DEPOUILLEMENT INDRA

17 novembre 1997

1 Introduction

Ce rapport décrit succinctement les différentes étapes de la calibration (ou dépouillement) du multidétecteur Indra [1]. Cette tâche consiste à convertir les informations brutes enregistrées au cours des différentes expériences en données physiques exploitables ultérieurement par les programmes d'analyse: numéro atomique et nombre de masse des particules et fragments (étape d'identification) et énergies cinétiques (étape d'étalonnage). Ce document s'appuie sur l'expérience acquise au cours du dépouillement des deux premières campagnes Indra de 1993 et 1994.

Sauf précision contraire, l'ordre des rubriques correspond à un ordre chronologique. Un tableau récapitulatif est donné en annexe. Les méthodes utilisées avec succès dans les deux premières campagnes ont été conservées, d'autres ont été modifiées. L'identification et l'étalonnage sont traités de concert autant que possible. Un gain de temps passe par la superposition des données provenant de détecteurs identiques appartenant à une même couronne. Cette idée repose sur la symétrie axiale du détecteur et reste valable tant que le mode de déclenchement ne détruit pas cette symétrie.

Le présent rapport a été rédigé par Bernard Borderie (IPN Orsay), Abdou Chbihi (Ganil), Roland Dayras (DAPNIA), Olivier Lopez (LPC Caen), Marie-France Rivet (IPN Orsay) et Jean-Claude Steckmeyer (LPC Caen).

2 Le cahier de manip - Contrôle des détecteurs

Une des premières tâches est d'éplucher soigneusement le cahier de manip pour y relever tous les problèmes rencontrés en ligne. Plutôt que d'en faire un document particulier, il est préférable de l'inclure dans la base de données rassemblant toutes les informations relatives à un paramètre ou à un détecteur donné en fonction du numéro de run (voir paragraphe 3).

La base de données "cahier de manip" doit être accompagnée et complétée par un suivi de tous les détecteurs, c'est-à-dire par un contrôle de l'évolution, en fonction du numéro de run, des valeurs moyennes et des variances des spectres physiques. Pour la version standard du détecteur, cela concerne les spectres petit gain des ChIo et Si et les spectres du signal rapide des CsI. Les bornes inférieures sont fixées par la valeur « piedestal + X ». Cette procédure permet de répertorier les détecteurs qui ont mal fonctionné et qui n'ont pas été reportés dans le cahier de manip. Ces détecteurs seront séparés de ceux qui ont bien fonctionné et traités individuellement dans la mesure du possible.

Ce contrôle des spectres physiques est complété par un contrôle des générateurs électrique et laser qui ont été enregistrés tout au long des expériences.

A chaque nouvelle campagne d'expériences, doit être dressée une liste des nouveaux détecteurs (par rapport à la campagne précédente) et des nouveux modules électroniques.

Simultanément à ces deux tâches, peuvent être constituées les cartouches réduites qui rassemblent, sur des volumes dédiés, toutes les informations relatives à des événements regroupés par famille ou groupe de détecteurs tels que les détecteurs silicium d'étalonnage, les couples ChIo-Si, Si-CsI$_R$ ou CsI$_R$-CsI$_L$ de telle ou telle couronne et les détecteurs additionnels (exemple: les détecteurs Si-Fr de la 3^e campagne); pour constituer ces bandes on doit toujours faire figurer tous les paramètres relatifs au module Chio intervenant, sans oublier les marqueurs de temps. Ces cartouches réduites permettent des analyses plus rapides en bénéficiant de toute la statistique disponible et doivent être constituées de manière systématique.

Une solution idéale serait, dans un traitement unique, de:

- contrôler les événements générateurs,
- contrôler les spectres physiques,
- constituer toutes les bandes réduites.

3 Base de données

La base de données est propre à chaque campagne d'expériences. Elle est complétée au fur et à mesure de l'avancement du dépouillement. Toutes les informations relatives à une campagne d'expériences doivent y être consignées: informations provenant du cahier de manip, du contrôle des générateurs et des détecteurs, mais aussi informations provenant des calibrations en énergie (points de calibration et droites d'étalonnage) ainsi que des identifications (grilles, contours ou fonctionnelles).

Cette base de données est à développer en bénéficiant de l'assistance informatique du CC_IN2P3. L'accès à cette base doit être aussi aisé que possible. Il faut également réfléchir à sa portabilité vers d'autres sites (par exemple à Darmstadt pour la 4^e campagne).

4 Stabilité des chaînes électroniques

Le contrôle de la stabilité des chaînes électroniques passe par les deux étapes suivantes:

- Lecture des fichiers piédestaux, qui donnent des points de référence, et montrent l'amplitude des variations *à des instants donnés seulement.*
- Lecture de tous les runs, et constitution des fichiers dits « générateurs », pour le géné électrique et pour le laser. Ne pas oublier les siliciums étalons et les Pin-diodes.

Il a été observé au cours des campagnes 93 et 94 que les chaînes électroniques étaient stables, et que les variations de positions du générateur électrique reflétaient les variations de piedestal des codeurs VXI; cela est aisé à vérifier, car dans ce cas les 32 voies du codeur varient simultanément et de la même valeur.

Pour les futures campagnes, le même travail doit être fait pour les détecteurs additionnels (exemple: les détecteurs Si-Fr de la 3^e campagne).

5 Étalonnage Chio et Si

L'étalonnage en énergie ...

- Lecture des runs automates, et extraction de la relation canal-Volts pour *tous* les Siliciums et les Chio's. Ne pas oublier que les génés n^o 5 et 6 pour les Si 300 μm ont un offset dont il faut tenir compte (correction du coefficient d'ordre 0, et du canal zéro). Rechercher un éventuel offset pour les génés liés aux chios; il serait très perturbant à cause des forts gains des préamplis Chio.

- Compte-tenu de la bonne reproductibilité 1993-1994, les coefficients MeV/Volt et les défauts d'ionisations [2] seront supposés connus (sauf pour les nouveaux détecteurs), pour *tous* les Siliciums .

L'étalonnage en énergie repose sur différentes mesures:

- Source de thoron: recherche des pics α pour les Chios, *tous* les Siliciums et les CsI (si possible).

- runs CSS1 de basse énergie (pour les expériences réalisées au GANIL): recherche des pics de diffusion élastique pour les Chio's, les Si 300 μm et les Si 80 μm

- runs Bρ: recherche des pics de diffusion élastique et inélastique de particules légères dans les CsI (2-17), les Si 300 μm et les siliciums étalons . Ces points sont les seuls utiles pour l'étalonnage des Si(Li).

5.1 Etalonnage Si

Pour ces trois dernières séries de runs et pour *tous* les Siliciums nous proposons d'appliquer l'étalonnage décrit ci-dessus aux pics ainsi déterminés, et de vérifier que l'on retrouve bien l'énergie théorique, à 5% près. A ce stade on doit ainsi avoir l'étalonnage des Si 300 μm et des siliciums étalons en MeV.

Rappelons que les défauts d'ionisation doivent être déterminés pour les nouveaux détecteurs. Il en est de même en ce qui concerne les coefficients MeV/volts lorsque les préamplis ont été changés.

5.2 Etalonnage ChIo

En raison des instabilités de collection observées sur certains modules, on est amené à recaler les spectres ChIo (voir paragraphe 6.1) pour réaliser les identifications dans les cartes ChIo-Si et ChIo-CsI_R. L'étalonnage pourrait être fait de la façon suivante:

- étalonner une ChIo de référence dans chaque double couronne en suivant la procédure décrite ci-dessus,
- et déduire à partir de cette Chio de référence et des spectres recalés, l'étalonnage des autres modules ChIo de la double couronne considérée.

6 Identifications

Certaines identifications semblent pouvoir être faites de manière indépendante, pour d'autres il faut respecter un ordre chronologique. Dans tous les cas, tout détecteur posant problème doit être signalé dans la base de données par un commentaire.

6.1 Identification Chio-Si, couronnes 2-9

Les défauts de collection étant propres à chaque Si, la réponse à un ion d'énergie donnée varie d'un détecteur à un autre, on ne peut donc pas envisager la constitution d'une carte unique ChIo-Si par couronne, obtenue en superposant les cartes individuelles par application de la procédure de recalage des spectres Si.

Pour une couronne donnée, la méthode consiste donc à obtenir une carte unique en superposant les cartes individuelles ChIo(canaux recalés)-Si(MeV α). A cet effet les spectres bruts des ChIo d'une même couronne (avec correction de la variation du piedestal) sont recalés sur une cellule ChIo de référence. Les signaux Si utilisés sont ceux issus de la calibration en énergie (voir paragraphe 5.1). Notons que le fait d'être en MeV élimine le double tracé petit gain-grand gain pour les Si. Quant aux signaux ChIo, les canaux grand gain seront convertis en canaux petit gain en utilisant le rapport des gains.

Ensuite sont tracés deux jeux de grilles théoriques Chio-Si (pour les deux pressions de gaz, 30 et 50 mbars), en MeV. Ces grilles sont ajustées sur chaque système (méthode IPNO) ; ceci doit permettre une extrapolation correcte au-delà de Z$\sim$20. Le nombre de grilles théoriques devra peut-être être augmenté si l'on doit tenir compte du défaut d'ionisation, et donc des 9 groupes de Si obtenus pour cette variable.

Cette procédure ne s'applique que pour un système et une énergie donnés: il a toujours été constaté que le comportement des Chios était fonction du système et de l'énergie incidente.

6.2 Identification Si-CsI

La réponse d'un scintillateur à un ion dépend de la nature de cet ion. Une atténuation de la lumière est observée, qui croît avec la charge atomique. On ne peut donc pas appliquer une procédure de recalage globale sur les signaux CsI si l'on veut utiliser ces spectres à des fins de calibration en énergie. Dans ce cas, le recalage ne peut être appliqué que sur des spectres individuels par numéro atomique. De plus les détecteurs Si 300 μm ne possèdent pas exactement la même épaisseur.

L'identification des particules et fragments se fera à partir des cartes Si(MeV α)-h, où h est la lumière totale recalculée (voir paragraphe 7). Ces cartes seraient aussi utilisées pour l'étalonnage en énergie. Deux cartes doivent être constituées par couronne, une carte avec le signal Si_{PG} et une avec le signal Si_{GG}. Ne sont traités dans les cartes Si_{GG}-CsI que les fragments dont la perte d'énergie dans le Si est inférieure à la gamme en énergie du grand gain (lignes de Z entièrement contenues dans la carte Si_{GG}-CsI) de façon à éviter les problèmes de discontinuité lorsque l'on passe du grand gain au petit gain.

L'identification isotopique des particules légères peut être réalisée en même temps, à faibles énergies CsI, tant que le ΔE du Si_{GG} le permet. Au-delà il faut utiliser les cartes CsI_R-CsI_L. (voir paragraphe 6.3).

6.3 Identification CsI couronnes 2-9

Une première opération consiste à tracer sur les cartes CsI_R-CsI_L les lignes séparatrices permettant d'isoler les γ des particules. La suppression des γ lors du tracé des cartes Si=f(CsI_R) ou k*Si+CsI_R= f(CsI_L) permet d'éliminer une bonne partie du "bruit" et donc de mieux tracer la ligne protons.

L'identification en 93 et 94 a reposé sur la constitution de cartes k*Si+CsI_R= f(CsI_L) [3]. Cette représentation autorise la séparation isotopique des particules légères sur toute la gamme en énergie du CsI: à basse énergie CsI, grâce au signal Si, et à haute énergie CsI, grâce au CsI lui-même.

Ces cartes, constituées détecteur par détecteur, sont traitées à l'aide d'une procédure automatique à l'issue de laquelle chaque famille d'isotopes prépondérante (p,d,t,α) est associée à une ligne. L'identification des particules s'effectue à l'aide d'un critère de proximité vis-à-vis des lignes définies précédemment. Les informations (charges et masses) ainsi extraites sont ensuite comparées avec les informations en provenance des CsI, sans que soient tracées les cartes CsI_R-CsI_L. Cette comparaison est nécessaire de façon à contrôler la cohérence de l'identification.

Une alternative à cette procédure consiste à identifier les particules légères aussi bas que possible en énergie dans les cartes CsI_R-CsI_L; lorsqu'il n'est plus possible d'obtenir la masse de manière non ambiguë on utilise les cartes Si-CsI_R. Cette façon de procéder permet d'harmoniser l'identification des particules dans les couronnes 2-9 et dans les couronnes 10-17.

6.3.1 Le problème des neutrons

Nous voudrions trouver une méthode évitant de tracer des lignes pour séparer les particules primaires des secondaires, et peut-être plus objective. Voici une idée à examiner. Il faudrait d'abord sortir les pics de « bruit » (à l'aide des γ par exemple) des Si 300 μm et relever dans un fichier leur position et largeur (en MeV) pour chaque détecteur. (stabilité de la largeur? pour la position tenir compte des variations de piedestal).

Connaissant la nature et l'énergie des particules dans le CsI, on calcule leur perte d'énergie théorique dans le Si 300 μm . Si cette valeur doit tomber dans le pic de bruit, alors on garde la particule comme primaire, car on ne sait pas séparer particules primaires et secondaires dans ce cas. Sinon on compare la valeur calculée à la valeur mesurée. Si la mesure est dans le bruit, on déclare la particule comme secondaire (neutron) - Voir pour les Heliums si il y a réellement une production par réaction n.He, en comparant les taux obtenus en 93 avec le pourcentage de la surface de la zone morte des Si 300 μm - Si la mesure est correcte, alors la particule est primaire. En toute rigueur, l'étiquette "neutron" donnée à une particule devrait résulter de l'étape de cohérence et ne pas faire l'objet d'un traitement particulier.

Vérifier la cohérence du nombre de particules labellées neutrons d'une couronne à l'autre.

6.4 Identification CsI couronnes 10-17

Le tracé des grilles d'identification des CsI des couronnes arrières est l'une des tâches qui peut se faire de manière indépendante. La méthode utilisée est le tracé semi-automatique, avec visualisation et correction en ligne. Il a été observé qu'il faut une très forte statistique pour tracer correctement ces grilles, notamment pour séparer protons et γ à haute énergie sur les couronnes les plus arrières.

Au vu des doubles lignes γ observées sur un bon nombre de cristaux, il faut choisir s'il vaut mieux tracer la ligne de crête γ comme en 1994, qui a l'avantage de rentrer dans la série des tracés semi-automatiques, ou une séparatrice comme en 1993, qui est alors entièrement tracée manuellement. Le problème pourrait aussi être posé pour les couronnes avant, quoiqu'atténué par la présence des siliciums.

6.5 Identification Chio-CsI

Cette partie du dépouillement est la plus pénible, et le traitement réalisé jusqu'ici est le moins satisfaisant. Un des problèmes est le fonctionnement aléatoire des chambres hémisphériques, et surtout de la 13-17, qui rend difficile le tracé de grilles avec une statistique suffisante. La méthode consistant à ajuster par recalage les spectres ChIo pour un module donné et pour tous les runs exploitables paraît être la plus efficace. A cette fin toute la statistique doit être utilisée.

L'autre problème vient de la non-linéarité des CsI, qui rend douteuses les extrapolations pour identifier des noyaux au-delà des lignes tracées.

7 Etalonnage CsI

Dans les deux premières campagnes, l'étalonnage en énergie des CsI des couronnes 2-9, pour les fragments, reposait sur l'étalonnage en énergie des détecteurs Si 300 μm. Connaissant la perte d'énergie du fragment dans le silicium, son numéro atomique et son nombre de masse, les tables de parcours permettent de déterminer l'énergie résiduelle laissée dans le CsI. Cette méthode est imprécise pour les fragments légers de grande énergie en raison de la petite quantité d'énergie déposée dans le silicium et de la faible statistique associée à ces fragments. Quant aux particules légères, leur étalonnage repose sur la mesure de la diffusion élastique et inélastique à diverses énergies incidentes (rigidités magnétiques) [5].

L'étalonnage des couronnes 10-17 est réalisé grace à la présence de télescopes de détecteurs silicium dédiés. Un détecteur par couronne est calibré selon la méthode décrite ci-dessus. Les autres détecteurs sont recalés sur ce détecteur de référence grâce à l'existence d'une relation lumière-énergie dépendant de la nature de la particule. Le spectre de lumière pour un type de particule est déduit des signaux physiques CsI_R et CsI_L [4].

Nous étions partis en 1993 avec l'idée que nous n'aurions que des noyaux légers ($Z \leq 15$) à identifier et étalonner dans ces couronnes. Il s'est avéré que pour les systèmes lourds et les faibles énergie incidentes, des noyaux beaucoup plus lourds doivent être traités. La formulation actuelle ne permet pas une extrapolation aux Z plus élevés. Il faut trouver une relation lumière-énergie vraiment valable sur toute la gamme de Z et de E. On pourrait alors, à l'aide des étalonnages et des lignes déjà tracées constituer des cartes théoriques qui permettraient d'extrapoler correctement les identifications pour les grands Z. Cela demande un travail assez important. Cette méthode pourrait être appliquée aussi bien aux couronnes 2-9 qu'aux couronnes 10-17.

Remarque:

Les bandes 93 montrent que malgré les traitements spéciaux, des Li et Be spurieux, de très grande énergie, sont observés sur toutes les couronnes avant (2-9), pour les systèmes lourds au moins. Il se peut cependant que ce soit un problème d'identification et non d'étalonnage.

Sur ces mêmes bandes la relation E(R) étudiée Z à Z pour un module montre encore des discontinuités pour les Z entre 11 et 17. Il faut vérifier si cela se produit au passage PG-GG pour l'étalonnage du Si, et si oui il vaudrait mieux n'utiliser qu'un gain par Z pour le calcul de l'énergie Si.

7.1 Télescopes étalons et étalonnage CsI arrière

Ne pas oublier qu'il faut tracer des grilles d'identification pour les 8 télescopes étalons dans 8 plans

Chio -Si 80μm : PG-PG (SiLi absent)

Si 80μm-SiLi : GG-GG, GG-PG, PG-PG (CsI absent)

SiLi-R : GG-R et PG-R

et pour la cohérence Chio -Si 80μm : PG-PG (SiLi touché) et Si 80μm-SiLi : PG-PG (CsI touché).

On pourrait éventuellement faire cela directement en MeV pour les cartes n'impliquant pas le CsI.

Pour l'étalonnage des CsI voir le document de l'IPN, et réfléchir à la modification proposée au paragraphe 6.5.

8 Vérifications finales

Au cours des analyses physiques de la première campagne, ont surgi un certain nombre de problèmes qui ne nous étaient pas apparus d'emblée au cours des vérifications faites après constitution des bandes DST. Il est clair que l'on ne peut penser à tout au départ, et il y a des erreurs dans les programmes que l'on découvre longtemps après. Cependant l'un des points négligés semble être d'examiner l'évolution d'un certain nombre de spectres ou distributions sur *l'ensemble du détecteur*, à cause de la rupture complète de traitement quand on passe de la couronne 9 à la 10. Il faut donc envisager une série de contrôles systématiques s'appuyant sur tous les problèmes constatés jusqu'à présent.

Références

[1] J. Pouthas *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. **A357** (1995) 418 et **A369** (1996) 222

[2] A. Ouatizerga, Thèse, Orsay, IPNO-T-95-05

[3] P. Benlliure *et al.*, rapport GANIL R 92-12.

[4] M.F. Rivet *et al.*, Etalonnage des CsI des couronnes 10-17 d'Indra à l'aide des télescopes étalons, 1996.

[5] N. Marie, Thèse, GANIL T 95-04

Chronogramme d'un dépouillement
(Indra version standard)

Lecture des données brutes
- événements générateurs $(<X>,\sigma)$
- spectres physiques $(<X>, \sigma)$
- constitution des cartouches réduites

Lecture des runs automates:
passage des canaux aux volts

Lecture des runs piedestaux pour
la stabilité de l'électronique

Recherche des pics α Recherche des pics de diffusion CSS1	Identification des cartes CsI_R-CsI_L (séparatrice γ - identification des LCP - séparatrice fragments)
Etalonnage des Si 300 μm et Si 80 μm Défauts d'ionisation (nouv. détecteurs) Recherche des pics B_ρ des LCP dans les CsI et Si	Identification des détecteurs étalons Superposition des spectres ChIo(cx) et h (lumière)
Etalonnage ChIo Recherche des pics B_ρ des LCP dans les détecteurs étalons	Identification C2-9: cartes ChIo(cx recalés) - Si(MeV α) cartes Si(MeV α) - h (lumière)
Etalonnage des Si(Li)	Identification C10-17: ChIo(cx recalés) - h (lumière)
Etalonnage des CsI C2-9 et C10-17 (procédure commune?)	

Contrôles systématiques