

Zeitschrift:	Helvetica Physica Acta
Band:	49 (1976)
Heft:	4
Artikel:	Dispositif pour la mesure de réactions (n, γ) à l'aide d'un spectromètre à cristal incurvé
Autor:	Raemy, A. / Beer, W. / Dousse, J.-Cl.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-114787

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dispositif Pour la Mesure de Réactions (n, γ) à l'Aide d'un Spectromètre à Cristal Incurvé¹⁾

par A. Raemy, W. Beer, J.-Cl. Dousse, R. Eichler²⁾ J. Kern, Th. von Ledebur²⁾ et
W. Schwitz

Institut de Physique, Université, 1700 Fribourg, Suisse

(3. III. 1976)

Abstract. A thermal neutron capture facility at the reactor SAPHIR in Würenlingen is described. The gamma spectrum is observed with the Fribourg curved crystal spectrometer. The target is placed in the through-tube. Provision is made for its precise orientation by outside controls. Its drift is continuously observed with an auxiliary device. The whole system is computer controlled. The methods used for the data acquisition and handling are presented. The performance of the facility is illustrated by a study of the ^{191}Ir and $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)$ reactions.

1. Introduction

En spectroscopie nucléaire, les détecteurs les plus généralement employés pour observer des rayonnements γ sont les diodes semi-conductrices, parfois utilisées dans des spectromètres à paires ou anti-Compton, et les scintillateurs NaI(Tl). Si la densité des lignes est très grande, à basse énergie, on a recours aux spectromètres à cristal qui, en dessous de 600 keV, sont supérieurs aux diodes tant au point de vue de la résolution que de la précision en énergie. Des spectromètres à cristal sont utilisés en spectroscopie (n, γ) dans plusieurs laboratoires, par exemple à Risø [1], Argonne [2] ou Grenoble [3].

A Fribourg, un tel spectromètre a été construit en vue d'expériences sur des atomes mésiques au SIN, Villigen/CH. Avant d'être employé à cette fin, il a été utilisé pour des mesures (n, γ) au réacteur SAPHIR à Würenlingen/CH, expériences qui sont décrites dans ce travail.

Les buts de ces expériences étaient multiples: du point de vue spectroscopique d'une part, l'investigation des réactions $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}\text{Ir}$ et $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)^{194}\text{Ir}$ avec un spectromètre de haute résolution apporte une contribution importante à l'étude des noyaux finals ^{192}Ir et ^{194}Ir entreprise par plusieurs groupes qui utilisent des méthodes et des appareils différents; d'autre part, un certain nombre de techniques utiles pour l'emploi futur du spectromètre ont pu être mises au point: système de mesure asservi à un ordinateur, maîtrise des problèmes liés aux déplacements de la cible, etc. Il était enfin intéressant de déterminer dans quelle mesure un réacteur du type piscine, en l'occurrence le réacteur SAPHIR, se prêtait à ce genre d'expériences.

Les problèmes particuliers à résoudre étaient ceux de la cible, de son alignement à distance, de son environnement et de la collimation, questions qui sont traitées

¹⁾ Ce travail a bénéficié de l'aide financière du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique.

²⁾ Du Laboratoire pour la Physique des Hautes Energies de l'EPF, Zurich.

aux paragraphes 2.1, 2.2 et 2.3. La précision en énergie s'obtient principalement par l'exactitude de la mesure angulaire (cf. 2.1) qui implique le contrôle et la correction de la dérive de la cible (cf. 2.4). Le système d'acquisition des données doit permettre d'obtenir immédiatement les informations nécessaires au contrôle du déroulement de l'expérience et de conserver toute l'information indispensable à un traitement ultérieur. L'électronique, le système de contrôle du spectromètre et d'acquisition des données sont décrits au paragraphe 3.1. La méthode de mesure et celle de dépouillement des résultats sont discutées aux paragraphes 3.2 et 3.3. Quelques résultats sur les réactions $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$ et $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)$ sont présentés au paragraphe 4.2; ils illustrent la qualité des mesures.

2. Dispositif Expérimental

2.1. *Le spectromètre à cristal incurvé*

Le spectromètre à cristal incurvé permet de relever le spectre d'énergie d'une source émettrice de rayons γ , en l'occurrence la cible d'iridium placée dans le réacteur, en transformant cette mesure d'énergie en une mesure d'angle par l'utilisation de la loi de Bragg.

Le spectromètre à cristal incurvé de Fribourg est du type DuMond [4]. Il a été décrit précédemment [5]. La rotation du cristal peut être effectuée par pas de 0,3 sec. d'arc. Pour la mesure de l'angle de Bragg, nous disposons d'un système de comptage du nombre de pas effectués et, en plus, d'un interféromètre à laser [6]. La précision de ce dernier est de l'ordre du centième de seconde d'arc dans un domaine de ± 10 degrés.

Comme cristal, nous avons utilisé une lame de quartz de dimension $100 \times 100 \times 3,5$ mm³, taillée de façon à utiliser les plans de diffraction (110); la fenêtre utile du bloc de courbure a une largeur de 50 mm et une hauteur de 25 mm. Le détecteur est un scintillateur NaI(Tl) de $7,5 \times 7,5$ cm². Le collimateur de plomb à fentes parallèles qui sépare le cristal du détecteur a une longueur de 80 cm.

2.2. *Géométrie du dispositif*

Les mesures ont été effectuées auprès du réacteur SAPHIR de l'EIR à Würenlingen. La Figure 1 décrit la géométrie de l'expérience.

Le spectromètre se trouve dans une enceinte thermostatisée à $(20 \pm 0,1)$ °C. La cible est placée dans le canal tangentiel, face au cœur du réacteur.

Entre la cible et le spectromètre se trouve une collimation de plomb, d'acier et de paraffine qui absorbe les rayonnements direct et diffusé du réacteur.

Une chambre à fission (type EIR-F-2) permettant de suivre les variations temporelles du flux de neutrons a été introduite par l'arrière dans le canal tangentiel.

2.3. *La cible*

Les différentes cibles utilisées sont constituées de poudre d'iridium emballée dans une feuille d'aluminium de 0,05 mm d'épaisseur et pressée. Leurs dimensions nettes sont $30 \times 2,5 \times 0,05$ mm³. Chacune d'elles est montée sur un support, lui-même fixé à l'intérieur d'un cylindre de 2 m de long. Ce dernier est introduit dans le canal tangentiel au moyen d'une prolongation cylindrique de même diamètre, qui permet

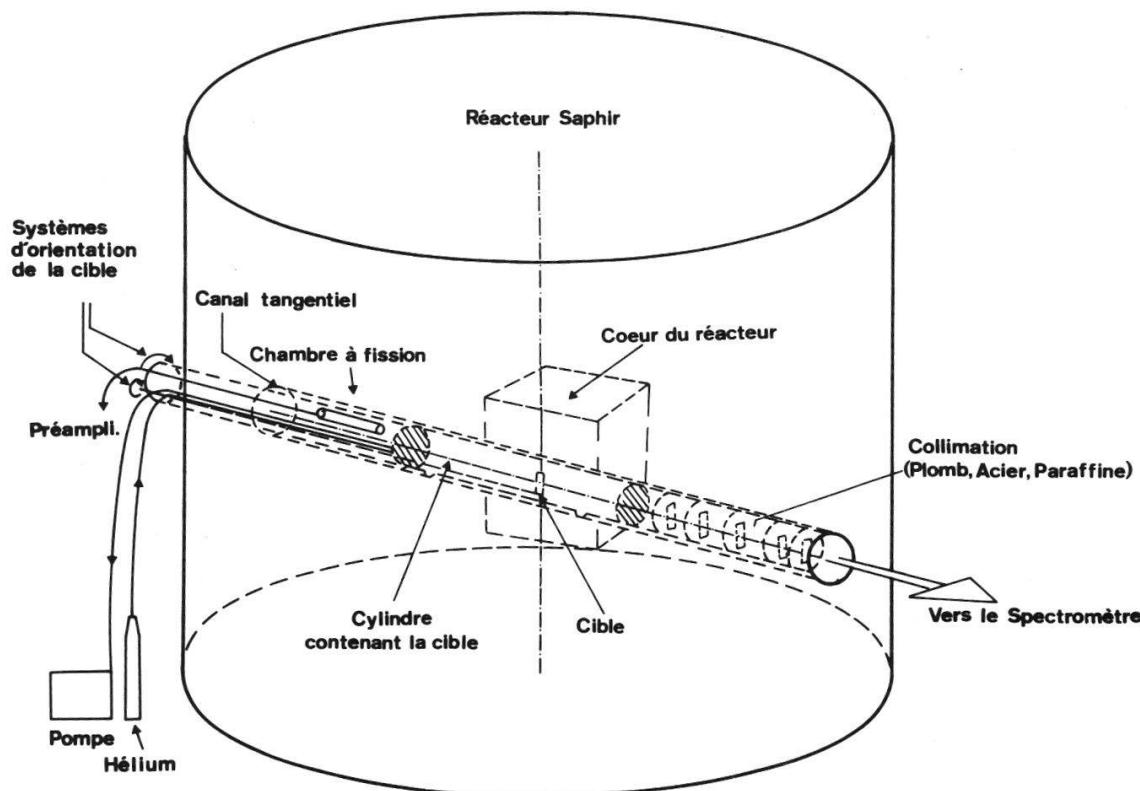


Figure 1
Géométrie de l'expérience.

d'effectuer différents réglages décrits plus loin. La distance entre la cible et le cristal est de 5,5 m. La Figure 2 montre la cible sur son support.

Pour atténuer la diffusion vers le spectromètre de l'intense rayonnement γ produit par le cœur du réacteur, le support de la cible a été construit de façon telle

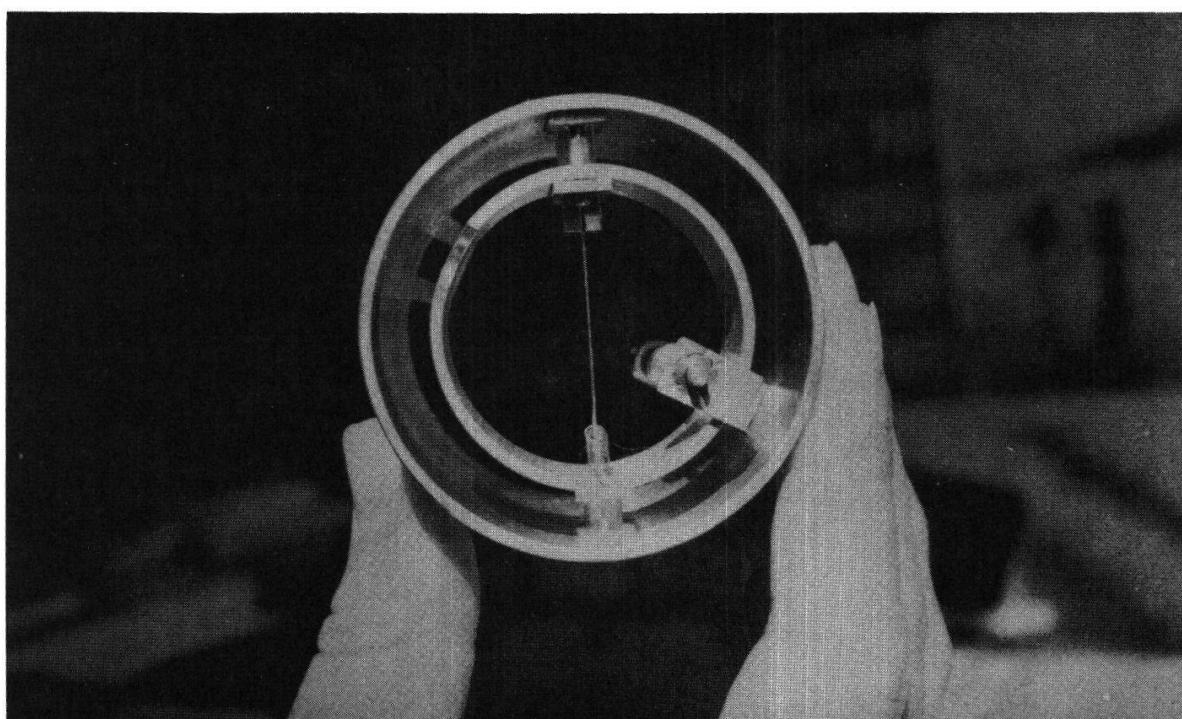


Figure 2
La cible sur son support.

que le minimum de matière soit dans le champ de vision du cristal. Pour la même raison, dans le cylindre contenant la cible, l'air a été remplacé par un flux d'hélium maintenu à une pression constante de 0,2 mm Hg. La présence de ce gaz, beaucoup plus léger que l'air, évite un échauffement excessif de la cible.

Avant le début des mesures, nous nous sommes assurés que le canal tangentiel n'était pas sujet à des vibrations. En effet, des vibrations de la cible engendreraient une dégradation irrémédiable de la résolution. D'une dérive lente de la cible résulte par contre une erreur sur l'angle mesuré. Ce problème sera traité dans le paragraphe suivant.

Ces mesures préliminaires, qui ont montré l'absence de vibrations, ont été effectuées à l'aide d'un accéléromètre 4332 de Brüel et Kjaer, permettant de détecter, entre 2 Hz et 6 kHz, des déplacements compris entre 0,3 et 100 microns. La chaîne de mesure comprenait en plus de l'accéléromètre, un amplificateur de charge, un amplificateur de tension, un spectromètre avec filtre à octave et tierce, un voltmètre digital ainsi qu'une table vibrante permettant l'étalonnage du système.

Pour que, depuis le cristal, la cible soit vue sur la tranche, c'est-à-dire apparaisse avec une épaisseur de 50 microns, nous l'avons montée sur un anneau mobile autour d'un axe vertical, dont les paliers sont fixés sur le support. On peut faire pivoter l'anneau autour de son axe au moyen d'une longue tringle actionnée depuis l'extérieur du canal, même lorsque le réacteur est enclenché. La rallonge (qui sert à introduire le cylindre contenant la cible) permet de régler la distance focale et de tourner la cible autour d'un axe horizontal de façon qu'elle soit verticale.

2.4. Le spectromètre auxiliaire de contrôle

La précision avec laquelle sont déterminés les angles de Bragg est limitée par les déplacements de la source émettrice de rayons γ . En pratique, seule une dérive latérale produit une erreur angulaire observable. Dans notre géométrie, un déplacement de 0,01 mm correspond à une erreur angulaire de 0,4 sec. d'arc.

Dans le cas de mesures (n, γ), des déplacements de la cible, qui se trouve au centre du réacteur, sont inévitables (déplacements dus à des variations de température); il faut donc mesurer continuellement la dérive de la cible. La Figure 3 représente les variations de cette position pendant une dizaine d'heures.

La méthode utilisée est celle décrite par Schult [7]; elle consiste à déterminer continuellement la position de la source à l'aide d'un deuxième spectromètre à cristal incurvé. Celui-ci est plus petit et plus simple que le spectromètre principal et placé devant ce dernier. Son rôle est de diffracter toujours la même raie γ ou X émise par la cible, plus précisément d'osciller autour de l'angle de Bragg de la ligne choisie, avec une amplitude totale égale à la largeur à mi-hauteur de celle-ci.

Les taux de comptage mesurés alternativement sur le flanc gauche et le flanc droit de la ligne sont comparés; la différence des deux nombres, si elle est significative, donne le sens et l'importance de la dérive de la cible ainsi que l'angle dont le cristal auxiliaire doit être tourné pour être réajusté sur la ligne choisie.

Le spectromètre auxiliaire de contrôle doit effectuer deux opérations:

- la première consiste à faire tourner le cristal pour mesurer les deux taux de comptage sur les flancs gauche et droit;
- la seconde doit assurer le réajustement du cristal auxiliaire sur le milieu de la ligne après un déplacement de la cible. Les angles de dérive sont enregistrés, afin de corriger, lors du traitement des données, les angles mesurés avec le spectromètre principal.

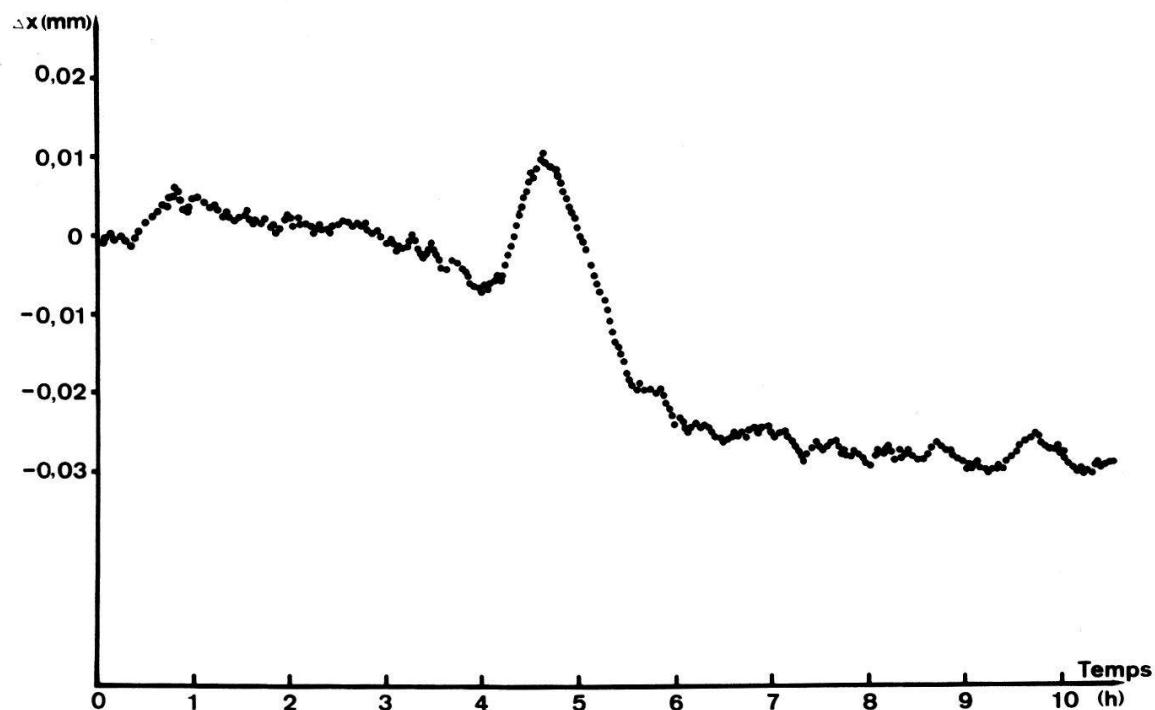


Figure 3
Exemple de déplacements latéraux de la cible. (0,01 mm correspond à 0,4 sec. d'arc.).

Les deux opérations sont réalisées par un mécanisme basé sur la déformation mécanique de céramiques piézo-électriques, auxquelles on applique une tension électrique dont la valeur dépend de la position de la cible. Pour mesurer les points gauche et droit, une deuxième tension, dont la grandeur dépend de la largeur de la ligne de référence, lui est ajoutée et retranchée alternativement.

La Figure 4 représente le schéma bloc de l'électronique du spectromètre de

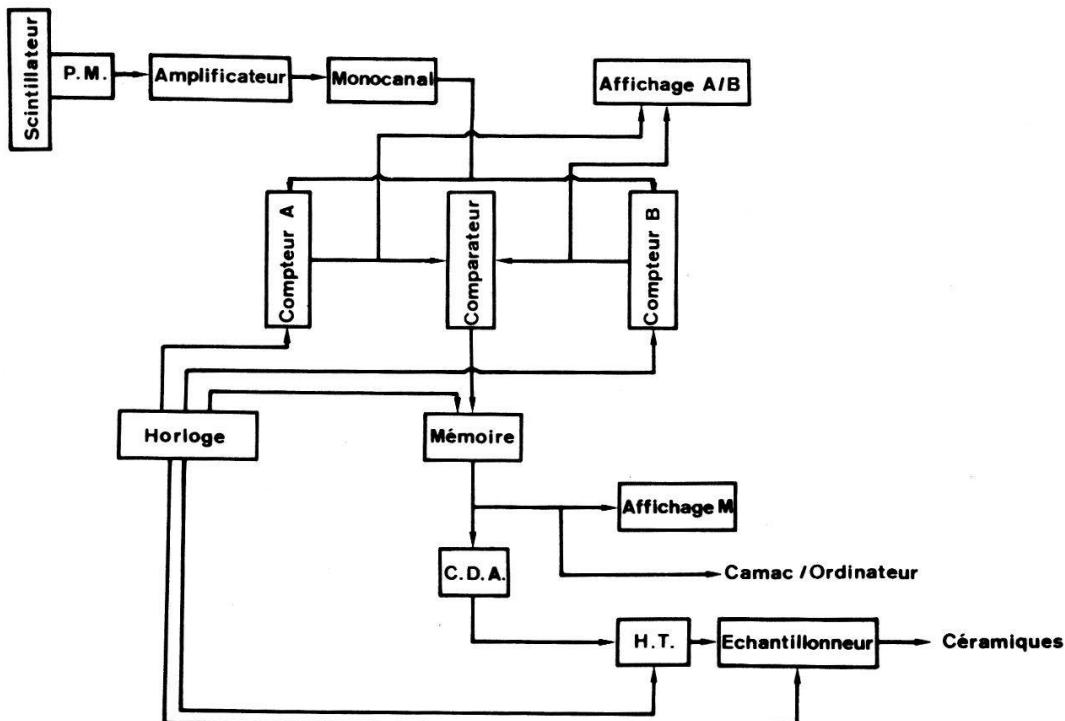


Figure 4
Schéma bloc de l'électronique du spectromètre auxiliaire de contrôle.

contrôle et explique la logique du système. Les problèmes techniques relatifs aux céramiques sont décrits dans l'Annexe.

L'étalonnage du système a été effectué au préalable au moyen d'une source radioactive déplacée latéralement avec une vis micrométrique.

3. Automatisation des Mesures, Acquisition et Traitement des Données

3.1. Système électronique

Avant d'être utilisé pour des mesures de réaction (n, γ), le spectromètre à cristal incurvé, tel qu'il a été décrit dans les références [5, 6], a été développé et automatisé. Nous avons relié pour ce faire son appareil de commande, l'interféromètre, le spectromètre auxiliaire de contrôle de dérive de la cible et la chambre à fission, qui sert de moniteur de neutrons, à un ordinateur Hewlett Packard 2116 B, au moyen d'interfaces [8] Camac (cf. Fig. 5). Dans la chaîne de mesure du scintillateur, nous avons conservé les

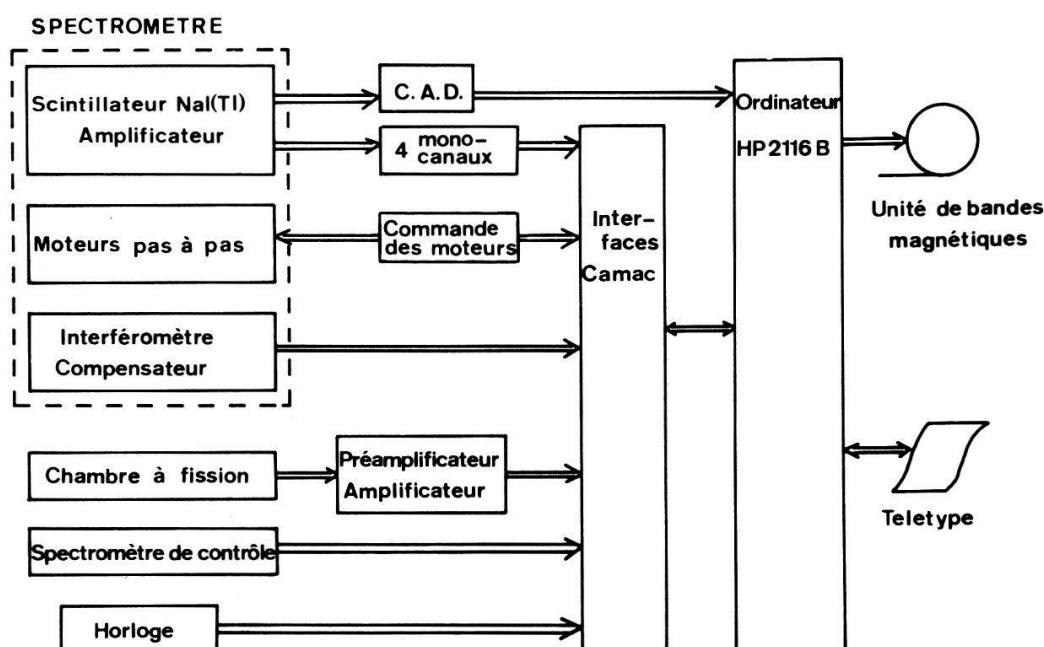


Figure 5
Configuration du système de commande et d'acquisition des données.

quatre monocanaux, mais ajouté en parallèle un C.A.D. relié à l'ordinateur. Les monocanaux, réajustés quotidiennement, chacun sur un ordre de diffraction, déterminent pour quatre ordres le nombre d'événements en fonction de l'angle; ils permettent ainsi de contrôler le déroulement de l'expérience et de choisir des lignes intenses dont le réflexe vers la droite sera également mesuré (cf. 3.2). Grâce au C.A.D. et à l'ordinateur, le spectre complet du scintillateur est enregistré sur bande magnétique à chaque pas du spectromètre.

Cette méthode offre l'avantage de disposer, lors du dépouillement, de toute l'information; elle évite d'avoir à procéder en ligne à l'ajustement des fenêtres des monocanaux et de perdre certains domaines d'énergie en cas de fonctionnement non satisfaisant du réglage ou de variations de l'amplification.

La Figure 6 représente un schéma détaillé de l'électronique du spectromètre. Le nombre de modules Camac reliant chaque appareil à l'ordinateur dépend du nombre de bits à transmettre.

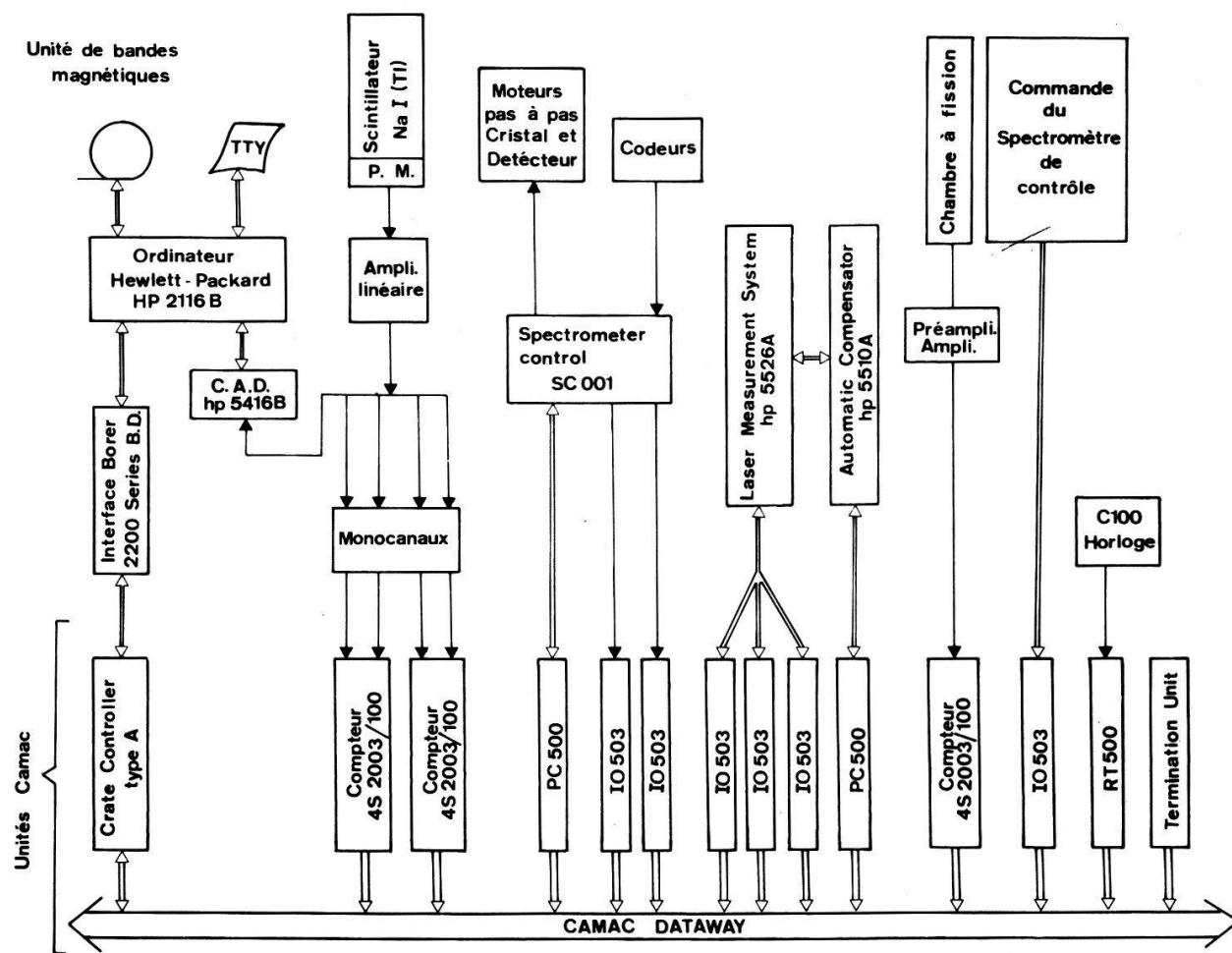


Figure 6
Schéma détaillé de l'électronique du spectromètre à cristal incurvé.

3.2. Méthode de mesure

Les rayons γ diffractés par le cristal vers la gauche (réflexes gauches) ont été mesurés; le domaine de mesure angulaire s'est étendu entre 0,5 et 3,5 degrés environ, les pas effectués étaient de 0,9 sec. d'arc.

Chaque jour, le réflexe droit correspondant à une ligne isolée et relativement intense, observée à gauche, a également été mesurée; le pic ainsi obtenu est appelé pic de référence. Par cette mesure, on détermine le double de l'angle de Bragg de la ligne en question, soit $2\theta_r$. La connaissance de θ_r permet de fixer chaque jour une nouvelle origine de l'échelle des angles, de vérifier le bon fonctionnement du spectromètre auxiliaire de contrôle et de calculer l'angle de Bragg des lignes dont seul le réflexe gauche a été mesuré.

3.3. Traitement des données

Le programme ANALYSE [9], qui est le premier de la procédure de traitement, détermine le centre et la largeur des pics qui apparaissent dans le spectre produit par le détecteur (scintillateur) à chaque pas de mesure. En intégrant leur surface (cf. Fig. 7), il tire de chaque spectre le nombre de photons diffractés dans chaque ordre. Les suites de ces nombres d'événements en fonction de la position du spectromètre constituent les spectres à dépouiller.

Corrigés pour les fluctuations du flux de neutrons, ces nouveaux spectres sont

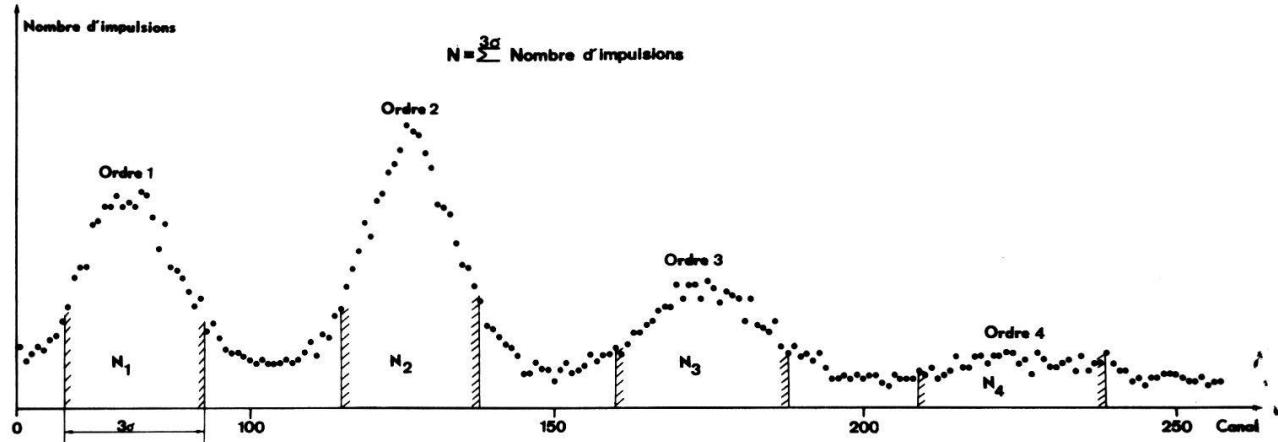


Figure 7

Exemple de spectre du scintillateur NaI(Tl) pour une position fixe du cristal.

analysés à l'aide du programme CROTALE [10], qui utilise la méthode d'analyse par ligne de référence donnée numériquement [11]. Le principe est le suivant: chaque fois qu'un pic de référence a été mesuré (cf. Fig. 8c), on détermine par quel angle 2θ , il doit être déplacé et par quel facteur il doit être amplifié pour qu'il se superpose de la meilleure manière possible, au sens des moindres carrés, sur le pic correspondant

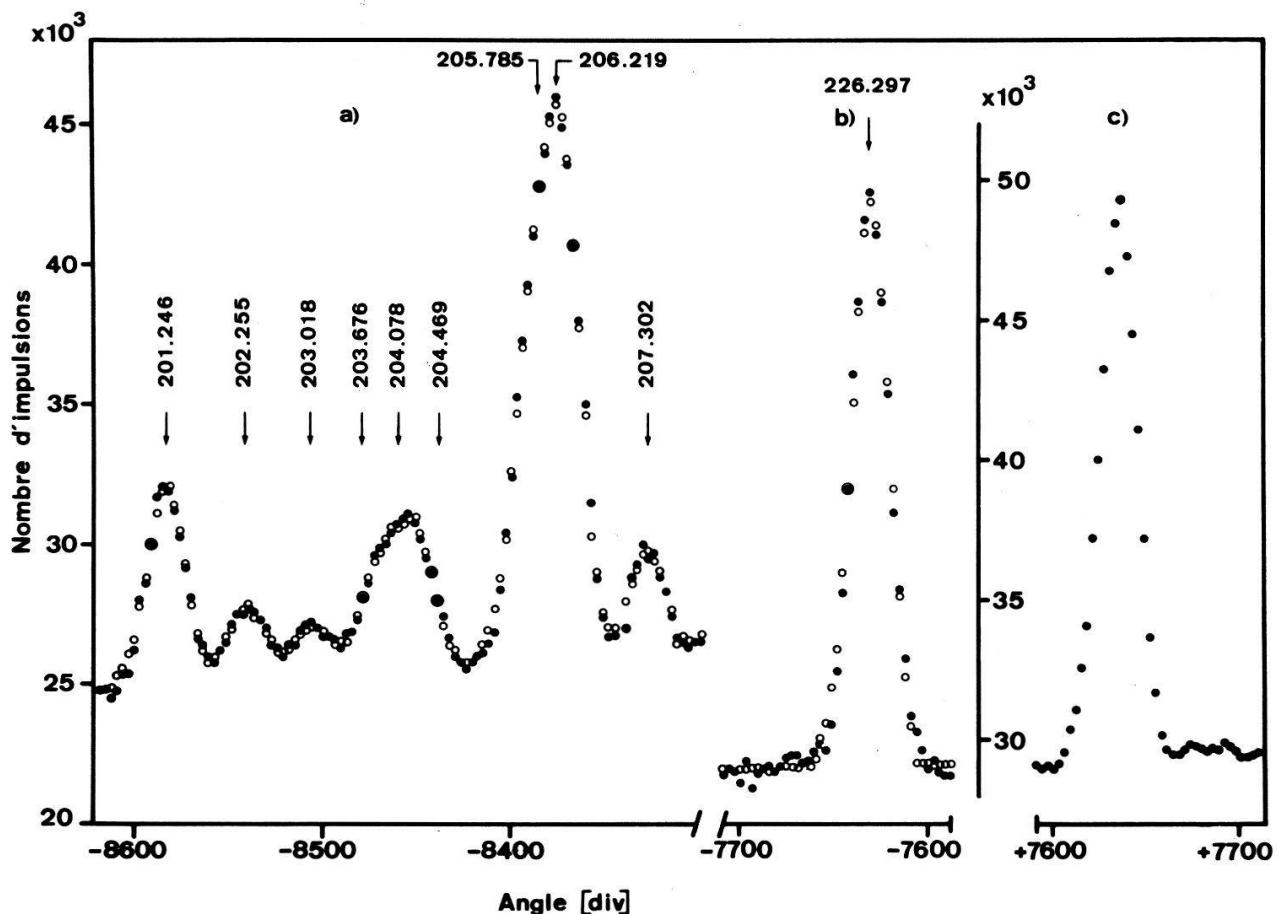


Figure 8

Représentation: (a) d'une portion du spectre (en premier ordre) de la réaction $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$. (b) du réflexe gauche correspondant au pic de référence; (c) du pic de référence (réflexe droit). Les points mesurés sont représentés par des cercles pleins. Les cercles ouverts représentent le spectre ajusté par une somme de composantes (indiquées par leur énergie en keV) ayant un profil semblable à celui référence. (Les raies à 201,246 (partiellement) et 205,785 keV sont des lignes de désintégration de ^{192}Ir .)

au réflexe gauche (cf. Fig. 8b). On en déduit, comme cela a été discuté au paragraphe 3.2, l'origine de l'échelle des angles. L'analyse consiste ensuite à déterminer d'une manière similaire la différence angulaire $\Delta\theta_i$ entre le même pic de référence à droite et chacun des pics observés à gauche (cf. Fig. 8a) dans une période d'environ une demi-journée précédant et suivant la mesure du pic de référence. On obtient immédiatement l'angle de Bragg correspondant à chacune de ces lignes par la relation $\theta_i = \Delta\theta_i - \theta_r$. Le programme CROTALE permet un dépouillement automatisé. Il comprend en particulier une routine de recherche des pics et analyse le spectre par sections. Lorsqu'il y a plusieurs pics non résolus, le déplacement angulaire $\Delta\theta_i$ correspondant à chacun d'eux est déterminé par un processus itératif les impliquant tous.

La conversion des angles en énergies a été effectuée en prenant la ligne de désintégration de ^{192}Ir à 295,9484 keV comme étalon. Chacune des énergies ainsi obtenues est ensuite corrigée pour le déplacement de la cible au moment de la mesure, tel qu'il a été déterminé à l'aide du spectromètre auxiliaire. Comme chaque transition a été observée en général dans plusieurs ordres, son énergie est obtenue par moyenne pondérée (cf. Table I).

4. Application au cas de L'Iridium

4.1. Choix de la réaction

Les réactions que nous avons étudiées sont $^{\text{nat}}\text{Ir}(n, \gamma)$, $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$, $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)$; le domaine d'énergie s'étend de 40 keV à 600 keV.

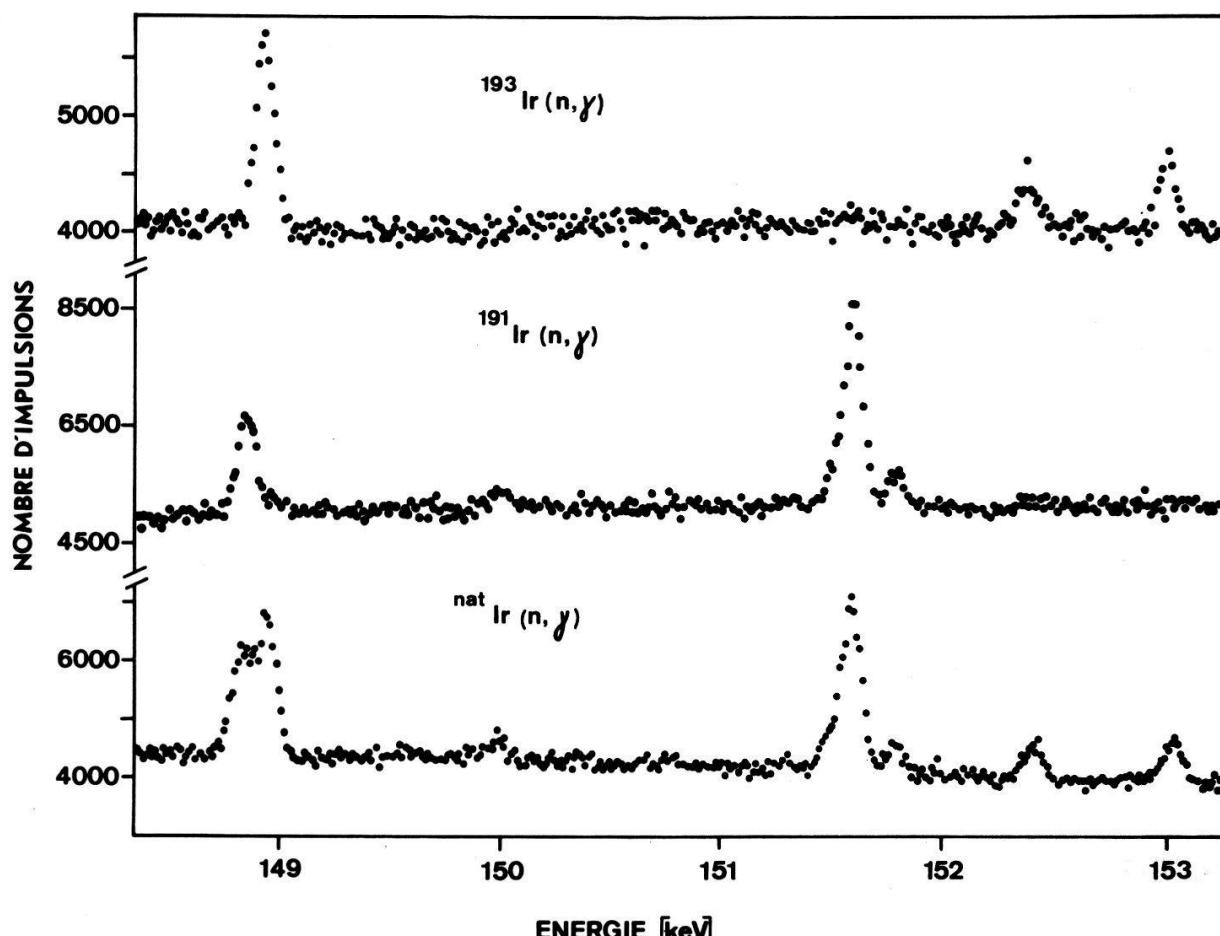


Figure 9

Trois portions des spectres $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$, $^{193}\text{Ir}(n, \gamma)$ et $^{\text{nat}}\text{Ir}(n, \gamma)$ observés dans le troisième ordre de réflexion.

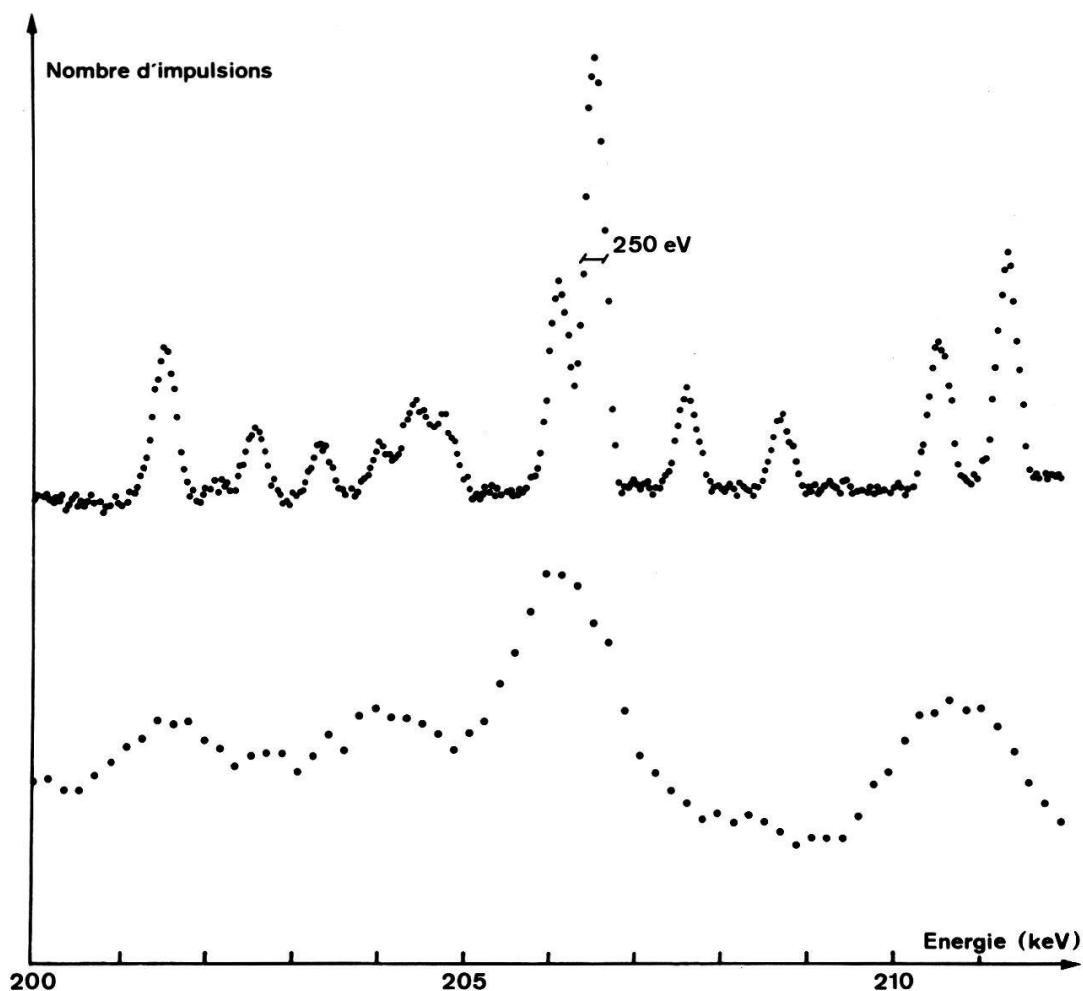


Figure 10
Comparaison de deux portions du spectre $^{nat}\text{Ir}(n, \gamma)$ observé avec une diode Ge(Li) de $2,4 \text{ cm}^3$ (spectre inférieur) et avec le spectromètre à cristal incurvé (spectre supérieur) dans le deuxième ordre de réflexion.

Ces réactions ont déjà été étudiées par plusieurs groupes [12–14], mais les mesures n'ont pas permis d'élaborer un schéma des niveaux satisfaisant, ni d'en déduire la structure des états observés.

Nous avons effectué des mesures [15] de haute énergie de ces mêmes réactions avec un spectromètre à paires, ainsi que des mesures à basse énergie des réactions $^{nat}\text{Ir}(n, \gamma)$ et $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$ avec une diode Ge(Li) de $2,4 \text{ cm}^3$ (résolution 1,0 keV à 100 keV) et un spectromètre anti-Compton [16]. Vu le très grand nombre de lignes, les énergies obtenues à partir de ces mesures ne sont pas sûres; en effet, dans un grand nombre de cas, il est probable qu'une ligne recouvre plusieurs transitions non résolues. Pour améliorer les résultats de basse énergie, nous avons donc entrepris de répéter les mesures avec le spectromètre à cristal incurvé. La Figure 9 montre trois portions de spectres ainsi mesurés.

4.2. Exemples de résultats

Pour chaque cible, la largeur à mi-hauteur des pics a été d'environ 5 sec. d'arc, ce qui correspond en premier ordre à une résolution de 134 eV pour des rayons d'environ 100 keV, au deuxième ordre à 67 eV, etc. Dans la Figure 10, une portion du spectre observé avec la diode Ge(Li) est comparée avec la partie correspondante de celui mesuré avec le spectromètre à cristal, illustrant l'amélioration de la résolution.

Table 1
Transitions γ de basse énergie observées lors de la capture de neutrons thermiques dans l' ^{191}Ir , dans un domaine de 10 keV.

E (keV)	dE (eV)	Ordre 1		Ordre 2		Ordre 3		Ordre 4		Moyenne pondérée	
		E (keV)	dE (eV)	E (keV)	dE (eV)						
155,3453	40,4	155,3523	21,4	155,3680	42,0					155,354	17
156,0849	14,2	156,0842	5,6	156,0791	4,4	156,0812	6,4	156,081	3		
156,6590	11,0	156,6555	5,2	156,6509	3,4	156,6527	3,8	156,653	3		
159,4995	13,2	159,4973	5,7	159,4928	3,9	159,4969	8,4	159,495	3		
161,8703	88,6	161,9689	30,2	161,9674	12,0			161,966	11		
162,3164	55,5	162,3724	12,5	162,3705	9,3			162,370	8		
162,7948	68,0	162,8209	19,1	162,8355	22,0			162,826	15		
		165,0735	23,9	165,0969	25,8			165,084	18		
		165,4123	13,4	165,4250	16,4			165,417	11		
165,5527	31,2	165,5661	6,2	165,5703	5,2	165,5653	13,6	165,568	4		

Plus l'ordre de réflexion augmente, plus la résolution d'une même ligne s'améliore, mais plus en général son intensité diminue. La Figure 11 montre le même ensemble de pics mesurés à différents ordres. En utilisant pour chaque ligne les positions optiques des différents ordres, nous obtenons, pour les lignes les plus précises, des erreurs relatives de l'ordre de 1 eV pour des transitions de 50 keV, précision qui décroît lorsque l'énergie du rayonnement augmente.

Dans la Table I, nous présentons à titre d'exemple la liste des lignes détectées dans la mesure $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$, dans un domaine de 10 keV.

5. Conclusion

Lors de l'étude des noyaux ayant un nombre impair de neutrons et de protons, tels que ^{192}Ir ou ^{194}Ir , la densité des raies du spectre (n, γ) à basse énergie est telle

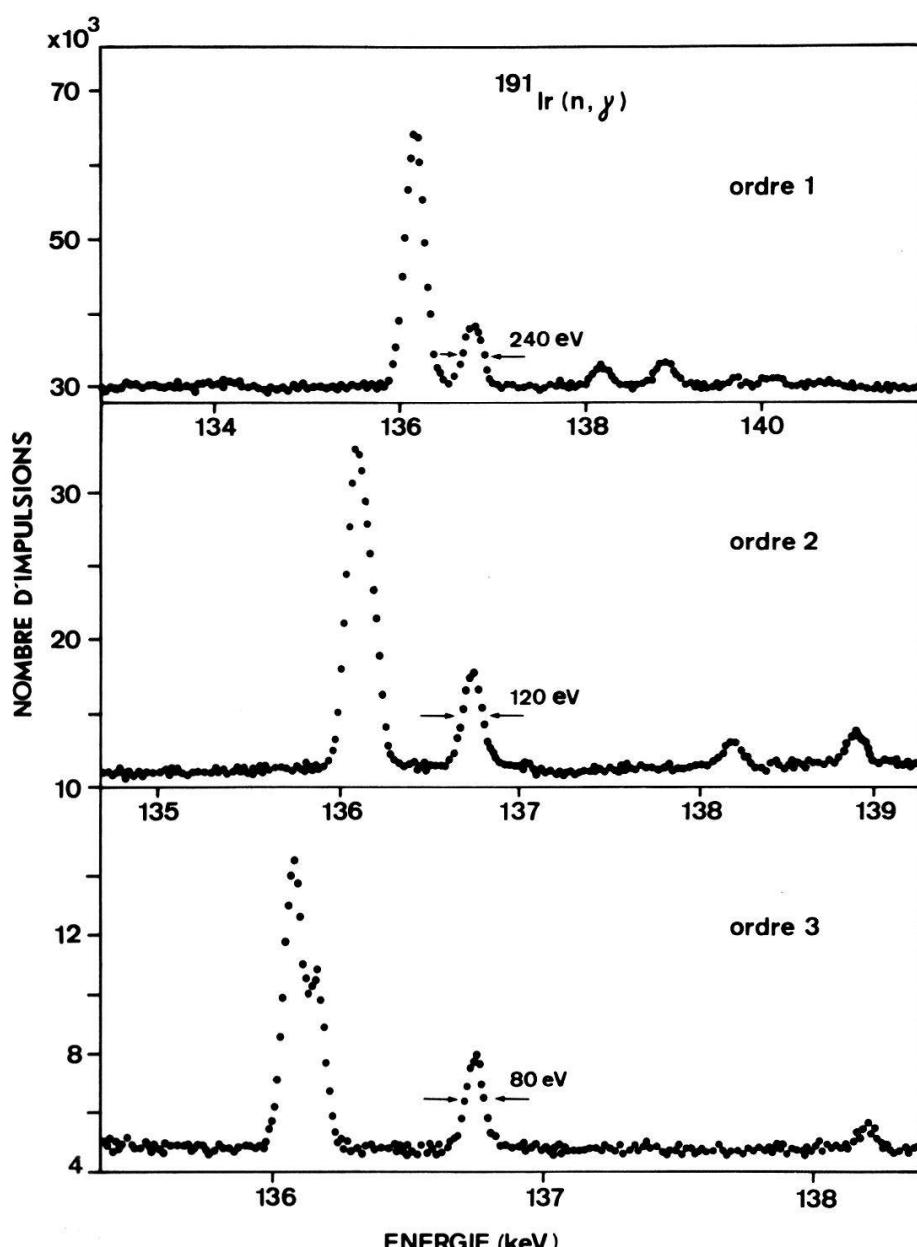


Figure 11
Comparaison de trois portions de spectre représentant le même ensemble de pics aux ordres 1, 2 et 3.

que beaucoup de composantes ne peuvent être résolues avec un détecteur semi-conducteur. Le système expérimental décrit dans cet article a permis d'obtenir des résultats beaucoup plus détaillés et précis qu'avec une diode Ge(Li). Les valeurs d'énergie des transitions obtenues grâce à lui permettent une élaboration plus aisée et plus sûre du schéma des niveaux de ^{192}Ir et de ^{194}Ir . Un schéma partiel des niveaux de ^{192}Ir , construit à partir de certaines de ces valeurs, est représenté, à titre

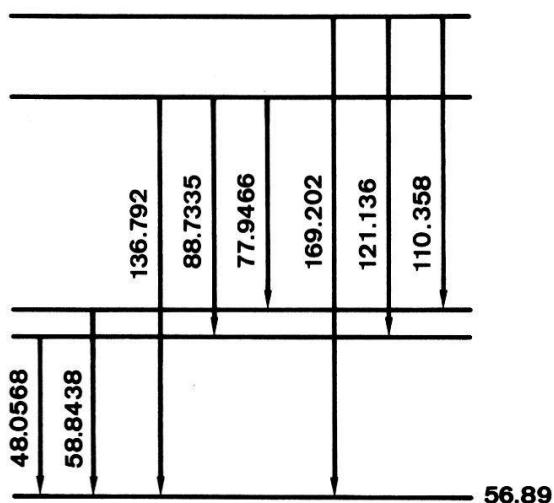


Figure 12
Schéma partiel des niveaux de ^{192}Ir . (Les énergies sont données en keV.)

d'exemple, dans la Figure 12; les différentes valeurs et sommes d'énergies (en keV) qui conduisent à ces cascades sont présentées ci-dessous (les erreurs sont données en eV).

$$48,0568 (0,8) + 88,7335 (0,8) = 136,7903 (1,2)$$

$$58,8438 (1,0) + 77,9466 (0,8) = 136,7904 (1,3)$$

$$136,792 (2)$$

$$48,0568 (0,8) + 121,136 (7) = 169,193 (7)$$

$$58,8438 (1,0) + 110,358 (4) = 169,202 (4)$$

$$169,202 (7)$$

La principale limitation à une qualité encore supérieure était due à un rapport pic sur fond relativement peu élevé, rapport influencé défavorablement par une distance trop petite entre la surface du cœur du réacteur SAPHIR et le canal tangentiel. Les dimensions de la halle d'expérience étaient d'autre part insuffisantes pour éloigner davantage le détecteur du cristal; cet éloignement aurait diminué l'influence du rayonnement diffusé par l'effet Compton dans la lame de quartz.

Remerciements

Nous exprimons notre profonde gratitude à Monsieur le Professeur O. Huber pour l'intérêt constant qu'il nous a témoigné et les bonnes conditions de travail qu'il nous a procurées à l'Institut de Physique. Nous remercions les Drs. D. Geinoz, H. R. Koch (Jülich, RFA) et O. Piller pour leurs précieux conseils. Nos remerciements vont également à Messieurs C. Nordmann, Ch. Rhême, W. Schoeps (SIN, Villigen) et H. Tschopp pour la réalisation des dispositifs expérimentaux. Nos

remerciements vont aussi au personnel du réacteur SAPHIR (EIR, Würenlingen) pour sa collaboration, et tout particulièrement à Monsieur R. Christen pour son aide constante. Nous remercions également la firme Brüel & Kjaer de nous avoir prêté la plupart des appareils utilisés pour les mesures de vibrations.

Annexe. Problèmes techniques posés par le mécanisme piézo-électrique du spectromètre de contrôle

Le mécanisme qui permet la mesure des points sur les flancs gauche et droit de la ligne de référence et le réalignement de la source est représenté schématiquement dans la Figure A1. Il est constitué essentiellement de 2 prismes rectangulaires, P et P' ,

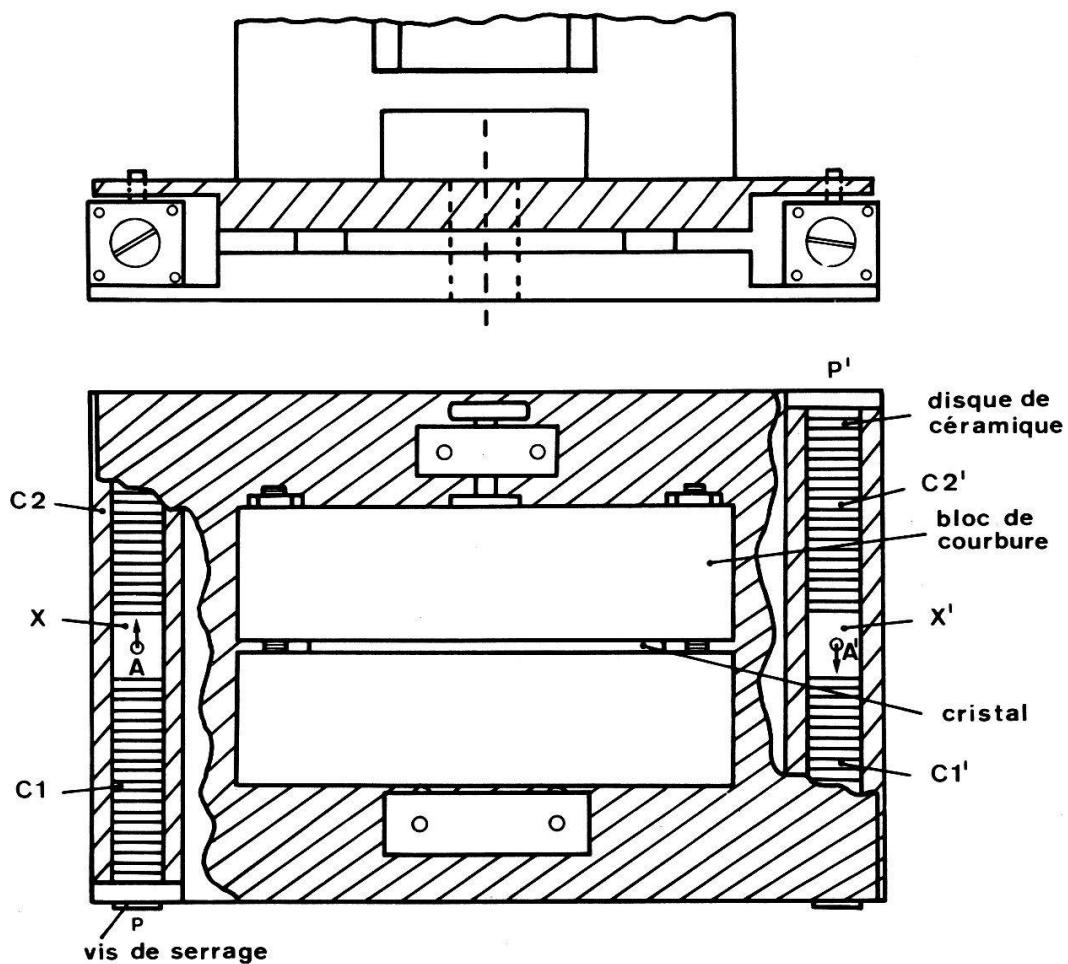


Figure A1
Dessin de l'entraînement piézo-électrique du spectromètre auxiliaire de contrôle.

parallèles et à égale distance de l'axe de rotation O . Ces prismes sont en fait des tubes métalliques creux à l'intérieur desquels sont empilés 2 groupes de céramiques, le groupe $C1$ ($C1'$) et le groupe $C2$ ($C2'$) séparés par la pièce mobile X (X'). Si, pour une tension électrique donnée, les céramiques appartenant au groupe $C1$ par exemple subissent une élongation, au contraire, celles du groupe $C2$ sont contractées. De ce fait, le 'piston' X se déplace, provoquant du même coup une rotation 'par la tangente'

du rayon OA . Le processus est identique pour P' ; le déplacement rectiligne de X' , dont le sens est opposé à celui de X , contribue à créer la rotation du diamètre AA' .

Notons que des angles de plusieurs secondes ne peuvent être engendrés par un tel mécanisme que si chaque groupe $C1,2$ ($C1',2'$) est constitué d'un certain nombre de céramiques placées mécaniquement en série (empilage) mais branchées électriquement en parallèle. Remarquons aussi que la longueur de chaque empilage restant constante, les céramiques travaillent à effort constant. Les céramiques utilisées dans notre système sont rondes ($\phi 16$ mm), minces (3 mm) et se déforment en épaisseur avec un coefficient d_{33} valant $390 10^{-12}$ m/V. Pour obtenir une surface de guidage cylindrique, nous avons rempli les prismes rectangulaires de résine 'Araldit' (Ciba Geigy) que nous avons percée, après durcissement, d'un trou circulaire dont le diamètre correspond à celui des céramiques. Cette résine assure en même temps l'isolation électrique des prismes.

Une difficulté que nous avons rencontrée réside dans le fait que le dispositif ne prend pas à position définitive dès que les céramiques sont mises sous tension, mais qu'au contraire, il subsiste dans le système un déplacement résiduel qui peut durer plusieurs minutes. En conséquence, les rotations produites ne sont pas déterminées uniquement par la tension mais également par la durée pendant laquelle cette dernière est appliquée. En d'autres termes, la position angulaire du cristal de contrôle correspondant au milieu de la ligne de référence, et partant, la position relative de la source peuvent varier dans le temps même si ladite source reste parfaitement immobile. Ce défaut peut s'expliquer par le vieillissement des céramiques: sous l'effet des contraintes mécaniques extérieures, certains microcristaux peuvent perdre leur orientation privilégiée, ce qui entraîne une diminution des coefficients piézo-électriques de la céramique considérée. Lorsqu'une tension électrique est appliquée, les dipôles élémentaires désorientés vont s'aligner progressivement sur la direction du champ polarisant et contribuer ainsi, mais avec un certain retard, à la déformation de la céramique. Cette explication est confirmée par le fait que la durée et l'amplitude des déplacements résiduels sont proportionnelles à la tension appliquée. Nous avons résolu le problème de la façon suivante: les céramiques ne sont branchées directement sur la source de tension que pendant un temps relativement court ($t = 0,7$ s); ensuite elles le sont par l'intermédiaire d'une résistance de façon que leur charge soit maintenue constante.

D'autre part, à cause de la polarisation parasite précédée, la courbe représentant les déplacements angulaires en fonction des tensions qui les ont produits est semblable à une courbe d'hystéresis. Pour éviter qu'à une même tension ne correspondent 2 positions différentes, chaque nouveau déplacement se fait par un retour à zéro préalable. Enfin, nous avons constaté qu'un changement de polarité dans l'alimentation des céramiques s'accompagnait d'un déplacement important de la position zéro du système. Pour éviter de tels sauts, nuisibles à la reproductibilité, notre système fonctionne avec une tension de polarisation de signe invariable. Comme les céramiques utilisées admettent sans risque une tension pouvant aller jusqu'à 1000 volts, la tension moyenne est de 500 volts, tension dont on soustrait ou ajoute périodiquement une certaine tension ΔU réglable pour la mesure des points sur les flancs gauche et droit de la ligne de référence. La ligne utilisée comme référence dans la mesure de l' Ir était une ligne $K\alpha$ relativement large (environ 12 sec. d'arc); la tension ΔU de ± 200 volts qui correspondait à cette largeur permettait de suivre la cible pour des dérives maximales de ± 10 sec. d'arc. Les plus petits déplacements angulaires décelables par le système sont d'environ 0,03 sec. d'arc.

REFERENCES

- [1] O. SCHULT, Zeitschrift für Physik **158**, 444 (1960).
- [2] R. K. SMITHER, in *Proceedings of the Symposium on Crystal Diffraction of Nuclear Gamma Rays* (Athens 1964), p. 9.
- [3] H. BÖRNER et al., in *Proceedings of the Second International Symposium on Neutron Capture Gamma Ray Spectroscopy and Related Topics* (Petten 1974), p. 691.
- [4] J. W. M. DUMOND, Rev. Sci. Instr. **18**, 626 (1947).
- [5] O. PILLER, W. BEER und J. KERN, Nucl. Instr. **107**, 61 (1973).
- [6] W. SCHWITZ and JEAN KERN, in *Proceedings of the Second International Symposium on Neutron Capture Gamma Ray Spectroscopy and Related Topics* (Petten 1974), p. 697.
- [7] H. R. KOCH et al., in *Proceedings of the International Symposium on Neutron Capture Gamma Ray Spectroscopy* (Studsvik 1969), p. 65.
- [8] Elektronische Geräte für Experimentelle Anwendung, SIN, Bericht, TM-34-01.
- [9] Programme Fortran ANALYSE, écrit par W. SCHWITZ.
- [10] Programme Fortran CROTALE, écrit par J. KERN.
- [11] JEAN KERN and TH. DUBLER, in *Proceedings of the Second International Symposium on Neutron Capture Gamma Ray Spectroscopy and Related Topics* (Petten 1974), p. 702.
- [12] Nuclear Data Sheets **9**, 195 (1973).
- [13] H. KRÜGER, H. HANLE, M. KORIATH and K. STELZER, Nucl. Phys. **A169**, 363 (1971).
- [14] P. PROKOFJEV, M. BALODIS et al., *Spectra of Electromagnetic Transitions and Level Schemes Following Thermal Neutron Capture by Nuclides with A143–193* (Publishing House ‘Zinātne’, Riga 1973).
- [15] A. RAEMY, J.-C. DOUSSE, J. KERN et W. SCHWITZ, rapport IPF-SP-006 (1975).
- [16] B. MICHAUD, J. KERN, L. RIBORDY et L. A. SCHALLER, Helv. phys. Acta **45**, 93 (1972).