



3.5. RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT POUR EXOGAM ; UN FUTUR MULTIDECTEUR γ AUPRÈS DE SPIRAL.

J. DUPRAT, F. AZAIEZ, S. BOUNEAU, C. BOURGEOIS, J. POUTHAS, A. RICHARD, M. STANOIU, M-G. PORQUET^a et la collaboration EXOGAM (^a : CSNSM-IN2P3).

Research and development for EXOGAM ; a future γ multidetector for SPIRAL

We have carried out numerical simulation using GEANT code (CERN) in order to define the design of EXOGAM, a future γ -spectrometer for SPIRAL. The effective photopic efficiency dependence with both the γ energy and multiplicity has been simulated. A choice on the clover segmentation orientation is proposed. Finally research and development is carried out to study the possibility to localise the radial position of the γ -impact in the crystal using pulse-shape analysis.

L'étude de la structure nucléaire auprès du futur accélérateur de faisceaux radioactifs SPIRAL nécessitera l'utilisation d'un multidétecteur γ . EXOGAM est un projet européen de spectromètre- γ spécialement conçu à cet effet. Ce nouveau projet obéit à des contraintes tout à fait spécifiques aux futurs faisceaux radioactifs. L'intensité de ces faisceaux, de plusieurs ordres de grandeurs inférieur à celle des faisceaux stables, impose de maximiser autant que possible l'efficacité photopic de ce spectromètre. Constitué de 16 détecteurs Germanium de type « Clovers », disposés de façon compacte à 11 cm de la cible, dans sa phase finale, EXOGAM atteint une efficacité photopic totale de l'ordre de 20 % pour un rayonnement- γ de 1.33 MeV. Une seconde contrainte est liée aux types variés d'expériences prévues avec les faisceaux SPIRAL : basse et haute multiplicité- γ , forte vitesse de recul du noyau émetteur... Afin de réaliser la meilleure correction Doppler possible, chacun des 4 cristaux d'un Clover sera segmenté électroniquement en 4 parties, ce qui permettra une meilleure détermination de l'angle d'émission du rayonnement- γ (Figure 1). Chacun des détecteurs Clover sera entouré d'une ceinture « Anti-Compton » qui permet de rejeter en ligne une grande partie des événements où le rayonnement- γ n'a pas déposé toute son énergie dans le cristal de Germanium. Cette technique permet d'améliorer d'un facteur 2 le rapport pic-sur-total d'un détecteur individuel. Enfin, EXOGAM a été conçu pour pouvoir être couplé à d'autres dispositifs expérimentaux (détecteur de particules chargées, spectromètre VAMOS, ...).

Une phase initiale d'EXOGAM constitué de 4 détecteurs Clovers (γ -Ring) est prévue pour mi-1999 ; le but étant d'achever EXOGAM pour fin 2001. Au sein d'une large collaboration internationale, notre laboratoire a participé à l'élaboration du projet à travers la réalisation de simulations des détecteurs et la définition de l'électronique associée. Cette électronique sera développée dans le standard VXI (déjà utilisé pour EUROGAM/EUROBALL). Plus particulièrement, l'IPN devrait avoir la responsabilité, en collaboration avec le CSNSM, de la réalisation des cartes VXI des détecteurs Germanium segmentés. Plusieurs réunions du groupe « EXOGAM-design » ont eu lieu en 1996 et 1997. Nous y avons présenté le travail de Recherche et Développement pour lequel nous avons effectué de nombreuses simulations numériques du futur multidétecteur à l'aide du code GEANT (CERN). Les résultats résumés dans ce rapport concernent : i) la simulation de l'efficacité photopic effective d'EXOGAM, ii) l'orientation optimale de la segmentation par rapport à l'axe du faisceau et concernant la localisation du point d'impact du γ dans le cristal, iii) les problèmes liés aux interactions multiples et IV) l'indétermination sur la profondeur de celles-ci.

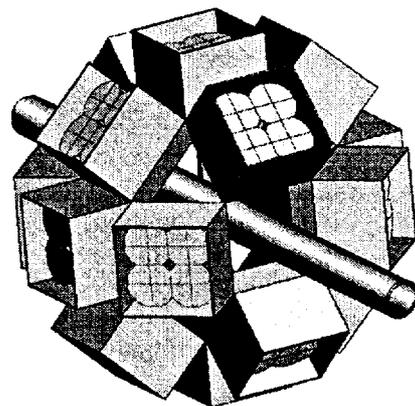


Figure 1 : EXOGAM, 16 détecteurs de type clover segmentés

Etude de l'efficacité photopic effective d'EXOAM.

Un multidétecteur γ est principalement caractérisé par son l'efficacité photopic effective. Cette quantité représente la probabilité de mesurer l'énergie totale d'un γ lors d'un événement de multiplicité¹ M . Le Clover segmenté est subdivisé en 16 segments afin d'obtenir la meilleure localisation de l'angle d'émission du γ (voir section suivante). Du point de vue de l'efficacité photopic, on est alors confronté au problème suivant : supposons, à l'intérieur d'un même détecteur clover, que deux segments soient touchés, il y a deux possibilités ; soit il s'agit d'une diffusion Compton d'un seul γ d'un segment vers l'autre, auquel cas il faut sommer² les énergies déposées dans chacun des deux segments pour mesurer l'énergie totale ; soit ce sont deux γ distincts qui ont pénétré le même clover³, auquel cas en sommant leurs énergies on dégrade l'efficacité photopic et il est préférable de considérer chacun des deux segments comme un détecteur individuel. On comprend que, pour une multiplicité donnée, plus l'énergie du γ est élevée, plus on a intérêt à sommer le maximum de segments du clover car le γ va faire de nombreuses diffusions avant de perdre toute son énergie. Inversement, pour une énergie E_γ donnée, plus la multiplicité est grande, plus le fait de sommer de nombreux segments dégrade l'efficacité photopic. Nous avons effectué des simulations numériques afin d'optimiser la réponse du détecteur en fonction des conditions de chaque expérience (E_γ et M). Quatre modes différents de « add-back » ont été étudiés (Figure 4) : i) le mode Clover où l'on somme les énergies déposées dans les 16 segments (le clover est alors considéré comme un seul détecteur), ii) le mode Cristal où l'on somme entre elles les énergies des 4 segments de chaque cristal du clover (le clover est alors considéré comme 4 cristaux indépendants), iii et iv) enfin les deux modes intermédiaires NNB4 et NNB9 où les 16 signaux issus des segments sont couplés en 4 ou 9 sorties « basse résolution » (Figure 2).

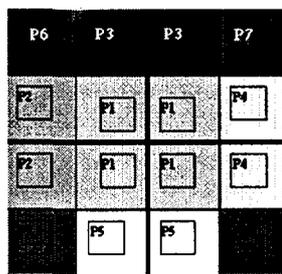
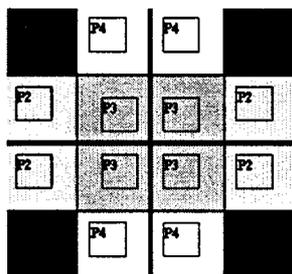


Figure 2 : Deux types de couplage des sorties « basse résolution » des 16 segments du clover ; 4 sorties (gauche), 9 sorties (droite). La segmentation a un plan parallèle à l'axe du faisceau.

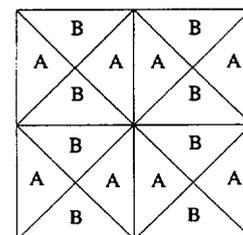


Figure 3 : Orientation de la segmentation des cristaux inclinée à 45° de l'axe du faisceau.

Pour ces deux derniers modes, on ne somme les énergies de deux segments que si ils sont adjacents. Pour $E_\gamma \approx 0.6$ MeV il existe une plage en multiplicité (entre 2 et 10) où le mode NNB9 délivre la réponse optimale (pour $M > 11$, c'est le mode cristal). Pour $E_\gamma \approx 1.3$ MeV, le mode NNB9 reste la meilleure façon d'utiliser le détecteur. Enfin pour $E_\gamma \approx 5$ MeV et $M < 3$, c'est le mode Clover qui est le plus performant, puis le mode NNB9 prend le relais (Figure 4). Le but de ces simulations était double : d'une part, vérifier que, malgré le fait que EXOGAM soit très compact, les innovations techniques⁴ permettent d'extraire le maximum d'informations des signaux ; d'autre part, elles fournissent aux futurs utilisateurs d'EXOAM des indications pour une utilisation optimale des données suivant les conditions expérimentales.

¹ où M γ sont émis simultanément.

² c'est le mode « add-back »

³ c'est un phénomène d'empilement

⁴ ici, la segmentation électronique des cristaux

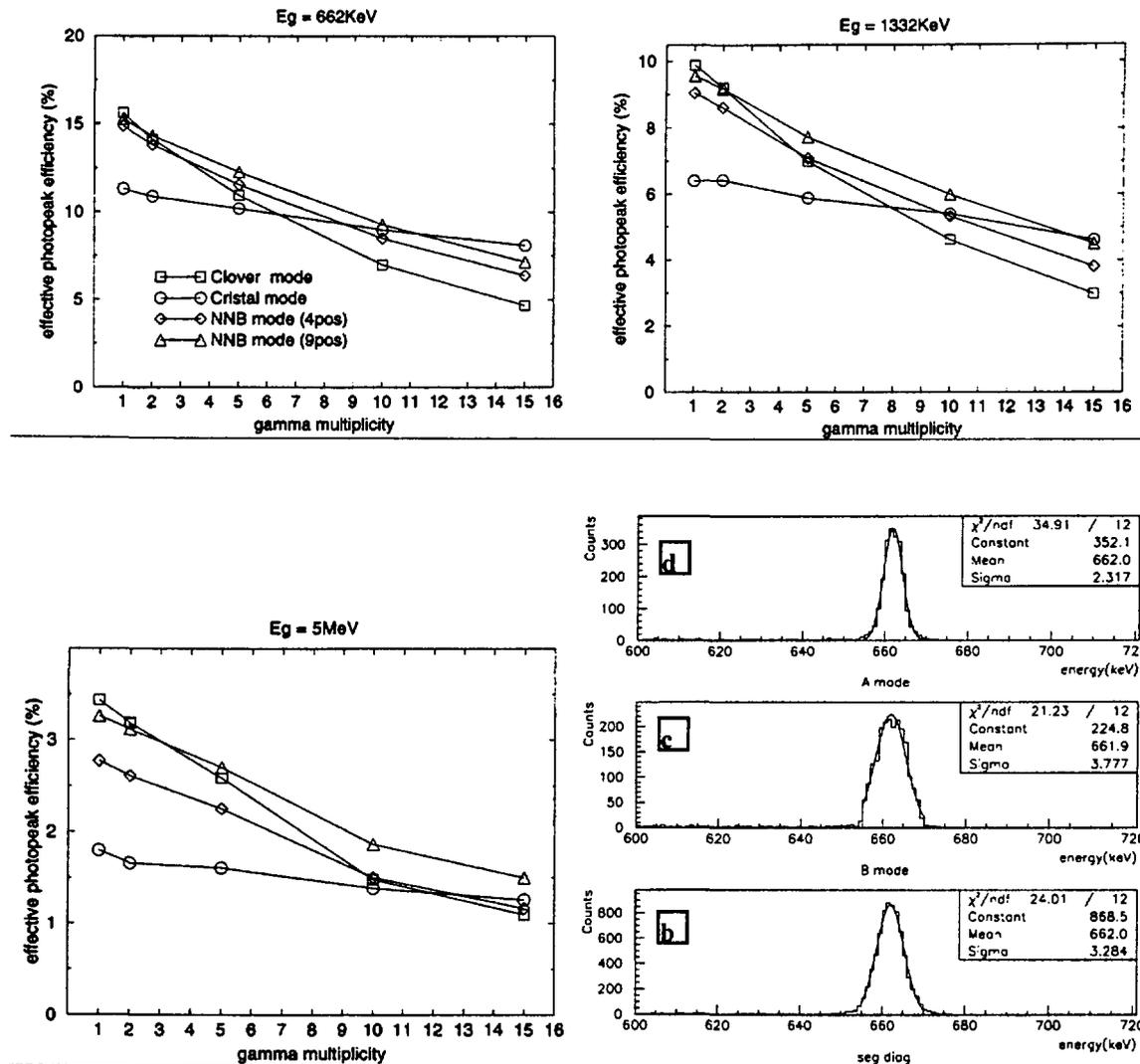


Figure 4 (gauche) : Evolution de l'efficacité photopic effective en fonction de la multiplicité M pour différentes énergies $E_\gamma = 0.662, 1.332$ et 5MeV (simulation effectuée pour la configuration γ -Ring)

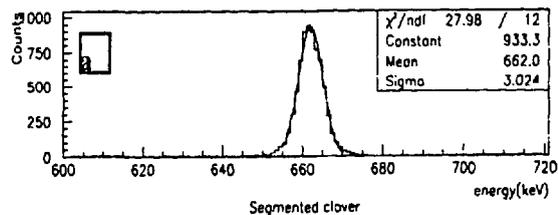


Figure 5 (haut) : Résultats des simulations, pour $E_\gamma = 662\text{ keV}$, pour la segmentation parallèle (a), pour la segmentation diagonale (b), pour la contribution des segments de type B et A (c et d).

Etude de l'orientation optimale de la segmentation

Deux types d'orientation de la segmentation des cristaux par rapport à l'axe du faisceau ont été étudiés (voir Figure 2 et Figure 3). On note que l'élargissement Doppler obtenu avec la segmentation diagonale (Figure 5b) est supérieur d'environ 8 % à celui obtenu avec une segmentation parallèle (Figure 5a). Ceci vient du fait que l'ouverture angulaire des segments de type B est quasiment équivalente à celle du cristal lui-même, leur contribution au pic photoélectrique est donc très dégradée (Figure 5c). La segmentation parallèle a donc été retenue.

Etude de la localisation du point d'impact

La forme du signal de sortie d'un cristal de Germanium coaxial dépend de nombreux paramètres, dont la distance entre l'anode centrale et le dépôt d'énergie ainsi que du nombre d'interactions qu'il y a eu dans le cristal. L'idée est d'extraire une information sur le rayon du point d'impact du γ dans le cristal à partir du signal de sortie. Le problème principal de ce type d'analyse concerne les interactions multiples. A l'aide d'un oscilloscope numérique (TDS 544A), nous avons numérisé les impulsions de différents types de signaux correspondant à une ou plusieurs interactions (Figure 6). Nous avons alors réalisé une simulation numérique afin de connaître, statistiquement, la distribution de la différence de rayon ΔR entre la 1^{ère} interaction et celle correspondant au dépôt maximum d'énergie (Figure 7).

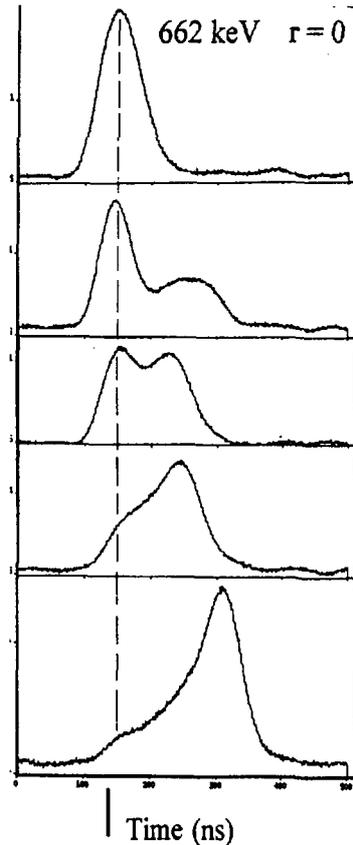


Figure 6 (gauche) : Différents types de signaux obtenus pour la raie à 662 keV (^{137}Ce) avec un cristal de Germanium ($\varnothing=50\text{mm}$) collimaté de façon à ce que le γ pénètre en son centre ($r=0$). Le pic unique de la courbe du haut correspond à un effet photopic unique à $r=0$, les signaux suivants à des événements où le γ a effectué plusieurs interactions dans le cristal (la position du maximum dépend du rayon où le γ a déposé le maximum de son énergie).

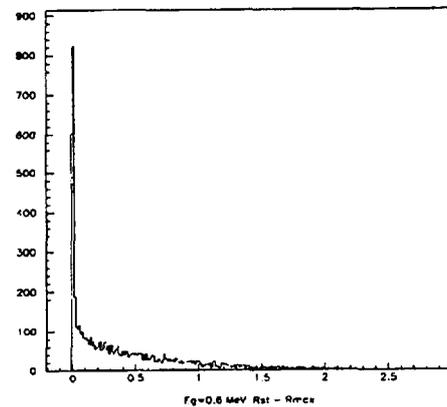


Figure 7 (haut) : Simulation numérique, pour $E_\gamma=662\text{keV}$ de la différence de rayon ΔR entre la 1^{ère} interaction et celle où est déposée le maximum d'énergie.

On remarque qu'il existe une proportion non négligeable d'événements où ces deux rayons diffèrent ($\Delta R >$ qqes mm). On comprend que ceci est très pénalisant dans la mesure où l'information nécessaire à la correction Doppler est délivrée par le rayon de la 1^{ère} interaction. Cela impose pour l'avenir de mettre au point un algorithme performant afin de reconnaître, à partir de la forme du signal, le rayon de la 1^{ère} interaction. Une seconde question à laquelle nous nous sommes attaché à répondre concerne la profondeur à laquelle a lieu la 1^{ère} interaction. Grâce à la segmentation du cristal et l'analyse de la forme du signal il est possible d'obtenir des informations sur la position radiale du point d'impact. En revanche, sa profondeur reste inconnue. Ceci pouvant avoir une conséquence directe sur la détermination de l'angle d'émission du γ , nous avons effectué des simulations numériques afin de savoir s'il est nécessaire d'envisager aussi une segmentation longitudinale des cristaux. On note qu'il existe clairement une valeur optimale¹ pour la correction Doppler ($\langle z \rangle \approx 1\text{cm}$) (Figure 6). En choisissant cette valeur fixe pour le calcul de l'angle d'émission du γ (Figure 9a), on obtient un résultat tout à fait comparable² à celui obtenu avec une connaissance parfaite de la profondeur de l'interaction (Figure 9b). Ceci nous indique que,

¹ cette valeur est directement reliée au libre parcours moyen d'un γ dans le cristal

² les deux largeurs à mi-hauteur sont équivalentes ($\approx 8\text{keV}$)

pour l'avenir, les efforts doivent être concentrés sur une meilleure détermination de la position radiale de l'impact et non pas sur une segmentation longitudinale des cristaux.

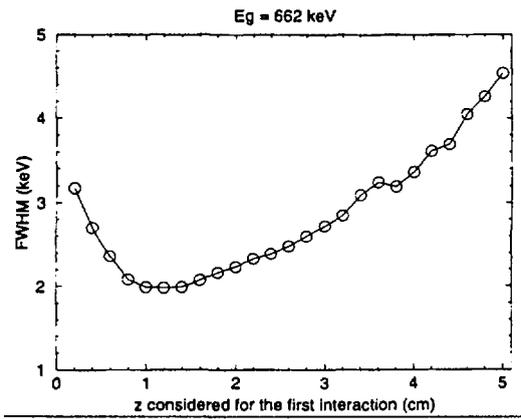


Figure 8 : Simulation numérique de l'évolution de la largeur à mi-hauteur du photopic en fonction de la profondeur d'interaction choisie. Nous avons supposé être en mesure de connaître parfaitement la position en X et Y de la 1^{ère} interaction.

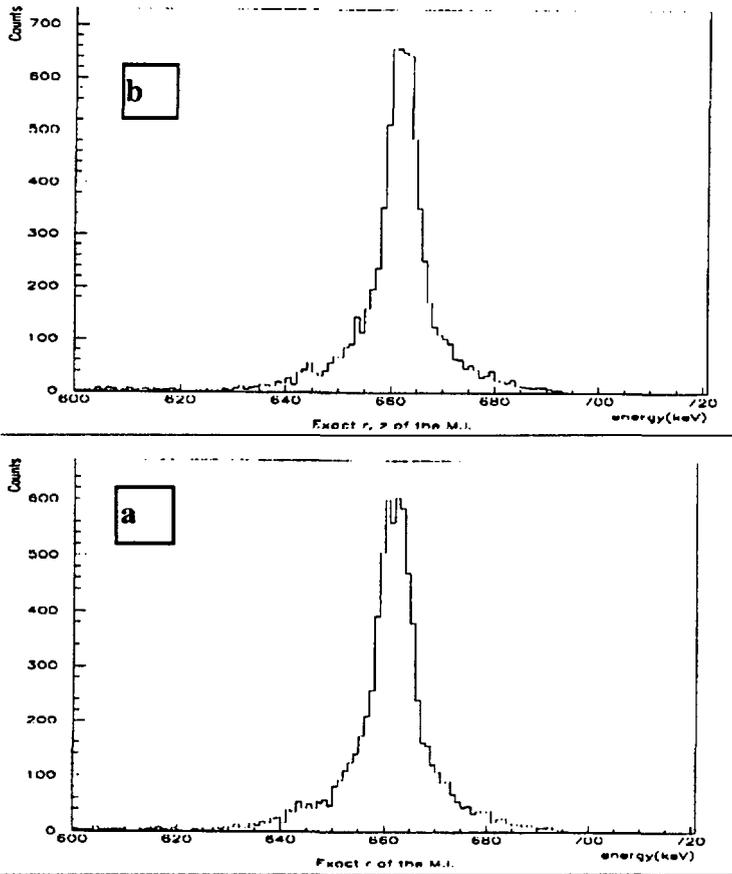


Figure 9 : Simulation numérique de la correction Doppler obtenue, (a) en connaissant le rayon de l'interaction et en prenant une profondeur fixe ($z=1\text{cm}$); (b) en connaissant le rayon et la profondeur de l'interaction.