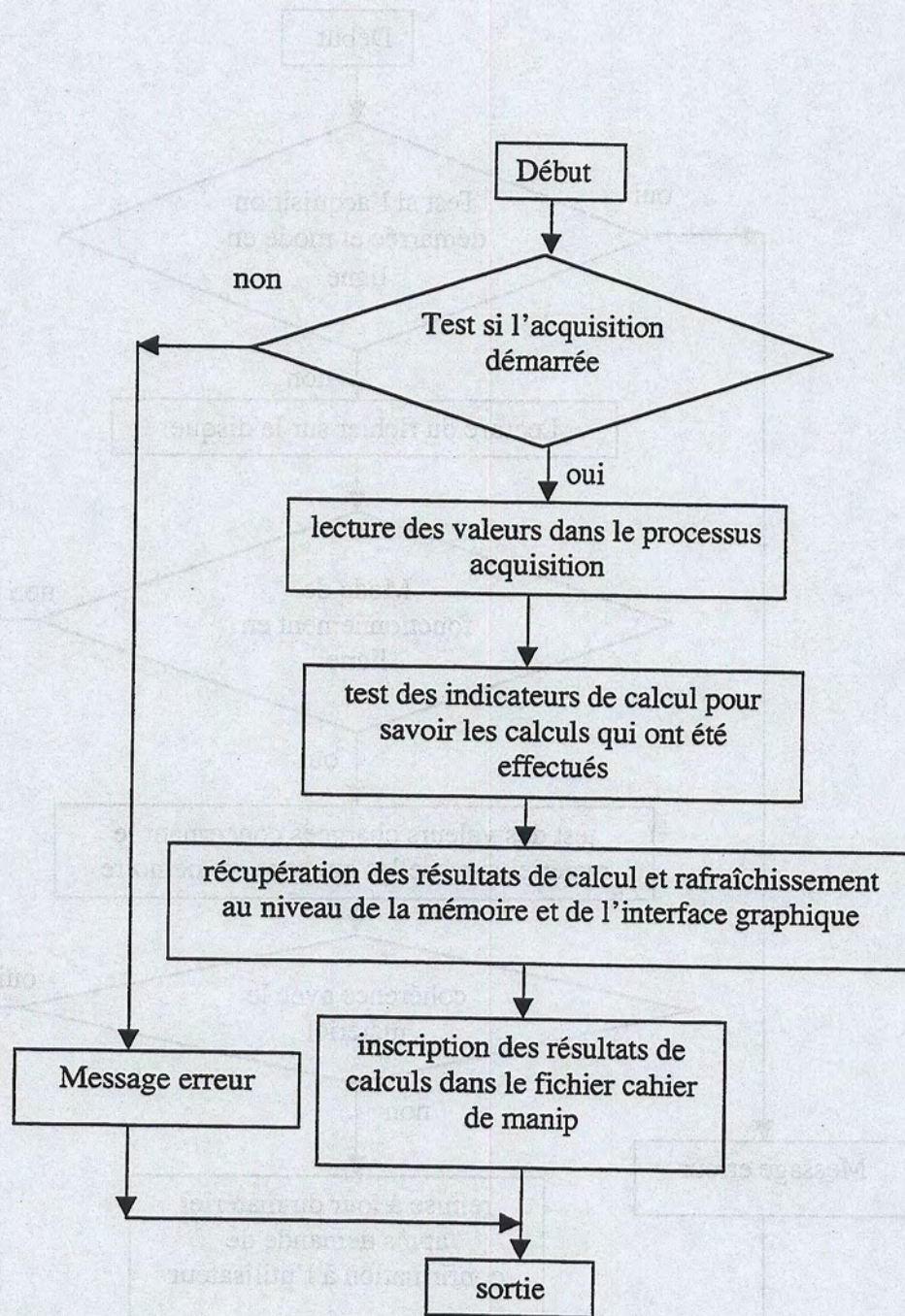
## 6- Fonction de sauvegarde d'un fichier caractéristique



## 7- Fonction de chargement d'un fichier caractéristique



## 8- Fonction de récupération des valeurs calculées dans le processus acquisition



## Annexe B

# A- Protocole de dialogue entre le serveur d'identification et l'application Labview

### Nomenclature

`code_fct` = valeur qui représente un code correspondant à la fonction à exécuter par le serveur d'identification ;

`code_ret` = valeur qui représente un code correspondant au type d'information envoyée par le serveur d'identification ;

`mess_env` = chaîne de caractères envoyée de l'application Labview vers le serveur d'identification ;

`mess_ret` = chaîne de caractères envoyée du serveur d'identification vers l'application Labview .

Les données échangées entre l'application Labview et le serveur d'identification sont sous forme de chaînes de caractères.

Les chaînes utilisées pendant le dialogue sont:

\* cas Labview → Serveur : `code_fct mess_env`

\* cas Serveur → Labview : `code_ret mess_ret`

les chaînes `code_fct` et `code_ret` sont sur 4 octets.

Les chaînes `mess_ret` et `mess_env` sont sur 1020 octets.

■ Cas Labview → Serveur : `mess_env` est une chaîne de caractères formée soit de chaînes de caractères soit de valeurs réelles séparées par des “/”.

■ Cas Serveur → Labview : le contenu de `mess_ret` dépend de la valeur du `code_ret` retourné. Dans un cas général `mess_ret = message à afficher/rep_ret` tel que `rep_ret` est une chaîne de caractères formée soit de chaînes de caractères soit de valeurs réelles séparées par des “/”, c'est à dire :

`rep_ret = valeur1/valeur2/.../valeurn` ou `rep_ret = chaine1/chaine2/.../chainen` .

Trois cas peuvent se présenter :

- `code_ret < 0` : erreur d'exécution de la commande demandée par l'application Labview et dans ce cas `mess_ret = message à afficher` qui correspond au message d'erreur retourné à l'application Labview.
- `code_ret = 1` : tout s'est bien passé et il existe en retour un message d'information que l'application Labview doit afficher. Ce message sera inscrit aussi dans le fichier

cahier de manip. Il peut y avoir dans ce cas des valeurs ou des chaînes de caractères retournées du serveur vers l'application Labview.

Dans ce cas *mess\_ret = message à afficher/rep\_ret*

- **code\_ret > 0** et **code\_ret ≠ 1** : tout s'est bien passé et il n'existe pas de message d'information à afficher par l'application Labview. Dans ce cas *mess\_ret = rep\_ret*

\* Toutes les valeurs échangées sont des réelles .

\* les messages envoyés du serveur vers l'application Labview sont terminés par le caractère « \$ ».

Le tableau ci-dessous résume toutes les données échangées entre l'application Labview et le serveur d'identification :

| Code<br>Fonction | Fonction                    | LABVIEW → SERVEUR<br>code_fct mess_env               | SERVEUR → LABVIEW<br>code_ret mess_ret<br><br>avec <u><i>mess_ret =<br/>message à afficher/rep_ret</i></u>       |
|------------------|-----------------------------|--|--|
| 1                | Initialisation<br>Germanium | 1 mot_passe  | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte du Ge en mm   |
| 2                | Butées Ge 1,2               | 2  | rep_ret = Butée[1]/Butée[2]/.....<br>...../Butée[14]<br><br>Butée[i] = 0 ou 1 avec<br>(0 → inactif et 1 → actif) |
| 3                | Appliquer<br>distance au Ge | 3 dis_ger_bde<br><br>dis_ger_bde en mm               | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte du Ge en mm   |
| 4                | Insérer ou enlever<br>le Si | 4 cmde_Si<br><br>cmde_Si: 0 → enlever<br>1 → insérer | rep_ret = Butée_Si<br><br>Butée_Si: 0 → non inséré<br>1 → inséré   |
| 5                | Butée Si                    | 5  | rep_ret = Butée_Si   |
| 6                | Insérer ou enlever<br>le Pl | 6 cmde_Pl<br><br>cmde_Pl: 0 → enlever<br>1 → insérer | rep_ret = Butée_Pl<br><br>Butée_Pl: 0 → non inséré<br>1 → inséré   |
| 7                | Butée Pl                    | 7  | rep_ret = Butée_Pl   |

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 8  | Test valeur absorbant donnée par l'opérateur avec celle lue            | 8 val_abs_ope<br>val_abs_ope : réelle en mm    | Pas de valeurs retournées   |
| 9  | Mesurer l'épaisseur de l'absorbant                                     | 9  | rep_ret = Pos_cte<br>rep_ret = Epai_Pb (retournée à la fin de la mesure)<br><br>(réelles en mm) |
| 10 | Mesurer la position courante du Ge                                     | 10   | rep_ret = Pos_cte<br><br>(réelle en mm)   |
| 11 | Initialisation de la RAM du module de commande et contrôle de la bande | 11 mot_passe                                   | Pas de valeurs retournées   |
| 12 | Mesurer la position courante de la bande                               | 12   | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte réelle en %  |
| 13 | Arrêter le défilement de la bande                                      | 13   | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte réelle en %  |
| 14 | Récupérer les délais de rafraîchissement                               | 14   | rep_ret = delai_ins/delai_cum/<br>delai_Ti_pon/delai_tm_ech                                     |
| 15 | Rembobiner la bande  | 15   | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte réelle en %  |
| 16 | Avancer la bande   | 16 dis_ava_bde<br><br>dis_ava_bde réelle en cm | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte réelle en %  |
| 17 | Reculer la bande   | 17 dis_rec_bde<br><br>dis_rec_bde réelle en cm | rep_ret = Pos_cte<br><br>Pos_cte réelle en %  |

|    |   |  |   |
|----|---|--|---|
| 18 | Envoi des distances d'avancée de la bande automatiquement au cours de l'acquisition | 18 dis[1]/dis[2]/dis[3]/dis[4]/dis[5]<br><br>dis[i] = (0 ou 1 ou 2 ou 3) :<br>représente un code correspondant à une distance bien déterminée. | Pas de valeurs retournées   |
| 19 | Retourner les distances d'avancée de la bande en acquisition                        | 19   | rep_ret = dis[1]/dis[2]/dis[3]/dis[4]/dis[5]<br><br>dis[i] = (0 ou 1 ou 2 ou 3) :<br>représente un code correspondant à une distance bien déterminée. |
| 20 | Retourner l'état de la bande (insérée ou enlevée)                                   | 20   | rep_ret = Bde_on_off<br><br>Bde_on_off =<br>(0 → off ou 1 → on)   |
| 21 | Commander la bande  | 21cmde_bande<br><br>cmde_bande: 0 → enlever<br>1 → insérer   | rep_ret = Bde_on_off<br><br>Bde_on_off =<br>(0 → off ou 1 → on)   |
| 22 | Appliquer les délais de rafraîchissement  | 22 delai_ins/delai_cum/<br>delai_Ti_pon/delai_tm_ech   | Pas de valeurs retournées   |
| 23 | Retourner les valeurs de l'absorbant  | 23   | rep_ret =<br>val_abs_lue/val_abs_ope<br><br>(réelles en mm)   |
| 24 | Retourner l'état du hacheur du serveur  | 24   | rep_ret = hach_on_off<br><br>hach_on_off =<br>(0 → off ou 1 → on)   |
| 25 | Sortir et fermer l'application serveur  | 25mot_passe  | Pas de valeurs retournées   |

|    |  |   |   |
|----|--|---|---|
| 26 | Programmer le trigger (GMT), marqueur en temps (U2M) et masquage des voies du codeur XDC | 26  | Pas de valeurs retournées   |
| 27 | Retourner les combinaisons du trigger (GMT) qui sont au niveau du serveur                | 27  | rep_ret =<br>GMT[1]/GMT[2]/../GMT[15]<br><br>GMT[i] =<br>(0 → inactif ou 1 → actif)   |
| 28 | Appliquer les valeurs au module horloge (SMC)  | 28 tps[1]/unit_tps[1]/bdt[1]/<br>unit_bdt[1]/...../tps[8]/<br>unit_tps[8]/bdt[8]/unit_bdt[8]<br><br>tps[i], bdt[i] → réelles<br>unit_tps[i], unit_bdt[i] =<br>(1 → μs, 2 → ms, 3 → s) | Pas de valeurs retournées   |
| 29 | Retourner les temps et la base de temps qui sont au niveau du serveur                    | 29  | rep_ret =<br>tps[1]/unit_tps[1]/bdt[1]/<br>unit_bdt[1]/...../tps[8]/<br>unit_tps[8]/bdt[8]/unit_bdt[8]<br><br>tps[i], bdt[i] → réelles<br>unit_tps[i], unit_bdt[i] =<br>(1 → μs, 2 → ms, 3 → s) |
| 30 | Appliquer l'état du hacheur  | 30 hach_on_off<br><br>hach_on_off =<br>(0 → off ou 1 → on)  | Pas de valeurs retournées   |



|    |   |  |  |
|----|---|--|--|
| 31 | Lire les temps déviateurs (ibe, cime)   | 31   | <p>rep_ret =<br/>tps_ibe/code_unit_tps_ibe/<br/>tps_cime/code_unit_tps_cime</p> <p>les codes unités sont définis de la même façon que ceux de la fonction 39</p> |
| 32 | Appliquer les paramètres noyau d'intérêt (les chaînes de caractères représentant les noms des noyaux)   | <p>32 <b>string_noy_intérêt</b></p> <p><b>string_noy_intérêt =</b><br/>X_ni/X_par/X_po1/X_po2/<br/>X_po3</p>   | Pas de valeurs retournées  |
| 33 | Appliquer les paramètres (valeurs réelles) noyau d'intérêt (les A, Z, Q des noyaux d'intérêt, parent, polluants et les limites des pics de ces noyaux ainsi que le coefficient de normalisation des flux) | <p>33 <b>val_noy_intérêt_P1</b></p> <p><b>val_noy_intérêt_P1 =</b><br/>A_ni/Z_ni/Q_ni/<br/>A_par/Z_par/Q_par/<br/>A_po1/Z_po1/Q_po1/<br/>A_po2/Z_po2/Q_po2/<br/>A_po3/Z_po3/Q_po3/<br/>limite_ni_max/limite_ni_min/<br/>limite_par_max/limite_par_min/<br/>limite_po1_max/limite_po1_min/<br/>limite_po2_max/limite_po2_min/<br/>limite_po3_max/limite_po3_min/<br/>coef_norm_flux</p> <p>(nombre de valeurs = 26)</p> | Pas de valeurs retournées  |
| 35 | Récupérer la liste des modes acquisition  | 35   | <p>rep_ret =<br/>mod_acq1/mod_acq2/...</p> <p>les mod_acqi sont des chaînes de caractères</p>  |

|    |   |   |  |
|----|---|---|--|
| 36 | Récupérer la liste des modes de détection   | 36  | rep_ret = mod_det1/mod_det2/...<br>les mod_deti sont des chaînes de caractères   |
| 37 | Récupérer la liste des modes désintégration                                       | 37  | rep_ret = mod_désin1/mod_désin2/...<br>les mod_désini sont des chaînes de caractères   |
| 38 | Retourner la liste des noms des fichiers d'extension « ref »                      | 38  | rep_ret = fich1/fich2/.....<br>fichn : nom du fichier  |
| 39 | Appliquer les paramètres (valeurs réelles) noyau d'intérêt (le reste des valeurs) | <p>39 val_noy_intérêt_P2</p> <p>val_noy_intérêt_P2 =<br/>T_ni/code_unit_T_ni/Eg_ni/<br/>R_ni/R_p_ni/E_pro_ni/<br/>R_pro_ni/mod_acq/mod_det_ni/<br/>mod_des_ni/ T_par/<br/>code_unit_T_par/Eg_par/<br/>R_par/E_pro_par/R_pro_par/<br/>mod_det_par/mod_des_par/<br/>T_po1/code_unit_T_po1/<br/>Eg_po1/R_po1/E_pro_po1/<br/>R_pro_po1/mod_det_po1/<br/>mod_des_po1/T_po2/<br/>code_unit_T_po2/Eg_po2/<br/>R_po2/E_pro_po2/<br/>R_pro_po2/mod_det_po2/<br/>mod_des_po2/T_po3/<br/>code_unit_T_po3/Eg_po3/<br/>R_po3/E_pro_po3/<br/>R_pro_po3/mod_det_po3/<br/>mod_des_po3</p> <p>(nombre de valeurs = 42)</p> | <p>Pas de valeurs retournées</p> <p>Pour les<br/>code_unit_T_ni,<br/>code_unit_T_par,<br/>code_unit_T_po1,<br/>code_unit_T_po2,<br/>code_unit_T_po3<br/>=<br/>0 → ms,<br/>1 → s,<br/>2 → min,<br/>3 → h,<br/>4 → j,<br/>5 → ans.</p> |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 40 | Recherche automatique du noyau d'intérêt à partir de sa masse et son nombre de protons (retour des chaînes de caractères) | 40 A_ni/Z_ni<br>Remarque : au cours du chargement du fichier, on teste l'état actuel du matériel avec celui du fichier à charger. S'ils sont en désaccord, le serveur retourne une erreur et attend une autorisation, afin d'appliquer les nouvelles valeurs au matériel ou non. Cette commande est du type « code_fct cmde » tel que :<br>cmde = 1 → appliquer au matériel et continuer le chargement du fichier;<br>cmde = 0 → ne pas appliquer et arrêter le chargement. | rep_ret = <b>string_noy_intérêt/numero_fichier_trouvé</b><br><br>numero_fichier_trouvé : représente le numéro du fichier dans la liste des fichiers références. |
| 41 | Retour des paramètres du noyau d'intérêt trouvé dans la recherche automatique (retour des valeurs réelles) les A, Z, Q    | 41  | rep_ret = <b>val_noy_intérêt_P1</b>   |
| 42 | Afficher la carte d'identité du noyau d'intérêt (retour des chaînes de caractères)  | 42  | rep_ret = <b>string_noy_interet</b>   |

|    |   |  |                           |
|----|---|--|---------------------------|
| 43 | Appliquer les paramètres acquisition                                    | <p>43ind_calcul_surf/resolution/<br/> eff_B-bas/eff_B-haut/<br/> a1_effi_g/b1_effi_g/dis1_effi_g/<br/> a2_effi_g/b2_effi_g/dis2_effi_g/<br/> a3_effi_g/b3_effi_g/dis3_effi_g/<br/> a4_effi_g/b4_effi_g/dis4_effi_g/<br/> a5_effi_g/b5_effi_g/dis5_effi_g/<br/> fque_gene/limite_min_gene/<br/> limite_max_gene/a_EG1/b_EG1/<br/> a_EG2/b_EG2/a_Ti/b_Ti/<br/> coef_norm_Ti/limite_511_min/<br/> limite_511_max/canal_gene/<br/> Hor_Rad_CIME/Hor_Rad_IBE/<br/> Hor_coll/Hor_Univ/<br/> HR_IBE_T1/HR_IBE_T2/<br/> HR_IBE_T3/HR_CIME_T1/<br/> HR_CIME_T2/HR_CIME_T3/<br/> deg_cal_fit</p> <p>(nombre de valeurs = 43)</p> | Pas de valeurs retournées |
| 44 | Appliquer les paramètres noyaux choix (les chaînes de caractères)       | <p>44 string_noy_choix</p> <p>string_noy_choix a la même structure que celle du noyau d'intérêt</p>  | Pas de valeurs retournées |
| 45 | Appliquer les paramètres noyaux choix (les valeurs réelles) les A, Z, Q | <p>45 val_noy_choix_P1</p> <p>val_noy_choix P1 a la même structure que celle du noyau d'intérêt vu précédemment sauf qu'il ne contient pas de valeur coef_norm_flux</p> <p>(nombre de valeurs de val_noy_choix_P1 est 25)</p>  | Pas de valeurs retournées |

|    |   |              |  |
|----|---|--------------|--|
| 46 | Afficher la carte d'identité du noyau choix (retour des chaînes de caractères)  | 46           | rep_ret = string_noy_choix   |
| 47 | Récupérer les paramètres acquisition  | 47           | rep_ret =<br>ind_calcul_surf/resolution/<br>eff_B_bas/eff_B_haut/<br>a1_effi_g/b1_effi_g/dis1_effi_g/<br>a2_effi_g/b2_effi_g/dis2_effi_g/<br>a3_effi_g/b3_effi_g/dis3_effi_g/<br>a4_effi_g/b4_effi_g/dis4_effi_g/<br>a5_effi_g/b5_effi_g/dis5_effi_g/<br>fque_gene/limite_min_gene/<br>limite_max_gene/a_EG1/b_EG1/<br>a_EG2/b_EG2/a_Ti/b_Ti/<br>coef_norm_Ti/limite_511_min/<br>limite_511_max/canal_gene/<br>Hor_Rad_CIME/Hor_Rad_IBE/<br>Hor_coll/Hor_Univ/<br>HR_IBE_T1/HR_IBE_T2/<br>HR_IBE_T3/HR_CIME_T1/<br>HR_CIME_T2/HR_CIME_T3/<br>deg_cal_fit<br><br>(nombre de valeurs = 43) |
| 48 | Recherche automatique du noyau choix à partir de sa masse et son nombre de protons (retour des chaînes de caractères) | 48 A_nc/Z_nc | rep_ret = string_noy_choix/<br>numero_fichier_trouvé   |

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 49 | Retour des paramètres du noyau choix trouvé dans la recherche automatique (retour des valeurs réelles) les A, Z, Q | 49   | rep_ret val_noy_choix_P1  |
| 50 | Retourner la liste des noms des fichiers d'extension « car »   | 50   | rep_ret = fich1/fich2/.....<br><br>fichn : nom du fichier   |
| 51 | Sauvegarder un fichier   | 51 nom_fichier/mot_passe                                       | rep_ret = numero_fichier_utilisé/<br>nouvelle_liste_fichiers_(.car)ou(.ref)   |
| 52 | Transfert d'un fichier (.car) en un (.ref)   | 52 num_fich_car/mot_passe                                      | rep_ret = num_fich_ref/<br>nouvelle_liste_fich_ref  |
| 53 | Mise à jour mode fonction au niveau du serveur   | 53 mode_fct<br><br>mode_fct =<br>(0 → édition et 1 → en ligne) | Pas de valeurs retournées   |
| 54 | Retour des autres paramètres du noyau d'intérêt trouvé dans la recherche automatique (valeurs réelles)             | 54   | rep_ret = val_noy_intérêt_P2  |
| 55 | Arrêt acquisition  | 55   | Pas de valeurs retournées   |
| 56 | Récupérer les paramètres production  | 56   | rep_ret = A_fai_ganil/Z_fai_ganil/<br>Q_fai_ganil/E_ganil/<br>A_cible_spiral/Z_cible_spiral/<br>source_spiral/Brho/fente_horiz/<br>fente_verti/freq_rot_x/<br>freq_rot_y/freq_rot_Hz<br><br>(nombre de paramètres = 13) |

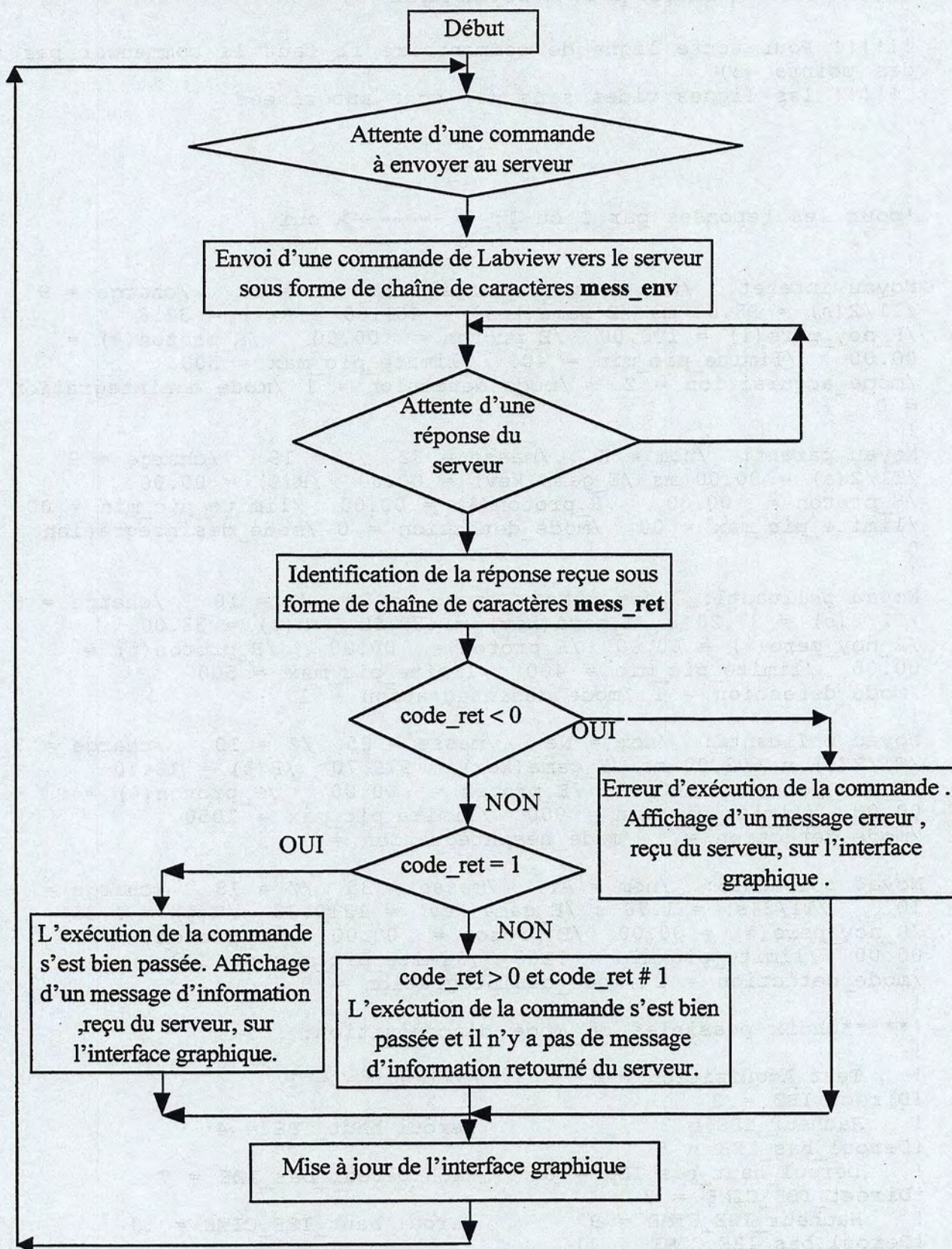
|    |  |  |                           |
|----|--|--|---------------------------|
| 57 | Démarrage de l'acquisition   | 57   | Pas de valeurs retournées |
| 58 | Appliquer les paramètres noyaux choix (le reste des valeurs réelles)                               | 58 val_noy_choix_P2<br>val_noy_choix_P2 a la même structure que celle du cas noyau faisceau. | Pas de valeurs retournées |
| 59 | Retour des autres paramètres du noyau choix trouvé dans la recherche automatique (valeurs réelles) | 59   | rep_ret val_noy_choix_P2  |

|    |   |  |  |
|----|---|--|--|
| 60 | Charger un fichier caractéristique d'un noyau donné | <p>60 code_liste/num_fichier</p> <p>code_liste = 0 → (.ref)<br/>1 → (.car)</p> <p>si code_liste = 2 → c'est le 1<sup>er</sup> chargement depuis l'ouverture de l'application serveur. Dans ce cas le fichier chargé par défaut sera le dernier fichier qui a été chargé avant la fermeture de l'application serveur.</p> <p>num_fichier correspond au numéro du fichier à charger dans la liste des (.car) ou (.ref).</p> <p>Remarque : au cours du chargement du fichier, on teste l'état actuel du matériel avec celui du fichier à charger. S'ils sont en désaccord, le serveur retourne une erreur et attend une autorisation, afin d'appliquer les nouvelles valeurs au matériel ou non. Cette commande est du type « code_fct cmde » tel que :</p> <p>cmde = 1 → appliquer au matériel et continuer le chargement du fichier;</p> <p>cmde = 0 → ne pas appliquer et arrêter le chargement.</p> | <p>rep_ret = code_liste/<br/>num_fich_chargé/<br/>num_fich_ref_correspondant</p> |
|----|---|--|--|



|    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 61 | Récupérer les valeurs calculées dans l'acquisition et les échelles | 61 | <p>rep_ret val_calcul_acqui<br/>avec</p> $\text{val\_calcul\_acqui} = \frac{\text{ind\_ins}(0\text{ou}1)/\text{ind\_cum}(0\text{ou}1)/\text{ind\_tm\_ech}(0\text{ou}1)/\text{ind\_Ti\_ponc}(0\text{ou}1)/\text{Trun}/\text{Tiponc}/\text{Tiins}/\text{Ticum}/\text{taux\_dete\_ech}/\text{tm\_ech}/\text{tm\_ins}/\text{tm\_cum}/\text{taux\_ctrl\_ins}/\text{Fni\_ins}/\text{EFni\_ins}/\text{FNni\_ins}/\text{EFNni\_ins}/\text{Fni\_cum}/\text{EFni\_cum}/\text{FNni\_cum}/\text{EFNni\_cum}/\text{Fpar\_ins}/\text{EFpar\_ins}/\text{FNpar\_ins}/\text{EFNpar\_ins}/\text{Fpar\_cum}/\text{EFpar\_cum}/\text{FNpar\_cum}/\text{EFNpar\_cum}/\text{Fpo1\_ins}/\text{EFpo1\_ins}/\text{FNpo1\_ins}/\text{EFNpo1\_ins}/\text{Fpo1\_cum}/\text{EFpo1\_cum}/\text{FNpo1\_cum}/\text{EFNpo1\_cum}/\text{Fpo2\_ins}/\text{EFpo2\_ins}/\text{FNpo2\_ins}/\text{EFNpo2\_ins}/\text{Fpo2\_cum}/\text{EFpo2\_cum}/\text{FNpo2\_cum}/\text{EFNpo2\_cum}/\text{Fpo3\_ins}/\text{EFpo3\_ins}/\text{FNpo3\_ins}/\text{EFNpo3\_ins}/\text{Fpo3\_cum}/\text{EFpo3\_cum}/\text{FNpo3\_cum}/\text{EFNpo3\_cum}/\text{Fnc\_ins}/\text{EFnc\_ins}/\text{FNnc\_ins}/\text{EFNnc\_ins}/\text{Fnc\_cum}/\text{EFnc\_cum}/\text{FNnc\_cum}/\text{EFNnc\_cum}/\text{posi\_cte\_bde}(\%)$ <p>En tout 62 valeurs</p> |
|----|--|----|--|

## B- Organigramme général du fonctionnement de l'application Labview



## C- Exemple de fichier caractéristique

### Fichier caractéristique pour le noyau Ar32

```

!!!!!! Pour toute ligne de commentaire il faut la commencer par
des points (!)
!!!!!! les lignes vides sans (!) sont autorisees
!
!
!pour les reponses par 0 ou 1: 1 -----> oui
!                               0 -----> non
!
Noyau interet: /nom = Ar /masse = 32 /Z = 18 /charge = 9
/T1/2(s) = 98.00 ms /E_gama(kev) = 461.00 /R(%) = 32.8
/R_noy_pere(%) = 100.00 /E_proton = 00.00 /R_proton(%) =
00.00 /limite_pic_min = 400 /limite_pic_max = 500
/mode_acquisition = 2 /mode_detection = 1 /mode_desintegration
= 0
!
Noyau parent: /nom = K /masse = 32 /Z = 19 /charge = 9
/T1/2(s) = 00.00 ms /E_gama(kev) = 00.00 /R(%) = 00.00
/E_proton = 00.00 /R_proton(%) = 00.00 /limite_pic_min = 00
/limite_pic_max = 00 /mode_detection = 0 /mode_desintegration =
0
!
Noyau polluant1: /nom = Ne /masse = 23 /Z = 10 /charge = 6
/T1/2(s) = 37.20 s /E_gama(kev) = 439.80 /R(%) = 33.00
/R_noy_pere(%) = 00.00 /E_proton = 00.00 /R_proton(%) =
00.00 /limite_pic_min = 400 /limite_pic_max = 500
/mode_detection = 1 /mode_desintegration = 1
!
Noyau polluant2: /nom = Ne /masse = 25 /Z = 10 /charge = 7
/T1/2(s) = 602.00 ms /E_gama(kev) = 979.70 /R(%) = 18.10
/R_noy_pere(%) = 00.00 /E_proton = 00.00 /R_proton(%) =
00.00 /limite_pic_min = 900 /limite_pic_max = 1050
/mode_detection = 1 /mode_desintegration = 1
!
Noyau polluant3: /nom = Ar /masse = 35 /Z = 18 /charge =
10 /T1/2(s) = 1.78 s /E_gama(kev) = 1219.30 /R(%) = 1.35
/R_noy_pere(%) = 00.00 /E_proton = 00.00 /R_proton(%) =
00.00 /limite_pic_min = 1160 /limite_pic_max = 1300
/mode_detection = 1 /mode_desintegration = 0
!
!*****choix possibles du mode d'acquisition:
!
! Test_Acquisition = 0 Efficacite = 1
!Direct_IBE = 2
! Hacheur_IBE = 3 Deroul_haut_IBE = 4
!Deroul_bas_IBE = 5
! Deroul_haut_bas_IBE = 6 Hach_Deroul_bas_IBE = 7
!Direct_IBE_CIME = 8
! Hacheur_IBE_CIME = 9 Deroul_haut_IBE_CIME = 10
!Deroul_bas_IBE_CIME = 11
! Deroul_haut_bas_IBE_CIME = 12 Hach_Deroul_bas_IBE_CIME = 13

```

```
!
!
!****choix possibles du mode de detection:
!
!   Test_detection = 0           Gamma1_haut = 1
!Beta_haut = 2
!   Beta_bas = 3                 proton = 4
!Gamma1_Beta_haut = 5
!   Gamma1_proton = 6           Gamma2 = 7
!Gamma1_Gamma2 = 8
!   Gamma2_Beta_bas = 9        Gamma1_Beta_bas = 10
!   Gamma1_bas = 11
!
!*****choix possibles du mode desintegration
!
!   Beta_plus = 0               Beta_moins = 1
!neutron = 2
!   proton = 3                  alpha = 4
!transition_isomerique = 5
!
!
!   tapez pour:
!   seconde -----> s
!   milliseconde -----> ms
!   microseconde -----> micros
!
!
! temps Horloge: /tps_start = 0 ms /tps_collection = 1000 s
! /tps_atte_hach1(s) = 0 ms /tps_radio_hach(s) = 0 s
! /tps_atte_hach2(s) = 0 ms /tps_atte_devial(s) = 0 ms
! /tps_radio_devial(s) = 0 s /tps_atte_devial2(s) = 0 ms
!
! base temps Horloge: /bdt_tps_start = 0 ms /bdt_tps_collection =
! 10 ms /bdt_tps_atte_hach1(s) = 0 ms /bdt_tps_radio_hach(s) = 0
! micros /bdt_tps_atte_hach2(s) = 0 micros
! /bdt_tps_atte_devial(s) = 0 micros /bdt_tps_radio_devial2(s) = 0
! micros
!
! Hacheur /coupure_faisceau_chopper(0oul) = 0
!
!
!
! choix autorise: 0-----> pas d'avancee de bande
!                  1-----> avancee de la chambre de mesure haute
! vers celle du bas
!                  2-----> avancee de la chambre basse vers la
! boite derouleur
!                  3-----> avancee de la chambre haute vers la
! boite derouleur (d1 + d2)
!
! Bande /tps_atte_start = 0 /tps_atte_hach1 = 0 /tps_atte_hach2
! = 0 /tps_atte_devial = 0 /tps_atte_devial2 = 0
!
!
!
!
```

Detecteur /distance\_ger\_bande(mm) = 100 /plastique\_ON\_OFF(0ou1) = 0 /silicium\_ON\_OFF(0ou1) = 0 epaisseur\_absorbant(mm) = 0

Delai /delai\_instantane(s) = 10 /delai\_cumule(s) = 10 /delai\_Ti\_ponctuelle(s) = 5 /delai\_tpsmort\_echelle(s) = 5

coefficient de Normalisation /coef\_norm\_flux = 2.50

## Annexe C

# Notice d'utilisation de l'interface graphique (Labview)

L'interface graphique est réalisée en utilisant un micro-ordinateur de type Macintosh et des ressources logicielles de « National Instruments » de type Labview.

Un ensemble de fichiers caractéristiques des noyaux à identifier sont préparés à l'avance afin de pouvoir les charger par l'interface graphique. On a la possibilité de changer les paramètres d'un fichier caractéristique, de les sauvegarder et de les utiliser dans le processus d'acquisition. On retrouve deux types de fichiers caractéristiques :

- fichiers caractéristiques d'extension « .car » contenant des paramètres pour une expérience concernant un noyau donné.
- fichiers caractéristiques d'extension « .ref », appelés fichiers références, contenant les paramètres qu'on juge les mieux adaptés pour un bon déroulement de l'expérience d'un noyau donné.

Un noyau peut avoir plusieurs fichiers caractéristiques d'extension « .car » et un seul fichier référence « .ref ».

L'interface graphique a deux modes de fonctionnement :

- le mode édition qui nous permet de préparer et visualiser les paramètres des fichiers caractéristiques. Dans ce cas, on ne commande pas l'équipement de détection ni les modules électroniques.
- Le mode en ligne qui nous permet d'envoyer des commandes à l'équipement de détection et les modules électroniques.

Nous avons réalisé différentes fenêtres pour commander et contrôler le système d'identification :

### C-1 Fenêtre principale (fig. C-1)

On retrouve tout d'abord dans cette fenêtre le nom du fichier caractéristique qui va être utilisé pendant l'expérience et son fichier de référence correspondant. Le fichier utilisé représente le fichier caractéristique qui a été chargé et dont les paramètres sont visualisés sur l'interface graphique.

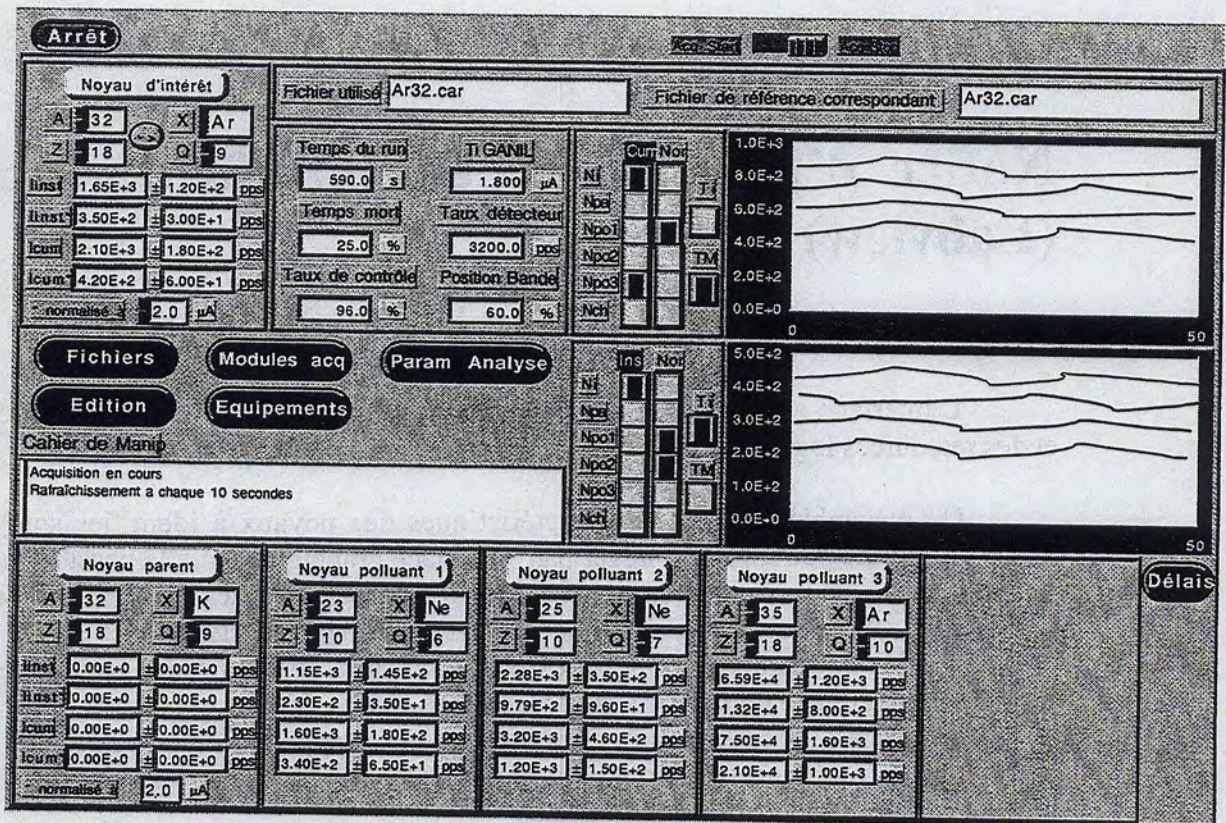


Figure C-1 Fenêtre principale de l'interface graphique du système d'identification.

La fenêtre principale contient des boîtes de dialogue concernant le noyau d'intérêt, le noyau parent et les trois noyaux polluants. Ces boîtes permettent de visualiser les caractéristiques de ces noyaux notamment le numéro atomique A, le nombre de protons Z, le nom du noyau en question, sa charge, les flux (instantanés, instantanés normalisés, cumulés et cumulés normalisés) avec leurs erreurs respectives, calculés au cours de l'acquisition et le coefficient de normalisation. Les valeurs des flux sont rafraîchies suivant des délais spécifiés par l'utilisateur dans une fenêtre délai présentée sur la figure C-2. Nous avons quatre types de délais de rafraîchissement :

- délai de rafraîchissement instantané : concerne tous les calculs instantanés qui se font sur une période correspondant à ce délai;
- délai de rafraîchissement cumulé : concerne tous les calculs cumulés, tenant compte du temps total de l'acquisition;
- délai taux échelles : concerne la fréquence de lecture des échelles ;
- délai Ti : concerne le calcul de l'intensité du faisceau primaire GANIL.

The image shows a graphical user interface window titled "Délais de rafraîchissement". At the top left, there is a button labeled "Mode en ligne". At the top right, there is a button labeled "Retour". Below the title, there is a text field labeled "Fichier utilisé par l'acquisition" containing the text "Ar32.car". To the right of this field are two buttons: "Appliquer" and "Annuler". In the center of the window, there are four rows of controls, each consisting of a label and a text input field followed by a small "s" unit indicator:

|                        |       |   |
|------------------------|-------|---|
| Délai flux instantanés | 10.00 | s |
| Délai flux cumulés     | 10.00 | s |
| Délai taux échelés     | 10.00 | s |
| Délai T <sub>i</sub>   | 5.00  | s |

Figure C-2 Fenêtre délai de l'interface graphique du système d'identification.

Une boîte de dialogue appelée « noyau choix », identique à celles des noyaux polluants, est prévue afin d'avoir la possibilité de visualiser les flux d'un quatrième polluant. Ce noyau peut être rajouter au cours de l'acquisition. Les paramètres d'acquisition (temps mort, temps du run, intensité faisceau, taux de contrôle instantané de l'acquisition, taux du détecteur) calculés aussi au cours de l'acquisition sont visualisés et rafraîchis suivant les délais spécifiés dans la fenêtre délai. A chaque récupération de ces paramètres, la position de la bande sera aussi mise à jour.

La visualisation de l'évolution des flux des différents noyaux, du temps mort et des intensités du faisceau GANIL au cours du temps fait partie aussi de cette fenêtre principale. Vu le nombre important de courbes à visualiser, un choix est proposé à l'utilisateur afin de sélectionner les courbes désirées. Aussi différentes couleurs sont utilisées afin de différencier les courbes.

La fenêtre principale contient aussi les boutons de commande de l'acquisition (AcqStart et AcqStop) permettant d'avoir le contrôle de l'acquisition dans la même fenêtre que les paramètres d'acquisition et les flux.

La boîte « cahier de Manip » apparaissant sur cette fenêtre principale, permet de visualiser toutes les actions et modifications réalisées sur le système d'identification. Un fichier d'archivage correspondant à cette boîte est prévu pour enregistrer tous les messages et informations concernant ces actions. Au cours de l'acquisition, tous les paramètres calculés seront aussi enregistrés dans ce fichier.

Enfin des boutons pour avoir d'autres fenêtres secondaires sont aussi présents sur la fenêtre principale.



### C-2 Fenêtre fichier (fig. C-3)

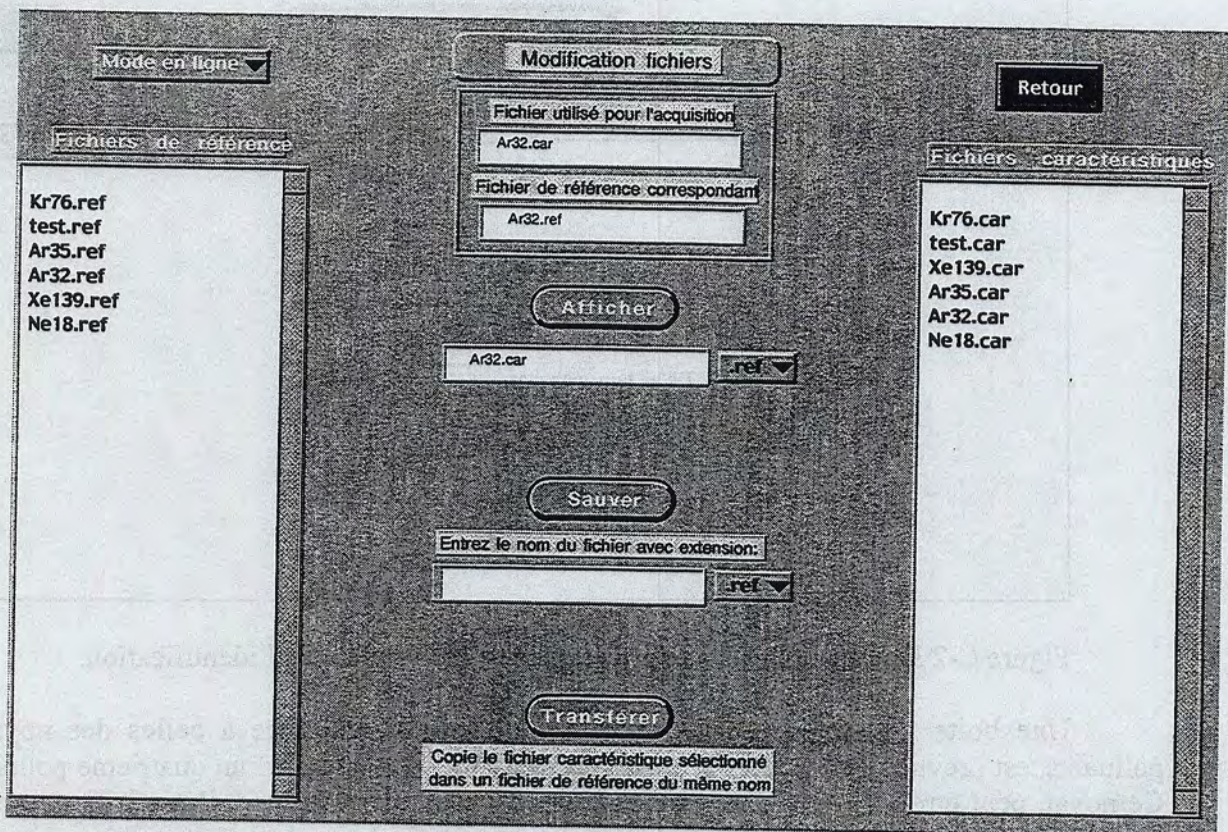


Figure C-3 Fenêtre fichier de l'interface graphique du système d'identification.

Comme le montre la figure C-3, nous avons la visualisation de la liste des fichiers caractéristiques des deux extensions séparément. Le choix d'un fichier à charger se fait par un simple clic sur son nom. Le fichier sera chargé en mémoire avec une mise à jour de l'interface graphique. La mise à jour de l'état du matériel (équipement de détection et modules électroniques) se fait également si on est en mode en ligne. Dans ce mode, tout changement d'un paramètre à partir de l'interface graphique affectera automatiquement l'état du matériel.

Une sauvegarde de la base de données en mémoire peut se faire à partir de cette fenêtre. L'utilisateur a le choix de conserver le même nom de sauvegarde du fichier chargé ou de le changer. Il est à signaler que si la sauvegarde concerne un fichier de référence, un mot de passe sera demandé afin d'éviter toute erreur d'inattention.

Une dernière commande contenue dans cette fenêtre donne la possibilité de transférer des fichiers caractéristiques d'extension « car » en des fichiers références d'extension « ref ». Dans ce cas aussi, un mot de passe sera demandé à l'utilisateur.

### C-3 Fenêtre édition (fig. C-4)

Cette fenêtre permet de visualiser les informations concernant les caractéristiques des noyaux : noyau d'intérêt, noyau parent et les noyaux polluants. Ces caractéristiques sont :

- le nom du noyau ;
- la masse ;

- le nombre de proton ;
- la charge ;
- la période ;
- l'énergie gamma (en keV) la plus importante;
- le rapport d'embranchement correspondant à cette énergie ;
- le rapport d'embranchement père-fils correspondant au pourcentage des noyaux parents qui se désintègrent en noyaux fils ;
- l'énergie du proton caractéristique si le noyau est émetteur proton ;
- le rapport d'embranchement correspondant à cette énergie ;
- le coefficient de normalisation des flux ;
- le mode de désintégration du noyau :  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ , neutron, proton,  $\alpha$ , transition isomérique ;
- le mode de détection à utiliser pour ce noyau : mode test,  $\gamma_1$  en haut,  $\gamma_1$  en bas,  $\beta$  dans la chambre haute,  $\beta$  dans la chambre basse, proton, coïncidence  $\gamma_1 - \beta$  en haut, coïncidence  $\gamma_1 - \text{proton}$ ,  $\gamma_2$ , coïncidence  $\gamma_1 - \gamma_2$ , coïncidence  $\gamma_1 - \beta$  en bas, coïncidence  $\gamma_2 - \beta$  en bas.
- le mode d'acquisition à utiliser pour ce noyau : mode test, direct, hacheur, dérouleur dans la chambre haute, dérouleur dans la chambre basse, hacheur et dérouleur dans la chambre basse. A l'exception des deux premiers cas, le faisceau peut être soit dévié en permanence vers le système d'identification, soit dévié alternativement vers le système d'identification et vers le cyclotron CIME.

Mode en ligne

Carte d'identité du noyau d'intérêt

Retour

Fichier utilisé pour l'acquisition

Ar32.car

Appliquer

Annuler

|                                       | Noyau d'intérêt | Parent  | Polluant 1 | Polluant 2 | Polluant 3 |
|---------------------------------------|-----------------|---------|------------|------------|------------|
| X                                     | Ar              | K       | Ne         | Ne         | Ar         |
| A                                     | 32              | 32      | 23         | 25         | 35         |
| Z                                     | 18              | 19      | 10         | 10         | 18         |
| Q                                     | 9               | 9       | 6          | 7          | 10         |
| Temps de vie                          | 98.00 ms        | 0.00 ms | 37.20 s    | 602.00 ms  | 1.78 s     |
| Energie gamma (keV)                   | 461.09          | 0.00    | 439.80     | 979.70     | 1219.30    |
| Rapport d'embranchement gamma (%)     | 0.00            | 0.00    | 33.00      | 18.10      | 1.35       |
| Rapport d'embranchement père-fils (%) | 100.00          |         |            |            |            |
| Energie proton (MeV)                  | 0.00            | 0.00    | 0.00       | 0.00       | 0.00       |
| Rapport d'embranchement proton (%)    | 0.00            | 0.00    | 0.00       | 0.00       | 0.00       |
| Coef de normalisation des flux        | 2.00            |         |            |            |            |
|                                       | 0               | 0       | 0          | 0          | 0          |
|                                       | 0               | 0       | 0          | 0          | 0          |
| Mode de désintégration                | gamma           |         | gamma      | gamma      | gamma      |
| Mode de détection                     | gamma_haut      |         | gamma_haut | gamma_haut | gamma_haut |
| Mode d'acquisition                    | direct          |         |            |            |            |

Figure C-4 : Fenêtre édition de l'interface graphique du système d'identification.

Tous les paramètres cités ci-dessus peuvent être lus dans le fichier caractéristique du noyau correspondant au noyau d'intérêt. Il est à signaler que ces paramètres peuvent être modifiés, ce qui entraîne une modification de la base de données en mémoire. On peut charger puis modifier un fichier caractéristique en mode édition qui peut être différent du fichier chargé en mode en ligne. Ce dernier est celui qui sera utilisé si l'acquisition est démarrée.

Toute sauvegarde (en mode édition ou en ligne) ne peut se faire qu'à partir de la fenêtre fichier.

#### C-4 Fenêtre équipements (fig. C-5)

Figure C-5 Fenêtre équipements de l'interface graphique du système d'identification.

C'est une fenêtre qui concerne toutes les commandes et les paramètres de contrôle de l'équipement de détection :

- Détecteur germanium 1 :
  - initialisation du module de commande et contrôle du germanium 1;
  - application de la distance entre le détecteur germanium 1 et la bande ;
  - récupération des butées des deux germaniums 1 et 2.
- La bande :
  - initialisation du module de commande et contrôle de la bande ;
  - récupération de la position courante de la bande ;
  - déplacement de la bande ;
  - rembobinage de la bande .
- Le détecteur plastique :
  - insertion et enlèvement du détecteur plastique.
- Le détecteur silicium :
  - insertion et enlèvement du détecteur silicium.
- Absorbant :
  - mesure de l'épaisseur du Plomb utilisé comme absorbant.

Certains paramètres de l'équipement (distance germanium 1 – bande, états des détecteurs plastique et silicium et l'épaisseur de l'absorbant) sont mis à jour au niveau de l'interface au chargement du fichier caractéristique avec une éventuelle mise à jour de l'équipement si on est en mode en ligne.

Le bouton butées de la boîte de dialogue germanium nous emmène vers une autre fenêtre présentée sur la figure C-6. Elle présente les différents états des deux détecteurs germaniums et leur Plomb de protection associé. Une différenciation de couleur pour chaque cas permet de signaler si l'état correspondant est actif ou inactif.

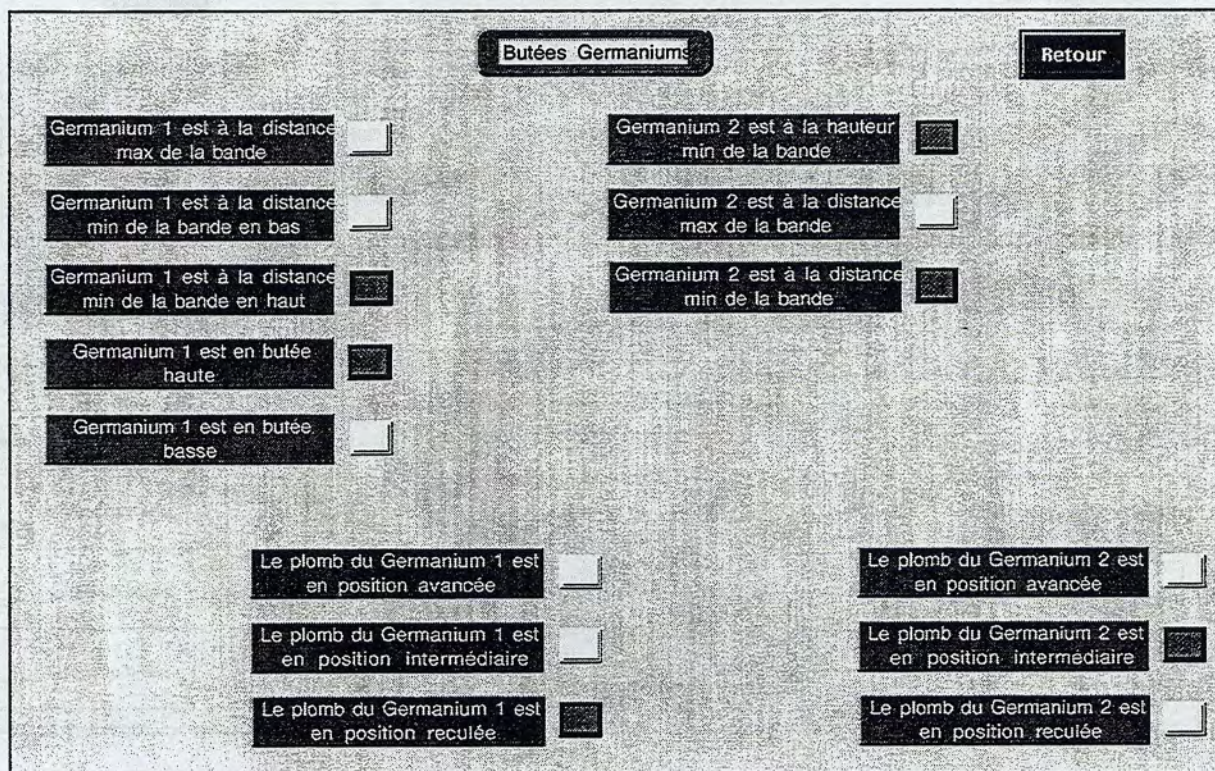


Figure C-6 : Fenêtre butées de l'interface graphique du système d'identification.

Dans cette boîte, on trouve les états suivants :

- distance maximale du germanium 1 par rapport à la bande ;
- distance minimale du germanium 1 en bas par rapport à la bande ;
- distance minimale du germanium 1 en haut par rapport à la bande ;
- position haute du germanium 1 ;
- position basse du germanium 1 ;
- germanium 1 en position avancée par rapport à son Plomb de protection ;
- germanium 1 en position reculée par rapport à son Plomb de protection ;
- germanium 1 en position intermédiaire par rapport à son Plomb de protection ;
- position basse du germanium 2 ;
- distance maximale du germanium 2 par rapport à la bande ;
- distance minimale du germanium 2 par rapport à la bande ;
- germanium 2 en position avancée par rapport à son Plomb de protection ;
- germanium 2 en position reculée par rapport à son Plomb de protection ;
- germanium 2 en position intermédiaire par rapport à son Plomb de protection .

## C-5 Fenêtre acquisition (fig. C-7)

The screenshot shows a software interface for data acquisition. At the top, there is a 'Mode en ligne' button and a 'Paramètres acquisition' title bar. A 'Retour' button is on the right. Below this, a 'Horloge SMC' label is next to a text field 'Fichier utilisé pour l'acquisition' containing 'Ar32.car'. The main area is divided into several sections:

- Temps / Base de Temps:** A row of eight input fields with dropdown menus for units. The values are: Temps de collection (100000.00, s), Temps d'attente 1 IBE (0.00, ms), Temps de mesure IBE (0.00, ms), Temps d'attente 2 IBE (0.00, ms), Temps d'attente 1 CME (0.00, μs), Temps de mesure CME (0.00, μs), Temps d'attente 2 CME (0.00, μs), and Temps d'attente début acq (0.00, μs). 'Appliquer' and 'Annuler' buttons are to the right.
- Temps déviateur:** Two input fields: 'Temps IBE' (1000.00, ms) and 'Temps CME' (0.00, ms).
- Coupure faisceau hacheur:** A button labeled 'OFF' with a crescent moon icon.
- Trigger GMT:** A section with 'Mode d'acquisition' (directe) and 'Mode de détection' (gamma). Below is a table:
 

|           | Temps de collection | Temps de mesure IBE | Temps de mesure CME |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Gamma 1   | OFF                 | OFF                 | OFF                 |
| Gamma 2   | OFF                 | OFF                 | OFF                 |
| Beta haut | OFF                 | OFF                 | OFF                 |
| Beta bas  | OFF                 | OFF                 | OFF                 |
| Proton    | OFF                 | OFF                 | OFF                 |
- Distances d'avancée de la bande:** A list of five items, each with a dropdown menu set to 'pas d'avancée' and 'Appliquer'/'Annuler' buttons:
  - Distance d'avancée pdt temps d'att. début acq
  - Distance d'avancée pdt temps d'att. 1 IBE
  - Distance d'avancée pdt temps d'att. 2 IBE
  - Distance d'avancée pdt temps d'att. 1 CME
  - Distance d'avancée pdt temps d'att. 2 CME

Figure C-7 Fenêtre acquisition de l'interface graphique du système d'identification.

Cette fenêtre concerne essentiellement tous les modules électroniques utilisés dans l'acquisition. Les différents temps d'horloge ainsi que leur unité sont visualisés. Ces temps sont mis à jour à chaque chargement d'un fichier caractéristique et programmés automatiquement dans le module horloge (SMC) si on est en mode en ligne.

La configuration du module de déclenchement trigger, qui dépend principalement des modes de détection et d'acquisition utilisés, est présentée. Au chargement d'un fichier caractéristique et suivant les modes spécifiés dans ce dernier, la configuration sera déterminée par le serveur d'identification d'une façon automatique et visualisée sur cette fenêtre. La programmation du module trigger (GMT) sera aussi faite automatiquement si on est en mode en ligne.

Une boîte de dialogue correspondant aux avancées de la bande pendant les temps d'attente de l'horloge, d'une façon automatique au cours de l'acquisition, est aussi présentée dans cette fenêtre. Il est à signaler que certains modes d'acquisition exigent un déplacement de la bande d'une façon automatique au cours de l'acquisition afin d'évacuer la radioactivité ou de faire la mesure dans la chambre basse. On peut avoir quatre choix pour ces avancées de la bande :

- pas d'avancée de la bande ;
- avancée de la bande de la chambre haute vers la chambre basse ;
- avancée de la bande de la chambre haute vers le dérouleur ;
- avancée de la bande de la chambre basse vers le dérouleur.

Certaines informations peuvent être récupérées du serveur du commande-contrôle machine qui délivre le faisceau primaire GANIL. Parmi ces informations on trouve :

- le temps pendant lequel le faisceau sera dévié vers le système d'identification ;
- le temps pendant lequel le faisceau sera dirigé vers le cyclotron CIME ;
- les caractéristiques du faisceau GANIL : numéro atomique, nombre de proton et la charge ;
- l'énergie du faisceau ;
- le Brho au niveau de SPIRAL ;
- la fréquence de rotation du faisceau.

Les deux premières informations concernant les temps sont visualisées dans la même fenêtre acquisition.

Une information concernant la coupure du faisceau par le hacheur, qui existe aussi dans le fichier caractéristique, est visualisée dans cette fenêtre.

Il est à signaler que les temps doivent être en accord avec ce qui est programmé dans le module horloge avant de lancer l'acquisition. Dans le cas contraire, une erreur est retournée du serveur d'identification vers l'interface graphique.

### C-6 Fenêtre paramètres analyse (fig. C-8)

The screenshot shows the 'Paramètres d'analyse' window with the following sections:

- Calibration germanium:**
  - a\_EG1: 0.0000
  - b\_EG1: 5.0000
  - a\_EG2: 0.0000
  - b\_EG2: 0.0000
- Calibration Ti:**
  - a\_Ti: 0.0000
  - b\_Ti: 0.0000
  - Coefficient de normalisation Ti: 0.0000
- Générateur d'impulsion:**
  - Fréquence gén: 0 Hz
  - Numéro du canal gén: 0
- Efficacité germanium:**
  - a\_eff\_G1: 0.0000
  - b\_eff\_G1: 0.0000
  - Distance Germanium1-Bande: 0.0000 mm
- Efficacité plastique ha:**
  - Efficacité beta haut: 0.0000 %
- Efficacité plastique ba:**
  - Efficacité beta bas: 0.0000 %
- Surface des pics germanium:**
  - Surface du pic obtenu par: Somme
  - Résolution du fit: 0 canaux
- Limites des pics générés à 511keV:**

|           | Min | Max |
|-----------|-----|-----|
| Géné      | 0   | 0   |
| Pc 511keV | 0   | 0   |

Buttons: Paramètres d'analyse, Retour, Appliquer, Annuler, Param. Horloges.

Figure C-8 Fenêtre paramètres d'analyse de l'interface graphique du système d'identification.

La dernière fenêtre réalisée présente les différents paramètres utilisés par l'acquisition pour le calcul des surfaces des pics et des flux. Ces paramètres sont passés de l'interface graphique vers le processus acquisition à travers le serveur de l'identification. Ils peuvent être changés au cours de l'acquisition. On trouve:

- les limites des différents pics concernant les noyaux d'intérêt, parent, polluants, le noyau choix et les limites du pic 511 keV ;
- les paramètres de calibration de l'intensité faisceau (Ti) ;
- les paramètres de calibration pour les détecteurs germaniums 1 et 2 ;
- les paramètres pour le calcul des efficacités des détecteurs germaniums ;
- les efficacités des détecteurs plastiques ;
- la fréquence du générateur d'impulsions .

Il est à signaler que les temps de comptage doivent être en accord avec ce qui est recommandé dans le protocole de la norme de la méthode de mesure. Dans le cas contraire, une erreur est commise dans le calcul des efficacités et des limites. Les efficacités des détecteurs germaniums sont calculées à partir des efficacités des détecteurs plastiques.



Figure 2-8 : Paramètres de calibration et de mesure des efficacités des détecteurs germaniums et plastiques. La dernière partie de la figure présente les différents paramètres utilisés pour le calcul des efficacités des détecteurs germaniums et plastiques. Les paramètres sont présentés dans la figure 2-8.

## Bibliographie

[Ann87] R. Anne et al., The achromatic spectrometer LISE at GANIL, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A257 (1987) 215.

[Ann92] R. Anne and A.C. Mueller, LISE3 : A magnetic spectrometer-wien filter combination for secondary radioactive beam production, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B70 (1992) 276.

[Ann93] R. Anne, On Line Isotopic Separator Test Benches at GANIL, IEEE Particle Accelerator conference, New York, USA, Vol. 3, 1993, p. 1792 - 1794.

[Bar95] E. Baron et al., Upgrading the GANIL facilities for high-intensity heavy ion beams (T.H.I. Project), Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Cyclotron and their Applications, IEEE, Cap town, South Africa, Ed. J.C. Cornell (1995).

[Bar98] E. Baron et al., Experience with the high intensity operation of the GANIL facility, Proceedings of the XV International Conference on Cyclotron and their Applications, Caen, France, 14<sup>th</sup> - 19<sup>th</sup> June, 1998.

[Bar99] C. Barué et al., Metallic ion developpements at GANIL, Proceedings of the 14<sup>th</sup> international workshop on ECR Ion Sources, ECRIS 99 - CERN, Geneva, Switzerland, 3-6 May 1999.

[Bel97] A. Belyman et al. , Measurements of the neutron yield and the neutron energy distribution from the  ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$  reaction on a thick Be target at an incident deuteron energy of 20,2 MeV, . Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B134 (1997) 217-223.

[Bev69] P. R. Bevington, Data reduction and error analysis for the physical sciences, Mc Graw-Hill, New York, (1969).

[Bjo85] T. Bjornstad et al., Study of the Giant gamow-teller resonance in nuclear  $\beta$ -decay : the case of  ${}^{32}\text{Ar}$ , Nucl. Phys. A 443 (1985) 283.

[Bol96] G. Bollen, Direct mass measurements at ISOLDE, Proceedings of the international Workshop XXIV on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Exitations, Hirschegg, Austria, January 15-20, edited by H. Feldmeier, J. Knoll, and W. Nörenberg, p. 169 - 176, 1996.

[Boy97] L. Boy, Problèmes posés par l'accélération d'ions radioactifs dans le projet SPIRAL, Réglage et stabilisation de l'accélérateur, thèse de l'Université de Paris VI, GANIL T 97-04 (1997).

[Bri92] P. Bricault, An on line isotopic separator test bench at GANIL, Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Cyclotrons and Applications, Vancouver, 1992.



- [Cha65] Itzhak Chavet , étude de la production des ions et de la formation du faisceau dans un séparateur électromagnétique d'isotopes, thèse université de Paris, centre d'Orsay, 1965.
- [Cha96] M. Chartier et al., Mass measurement of the doubly-magic nucleus  $^{100}\text{Sn}$ , Proceedings of the First International Workshop on Physics of Unstable Nuclear Beams, editors C.A. Bertulani, L. F. Canto and M. Hussein, World Scientific, p. 354 – 361, 1996.
- [Cla98] : F. Clapier et al. (1998), Exotic Beams Produced by Fast Neutrons, Physical. Review Special Topics-accelerators and Beams vol. 1, 013501
- [Del94] C. Delannoy, Programmer en langage C++, édition Eyrolles, 1994.
- [Den98] P. Dendooven, Proc. Second Workshop on Fission and Fission Product Spectroscopy, Seyssins, France 1998, AIP 447, p. 135.
- [Den98] P. Dendooven : Experiment proposal at Jyväskylä (Novembre 98).
- [END90] P. M. Endt and C. Vander Energy Levels of  $A = 21-44$ , Nuclear Physics, Nuclei (VI) North Holland , (1990), Amsterdam.
- [Eta99] M. C. D., Module de Commande d'un Dérouleur, Manuel utilisateur, rapport interne LPC R 99 01 (1999).
- [Fir96] Table of isotopes, vol. 1-2, Richard B. Firestone Virginia. S. Shirley Editor coral. M.Baglin, S. Y. Frank chu, and Jean Zipkin.
- [Fou96] P. Foury , Thermal dynamic studies of ISOL targets, communication privée, 1996.
- [Gan96] Manuel utilisateur de l'acquisition GANIL, rapport interne R 96 04.  
[http://ganinfo.in2p3.fr/acquisition/doc/sommaire\\_manuel.html](http://ganinfo.in2p3.fr/acquisition/doc/sommaire_manuel.html)
- [Gan98] Nouvelles du GANIL N°63, Decembre 98, p. 4.
- [Gan99] Nouvelles du GANIL N°65, Juillet 99, p. 9.
- [Ger96] Manuel d'utilisation du détecteur Germanium Coaxial de Type N, Type (EGC 30-195-R), 1996.
- [Gil86] A. Gillibert et al., Mass measurement of light neutron rich fragmentation products, Physics Letters B, Vol. 176, No 3, 4, p. 317 – 321, 1986.
- [Gip99-a] rapport interne GANIL sur le GMT (Ganil Trigger Master).  
[http://www.ganil.fr/www\\_ganil/gip/electronique/trigger/docframe.htm](http://www.ganil.fr/www_ganil/gip/electronique/trigger/docframe.htm)
- [Gip99-b] rapport interne GANIL sur le XDC (Analogic-Digital Converter).  
[http://www.ganil.fr/www\\_ganil/gip/electronique/xdc3214/docframe.htm](http://www.ganil.fr/www_ganil/gip/electronique/xdc3214/docframe.htm)

- [Gue96] D. Guerreau, The SPIRAL radioactive beam facility at GANIL, Proceedings of the First International Workshop on Physics of Unstable Nuclear Beams, editor C.A. Bertulani, L.F. Canto and M. Hussein, World Scientific, p. 69 - 76, 1996.
- [Han94] P.G. Hansen, Nuclear Halos : Structure and Reactions, Nuclear Physics A588 (1994), 1.
- [Jar97] P. Jardin et al., Contraintes liées à la production de faisceaux d'ions radioactifs pour le projet SPIRAL, Journée Source d'Ions, Saclay, France, 2 et 3 Juin 1997.
- [Jou91] A. Joubert et al., The SISSI Project : An Intense Secondary Ion Source Using Superconducting Solenoid Lenses, IEEE Particle Accelerator Conference, San Francisco (USA), 1 (1991), 594.
- [Kan00] : S. Kandri-Rody et al. , Exotic nuclei produced by fast neutrons in a liquid uranium target, Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. B160 (2000) 1-6.
- [Kan98] S. Kandri-Rody et al., Low Energy Identification of the Radioactive Beams for SPIRAL, Proceedings of the XV International Conference on Cyclotron and their Applications, éditer par E. Baron et M. Lieuvin., Caen, France, 14<sup>th</sup> - 19<sup>th</sup> June, 1998, 359.
- [Kan99] S. Kandri-Rody et al., Système d'identification pour le projet SPIRAL, première rencontre Franco-Marocaine de la physique nucléaire, El Jadida, Maroc, 10 au 13 Mars, 1999.
- [Kor93] G.E. Körner (Ed.), Report on the European Radioactive Beam Facilities from the NuPECC study group, Munich, 1993.
- [Lab93] Labview for Macintosh, National Instrument (1993).
- [Lab99] documentation pour les utilisateurs de Labview 5.0,  
<http://www-tp.physique.usherb.ca/LabVIEW.htm>
- [Lan99] F. Landre et al., la production d'ions radioactifs à SPIRAL, Journées sources d'ions , 18-19 mars , GANIL, R 99 04 (1999).
- [Lau97] B. Laune, The SPIRAL radioactive ion beam facility at GANIL, Proceedings of the 14<sup>th</sup> Conference on Application of Accelerators in Research and Industry p. 381 - 384, edited by AIP, 1997.
- [Lau98-a] B. Launé et al., Diagnostic System Dedicated to the Radiative Ion Beams at the SPIRAL Facility, Proceedings of the XV International Conference on Cyclotron and their Applications, éditer par E. Baron et M. Lieuvin., Caen, France, 14<sup>th</sup> - 19<sup>th</sup> June, 1998.
- [Lau98-b] : C. Lau et Parnne 2 collaboration, Expériences PARRNe, Proceedings of TWIST Workshop, GANIL, 11-13 Juin 98, caen.
- [Lau99] C. Lau et al., Programme PARRNe, première rencontre Franco-Marocaine de la physique nucléaire, El Jadida, Maroc, 10 au 13 Mars, 1999.

- [Leb98] : L. Lebreton et al. , SPIRAL phase II : PARRNe 1 à Louvain-la-Neuve, Rapport annuel du Cyclotron de Louvain-la-Neuve, (1998).
- [Lec97-a] N. Lecesne, Étude de la production d'ions radioactifs multichargés en ligne, thèse de l'Université de Caen, GANIL T 97 08.
- [Lec97-b] N. Lecesne et al., A new method for measuring the absolute efficiency of Isotope Separation On-Line Systems, NIM B126 (1997) 141.
- [Lem76] : Lempert and Chavet, Pratical factors affecting cathode performance in ion source of the Nier-Bernas type, Nucl. Instr. and Meth. 139, 1976, 7.
- [Ler97] R. Leroy et al., Constraints due to the production of radioactive ion beams in the SPIRAL Project, ICIS'97, 7<sup>th</sup> International Conference on Ion Sources, September 7 - 13, 1997, Taormina, Italy.
- [Ler98] R. Leroy et al., The first target ion source system for the SPIRAL project : results of the on line tests, Proceedings of the XV International Conference on Cyclotron and their Applications, éditer par E. Baron et M. Lieuvain., Caen, France, 14<sup>th</sup> - 19<sup>th</sup> June, 1998, 366.
- [Let97] J. Lettry et al, Nucl. Inst. And Meth. B126 (1997), 130.
- [Lic98] R. Lichtenthäler et al., A simulation of the temperature distribution in the SPIRAL target, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B140 (1998) 415.
- [Lie95] M. Lieuvain and the SPIRAL group, Status of SPIRAL, The Radioactive Beam Project at GANIL, Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Cyclotron and Their Applications, IEEE, Cap town, South Africa, edited by J.C. Cornell, p. 651 - 658, 1995.
- [Loi98] M. Loiselet, communication privée.
- [Loy95] F. Loyer et al., status report on the GANIL renovation program, Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Cyclotron and their Applications, IEEE, Cape Town, South Africa, 8-13 October, 1995, edited by J.C. Cornell, p.74 - 77.
- [LND] Nuclear Data Search, <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/>, Lund Nuclear Data www Service.
- [Mau98] L. Maunoury, Production de faisceau d'ions radioactifs multichargés pour SPIRAL : Etudes et réalisation du premier ensemble cible-source, thèse de l'Université de Caen, GANIL T 98 01.
- [Men99] : S. Ménard et al. , Fast neutron forward distributions from C, Be and U thick targets bombarded by deuterons, , Physical. Review Special Topics-accelerators and Beams 2, (1999) 033501.
- [Mir98] M. Mirea et al., Nuovo Cimento 111A, 267 (1998).
- [Mot95] T. Motobayashi et al., Large deformation of very neutron-rich nucleus <sup>32</sup>Mg from intermediate energy coulomb excitation, Physics Letters B346 (1995) 9 - 4.

- [NND] NNDC, <http://www.nndc.bnl.gov/>, National Nuclear Data Center Base.
- [Nie51] O. Kofoed-Hansen and K.O. Nielsen, Phys. Rev. 82 (1951); Kgl. Dan. Vidensk. Selsk. Mat. Fys. Medd. 26 (1951) No. 7.
- [Nol93] : J.A. Nolen (1993), Radioactive Nuclear beams, edited by D.J. Morrissey, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette.
- [Obj97] Manuel utilisateur, Objeectering 4, Softeam, version 4.2, 1997.
- [Pan99] V. Panteleev, communication privée.
- [Pau00] N. Pauwels et al., Experimental determination of neutron spectra produced by bombarding thick target : deuterons (100 MeV/u) on  $^9\text{Be}$ , deuterons on  $^{238}\text{U}$  and  $^{36}\text{Ar}$  (95 MeV/u) on  $^{12}\text{C}$ , NIMB 160 (2000) 315.
- [Put97] J. C. Putaux et al., Graphite target for the SPIRAL project, NIM B126 (1997) 113.
- [Rai93] B. Raine et al., the standard GANIL Data Acquisition System, Eighth Conference on Real-Time Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics, Vancouver, 1993.
- [Rav79] : H.L. Ravn, Experiments with intense secondary beams of radioactive, Phys. Rep. 54(1979) 203.
- [Rav94] : H.L. Ravn, status and future development of ion source for on-line mass separators, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B70 (1992) 107.
- [Rid98-a] D. Ridikas and W. Mittig, GANIL preprint P98-22 (1998).
- [Rid98-b] D. Ridikas and W. Mittig, in [SHE98] .
- [Rid99] D. Ridikas, communication privée (1999).
- [Rit94] D. M. Ritchie, Le langage C C ansi, édition Masson 1994.
- [Sai98] M-G Saint-Laurent et al., contrat européen ERB4062PL975009.
- [Sor94] P. Sortais et al., Recent progress in making highly charged ion beams, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference On the Physics of Highly Charged Ions, Vienna (Autriche) (1994).
- [Spi94] The SPIRAL Radioactive Ion Beam Facility, GANIL Report R 94 02 (1994).
- [Sri00] <http://www.research.ibm.com/ionbeams/SRIM/SRIMLEGL.HTM>.
- [Tan85] I. Tanihata et al., Measurements of interaction Cross sections and Nuclear Radii in the Light p-Shell Region, Phys. Rev. Lett. 55 (1985), 2676.
- [Tou78] F. Touchard et al., A Movable dynode electron multiplier for the detection of radioactive ions in an on-line mass spectrometre, Nucl. Instr. And Meth. 155 (1978) 449.

- [Trz98-a] W. H. Trzaska et al., *Nukleonika* 43, 291 (1998).
- [Trz98-b] W. H. Trzaska et al., invited lecture at the XXXIII gatchina Winter School in Nuclear and Particle Physics, Russia, 1998.
- [Trz99] W. H. Trzaska et al., Annual Conference of the finish Physical Society, Turku, Finland, in press.
- [Van92] P. Van Duppen et al., Ion sources : A review on extraction and ionization techniques, International Workshop on the Physics and Techniques of secondary Nuclear Beams, March 23 - 25, Dourdan, France, edited by J.f. Bruandet, Fernandez et M. Bex, Frontières, p. 289 - 307, 1992.
- [Ver97] J. Vervier et al., NUPPEC Report on Nuclear Physics in Europe : Highlights and Opportunities, 1997,  
[http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/nupecc/report97/report97\\_pre/report97\\_pre.html](http://www.e12.physik.tu-muenchen.de/nupecc/report97/report97_pre/report97_pre.html)
- [Vil97] A.C.C. Villari and the SPIRAL group, News from the SPIRAL project at GANIL, *Nuclear Physics A* 616 (1997) 21- 28.
- [Wil72] D. H. Wilkinson, Decay of  $^{28}\text{P}$ , *Phys. Rev.* C6 N5, (1972) 1664.
- [Wit98] G. Wittwer , rapport interne GANIL sur le SMC (SPIRAL Master Clock) (1998).