

- Note CEA-N-2080 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

**COMPTE RENDU D'ACTIVITE
DU SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE
POUR L'ANNEE 1978**

par

André MICHAUDON, Jacques BARDES, Jean LACHKAR, Jacques SALVY

- Mars 1979 -

- Note CEA-N-2080 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

COMPTE RENDU D'ACTIVITE
DU SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE
POUR L'ANNEE 1978

par

André MICHAUDON, Jacques BARDES, Jean LACHKAR, Jacques SALVY

CEA-N-2080 - MICHAUDON André, BARDES Jacques, LACHKAR Jean,
SALVY Jacques

COMPTE RENDU D'ACTIVITE DU SERVICE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE POUR L'ANNEE
1978

Sommaire.- Ce compte rendu présente les travaux effectués au sein du Service de Physique Nucléaire du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel, pendant l'année 1978. Il comprend : une partie sur les activités techniques et les équipements puis une partie sur les expériences et leur interprétation. La troisième partie est consacrée aux travaux théoriques et aux évaluations de données nucléaires. A la fin du compte rendu on donne la liste des documents émis par le Service au cours de l'année 1978 ainsi que la liste des séminaires qui ont eulieu dans le laboratoire.

1979

259 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-2080 - MICHAUDON André, BARDES Jacques, LACHKAR Jean,
SALVY Jacques

PROGRESS REPORT OF THE NUCLEAR PHYSICS DIVISION FOR THE YEAR 1978

Summary.- This progress report gives a presentation of the work carried out in the Service de Physique Nucléaire (C.E. Bruyères-le-Châtel) during the year 1978. It comprises a part about technical work and equipments and a second part on experiments and their interpretation. The third part is devoted to the theoretical work and nuclear data evaluations. At the end of the report we give a list of the documents issued during the year and a list of the talks given in the laboratory.

1979

259 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

PREFACE

Le Service de Physique Nucléaire a travaillé en 1978 dans des conditions voisines de celles des années précédentes. Il faut cependant noter une différence dans la structure interne de cette Unité due à la création de deux nouvelles Sections en Septembre 1978. Le Service de Physique Nucléaire comprend donc maintenant 3 Sections :

- 1 Section Théorie-Evaluation (dont la création remonte à 1973),*
 - 1 Section Physique Expérimentale*
 - 1 Section Technique*
- (créées en 1978).*

La lecture de ce compte rendu d'activité montre qu'en 1978 les travaux scientifiques ont progressé de façon satisfaisante et les différents appareils ont, dans leur ensemble, fonctionné correctement avec un début de renouvellement pour certains d'entre eux dans le domaine de l'Informatique.

La fourniture de données nucléaires mesurées, calculées ou évaluées reste toujours une mission essentielle du Service P.N. La compilation de ces demandes avec leurs caractéristiques principales et les références associées ainsi que des réponses à ces demandes sont actuellement gérées sur ordinateur ce qui assure un meilleur suivi du circuit des données nucléaires depuis l'origine de la demande jusqu'à son utilisation. Ceci a permis également de revoir dans de bonnes conditions la contribution des demandes françaises de données nucléaires à la version 1979 de la liste mondiale WRENDA compilée par l'AIEA.

L'effort d'évaluation et de calcul des données nucléaires a été orienté principalement vers la satisfaction des demandes spécifiques DAM qui étaient faites au Service P.N. mais aussi vers la coopération avec d'autres laboratoires pour la fourniture de données évaluées ayant une utilisation mondiale. C'est ainsi que le Service P.N. a participé avec LASL et ANL à l'évaluation des données neutroniques relatives au tungstène en vue de leur inclusion dans le jeu de données américaines ENDF/B largement utilisé dans le pays de l'OCDE. Il faut signaler aussi un effort important, dans le cadre d'une coopération avec l'AIEA, pour le calcul et l'évaluation des données nucléaires relatives aux actinides.

Par exemple, un jeu complet de données nucléaires a été établi pour ^{242}Pu , noyau pour lequel les résultats étaient très dispersés, entraînant des différences importantes sur le calcul de la masse critique de cet élément. Le jeu de données établi par le Service P.N. en utilisant des résultats relatifs à ^{240}Pu a grandement contribué à clarifier une situation qui auparavant était particulièrement confuse.

Nombre de travaux expérimentaux sont aussi orientés vers des études ayant pour but de satisfaire directement ou indirectement des demandes de données nucléaires pour lesquelles les résultats publiés sont nettement insuffisants voire inexistantes. Un effort particulier est poursuivi dans le domaine de la mesure de la diffusion élastique et inélastique des neutrons rapides par les actinides (spectre en énergie et distribution angulaire des neutrons diffusés). L'amélioration continue du spectromètre de neutrons par temps de vol, qui utilise maintenant des bouffées de neutrons aussi brèves que $\Delta t = 600$ ps, a permis d'effectuer des mesures très précises sur les isotopes fissiles ^{235}U et ^{239}Pu , mesures qui n'ont pas d'équivalent dans d'autres laboratoires. Ces deux isotopes fissiles ont par ailleurs fait l'objet d'une mesure de leur section efficace $(n,2n)$, particulièrement difficile à déterminer avec la méthode du gros scintillateur liquide à cause de la contribution des neutrons issus de la fission induite à la fois par les neutrons directs et par les neutrons diffusés. Il faut signaler aussi la bonne poursuite des mesures absolues des sections efficaces de fission σ_f . Une mesure très précise de σ_f pour ^{235}U à 2,5 MeV complète les mesures précédentes effectuées vers 14 MeV. Enfin les mesures des sections efficaces de capture radiative, pour lesquelles les demandes sont importantes, peuvent maintenant être effectuées dans de bonnes conditions. Beaucoup de résultats ont été obtenus pour plusieurs énergies de neutrons comprises entre 0,5 MeV et 3 MeV et de nombreux noyaux, y compris les isotopes séparés de Gd et de Tl. Les mesures absolues de flux de neutrons ont continué en 1978 dans le cadre d'un contrat de diversification avec le Bureau National de Métrologie.

Des études d'un caractère plus fondamental mais souvent liées indirectement aux études appliquées ont été entreprises tant sur le plan expérimental que sur le plan théorique.

L'étude de la fission s'est poursuivie dans deux voies principales. L'une d'elle vise à préciser les structures qui apparaissent dans les sections efficaces de fission σ_f de certains noyaux tels que ^{232}Th . Une première mesure de σ_f a été effectuée auprès de l'accélérateur Van de Graaff Tandem en utilisant la

source de neutrons pulsée à spectre large obtenue en bombardant une cible épaisse de béryllium avec un faisceau de deutons. Cette expérience s'est poursuivie à OAK RIDGE, dans le cadre d'une coopération avec LASL et ORNL en utilisant l'accélérateur linéaire ORELA comme source de neutrons pulsée et en complétant la mesure de σ_f par celle de la distribution angulaire des fragments de fission. L'analyse de ces différentes mesures permettra de décider si leur extension à d'autres noyaux est souhaitable. L'autre voie consiste à étudier les effets dynamiques dans la fission entre le point selle et la scission. L'analyse des résultats relatifs à la réaction $^{235}\text{U}(d, pf)$ effectués dans le Service a permis de progresser dans la connaissance de l'énergie cinétique et de l'énergie d'excitation de chacun des fragments primaires à la scission et donc de mieux préciser les effets très mal connus de la viscosité nucléaire dans la dernière phase du processus de fission. De même la mesure de l'énergie cinétique des fragments dans la réaction $^{232}\text{Th}(n, f)$ a montré que cette énergie et donc les effets de viscosité nucléaire sont différents suivant que la fission a lieu dans ou en dehors des résonances vibrationnelles.

L'étude des réactions nucléaires induites par ions lourds s'est poursuivie comme auparavant dans le domaine des états quasi-moléculaires formés au cours des réactions $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ et $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$.

Les mesures de diffusion élastique et inélastique ainsi que celles de capture radiative ont des prolongements intéressants en physique nucléaire fondamentale. Par exemple la diffusion de neutrons rapides permet d'avoir accès aux déformations de la matière nucléaire des noyaux que l'on peut comparer à la distribution de charge obtenue par d'autres méthodes.

Les calculs du type Hartree-Fock-Bogolyubov (HFB) ont été effectués pour des noyaux sphériques tels que ^{93}Nb et ^{208}Pb . L'étude des excitations collectives des noyaux a été entreprise dans le cadre de la RPA en employant la force effective déjà utilisée pour les calculs H.F.B. Enfin ces méthodes très fondamentales ont des prolongements plus appliqués comme la détermination de potentiels optiques généralisés ou de potentiels non-locaux obtenus par des méthodes matricielles.

La plupart de ces travaux sont décrits dans de nombreux rapports, publications ou communications à des congrès. Le Service P.N. a fait un effort particulier pour la Conférence de HARWELL sur la Physique Neutronique et les Données Nucléaires (Sept. 1978) où il a présenté deux exposés généraux et 14 communications courtes.

Tous ces travaux n'auraient pas été possibles sans le bon fonctionnement de tous les équipements. Les deux principaux accélérateurs du Service ont été utilisés pendant 2.300 heures (Tandem) et 2.700 heures (Van de Graaff 4 MV) ce qui représente une bonne performance (bien qu'inférieure à celle de 1977) compte tenu du fait que ces machines sont arrêtées chaque week-end et environ un mois pendant l'été. Dans le domaine de l'informatique deux opérations relativement importantes ont eu lieu. L'arrivée d'un ordinateur MITRA 125 pour remplacer à terme le poste d'exploitation des données C.I.I. 10.020 et le remplacement du terminal IRIS 45 qui assure la liaison avec les ordinateurs du CEN SACLAY par un système co/ordinateur 500 SFENA-DSI dont le prix de location est plus bas mais dont le couplage aux consoles n'est pas encore terminé.

A. MICHAUDON

Chef du Service de Physique Nucléaire

Je remercie Mme G. LABBE d'avoir bien voulu assurer la frappe de ce long document et M. J. BARDES, Adjoint du Chef de Service, qui s'est chargé de son édition.

TABLE DES MATIERES

PARTIE A : EXPLOITATION ET AMELIORATIONS DES MOYENS EXPERIMENTAUX.

A-I-ACCELERATEURS.	1
A-I-1-Van de Graaff Tandem.	1
A-I-2-Production d'un spectre continu de neutrons à l'aide de la réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ auprès de l'accélérateur Tandem Van de Graaff.	4
A-I-3-Van de Graaff 4 MeV.	9
A-I-4-Mesure de la durée de la bouffée pulsée du Van de Graaff 4 MeV.	11
A-I-5-Répartition du temps de fonctionnement des accélérateurs en 1978.	16
A-II-ELECTRONIQUE NUCLEAIRE.	17
A-III-INFORMATIQUE.	18
A-III-1-Systèmes d'acquisition et de traitement de données.	18
A-III-2-Terminal C.I.S.I. pour les calculs scientifiques.	19
A-IV-PROGRAMME DE CALCUL.	20
A-IV-1-Exploitation des codes de calcul.	20
A-IV-2-Ecriture de nouveaux codes.	20
A-IV-3-Présentation de résultats.	21
A-IV-4-Programme interactif de traitement de données (NAVY).	21
A-V-TECHNOLOGIE.	26
A-V-1-Etude et réalisation de cibles.	26
A-V-2-Etudes et réalisations mécaniques.	26

TABLE OF CONTENTS

PART A : UTILIZATION AND IMPROVEMENTS OF THE EXPERIMENTAL FACILITIES.

A-I-ACCELERATORS.	1
A-I-1-The 7 MV Tandem Van de Graaff Accelerator.	1
A-I-2-Continuous neutron spectrum by the reaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ with a Van de Graaff tandem.	4
A-I-3-The 4 MeV Van de Graff Accelerator.	9
A-I-4-Measurement of the 4 MeV Van de Graaff pulse duration.	11
A-I-5-Utilization of the accelerators in 1978.	16
A-II-NEW ELECTRONIC DEVICES.	17
A-III-COMPUTERS.	18
A-III-1-Systems for acquisition and treatment of data.	18
A-III-2-Terminal C.I.S.I. for scientific calculations.	19
A-IV-Scientific programming.	20
A-IV-1-Utilization of calculation programs.	20
A-IV-2-Development of new codes.	20
A-IV-3-Results.	21
A-IV-4-Interactive data processing program (NAVY).	21
A-V-TECHNOLOGY (Targets and mechanical systems).	26
A-V-1-Study and production of targets.	26
A-V-2-Studies and realizations of mechanisms.	26

PARTIE B : EXPERIENCES ET INTERPRETATIONS.

B-I-ETUDE DE LA DIFFUSION ELASTIQUE ET INELASTIQUE DES NEUTRONS RAPIDES.	29
B-I-1-Amélioration des dispositifs expérimentaux.	29
B-I-2-Effets de la déformation nucléaire sur la diffusion élastique et inélastique des neutrons par les isotopes pairs de Nd.	32
B-I-3-Diffusion de neutrons de 2,50 et 4,08 MeV par les isotopes du gadolinium.	38
B-I-4-Diffusion de neutrons par les isotopes $^{206,207,208}\text{Pb}$ et ^{209}Bi dans la gamme d'énergie 7,5-13,5 MeV.	45
B-I-5-Description de l'interaction des neutrons avec les noyaux de la région des actinides.	50
B-I-6-Spectroscopie des isotopes pairs de sélénium au moyen de la réaction (n,n'γ).	57
B-I-7-Diffusion inélastique des neutrons rapides par les noyaux.	59
B-II-MESURES DE SECTIONS EFFICACES DE REACTIONS.	61
B-II-1-Mesure de flux de neutrons.	61
B-II-2-Mesure de sections efficaces de capture radiative.	63
B-II-3-Etude de la capture résonnante de ^{28}Si entre 500 keV et 1 MeV.	66
B-II-4-Mesure des sections efficaces (n,2n) et (n,3n) de ^{235}U et ^{239}Pu.	69
B-II-5-Mesures de sections efficaces de fission.	72
B-III-ETUDE DE LA FISSION.	76
B-III-1-Etude d'un nouveau détecteur de fragments de fission.	76
B-III-2-Scintillateur gazeux utilisé comme détecteur de fragments de fission.	80
B-III-3-Mesure à haute résolution de la section efficace de la réaction $^{232}\text{Th}(n,f)$ et de l'anisotropie des fragments de fission.	83

PART B : EXPERIMENTS AND INTERPRETATIONS.

B-I-STUDY OF FAST NEUTRON ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING.	29
B-I-1-Improvements in the experimental systems.	29
B-I-2-Nuclear deformation effects in neutron scattering from even Nd isotopes.	32
B-I-3-Neutron scattering from Gd isotopes at 2.5 and 4.08 MeV.	38
B-I-4-Neutron scattering from ^{206,207,208} Pb and ²⁰⁹ Bi in the energy range 7.5-13.5 MeV.	45
B-I-5-Interaction of neutrons with nuclei of the actinide region.	50
B-I-6-Spectroscopy of even-A selenium isotopes from (n,n'γ) reactions.	57
B-I-7-Fast neutron inelastic scattering.	59
B-II-REACTION CROSS SECTION MEASUREMENTS.	61
B-II-1-Neutron flux measurements.	61
B-II-2-Capture cross sections measurements.	63
B-II-3-Resonance capture study in ²⁸ Si between 500 keV and 1 MeV.	66
B-II-4-(n,2n) and (n,3n) cross section measurements for ²³⁵ U and ²³⁹ Pu.	69
B-II-5-Fission cross sections measurements.	72
B-III-STUDY OF FISSION.	76
B-III-1-Study of a fission fragment detector.	76
B-III-2-Gaseous scintillator used as a fission fragment detector.	80
B-III-3-A high resolution measurement of the cross section and the fission fragment anisotropy for the ²³² Th(n,f) reaction.	83

B-III-4-Analyse de la section efficace et la distribution angulaire des fragments de la fission de ^{232}Th par neutrons.	97
B-III-5-Etude de l'énergie cinétique des fragments de fission de la réaction $^{238}\text{U}(n,f)$.	101
B-III-6-Mesure corrélée de l'énergie et de la vitesse des fragments de fission dans la réaction $^{233}\text{U}(d,pf)$.	109
B-III-7-Etude du partage de l'énergie au point de scission dans la fission.	117
B-IV-ETUDE DES REACTIONS INDUITES PAR IONS LOURDS.	122
B-IV-1-Recherche de résonances de bas spin dans le système $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$.	122
B-IV-2-Etude des isotopes du plomb très déficients en neutrons : recherche des formes non sphériques.	128
B-IV-3-Mesure de la durée de vie du noyau composé ^{107}In à 13,7 MeV d'excitation par la réaction $^{106}\text{Cd}(p,p')$ à $E_p = 10$ MeV.	129
PARTIE C : THEORIE ET EVALUATION.	
C-I-EVALUATION DES DONNEES NUCLEAIRES.	132
C-I-1-Evaluation des sections efficaces neutroniques de Ir naturel de 10^{-5} eV à 20 MeV.	132
C-I-2-Evaluation des sections efficaces neutroniques de ^{169}Tm .	135
C-I-3-Evaluation des données nucléaires des isotopes du tungstène.	138
C-I-4-Evaluation des données nucléaires de ^{242}Pu .	144
C-II-TRAITEMENT DES DONNEES.	145
C-II-1-Fichiers.	145
C-II-2-CDMLAB.	145
C-II-3-COMNUC.	145
C-II-4-Evaluation de paramètres du modèle optique sphérique par une méthode de moindres carrés généralisée.	147

B-III-4-Channel analysis of the ^{232}Th neutron cross sections.	87
B-III-5-Study of the fission fragment kinetic energy in the reaction $^{238}\text{U}(n,f)$.	101
B-III-6-Simultaneous measurement of the kinetic energies and the velocities of the fission fragments in the $^{233}\text{U}(d,pf)$ reaction.	109
B-III-7-Study of the energy balance at scission in the fission process.	117

B-IV-STUDY OF HEAVY ION INDUCED REACTIONS. 122

B-IV-1-Investigation of low spin resonances in the $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ system.	122
B-IV-2-Production of neutron deficient nuclei in the lead region using heavy ions reactions.	128
B-IV-3-Lifetime measurements of the ^{107}In compound nucleus at 13.7 MeV excitation energy by means of the $^{106}\text{Cd}(p,p')$ reaction at $E_p = 10$ MeV.	129

PART C : THEORY AND EVALUATION.

C-I-EVALUATION OF NUCLEAR DATA. 132

C-I-1-Evaluation of cross sections for natural Ir from 10^{-5} eV to 20 MeV.	132
C-I-2-Evaluation of cross sections for ^{169}Tm from 10^{-5} eV to 20 MeV.	135
C-I-3-Evaluation of the nuclear data for the tungsten isotopes from 10^{-5} eV to 20 MeV.	138
C-I-4-Evaluation of the nuclear data for ^{242}Pu .	144

C-II-DATA PROCESSING. 145

C-II-1-Files.	145
C-II-2-Code.	145
C-II-3-Code.	145
C-II-4-Evaluation of the spherical optical model parameters using a generalized least square method.	147

C-II-5-Une nouvelle méthode d'interpolation.	152
C-II-6-Codes de calcul de sections efficaces de production de photons à partir de fichier du type ENDF.	154
C-II-7-Système conversationnel de comparaison et évaluation de données nucléaires.	156
C-II-8-Bibliion.	158
C-III-CALCULS DE DONNEES ET ETUDES DE MODELES NUCLEAIRES.	160
C-III-1-Relations empiriques entre les probabilités de fission et les sections efficaces thermiques de certains actinides.	160
C-III-2-Calcul des sections efficaces de certains actinides.	165
C-III-3-Analyse théorique par modèle optique en voies couplées des sections efficaces neutroniques des isotopes pairs et impairs du tungstène.	167
C-III-4-Calculs des sections efficaces neutroniques pour les isotopes du gadolinium.	172
C-III-5-Etudes sur la paramétrisation du modèle optique pour le calcul de données nucléaires.	173
C-III-6-Facteur de forme du potentiel optique isoscalaire ; cas du noyau lourd ^{197}Au .	181
C-III-7-Etudes sur l'utilisation du formalisme de calcul des sections efficaces par modèle statistique.	184
C-III-8-Effets des déformations non-axiales sur la diffusion des neutrons par $^{76,78}\text{Se}$ et ^{196}Pt .	186
C-III-9-Mise au point d'un code pour le calcul des sections efficaces et spectres γ de capture radiative des nucléons dans le modèle direct-semi-direct.	191
C-III-10-Etudes de potentiels optiques généralisés.	193
C-IV-DESCRIPTION DES NOYAUX DANS LE CADRE DES THEORIES SELF-CONSISTANTES.	202
C-IV-1-Description microscopique de la réaction $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$.	202
C-IV-2-Etudes microscopiques des spectres collectifs des noyaux pairs-pairs.	205

C-II-5-A new interpolation method.	152
C-II-6-Photonic production cross section calculation codes using ENDF microscopic data.	154
C-II-7-Interactive system for comparing and evaluating nuclear data.	157
C-II-8-Biblion.	158
C-III-CALCULATION OF DATA AND STUDY OF NUCLEAR MODELS.	160
C-III-1-Empirical relations between measured fission probabilities and thermal neutron fission cross sections.	160
C-III-2-Cross section calculations for some actinide nuclei.	165
C-III-3-Theoretical analysis of the neutron cross sections of even and odd W isotopes in the framework of the coupled channel optical model.	167
C-III-4-Calculations of neutron cross section of Gd isotopes.	172
C-III-5-Studies on the optical model parameterization in view of calculating nuclear data.	173
C-III-6-Isoscalar optical potential form factor ; case of the heavy nucleus ¹⁹⁷ Au.	181
C-III-7-Studies on the use of the statistical model formalism for calculating cross sections.	184
C-III-8-Effects of non axial deformations on the neutron scattering from ^{76,78} Se and ¹⁹⁶ Pt.	186
C-III-9-Carrying out of a code for calculating cross sections and γ -spectra in the direct-semi-direct nucleon radiative capture.	191
C-III-10-Studies on Generalized Optical Potentials.	193
C-IV-DESCRIPTION OF NUCLEI WITHIN THE SELF-CONSISTENT THEORIES.	202
C-IV-1-Microscopic description of the ¹² C + ¹² C reactions.	202
C-IV-2-Microscopic studies of collective spectra of even nuclei.	205

C-IV-3-Analyse de la diffusion magnétique avec les fonctions d'ondes HARTREE-FOCK-BOGOLYUBOV.	208
C-IV-4-Etudes des propriétés des noyaux dans le cadre de la théorie R.P.A.	209
C-V-ASTROPHYSIQUE.	210
C-V-1-Evolution des galaxies.	210
PARTIE D : BIBLIOGRAPHIE.	216
PARTIE E : SEMINAIRES.	226

C-IV-3-Analysis of the magnetic elastic scattering with H.F.B. wave functions.	208
C-IV-4-Studies of the properties of nuclei in the framework of the Random-Phase-Approximation (R.P.A.).	209
C-V-ASTROPHYSICS.	210
C-V-1-Evolution of galaxies.	210
PART D : BIBLIOGRAPHY.	216
PART E : SEMINARIES.	226

PARTIE A :
EXPLOITATION ET AMELIORATIONS
DES MOYENS EXPERIMENTAUX

A-I-ACCELERATEURS

ACCELERATORS.

A-I-1-Van de Graaff Tandem (A. DANDINE, J. BARDY, A. COURTAÏN, R. CESCHI² et les Techniciens du groupe accélérateur).

The 7 MV Tandem Van de Graaff Accelerator.

On the whole, the Van de Graaff Tandem was operated satisfactorily in 1978. However, during the last few months we have met a lot of difficulties related to the instabilities and the sparks in the low energy tubes at terminal voltages above 6.6 MV. This problem seems to be related to the Heta column resistors, a great number of them being defective after a short time of operation. New developments and a project of booster for the Tandem are reported.

En 1978 l'accélérateur Van de Graaff Tandem a été utilisé environ 2300 heures, les deux tiers de ce temps ayant été consacrés à la production de neutrons rapides à l'aide de faisceaux de protons et de deutérons. Des études ont été également poursuivies en vue de l'accélération d'ions lourds (oxygène et carbone [1]). Ce temps de faisceau a été partagé à raison de 93% pour les physiciens du Service et 7% pour des utilisateurs extérieurs (CEA, CEN Bordeaux, ONERA, Toulouse ...).

Nous avons consacré en 1978 un temps plus important que l'année précédente à la maintenance, aux réparations et à de nombreux essais, ces interventions étant essentiellement destinées à améliorer le fonctionnement de l'accélérateur au dessus de 6,5 MV. Cinq ouvertures ont été effectuées au cours de l'année pour réaliser les principaux travaux suivants :

- changement des tubes haute énergie après 15.400 heures de fonctionnement,
- changement de la courroie qui, après 5740 heures de fonctionnement, présentait des traces d'usure,
- changement des peignes de charge et de décharge et des pointes corç a,
- vérification des valeurs des résistances de colonne et montage en basse énergie d'un nouveau type de résistance,
- vérification de la tension des ressorts de colonne et des liaisons tube-colonne,

- changement et centrage des feuilles de stripper,
- recherche de traces de corrosion éventuelle par le SF₆,
- analyse spectrale du vide résiduel dans le tube.

Malgré ces interventions, nous avons constaté de nouveau au mois d'Octobre une dégradation des conditions de fonctionnement de l'accélérateur au dessus de 6,5 MV : conditionnement important, instabilités du courant colonne, fluctuations de la haute tension et nombreux claquages dans les tubes accélérateurs. Une remise en cause de la qualité du matériel de rechange délivré par la Société HVEC ne semble pas à exclure.

Différentes études ont été poursuivies pour faciliter le réglage de l'accélérateur et améliorer son exploitation :

- mise au point d'un programme d'affichage sur console de visualisation des paramètres de fonctionnement,
- réalisation d'un émittance-mètre qui sera utilisé sur les faisceaux de source, notamment sur une nouvelle source d'ions lourds qui a été commandée à la Société General Ionex Corporation,
- mise en place sur la ligne de faisceau de steerers magnétiques. Ils sont plus faciles à mettre en oeuvre que les steerers électrostatiques et déplacent le faisceau sans ajouter d'aberrations,
- préparation d'un nouveau dispositif de régulation de la haute tension destiné à diminuer l'incertitude relative en énergie et à augmenter le courant d'ions analysé. Le signal d'erreur de type pseudo aléatoire, stationnaire et ergodique, est traité par un amplificateur grand gain, linéaire - logarithmique à faible courant d'entrée (1 nA). Le signal est envoyé par transmission optique à un photomultiplicateur situé dans l'électrode haute tension. L'information démodulée commande une alimentation moyenne tension qui corrige la vitesse des ions dans le stripper. La boucle ainsi formée est du second ordre avec une fréquence de résonance de l'ordre de 100 Hz et un coefficient d'amortissement d'environ 5. Ce dispositif sera monté sur l'accélérateur en début d'année 1979.

Dans le cadre de l'évolution du programme de physique expérimentale du Service, il est apparu important de pouvoir disposer à moyen terme de protons dont la gamme d'énergie se situe entre 10 et 40 MeV et de deutons d'énergie comprise entre 25 et 30 MeV.

L'accélérateur Van de Graaff Tandem n'étant pas en mesure de délivrer des énergies de cet ordre, des études ont été poursuivies en vue de définir les modifications à apporter à cet accélérateur pour répondre aux besoins exprimés.

Une pré-étude, suivie de contacts exploratoires auprès de plusieurs constructeurs et de divers laboratoires de Physique Nucléaire, montre que, parmi diverses solutions, celle qui consiste à équiper le Van de Graaff Tandem d'un post accélérateur, paraît la plus intéressante. Elle permet en effet non seulement l'accélération des ions légers jusqu'aux énergies désirées, mais aussi l'accélération d'ions lourds jusqu'à une énergie d'environ 13 MeV/nucléon pour les ions de masse inférieure à 20.

*Collaborateur temporaire de Thèse.

REFERENCES

- [1] - R. BODIN, Note technique PN-601/78 du 15 Juin 1978, "Production d'ions lourds ^{16}O et ^{12}C à l'aide d'une source duoplasmatron sur le Van de Graaff Tandem 14 MeV de Bruyères-le-Châtel".
- [2] - J. BARDY, Note technique PN-775/78 du 24 Août 1978, "Augmentation de l'énergie du Van de Graaff 7 MV de Bruyères-le-Châtel avec un cyclotron compact à énergie variable".

A-I-2-Production d'un spectre continu de neutrons à l'aide de la réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ auprès de l'accélérateur tandem Van de Graaff (S. PLATTARD, M. DUMAZERT, D. CIMAT, L. SINOPOLI, J.L. UZUREAU).

Continuous neutron spectrum by the reaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ with a Van de Graaff tandem.

A neutron time-of-flight facility has been set up using the tandem Van de Graaff as a pulsed neutron source via the ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ reaction. The neutron spectrum is compared to the one obtained at the Los Alamos tandem Van de Graaff and those delivered by WNR (Los Alamos) and ORELA (Oak Ridge).

L'accélérateur tandem Van de Graaff super EN est utilisé comme une source pulsée de neutrons à l'aide de la réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ dans une cible épaisse de béryllium produisant un spectre continu de neutrons entre 1 et 16 MeV. Associée à cette source de neutrons, nous avons construit une base de temps de vol d'une longueur maximum de 43 m permettant ainsi d'obtenir une très bonne résolution $\Delta E_n(\text{keV}) = 0,77 [E_n(\text{MeV})]^{3/2}$, qualité indispensable à un tel spectromètre pour des mesures à haute énergie notamment pour des mesures de sections efficaces totale et de fission.

Le faisceau de neutrons pulsés est obtenu de la façon suivante : un faisceau continu d'ions ${}^2_1\text{H}^+$, d'intensité 120 μA , extrait d'une source duoplasmatron CSF est accéléré à une énergie de 120 keV avant d'être haché en impulsions de 30 ns de largeur à mi-hauteur à une fréquence maximale de 2,5 MHz. Ces impulsions sont ensuite regroupées (jusqu'à 1 ns de largeur à mi-hauteur) et accélérées à une énergie maximum de 14 MeV. Après avoir été dévié à 45° , le faisceau est repris par un triplet magnétique qui le focalise sur une cible épaisse en béryllium placée derrière un aimant à $22,75^\circ$. L'intensité maximum mesurée sur la cible est de 3 μA à une fréquence de répétition de 1,25 MHz.

D'un diamètre de 10 mm et d'une épaisseur de 1 mm, la cible, isolée du système de transport du faisceau, arrête complètement les deutons de 14 MeV et possède en amont un diaphragme en or assurant un alignement optimal du faisceau dont le diamètre est d'environ 5 mm au point d'impact. La cible est refroidie par un jet d'air comprimé.

Les neutrons atteignent l'aire expérimentale grâce à une collimation de 190 cm de long placée à 30 cm de la cible dans la direction du faisceau incident de deutons et d'un diamètre maximum de 7 cm réglable tous les 10 cm. La collimation est fermée à chaque extrémité par une fenêtre en Kapton de 8 cm de diamètre et 125 μ m d'épaisseur afin de maintenir un vide de 10^{-2} torr. Derrière ce collimateur un emplacement de 65 cm de long est prévu pour recevoir un passeur d'échantillons destiné aux mesures de sections efficaces totales. Un tube de base de temps de vol d'une longueur maximum de 40 m dans lequel peuvent être placées différentes collimations et où règne un vide primaire assure le transport des neutrons jusqu'au lieu de l'expérience. L'ensemble de l'installation expérimentale est schématisé sur la figure 1.

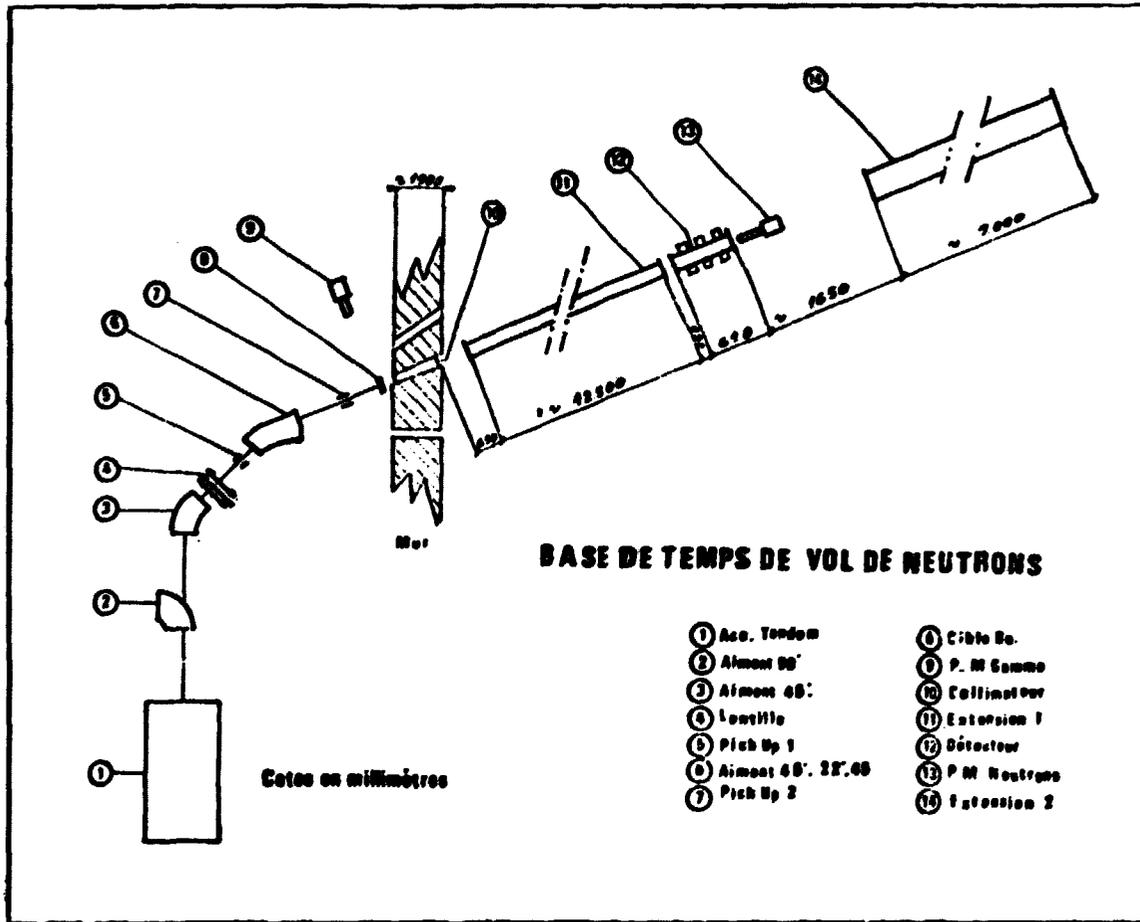
A une distance de vol de 16 m nous avons mesuré, à l'aide d'un scintillateur plastique NE 102 A couplé à un photomultiplicateur XP 2020, le spectre de neutrons d'énergie comprise entre 1,1 et 16 MeV pour des deutons d'énergie $E_d = 12,4$ MeV pulsés à 625 kHz et un courant cible de 1,3 μ A. Le nombre total de neutrons, $2.32 \cdot 10^{10}$ n/s. sr, est en excellent accord avec la valeur trouvée par WEAVER et al. [1] ramenée à des conditions de faisceau identiques. Au cours de la mesure, un scintillateur plastique mince SPF couplé à un photomultiplicateur XP 2020 regardait en permanence la cible située à une distance de 2m afin de s'assurer, par la méthode du temps de vol, que la largeur à mi-hauteur de la pulsation γ n'excédait pas 1,1 ns.

Sur la figure 2, le spectre en énergie (n/MeV.s.sr) est comparé à celui obtenu par le tandem FN de Los Alamos qui utilise la même réaction neutro-nigène mais avec un courant cible plus faible (800 nA) [2]. Pour une résolution nominale identique (ns/m) nous le comparons aussi à celui délivré par l'accélérateur linéaire à électrons d'Oak Ridge (ORELA) et à celui calculé pour la source WNR de Los Alamos [2].

Pour des énergies de neutrons comprises entre 3 et 11 MeV, la figure 2 montre clairement l'avantage de la réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ sur ORELA et WNR ; cette réaction reste toutefois inadaptée pour des mesures au dessous du MeV. La réaction ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ présente en outre les avantages suivants : i) due à la fréquence de répétition élevée que peut utiliser un tandem pulsé et pour un nombre fixé de neutrons/s, la correction de temps mort pour les événements multiples par impulsion est généralement petite ($\sim 1\%$) ; ii) le bruit de fond demeure faible car la plupart des neutrons sont produits dans la gamme d'énergie intéressante (> 1 MeV) [3].

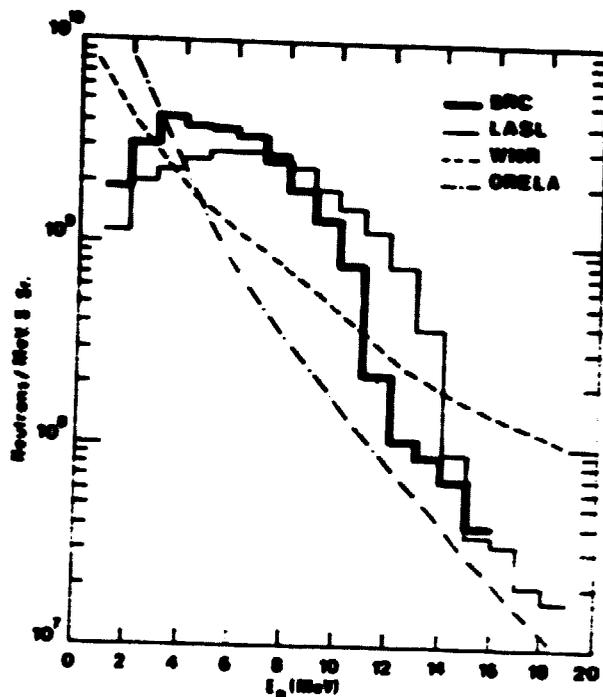
REFERENCES

- [1] - K.A. WEAVER, J.D. ANDERSON, H.H. BARSCHALL et J.C. DAVIS, *Nucl. Sci. Eng.* 52, 35 (1973).
- [2] - G.F. AUCHAMPAUGH, C.E. RAGAN III, S. PLATTARD et N.W. HILL, *Los Alamos Scientific Laboratory, report LA-6761* (1977).
- [3] - S. PLATTARD, M. DUMAZERT, D. GIMAT, L. SINOPOLI et J.L. UZUREAU, *Conférence Internationale sur la Physique Neutronique et Les données nucléaires pour les réacteurs et autres applications, Harwell (G.B.)* (25-29 Sept. 1978).



A-I-2-FIGURE 1

Implantation du dispositif expérimental auprès de l'accélérateur Van de Graaff tandem.



A-I-2-FIGURE 2

Comparaison des spectres en énergie obtenus à Bruyères-le-Châtel, Los Alamos et Oak Ridge pour une résolution nominale identique.

A-1-3-Van de Graaff 4 MeV (A. DANDINE, R. DUBOIS, P. MEUNIER, A. PENNARUN).

The 4 MeV Van de Graaff Accelerator.

The total operation time in 1978 was about 2700 hours, the proton and deuteron beams being used exclusively for neutron physics studies. In the pulsed operation at 1 MHz, bursts of 0.6 ns were obtained with an average intensity of 4 μ A. Some other interesting improvements of the pulsing system are reported.

L'accélérateur Van de Graaff 4 MeV a fonctionné plus de 2700 heures entièrement utilisées à la production de neutrons avec des faisceaux de protons et de deutérons.

Le temps de faisceau a été partagé à raison de 95% pour les physiciens du Service de Physique Nucléaire et 5% pour des laboratoires extérieurs (CEA Bruyères-le-Châtel, Saclay, Marcoule).

Huit ouvertures du tank ont été effectuées, sept d'entre elles étant nécessitées par des changements de la source d'ions dont la durée moyenne de fonctionnement est de 410 heures.

- Ont été également remplacés cette année :

- . le tube accélérateur après 19474 heures de fonctionnement,
- . la courroie (7778 heures de fonctionnement),
- . l'alternateur et le moteur d'entraînement (15 898 heures de fonctionnement),
- . la boîte de pulsation (4045 heures de fonctionnement).

- De nombreux autres travaux de réparation ont été effectués parmi lesquels les plus importants ont été :

- . le réglage à quelques 10^{-5} de la stabilité des alimentations de l'électro aimant d'analyse et de commutation,
- . la remise en état et l'amélioration des circuits de vide (nettoyage des pompes, installation d'un piège à alimentation automatique d'azote liquide),
- . le réalignement optique de la ligne de faisceau de l'aimant Mobley.

Les épreuves de pression, conformes à la nouvelle réglementation du CEA, ont été effectuées en Juillet 1978 avec le concours de l'APPAVE.

Au cours d'essais de pulsation et de regroupement d'un faisceau de protons, des bouffées de largeur à mi-hauteur de 800 ps à 1,5 MeV, de 600 ps à 3,7 MeV, et délivrant un courant moyen $\bar{I} = 4\mu\text{A}$, ont été obtenues à la fréquence de 1 MHz.

Par la suite, le système de pulsation a été modifié en portant la fréquence de la pulsation à 2,5 MHz pour augmenter le courant moyen.

Dans une première série d'essais, on a obtenu un courant moyen de $\bar{I} = 8\mu\text{A}$, avec des bouffées hachées à 5 ns et regroupées à 0,75 ns de largeur à mi-hauteur. Dans une deuxième série d'essais, on a obtenu des courants d'intensité moyenne variant de $5\mu\text{A}$ à $35\mu\text{A}$, avec des largeurs de bouffées de 20 à 30 ns.

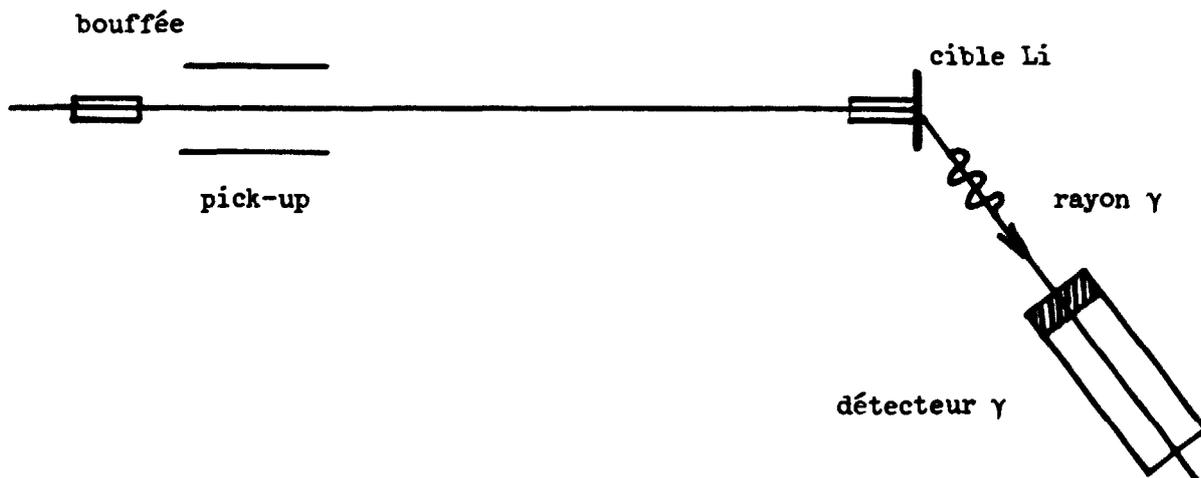
A-I-4-Mesure de la durée de la bouffée pulsée du Van de Graaff 4 MeV

(G. HAOUAT, C. HUMEAU, S. SEGUIN, A. DANDINE, R. DUBOIS, P. MEUNIER,
A. PENNARUN).

Measurement of the 4 MeV Van de Graaff pulse duration.

A precise measurement of the short pulsed beam width which is generated by the 4 MV Van de Graaff accelerator is described.

En prévision de nouvelles mesures de diffusion de neutrons, nous avons entrepris, avec la collaboration d'un groupe de Physiciens, une mesure fine de la durée de la bouffée du faisceau pulsé de protons délivré par l'accélérateur. La connaissance de ce paramètre est nécessaire pour évaluer la résolution en énergie de l'ensemble de mesure. Le principe de la mesure consiste à enregistrer la distribution en temps des rayons γ produits par l'interaction des protons avec une cible :



Cette distribution est repérée par rapport à l'instant de passage des bouffées de protons à travers un anneau capacitif (pick up). Cet instant est défini avec une précision meilleure que 100 ps.

Les rayons γ sont détectés avec un scintillateur rapide Pilot U associé à un photo-multiplicateur rapide XP 2020. La résolution en temps du détecteur est de l'ordre de 300 ps.

La cible solide est faite de ${}^7\text{Li}$, évaporé sur un support de tantale ($50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Les mesures de durée des bouffées ont été effectuées aux énergies de protons de 3,7 2,7 et 1,5 MeV. Le courant moyen cible était de 4 à $5\mu\text{A}$.

Sur la figure 1 l'étalonnage est de 64,5 ns/canal. L'énergie du faisceau est de 2,7 MeV, la largeur à mi-hauteur est de 9 canaux (580 ps), soit une résolution de bouffée de 490 ps.

Le spectre de temps de vol des neutrons de la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ a été enregistré (figure 2) : l'énergie des protons était 3,7 MeV, l'énergie des neutrons à 0° était de 2 MeV. La longueur de la ligne de vol était de 8 mètres. Ce spectre a été obtenu sans discriminateur n- γ et sans seuil linéaire (calibration = 0,96 ns/cl).

Le même spectre est montré sur la figure 3 avec discrimination n- γ (calibration = 0,96 ns/cl). On observe que le bruit de fond a fortement diminué. Les caractéristiques de la pulsation du faisceau sont suffisantes pour permettre d'effectuer dans de bonnes conditions les mesures de diffusion de neutrons auprès de cet accélérateur.

Toutefois nous observons :

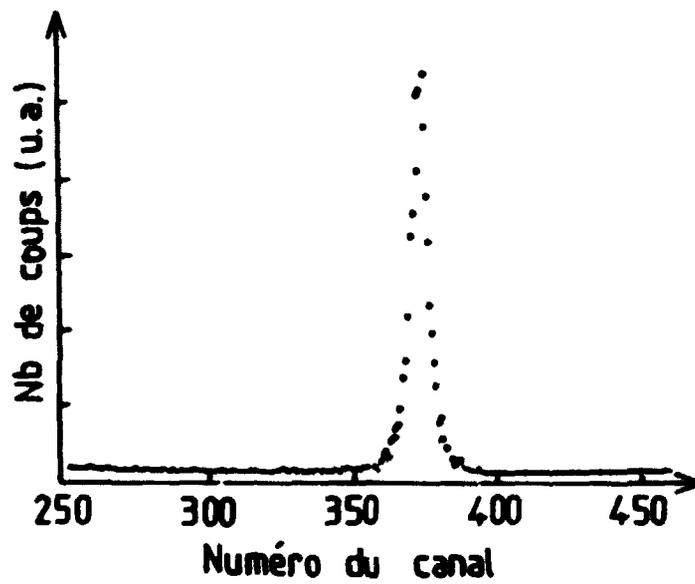
- la présence d'un pic parasite de neutrons situé à 50 ns avant le pic principal de neutrons et dont l'intensité est 0,8% du pic principal,
- une dérive du pic de temps de vol ce qui conduit à un élargissement de la bouffée.

Le pic parasite est lié à un défaut de focalisation, le faisceau frappant probablement le bord d'un diaphragme situé près de la cible. Un réglage minutieux a permis de le supprimer par la suite.

La dérive du pic peut résulter :

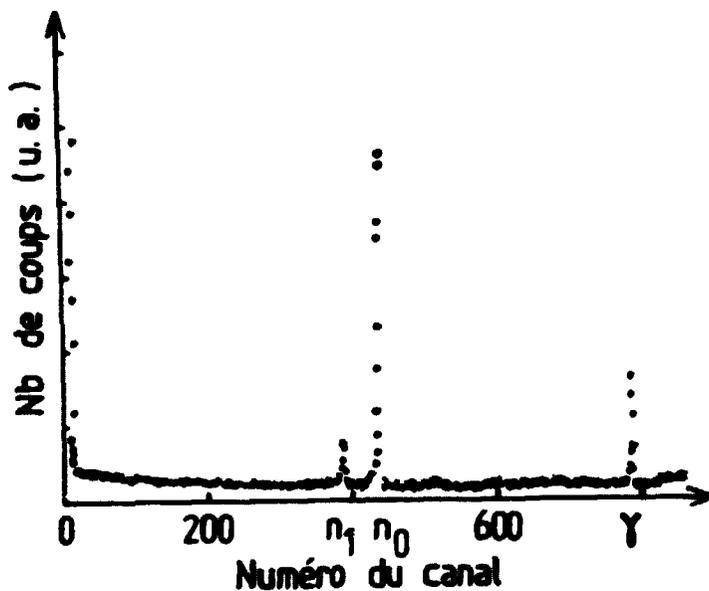
- d'une dérive du système de focalisation du faisceau,
- de légères variations de la tension sinusoïdale du déflecteur du système de regroupement.

Cette dérive peut être gênante dans le cas de mesures à haute résolution de longue durée, et il semble que l'on puisse l'éviter en améliorant la stabilité des alimentations des systèmes de focalisation et de pulsation, la stabilité des alimentations des électroaimants de la ligne de faisceau et en diminuant les fluctuations de la haute tension de l'accélérateur.



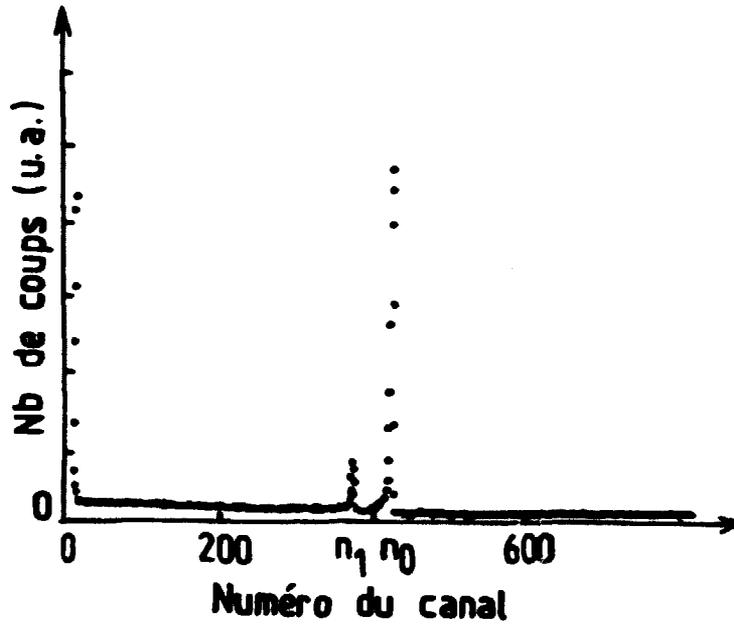
A-I-4-FIGURE 1

*La largeur à mi-hauteur est de 9 canaux (580 ps)
soit une résolution de la bouffée de 490 ps.
(1 canal = 65 ps).*



A-I-4-FIGURE 2

Spectre de temps de vol, $\theta = 0$ degr. , $L = 8$ m
 $E_n = 2$ MeV. Spectre sans discrimination n- γ et
sans seuil linéaire, calibration = 0,96 ns/canal.



A-I-4-FIGURE 3

Spectre de temps de vol $\theta = 0$ deg., $L = 8$ m,
 $E_n = 2$ MeV. Spectre avec discrimination n- γ
calibration = 0,96 ns/canal. Le bruit de
fond a fortement diminué.

A-I-5-Répartition du temps de fonctionnement des accélérateurs en 1978.

Utilization of the accelerators in 1978.

(temps en heures)

	Van de Graaff Tandem 7 MV	Van de Graaff 4 MV	Accélérateurs 550 KV et 150 KV
Entretien - Réparations	1.334	637	50
Arrêts dus à des causes extérieures	66	39	28
Etudes et Améliorations	159	144	44
Réglages	213	283	35
Temps morts	369	531	-
Temps total d'utilisation	2.356	2,763	514
- en protons	676	2,630	493
- en deutérons	1,096	133	21
- en ions lourds	583		

A-II-ELECTRONIQUE NUCLEAIRE

New electronic devices

(J.P. LAGET, M. RENAUD)

(et les techniciens du groupe)

Le groupe d'électronique nucléaire en liaison avec le groupe informatique a poursuivi un travail de prospection, afin de définir une politique de remplacement en matière d'équipements d'électronique nucléaire. En effet, les chaînes de mesure et d'acquisition ainsi que les moyens de contrôle et d'étalonnage dont disposent les physiciens ont une ancienneté telle qu'une rénovation d'une part importante de ces matériels s'est avérée nécessaire.

Pour certains équipements dont le remplacement ne peut être assuré par des matériels catalogue, des études ont été lancées dans le laboratoire ou en liaison avec les services électroniques de Saclay (interfaces spécifiques, dispositif d'analyse multiparamétrique, système autonome d'acquisition de données sur disque souple ..).

Pour les études réalisées en laboratoire, on peut signaler en particulier les travaux concernant l'utilisation de systèmes d'acquisition et de visualisation ainsi que la réalisation d'un dispositif de déviation de faisceau d'accélérateur permettant de relever le diagramme d'émittance de ce faisceau.

A-III-INFORMATIQUE

Computers

(Y. de PENQUER, M. GUILLOUD)
(et les techniciens du groupe)

A-III-1-Systèmes d'acquisition et de traitement de données.

Nous continuons la rénovation de notre parc d'ordinateurs en remplaçant les systèmes 10.020 C.I.I. par des systèmes de type MITRA. Pour l'ensemble des postes d'acquisition il a été lancée une opération consistant à remplacer toutes les interfaces existant actuellement par des interfaces CAMAC. Des coupleurs CAMAC sont achetés ou en commande et un système d'acquisition à base de codeurs analogiques digitaux CAMAC est à l'étude en collaboration avec les S.E.S. de SACLAY.

- Poste d'acquisition n° 1 (ATR 1).

Ce poste est toujours équipé d'un 10.020, la prise en compte des données est faite sur disques. La fiabilité de cet ordinateur étant devenue mauvaise et le départ du système ETD auquel il est lié pour le traitement des disques de données étant décidé, il est envisagé de le remplacer par un MITRA 115.

- Poste d'acquisition n° 2 (ATR 2).

Il est équipé de l'ordinateur MITRA 15 n° 2 devenu opérationnel dans le courant de l'année par la mise au point des programmes spécifiques. Un programme de visualisation graphique pour le système TEKTRONIX 4014 a été écrit pour ce poste dans la perspective du contrôle du Tandem par ordinateur.

- Poste d'acquisition n° 3 .

Le MITRA 15 n° 1 associé au Van de Graaff 4 MeV continue à donner entière satisfaction.

- Poste d'exploitation des données en temps différé (ETD).

Le MITRA 125, devant remplacer le système 10.020 actuellement en place, a été livré courant septembre. Il fonctionne à l'heure actuelle sous les exécutifs BATCH et EXOP.

La visualisation VG 2100, qui doit remplacer auprès du MITRA 125 la visualisation SINTRA du 10.020, a été livrée au début de l'année et testée (matériel et logiciel) sur MITRA 15. Elle est maintenant couplée sur le MITRA 125 mais elle ne deviendra opérationnelle que lorsque les programmes d'exploitation auront été mis au point. De plus il est envisagé d'adjoindre sur ce MITRA 125 un système à temps partagé avec des consoles alpha-numériques.

A-III-2-Terminal C.I.S.I. pour les calculs scientifiques.

Dès le mois de mai, l'IRIS 45 qui assurait ce rôle a été remplacé par un CO/ORDINATEUR 500 SFENA-DSI en location. Si la fonction Remote-Batch a immédiatement donné satisfaction ainsi que la fiabilité du système, il n'en a pas été de même des autres fonctions proposées par le constructeur ; en particulier la possibilité de soumettre des travaux par des consoles éloignées et de pouvoir récupérer les listings sur ces consoles, n'est toujours pas réalisée malgré les efforts du constructeur. Dès que ce problème aura été réglé, nous disposerons d'un système d'utilisation plus souple pour un prix de location inférieur à celui de l'IRIS 45.

A-IV-PROGRAMMES DE CALCUL

Scientific programming.

(M.A.BEUVE, D.COTTEN, M.GAUTIER)

La plupart des calculs scientifiques sont exécutés sur les ordinateurs de la C.I.S.I. à SACLAY (IBM 360-91, IBM 370-168, CDC 7600) par l'intermédiaire d'un terminal (SFENA-DSI) installé dans le Service.

L'activité du Bureau de Calcul a porté essentiellement cette année sur les points suivants :

- Exploitation de gros codes de calcul en production à la CISI-SACLAY et de programmes utilisés sur nos installations (CII 10.020).

- Ecriture de nouveaux codes pour les dépouillements d'expériences ou transformation de codes existants pour une meilleure adaptation à nos besoins.

- Mise en forme de résultats en vue de publication.

- Maintenance d'un programme interactif de traitement de données sur CII 10.020-SINTRA VU 2000.

A-IV-1-Exploitation des codes de calcul.

Il s'agit essentiellement des codes suivants (voir parties B et C de ce Compte-Rendu).

- . APOLLO - Calcul du flux en résolvant l'équation de transport.
- . ANISN - Résolution de l'équation de transport de Boltzman à une dimension.
- . AMPX - Production de bibliothèques de sections efficaces multigroupes neutron - gamma à partir d'une bande ENDF-B IV.
- . DIFMULT - Correction d'échantillon et de diffusion multiple pour les sections efficaces expérimentales.
- . XSCOPE - Calcul d'efficacité télescope.

A-IV-2-Ecriture de nouveaux codes.

- GSCT

C'est un programme de Monte-Carlo développé par D.L. SMITH [1] pour corriger les sections efficaces de production de rayonnements gamma de la réaction

(n, n', γ). Nous avons dû le modifier presque entièrement pour corriger les sections efficaces de capture de la diffusion multiple et de l'auto-absorption des neutrons dans l'échantillon. Nous avons pris en compte également l'anisotropie de la source de neutrons et les conditions expérimentales particulières qui étaient les nôtres. Les corrections ont été faites sur les éléments suivants : Y, Nb, W, Pt, Au, Tl naturel, ^{203}Tl , ^{205}Tl , Si, Gd.

- DERIV

Ce programme permet de faire une correction des effets de résolution pour des spectres bi-paramétriques.

Dans le cas d'un spectre monoparamétrique une méthode de calcul des dérivées numériques a été étudiée pour éviter l'amplification des oscillations. La méthode peut être appliquée dans le cas de spectres bi-paramétriques ayant des paramètres dont l'incertitude est corrélée [3].

A-IV-3-Présentation de résultats

- . HISTOG (fig. 1). Spectres bi-paramétriques.
- . NIVO - Tracé des courbes de niveau (fig. 2).
- . HIDE - Présentation en perspective avec élimination des surfaces cachées (fig. 3).
- . SCHEM - [4]. Schéma de niveau.
- . LIBR - [5] - Sections efficaces différentielles et spectres monoparamétriques.

Une version conversationnelle de ce code sera développée sur le nouveau système MITRA 125 - VG 2100.

A-IV-4-Programme interactif de traitement de données (NAVY).

Ce programme actuellement implanté sur CII 10.020 - VISU SINTRA va être entièrement réécrit et rénové en tenant compte des nouveaux besoins des utilisateurs pour être implanté sur le nouveau matériel : MITRA 125 - VG 2100 installé dans le Service.

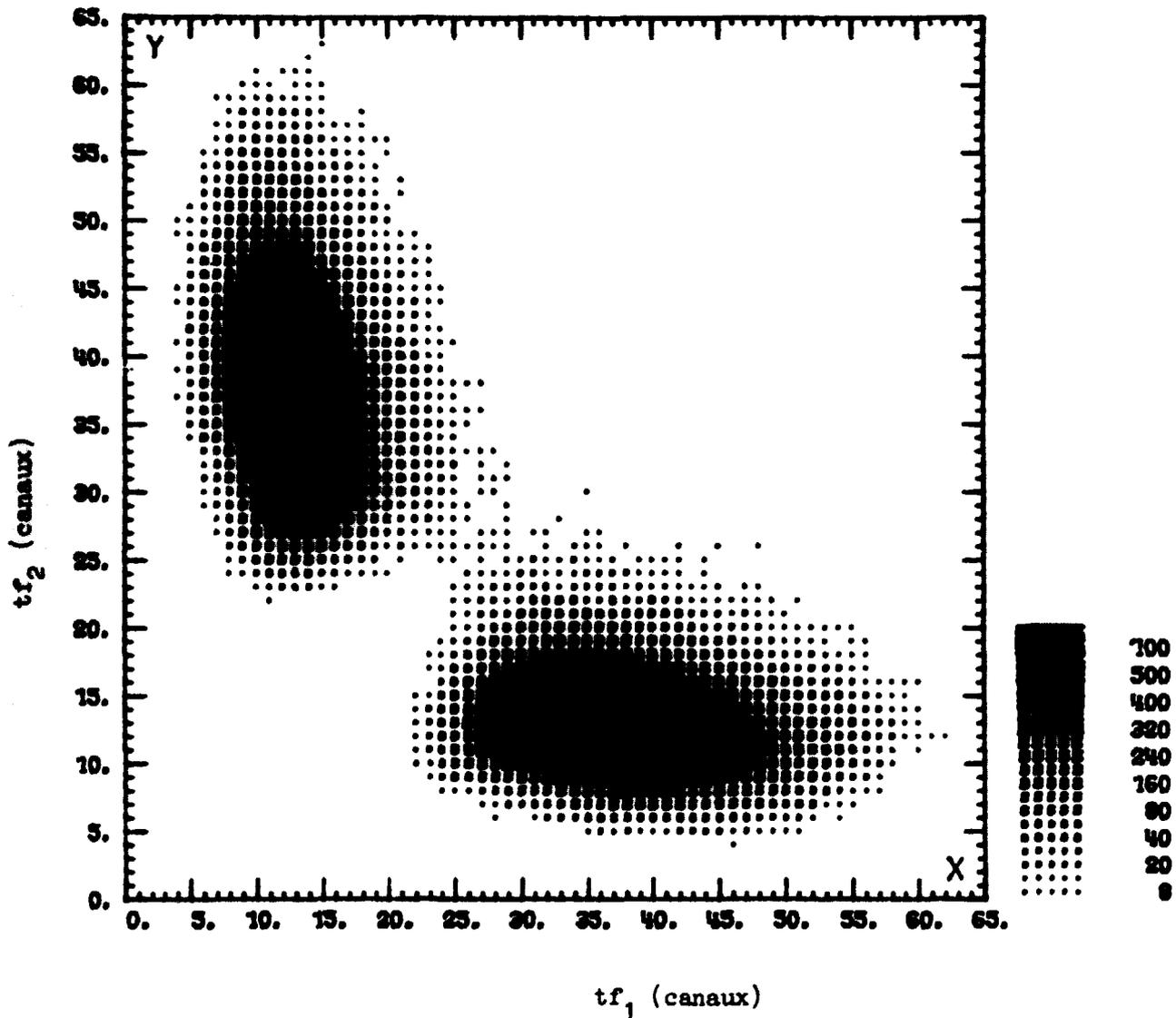
REFERENCES

- [1] - D.L. SMITH, *ANL/NDM-17 Argonne (1975)*.
- [2] - H.W. SCHMITT, W.E. KEKER et C.W. WILLIAMS, *Phys. Rev. 137 (1965) 3837*.

[3] - Y. PATIN, J.P. LOCHARD, G. DALBERA, C. HUMEAU, *Chapitre B-III-1, de ce compte rendu.*

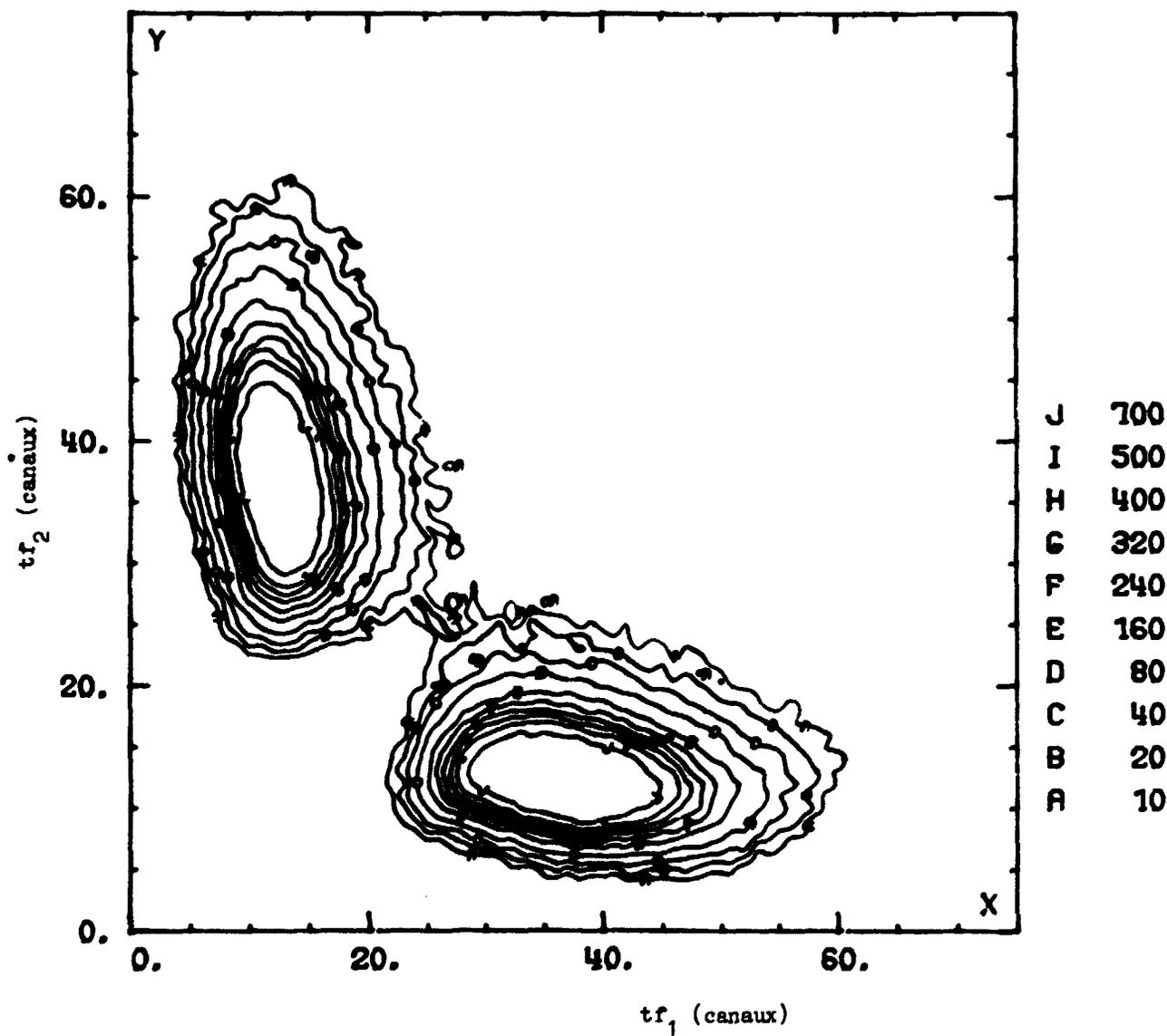
[4] - J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY, J. CHARDINE, *Chapitre B-I-5 (fig. 2), de ce compte rendu.*

[5] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. CHARDINE, *Chapitre B-I-4 (fig. 1), de ce compte rendu.*



A-IV-FIGURE 1

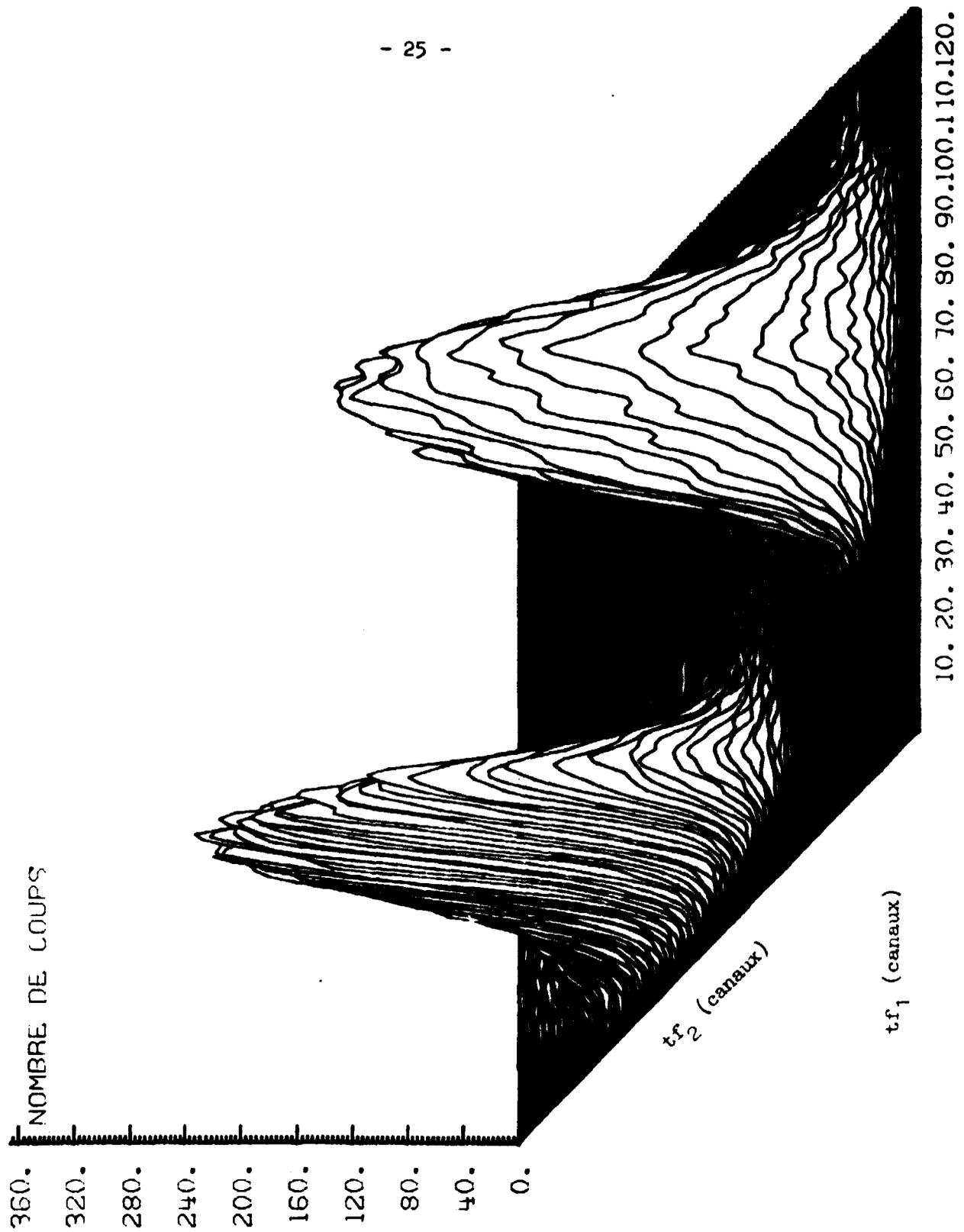
Spectre bi-paramétrique en temps de vol des fragments de fission
dans la réaction $^{235}\text{U}(d, pf)$. (1 canal = 2/10 ns).
Représentation par le code HISTOG.



A-IV-FIGURE 2

Spectre bi-paramétrique en temps de vol des fragments de fission de la réaction $^{233}\text{U}(d,pf)$. (1 canal = 2/10 ns).

Représentation par le code NIVO.



A-IV-FIGURE 3

Spectre bi-paramétrique en temps de vol des fragments de fission
de la réaction $^{233}\text{U}(d, pf)$. (1 canal = 1/10 ns).
Représentation par le code HIDE.

A-V-TECHNOLOGIE

Technology

(targets and mechanical systems)

(C. BONETTI, M. DUMAZERT, G. GOMES et les Techniciens du Groupe).

A-V-1-Etude et réalisation de cibles.

Outre la fabrication de cibles par des procédés déjà éprouvés (cibles neutronigènes en titane tritié [1], ${}^7\text{Li}$ pur, polyéthylène deutéré ...) le laboratoire a pu mettre au point la réalisation de nouvelles cibles nécessitées par l'évolution de l'activité expérimentale du Service :

- le besoin de supports plus minces a amené à une conception originale de supports en or (3/10 mm d'épaisseur) soudés par eutectique sur des anneaux de nickel. De tels supports, en permettant un meilleur refroidissement de la cible, en améliorent sensiblement la durée de vie. Des feuilles de plastiques (V.Y.N.S.) de $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ont été fabriquées avec une homogénéité meilleure que 10% sur des diamètres atteignant 7 cm.

- les études de réactions induites par ions lourds ont nécessité la réalisation de cibles de carbone auto-supporté ($5 \text{ à } 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), de cibles de magnésium naturel ou isotopiquement pur, auto-supportées ou sur support mince. Quelques cibles de ${}^{232}\text{Th}$ et de ${}^{238}\text{U}$ ont été réalisées sur supports de carbone.

Les compétences du laboratoire ont été largement sollicitées en 1978 par des laboratoires extérieurs : CEA, ETCA, SNIAS (pour la réalisation d'implants pour un ablatomètre [2], [3]).

A-V-2-Etudes et réalisations mécaniques.

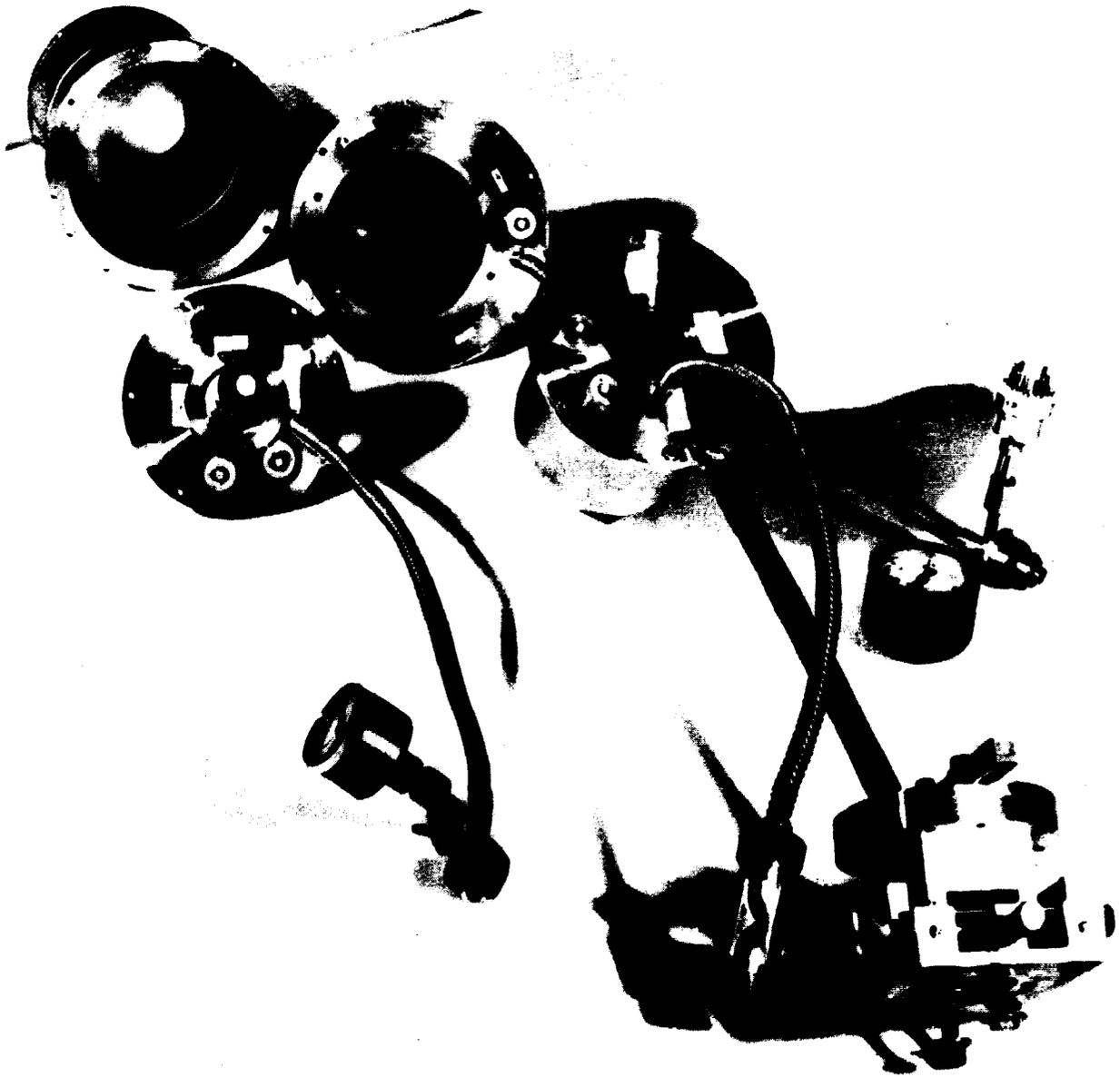
Ont été étudiés et réalisés en particulier :

- une nouvelle cible gazeuse tritium [4],
- une cible tournante de lithium. Utilisée pour la production de neutrons, la durée de vie d'une telle cible est considérablement augmentée [5].
- une chambre d'ionisation pour les études d'ions lourds,
- des enceintes pour détecteurs,

- un télescope à protons de recul (fig. 1) [6],
- divers équipements pour les accélérateurs et les laboratoires.

REFERENCES

- [1] - C. BONETTI, "Preparation of self-supported (100 to 200 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) tritiated titanium targets", *communication présentée à World Conference of the International Nuclear Target Development Society, Garching-Munich, Sept. 1978.*
- [2] - C. BONETTI, "Etude pour la réalisation d'implants servant à la mesure de l'ablation de nez de fusée", *Note technique n° PN-962/77 du 30.11.1977.*
- [3] - A. ADAM, C. BONETTI, "Ablatomètre à radioéléments ; étude d'une méthode de fabrication des implants par la diffusion du carbone dans le tantale", *Rapport d'Etude RCP/0690 du 29.9.1978.*
- [4] - *Compte rendu d'Activité du Service de Physique Nucléaire pour l'année 1977 (p. 16).*
- [5] - S. SEGUIN, C. HUMEAU, G. DALBERA, G. HAOUAT, *Chapitre B-I-1, de ce compte rendu.*
- [6] - M. CANCE, D. GIMAT, G. GRENIER, D. PARISOT, *Chapitre B-II-5, de ce compte rendu.*



A-V-FIGURE 1

Détecteur hybride de mesure de section efficace de fission (téléscope à protons de recul et chambre d'ionisation associée).

PARTIE B :
EXPERIENCES
ET
INTERPRETATIONS

B-I-ETUDE DE LA DIFFUSION ELASTIQUE ET INELASTIQUE
DES NEUTRONS RAPIDES

STUDY OF FAST NEUTRON ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING.

B-I-1-Amélioration des dispositifs expérimentaux (S. SEGUIN, C. HUMEAU,
G. DALBERA, G. HAOUAT).

Improvements in the experimental systems.

Improvements in the experimental systems have been undertaken. A fifth neutron detection chain has been added to the four-detector time-of-flight spectrometer. A rotating ${}^7\text{Li}$ target has been designed for neutron production with the high current ($\approx 12\mu\text{A}$) pulsed beam of the 4 MV Van de Graaff accelerator and using the ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction. The method for measuring the target thickness is described.

L'ensemble de spectrométrie des neutrons par temps de vol, utilisé dans nos précédentes expériences et qui se compose de quatre chaînes de mesures [1], a été amélioré. Il comprend cinq chaînes identiques de détection des neutrons rapides. Le système de barres d'ombre a été redessiné ; il est constitué de cinq barres, l'écart angulaire entre deux canaux de détection étant toujours de 20 deg ; de même la distance entre la cible et le diffuseur est la même que pour le système à quatre barres d'ombre (≈ 12 cm). La forme et la disposition des barres permet de mesurer la distribution angulaire entre 20 et 160 deg. Ce dispositif permet de réduire dans une proportion de 20 à 25% les durées d'acquisition des données pour établir une distribution angulaire complète.

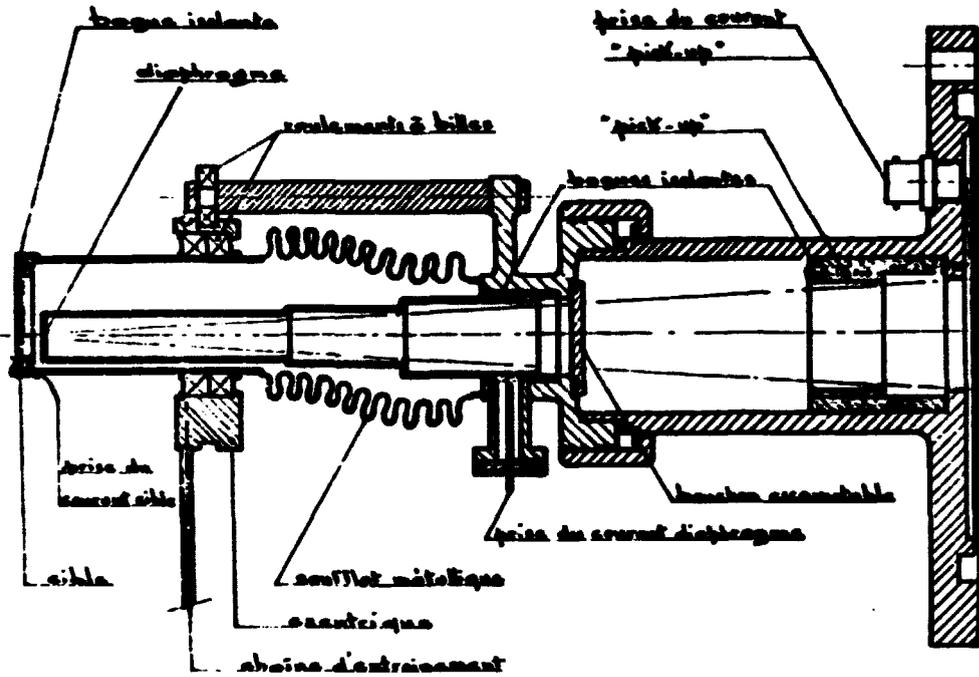
Au cours d'une modification récente de la source de l'accélérateur Van de Graaff 4 MV, la fréquence de hachage a été portée de 1 MHz à 2,5 MHz de sorte que le faisceau pulsé de protons (ou deutérons) peut atteindre des intensités moyennes de $12\mu\text{A}$ pour une largeur à mi-hauteur des bouffées d'ions de

= 0,7 ns [2]. Il est apparu nécessaire d'adapter la cible de lithium associée à cet accélérateur et qui est utilisée pour la production de neutrons au moyen de la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ [3]. Nous avons conçu une cible tournante qui est prévue pour fonctionner durant 100 heures environ avec le même dépôt de ${}^7\text{Li}$ dont l'épaisseur peut être aussi petite que $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Le schéma décrivant la cible est donnée dans la figure 1. Nous nous sommes efforcés de réduire la masse des constituants de cette cible afin de diminuer le nombre des neutrons diffusés par les parois et d'améliorer ainsi le rapport signal sur bruit au niveau du diffuseur.

L'épaisseur de dépôt de ${}^7\text{Li}$ est déterminée en mesurant le taux de production des neutrons émis à 0 deg en fonction de l'énergie des protons incidents, pour des énergies voisines du seuil de la réaction ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Les neutrons sont détectés avec un long compteur à BF_3 du type Mc Kibben. La méthode de mesure est décrite en détail dans la référence 4.

REFERENCES

- [1] - J. LACHKAR, G. HAOUAT, J. SIGAUD, Y. PATIN, F. COÇU, C. HUMEAU, S. SEGUIN, *Rapport CEA-R-4839 (1977)*.
- [2] - A. DANDINE, R. DUBOIS, P. MEUNIER, A. PENNARUN, *Van de Graaff 4 MeV*, (cf Chap. A-I-3).
- [3] - J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY, J. CHARDINE, *Description de l'interaction des neutrons avec les noyaux de la région des actinides (Cf Chap. B-I-5)*.
- [4] - J.H. GIBBONS et H.W. NEWSON, *Fast neutron physics, Vol. 1, p. 133 (eds J.B. MARION and J.L. FOWLER, Interscience Publishers, New York, 1960)*.



B-I-1-FIGURE 1

Schéma de la cible tournante de lithium.

B-I-2-Effets de la déformation nucléaire sur la diffusion élastique et inélastique des neutrons par les isotopes pairs de Nd (G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M.T. McELLISTREM*, Y. PATIN, R.E. SHAMU, J. SIGAUD).**

Nuclear deformation effects in neutron scattering from even Nd isotopes.

We have undertaken the study of nuclear deformation effects on fast neutron scattering from the isotopes ^{142,144,146,148,150}Nd. Differential cross sections have been measured at 4.08 and 7.00 MeV incident neutron energies for the elastic scattering and the inelastic scattering to the first 2⁺ state of the five isotopes and the first 4⁺ state of ¹⁵⁰Nd. The data have been compared to theoretical calculations using the coupled-channel model. Nuclear deformation parameters have been derived and are compared to those obtained using other probes of the nuclear surface.

Nous avons entrepris d'étudier les effets de la déformation nucléaire sur la diffusion élastique et inélastique des neutrons rapides par les isotopes ^{142,144,146,148,150}Nd. Ces noyaux, situés au début de la région des terres rares, sont caractérisées par une rapide transition de forme entre la configuration sphérique pour le noyau ¹⁴²Nd, qui possède une couche fermée en neutrons avec N = 82, et la configuration déformée pour le noyau ¹⁵⁰Nd.

Les sections efficaces de diffusion élastique et inélastique de neutrons ont été mesurées entre 20 et 160 deg aux énergies de neutrons incidents de 4,08 et 7,00 MeV. Ces travaux ont fait l'objet de rapports et communications [1]. On a pu montrer, lors de l'analyse des données, qu'un potentiel optique unique, qui inclue une dépendance avec le rayon moyen du noyau et le terme d'asymétrie, permet de décrire les propriétés de diffusion des cinq isotopes.

Parallèlement à ces études de diffusion, des mesures de sections efficaces totales ont été entreprises à Western Michigan University [2] sur les mêmes isotopes. Ces mesures indiquent qu'autour de 7 MeV la section efficace totale augmente avec la masse du noyau cible. Cet accroissement est attribué aux effets de la déformation nucléaire. Il nous a paru intéressant d'examiner comment l'excès de section efficace totale est réparti entre les différentes

voies de sortie. La figure 1 montre en fonction de la masse des noyaux les variations de la section efficace totale (σ_T), de la section efficace élastique intégrée (σ_{EL}) et de la section efficace inélastique pour les états collectifs les plus bas (σ_{IN}). Pour les noyaux $^{142,144,146,148}\text{Nd}$, $\sigma_{IN} = \sigma_{2+}$ et pour ^{150}Nd , $\sigma_{IN} = \sigma_{2+} + \sigma_{4+}$; pour ce dernier noyau la section efficace de diffusion inélastique sur le premier état $4+$ est importante comme le montre la figure 2. La section efficace élastique varie très peu d'un noyau à l'autre alors que la variation de σ_{IN} est comparable à celle de σ_T . L'excès de σ_T d'un noyau à l'autre se retrouve entièrement dans la section efficace inélastique correspondant aux états collectifs. La situation est différente à 4,08 MeV. La figure 3 montre que σ_T varie très peu en fonction de la masse du noyau. Par contre σ_{EL} décroît fortement lorsque la masse du noyau augmente. Cette décroissance n'est pas totalement compensée par σ_{IN} : la différence est distribuée dans les autres voies inélastiques que celles comprises dans σ_{IN} .

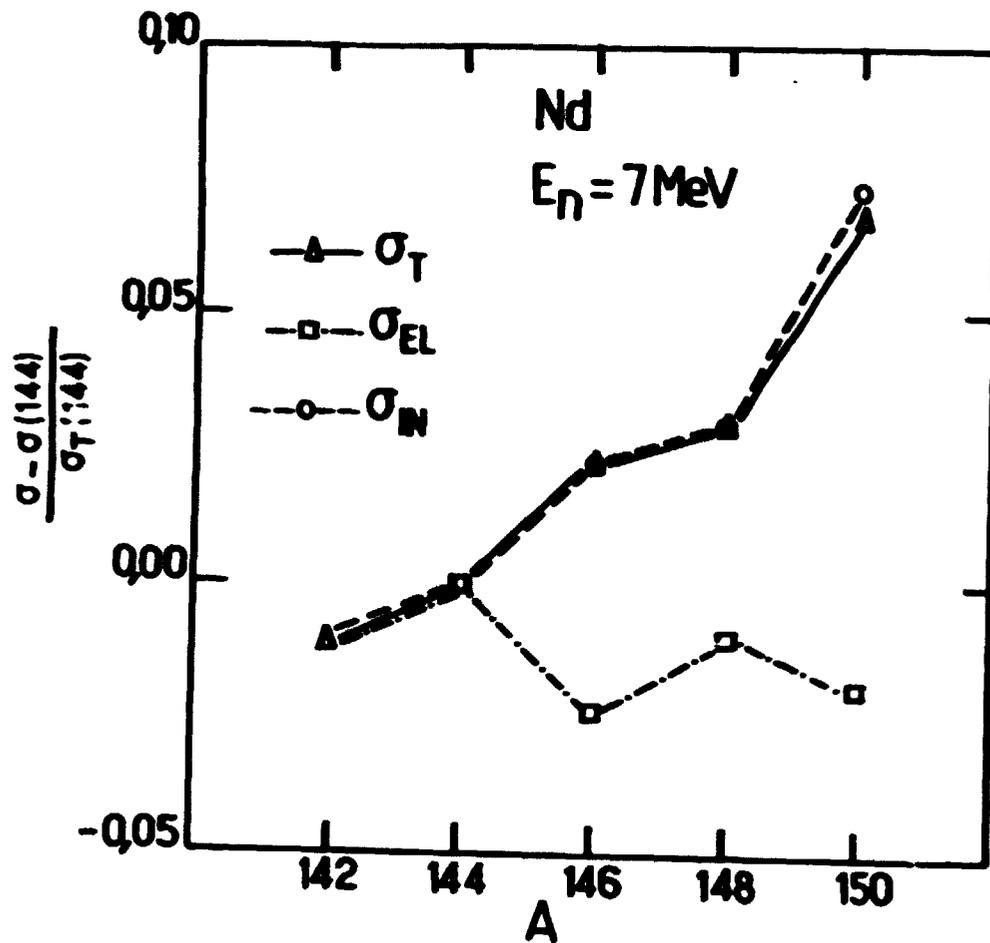
Les données expérimentales ont été comparées à des calculs théoriques utilisant le modèle des équations couplées et le formalisme du noyau composé statistique. Les paramètres de déformation du potentiel optique ont été extraits pour les cinq isotopes. Ces valeurs sont comparées à celles obtenues par d'autres méthodes de mesure dans un article qui sera soumis prochainement pour publication [3].

*Collaborateur temporaire étranger, University of Kentucky, LEXINGTON, Kentucky (USA)

**Collaborateur temporaire étranger, Western Michigan University, KALAMAZOO, Michigan (USA).

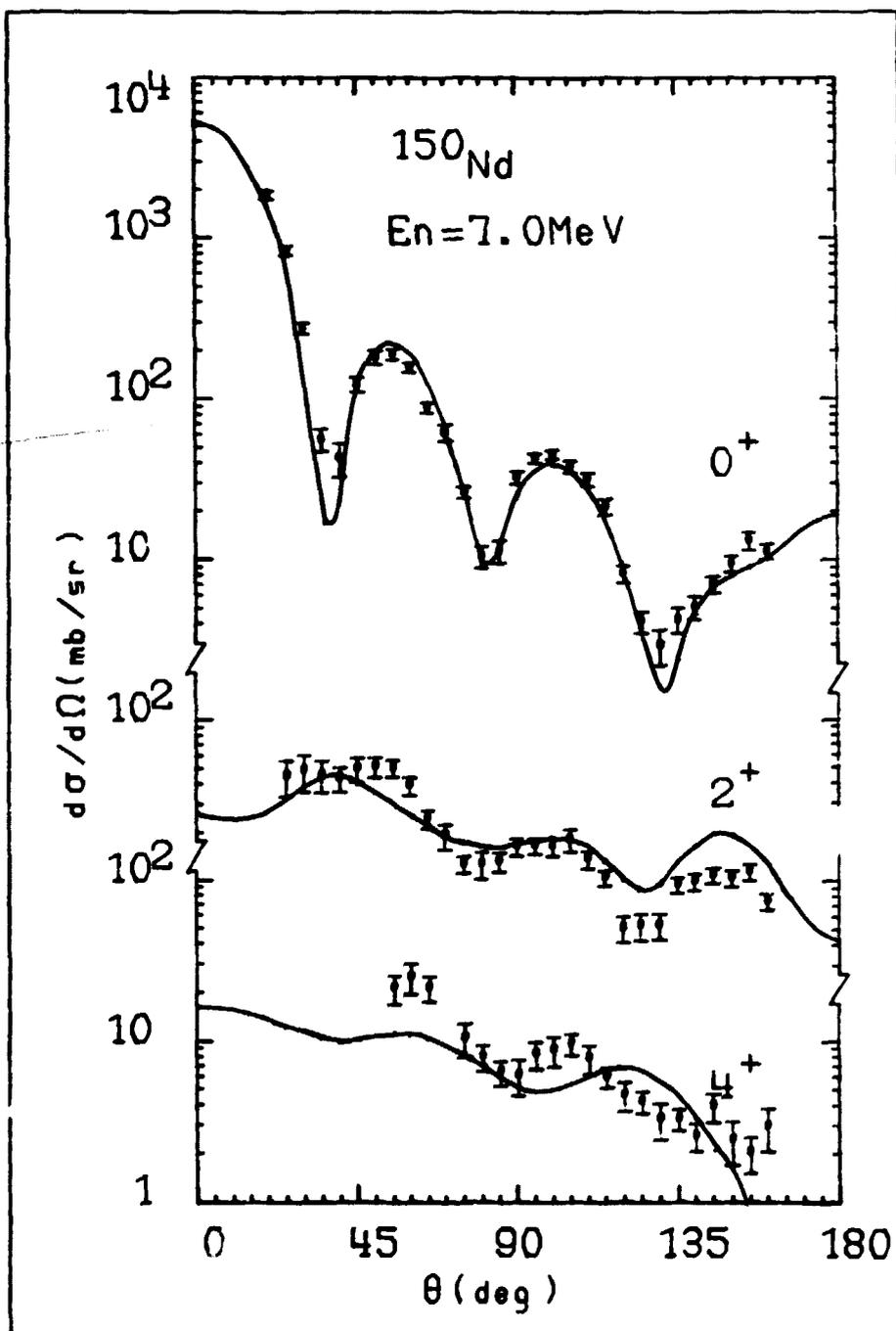
REFERENCES

- [1] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M.T. McELLISTREM, Y. PATIN, R.E. SHAMU, J. SIGAUD, *B.A.P.S. Vol 20 n° 9 (1975) 1196.*
- J. LACHKAR, G. HAOUAT, Y. PATIN, J. SIGAUD, R.E. SHAMU, F. COÇU, Ch. LAGRANGE, M.T. McELLISTREM, J.P. DELAROCHE, *Int. Conf. on the Interactions of Neutrons with Nuclei, Lowell, Mass. (1976) CONF 760715 Tome 2.*
- [2] - R.E. SHAMU, E.M. BERNSTEIN, Ch. LAGRANGE, *B.A.P.S 20 (1975) 1196.*
- [3] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M.T. McELLISTREM, Y. PATIN, R.E. SHAMU et J. SIGAUD, "*Optical potential and nuclear deformation for even Nd isotopes from fast neutron scattering*", (*à paraître*).



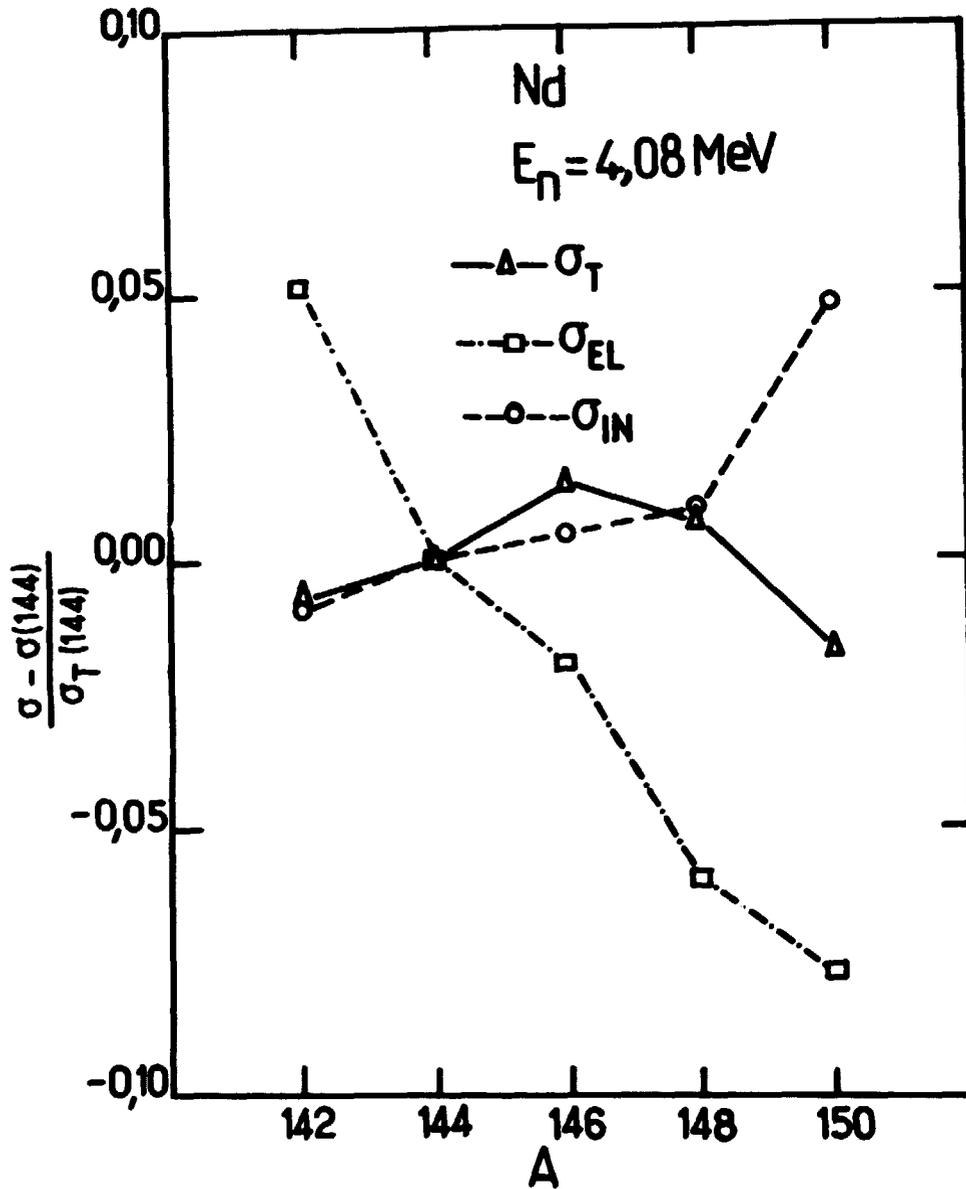
B-I-2-FIGURE 1

Comparaison des sections efficaces totale (σ_T), élastique (σ_{EL}) et inélastique (σ_{IN}) pour les isotopes pairs de Nd à l'énergie des neutrons incidents de 7,0 MeV.



B-1-2-FIGURE 2

Sections efficaces différentielles de diffusion élastique (0⁺) et de diffusion inélastique sur les premiers états 2⁺ et 4⁺ de ¹⁵⁰Nd, à l'énergie des neutrons de 7,0 MeV. Le tracé continu est le résultat d'un calcul en équations couplées.



B-I-2-FIGURE 3

Variations avec la masse du noyau des sections efficaces totale (σ_T), élastique (σ_{EL}) et inélastique (σ_{IN}) pour les isotopes pairs de Nd à l'énergie des neutrons de 4,08 MeV.

**B-I-3-Diffusion de neutrons de 2,50 et 4,08 MeV par les isotopes du gadolinium
(G. HAOUAT, Y. PATIN, J. LACHKAR, J. SIGAUD, Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE,
J. CHARDINE).**

Neutron scattering from Gd isotopes at 2.5 and 4.08 MeV.

The study of nuclear deformation effects on fast neutron scattering from rare-earth nuclei has been extended to the isotopes of gadolinium. Elastic and inelastic differential cross sections have been measured at 2.50 and 4.08 MeV incident neutron energies for ^{155,156,157,158,160}Gd. The potential deformation parameters are deduced from the data by using a coupled-channel analysis.

Un vaste programme d'études de la diffusion des neutrons rapides a été entrepris ces dernières années au Service PN afin d'obtenir des informations sur les effets de la déformation nucléaire. Les études ont porté sur les noyaux de la région des terres rares et sur les actinides. Dans le cadre de l'étude des terres rares, nous avons mesuré et analysé les sections efficaces différentielles de diffusion élastique et inélastique de neutrons par ^{148,150,152,154}Sm et ^{142,144,146,148,150}Nd à 7,0 et 4,08 MeV [1,2,3] et par ^{182,183,184,186}W à 3,4 MeV [4]. Notre étude des effets de la déformation dans cette région de masse s'est poursuivie avec la mesure des sections efficaces de diffusion de neutrons par ^{155,156,157,158,160}Gd à 2,50 et 4,08 MeV. Ces énergies ont été choisies d'après une analyse des différences de sections efficaces totales pour les isotopes de Sm [5] qui montre que les effets de la déformation sont maximum autour de 2,5 MeV (et 7,0 MeV), alors qu'aux environs de 4,08 MeV la section efficace totale calculée est sensible à la fois à la déformation nucléaire et aux variations de la profondeur du puits de potentiel optique. Nous présentons ici les résultats préliminaires des mesures.

Les distributions angulaires de diffusion de neutrons ont été mesurées en utilisant l'ensemble de spectrométrie des neutrons par temps de vol du Service de Physique Nucléaire [1]. Les neutrons incidents de 2,5 MeV étaient produits à l'aide de la réaction ${}^7\text{Li}(p,n_0){}^7\text{Be}$ sur une cible mince et ceux de 4,08 MeV à l'aide de la réaction ${}^3\text{He}(p,n){}^3\text{He}$ en employant une cible gazeuse. Les échantillons utilisés étaient des poudres d'oxyde de gadolinium* encapsulées dans des cylindres de polyéthylène ; ils étaient placés à environ 10 cm de la source de neutrons. Les neutrons diffusés étaient détectés par un ensemble de quatre détecteurs disposés à 10 m du diffuseur. Ainsi, les conditions expérimentales étaient telles que la résolution totale du spectromètre était de 40 keV à 4,08 MeV et de 27 keV à 2,5 MeV. Ces conditions permettaient une bonne séparation des groupes de neutrons de diffusion élastique et de diffusion inélastique. Les sections efficaces différentielles ont été mesurées entre 20 et 160 deg à 22 angles pour les mesures à 4,08 MeV et à 15 angles pour celles à 2,5 MeV. Nous avons obtenu les distributions angulaires de diffusion élastique pour les cinq isotopes ainsi que les sections efficaces de diffusion inélastique pour les premiers états $2+$ et $4+$ de ${}^{156,158,160}\text{Gd}$ et les premiers états $5/2^-$ et $7/2^-$ de ${}^{155,157}\text{Gd}$.

Une analyse préliminaire des données de ${}^{156}\text{Gd}$ a été effectuée, dans laquelle nous avons utilisé un code d'équations couplées pour rendre compte de l'interaction directe et un code de modèle statistique pour évaluer la contribution du noyau composé qui est importante surtout à 2,5 MeV. Dans les calculs en équations couplées nous avons adopté une base de couplage ($0+$, $2+$, $4+$) ; les paramètres de déformation quadrupolaire et hexadécapolaire de ${}^{156}\text{Gd}$ ont été déduits. Le résultat de ces premiers calculs est présenté dans la figure 1 pour l'énergie des neutrons incidents de 2,5 MeV et dans la figure 2 pour 4,08 MeV. L'analyse de ces noyaux à déformation permanente se poursuit. A partir des paramètres de déformation, déduits de cette étude, nous avons comparé les moments multipolaires du potentiel neutron-noyau, définis par MACKINTOSH [6], avec les moments multipolaires de la distribution des charges ou du potentiel nucléaire obtenus dans d'autres travaux. Les éléments de cette comparaison ont été présentés dans une récente communication au Congrès de HARWELL [7] ; le tableau I rassemble les données pour les noyaux ${}^{156}\text{Gd}$ et ${}^{158}\text{Gd}$.

*échantillons fournis par TECHNABEXPORT (URSS).

REFERENCES

- [1] - M.T. McELLISTREM, R.E. SHAMU, J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD et F. COÇU, *Phys. Rev. C15*, 927 (1976).
- J. LACHKAR, G. HAOUAT, J. SIGAUD, Y. PATIN, F. COÇU, C HUMEAU, S. SEGUIN, *Rapport CEA-R-4839, NEANDC (E) 177 "L", INDC (FR) 12/L (1977)*.
- [2] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M.T. McELLISTREM, Y. PATIN, R.E. SHAMU et J. SIGAUD, *B.A.P.S. Vol. 20 n° 9 (1975) 1196*.
- [3] - R.E. SHAMU, G. HAOUAT, J. LACHKAR, M.T. McELLISTREM, Ch. LAGRANGE, J. SIGAUD, J.P. DELAROCHE, Y. PATIN et F. COÇU, *Proc. Int. Conf. on the Interactions of neutrons with Nuclei, Lowell, Mass. July 1976, edited by E. SHELDON (ERDA, Oak Ridge, 1976) CONF-760715-P2, p. 1327*.
- [4] - J.P. DELAROCHE, G. HAOUAT, R.E. SHAMU, J. LACHKAR, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. CHARDINE, *Conf. Nat. Soviet. sur la Physique du Neutron, Kiev (URSS) 18-22 Avril 1977*.
- [5] - R.E. SHAMU, Ch. LAGRANGE, E.M. BERNSTEIN, J.J. RAMIREZ, T. TAMURA et C.Y. WONG, *Phys. Lett. 61B*, 29 (1976).
- [6] - R.S. MACKINTOSH, *Nucl. Phys. A266*, 379 (1976).
- [7] - G. HAOUAT, M.T. McELLISTREM, J.P. DELAROCHE, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD et R.E. SHAMU, *Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors and Other Applied Purposes, Harwell, UK 25-29 Sept. 1978*.
- [8] - R.M. RONNINGEN et al., *Phys. Rev. C16*, 2208 (1977).
- [9] - H.J. WOLLERSHEIM et T.W. ELZE, *Nucl. Phys. A278*, 87 (1977).

[10] - A.H. SHAW et J.S. GREENBERG, *Phys. Rev.* C10, 263 (1974).

[11] - K.A. ERB, J.E. HOLDEN, I.Y. LEE, J.X. SALADIN et T.K. SAYLOR, *Phys. Rev. Lett.* 29, 1010 (1972).

TABLEAU I : Comparaison des moments quadrupolaire et hexadécapolaire du potentiel neutron-noyau (q_{20} , q_{40}) et la distribution de charge (M_{02} , M_{04}) pour les noyaux ^{156}Gd et ^{158}Gd .

Isotope	q_{20} (e.b)	M_{02} (e.b)	q_{40} (e.b ²)	M_{04} (e.b ²)
^{156}Gd	$1,98 \pm 0,10$ (a)	$2,14 \pm 0,01$ (b)	$0,51 \pm 0,05$ (a)	$0,42 \pm 0,08$ (b)
		$2,14 \pm 0,02$ (c)		$0,41 \pm 0,15$ (c)
^{158}Gd	$2,09 \pm 0,11$ (a)	$2,23 \pm 0,01$ (b)	$0,54 \pm 0,05$ (a)	$0,34 \pm 0,20$ (b)
		$2,23 \pm 0,01$ (d)		$0,40 \pm 0,09$ (d)
		$2,23 \pm 0,03$ (e)		$0,34 \pm 0,11$ (e)

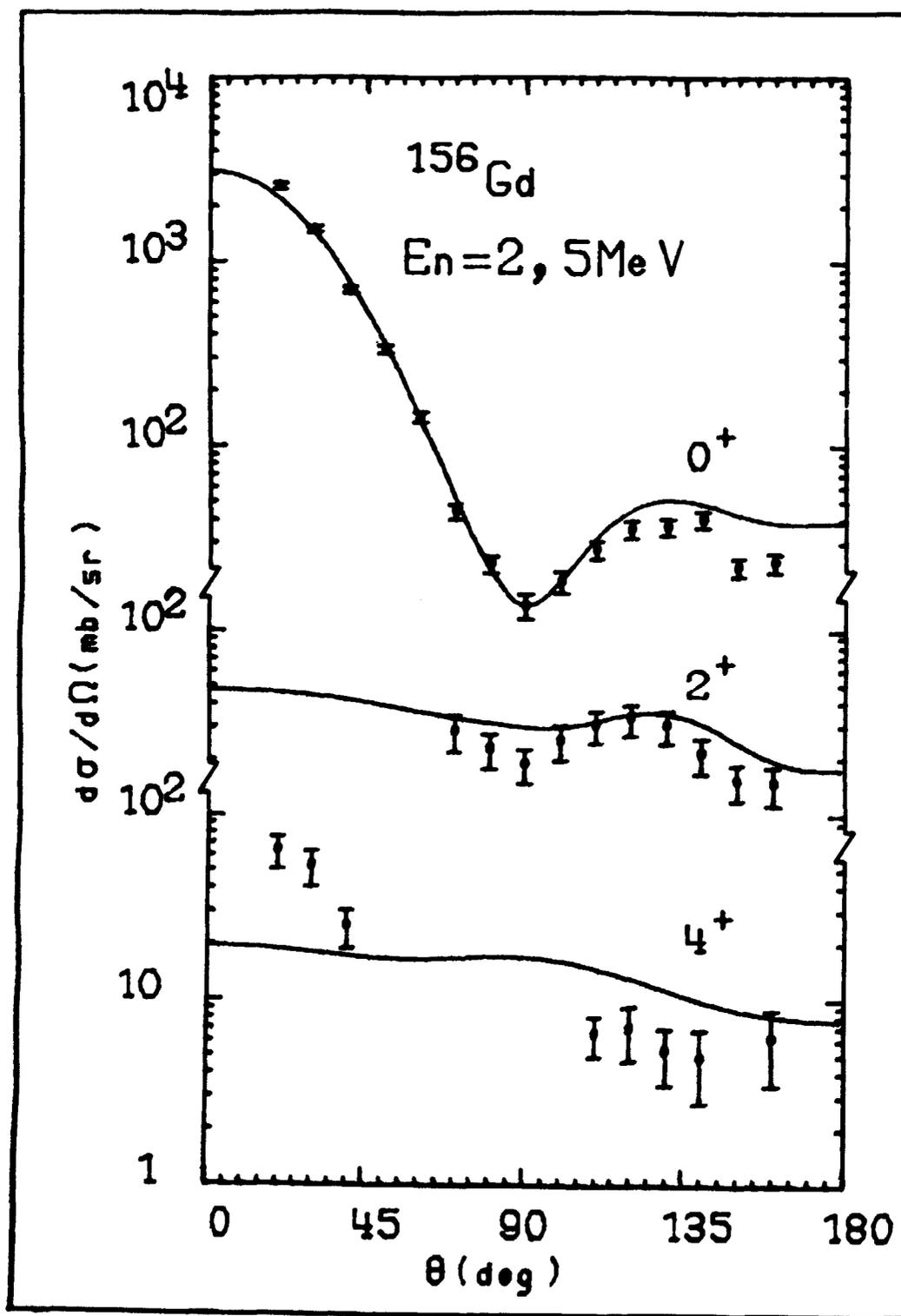
a) ce travail

b) Réf. 8

c) Réf. 9

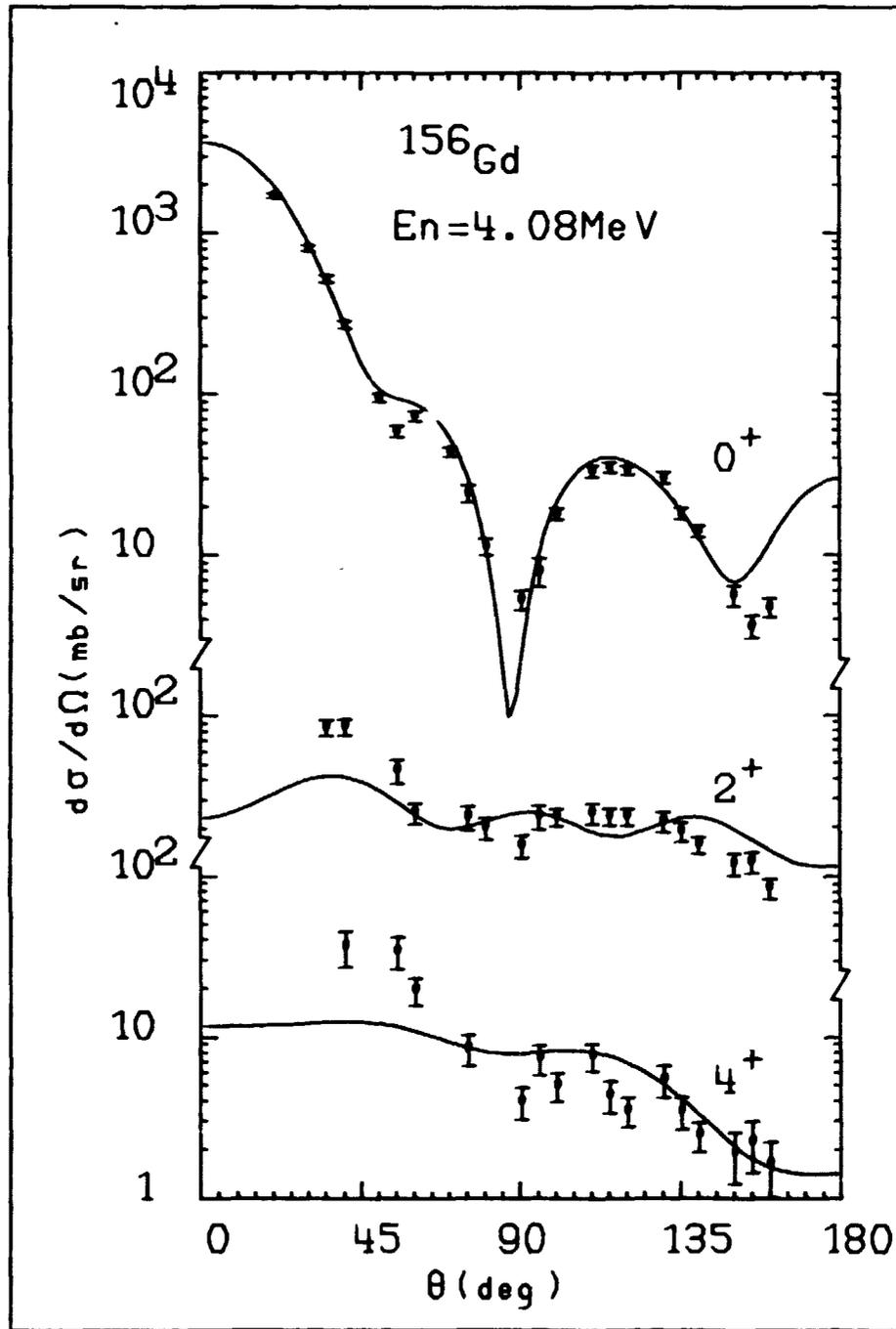
d) Réf. 10

e) Réf. 11



B-I-3-FIGURE 1

Sections efficaces de diffusion de neutrons de 2,5 MeV par les premiers états 0⁺, 2⁺, 4⁺ de ¹⁵⁶G. Les tracés continus représentent les valeurs calculées.



B-I-3-FIGURE 2

Distributions angulaires mesurées et calculs pour la diffusion élastique (0⁺) et la diffusion inélastique par les premiers états excités 2⁺ et 4⁺ de ¹⁵⁶Gd.

B-I-4-Diffusion de neutrons par les isotopes $^{206,207,208}\text{Pb}$ et ^{209}Bi dans la gamme d'énergie 7,5-13,5 MeV (G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, M. CATES*, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. CHARDINE).

Neutron scattering from $^{206,207,208}\text{Pb}$ and ^{209}Bi in the energy range 7.5-13.5 MeV.

In order to study the neutron-nucleus interaction for nuclei in the mass region around $A = 208$, neutron elastic and inelastic scattering cross sections of $^{206,207,208}\text{Pb}$ and ^{209}Bi have been measured at 7.5-9.5-11.5 and 13.5 MeV incident energies. A preliminary analysis of the data has been undertaken. Spherical optical potential parameters have been deduced from both the energy variation of the total cross section over a wide range, and the present elastic scattering data. These parameters were then used for calculating the 3^- (2.614 MeV) cross sections with the DWBA formalism.

L'étude de la diffusion élastique e. nélastique de neutrons par les isotopes $^{206,207,208}\text{Pb}$ et ^{209}Bi , dans la gamme d'énergie allant de 7,5 à 13,5 MeV, s'est poursuivie avec l'analyse théorique des sections efficaces différentielles. Les mesures, présentées dans le précédent compte rendu annuel [1], ont été entreprises afin d'obtenir des informations précises sur le potentiel optique et les propriétés collectives des noyaux dans la région $Z = 82$, $N = 126$. Le choix de la gamme d'énergie pour ces mesures s'appuie sur l'étude de FU et PEREY [2] sur le mécanisme d'interaction des neutrons avec Pb, dans laquelle ces auteurs montrent qu'au delà de 7 MeV la diffusion élastique relève essentiellement du processus d'interaction directe et permet une détermination aisée des paramètres du modèle optique. D'autre part, des travaux récents [3] indiquent que les états collectifs les plus bas de ^{208}Pb sont fortement excités par diffusion inélastique de neutrons aux environs de 11 MeV.

Outre les sections efficaces différentielles de diffusion élastique, mesurées à 7,5-9,5-11,5 et 13,5 MeV entre 20 et 160 deg, par pas de 5 deg, et déjà présentées [1], nous avons déterminé les sections efficaces de diffusion inélastique correspondant aux niveaux ou groupes de niveaux $[2^+ (0,803 \text{ MeV})]$, $[3^- (2,647 \text{ MeV}) ; 5^- (2,78 \text{ MeV})]$, $[2^+ (4,112 \text{ MeV})]$ et $[4^+ (4,360 \text{ MeV}) ; 6^+ (4,380 \text{ MeV})]$ de ^{206}Pb , et $[3^- (2,614 \text{ MeV})]$, $[5^- (3,198 \text{ MeV})]$, $[2^+ (4,076 \text{ MeV})]$ et $[4^+ (4,323 \text{ MeV}) ; 6^+ (4,435 \text{ MeV})]$ de ^{208}Pb . Pour les noyaux impairs, les sections efficaces ont été déterminées pour les groupes de niveaux ($5/2^+$, $7/2^+$) de ^{207}Pb centrés autour de 2,640 MeV et ($3/2^+$, $5/2^+$, $7/2^+$, $9/2^+$, $11/2^+$, $13/2^+$, $15/2^+$) de ^{209}Bi centrés autour de 2,600 MeV ; ces états semblent résulter, pour les deux noyaux, du couplage de l'état fondamental à l'état collectif octupolaire 3^- du coeur ^{208}Pb .

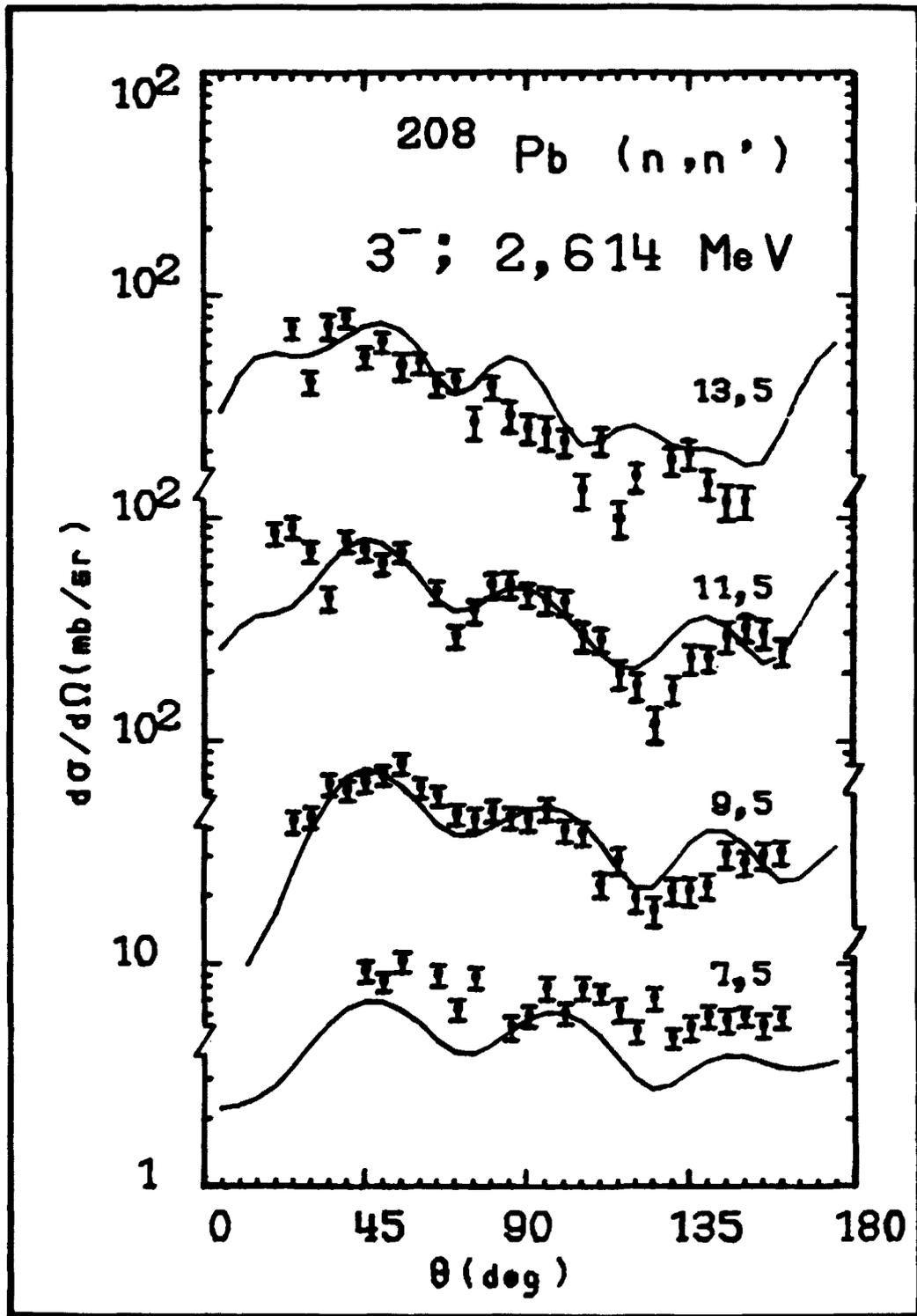
Une analyse théorique des données est actuellement en cours. Pour ^{208}Pb , les données de diffusion élastique ont été interprétées, simultanément avec des données récentes de section efficace totale entre 1,4 et 14 MeV [4], à l'aide du formalisme du modèle optique sphérique. Les paramètres du potentiel optique ainsi obtenus et leur variation avec l'énergie des neutrons sont donnés dans la référence [1]. Ces paramètres ont été ensuite utilisés pour le calcul, dans le cadre de l'approximation de Born en ondes distordues (DWBA), des sections efficaces de diffusion inélastique correspondant au niveau 3^- à 2,614 MeV. Les valeurs calculées sont comparées aux données expérimentales à 7,5-9,5-11,5 et 13,5 MeV dans la figure 1. L'accord est excellent à 9,5 et 11,5 MeV ; à 7,5 et 13,5 MeV, la forme des distributions angulaires est assez bien reproduite, mais l'amplitude des sections efficaces calculées semble trop faible à 7,5 MeV et trop forte à 13,5 MeV. Le paramètre de déformation octupolaire déduit des calculs est $\beta_3 = 0,115$. BAINUM et al. [3] ont effectué des mesures de diffusion inélastique de neutrons pour le niveau 3^- de ^{208}Pb aux énergies incidentes de 11,0 et 25,8 MeV. La comparaison de leurs mesures à 11,0 MeV avec nos données à 11,5 MeV est présentée dans la figure 2. De leur analyse en DWBA, ils ont obtenu pour le paramètre β_3 les valeurs suivantes : $0,129 \pm 0,007$ à 11,0 MeV et $0,114 \pm 0,007$ à 25,8 MeV. Ces auteurs, ainsi que WAGNER et al. [5] dans une étude de diffusion inélastique de protons, concluent à une décroissance significative de la valeur de β_3 avec l'énergie du projectile incident, ce que semble aussi indiquer la figure 1. Sachant que les paramètres de déformation sont des grandeurs intrinsèques du noyau cible, on devrait conclure soit que le formalisme de la DWBA n'est pas justifié dans toute la gamme d'énergie, soit que la dépendance avec l'énergie des paramètres

du potentiel est mal ajustée, soit enfin que les paramètres de déformation extraits du calcul dépendent trop du modèle. Une analyse en équations couplées est en cours.

*Collaborateur temporaire étranger, Los Alamos Scientific Laboratory, LOS ALAMOS New Mexico 87545 (USA).

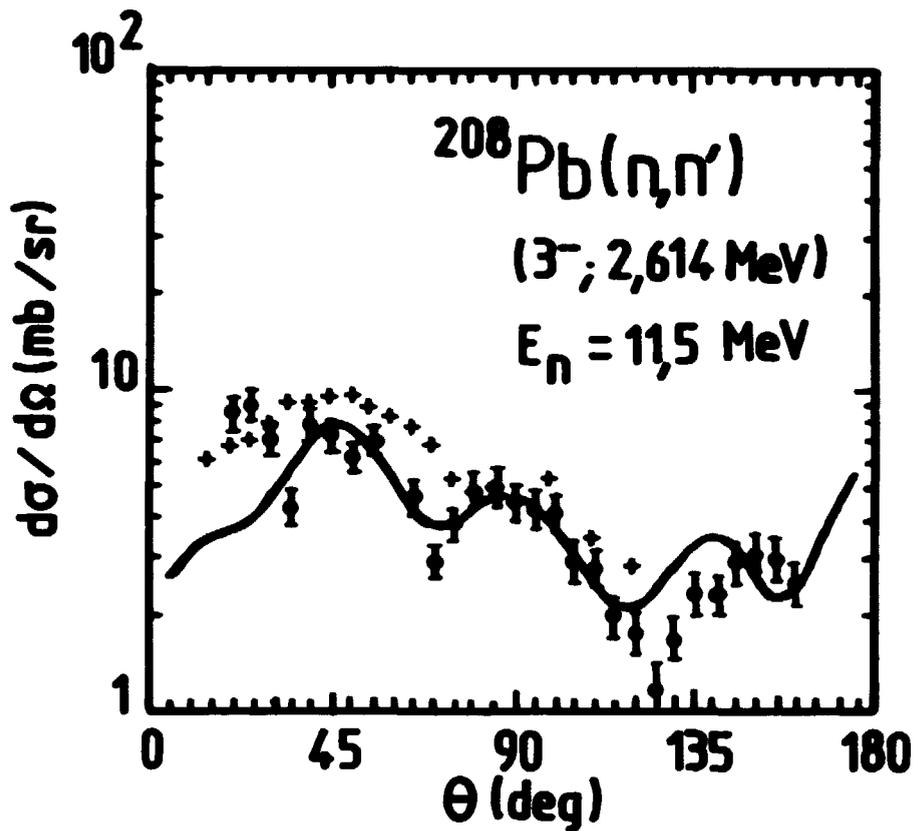
REFERENCES

- [1] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Y. PATIN, Ch. LAGRANGE, M. CATES, *NEANDC (E) 194 "L"* (1978) 29.
- [2] - C.Y. FU et F.G. PEREY, *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 16 (1975) 409.
- [3] - D.E. BAINUM, R.W. FINLAY, J. RAPAPORT, J.D. CARLSON et W.G. LOVE, *Phys. Rev.* C16 (1977) 1377.
- J. RAPAPORT, T.S. CHEEMA, D.E. BAINUM, R.W. FINLAY et J.D. CARLSON, *Nucl. Phys.* A296 (1977) 95.
- [4] - S.M. FERGUSON et R.E. SHAMU, *Bull. Am. Phys. Soc.* 21 (1976) 985.
- [5] - W.T. WAGNER, G.M. CRAWLEY, G.R. HAMMERSTEIN et H. Mc MANUS, *Phys. Rev.* C12 (1975) 757.



B-I-4-FIGURE 1

Distributions angulaires pour le niveau 3⁻ à 2,614 MeV de ²⁰⁸Pb.



B-I-4-FIGURE 2

Comparaison des données de sections efficaces pour le niveau 3^- (2,614 MeV) de ^{208}Pb à 11,5 MeV (\blacksquare , le présent travail) et à 11,0 MeV ($+$, Réf. [3]).

M-I-5-Description de l'interaction des neutrons avec les noyaux de la région des actinides (J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY, J. CHARDINE).

Interaction of neutrons with nuclei of the actiniae region.

The scattering of neutrons from ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu has been studied at 700 keV incident energy. Measurements of the differential cross sections were carried out with an overall resolution of 7.5 keV. Elastic and inelastic scattering cross sections are presented and compared to predictions of calculations including the direct interaction and compound nucleus processes.

L'étude de la diffusion des neutrons par les noyaux de la région des actinides a été entreprise dans le but de parvenir à une description satisfaisante de l'interaction neutron-noyau dans cette région de masse. A cet effet, des mesures de diffusion élastique et inélastique de neutrons ont été effectuées à 2,5 MeV sur les isotopes ^{208}Pb , ^{232}Th et ^{238}U [1] et à 3,4 MeV sur les isotopes ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U et ^{239}Pu [2].

Notre étude s'est poursuivie avec la mesure, que nous présentons ici, des sections efficaces de diffusion de neutrons de 700 keV par les isotopes ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U et ^{239}Pu . Cette expérience avait pour objectif d'évaluer la contribution, à 700 keV, du mécanisme de noyau composé dans le processus de la diffusion élastique et de la diffusion inélastique vers les états collectifs les plus bas. Il fallait alors pouvoir séparer les groupes de neutrons de diffusion élastique et de diffusion inélastique même pour les noyaux impairs dont les niveaux excités les plus bas sont très proches de l'état fondamental.

Les sections efficaces différentielles de diffusion élastique et inélastique ont été mesurées avec le spectromètre de neutrons par temps de vol composé de quatre chaînes de détection et installé auprès de l'accélérateur Van de Graaff 4 MV du Service de Physique Nucléaire. Les neutrons incidents de 700 keV étaient produits à partir de la réaction $^7\text{Li}(p,n_0)^7\text{Be}$. L'accélérateur

délivrait un faisceau de protons haché à la fréquence de 1 MHz et regroupé en des impulsions dont la largeur à mi-hauteur était $< 0,6$ ns ; la méthode de mesure de la dispersion en temps est décrite par ailleurs dans ce rapport [3]. Le courant moyen sur la cible de ${}^7\text{Li}$ était de $4,5$ μA . Les échantillons étaient placés à 12 cm de la cible. Ils avaient une masse de 70 g environ. Les détecteurs composés chacun d'un scintillateur liquide NE 213 de 2,5 cm d'épaisseur et 10 cm de diamètre associé à un photomultiplicateur XP 1040 étaient disposés à 10 cm de l'échantillon diffuseur. Les conditions expérimentales étaient telles que la résolution totale du spectromètre était d'environ 7,5 keV, comme le montre le spectre de temps de vol de la figure 1 obtenu avec ${}^{238}\text{U}$.

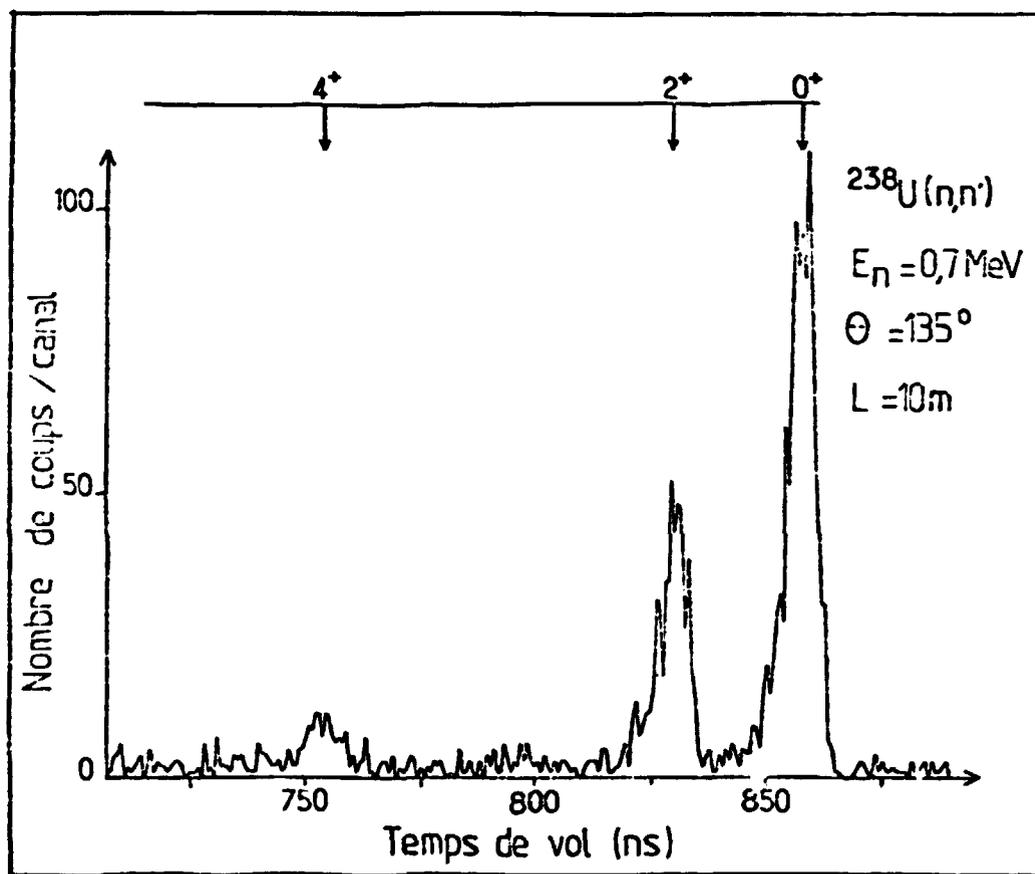
Les sections efficaces différentielles ont été déterminées séparément pour les premiers états $0+$, $2+$, $4+$ de ${}^{232}\text{Th}$ et ${}^{238}\text{U}$ et pour les états $5/2+$ (0) et $7/2+$ (40 keV) de ${}^{233}\text{U}$. Du fait de la complexité du schéma de niveaux des noyaux ${}^{235}\text{U}$ et ${}^{239}\text{Pu}$ (fig. 2) nous n'avons pas pu séparer expérimentalement tous les groupes de neutrons. Pour ${}^{235}\text{U}$, nous avons pu extraire les sections efficaces correspondant à la somme des contributions des états ($7/2^-$, $1/2+$, $3/2+$) et ($9/2^-$, $5/2+$). Pour ${}^{239}\text{Pu}$ nous avons extrait les sections efficaces pour le groupe d'états ($1/2+$, $3/2+$) et pour les états $5/2+$ et $7/2+$ séparément. Pour ce dernier noyau, nous avons pu, en outre, séparer les contributions de l'état fondamental $1/2+$ et de l'état excité $3/2+$ à 7,85 keV. Nous avons ajusté sur les spectres de temps de vol des pics dont la forme a été déduite des spectres de ${}^{238}\text{U}$, dans lesquels les pics sont nettement séparés. Les distributions angulaires pour ${}^{239}\text{Pu}$ sont présentées dans la figure 3.

Une analyse préliminaire des données a été effectuée pour les noyaux ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$ et ${}^{239}\text{Pu}$. La contribution de l'interaction directe dans les sections efficaces de diffusion a été calculée à l'aide d'un code de modèle optique en voies couplées avec les paramètres du potentiel optique et les paramètres de forme des noyaux obtenus dans nos précédentes études à 2,5 et 3,4 MeV [1,2]. Les sections efficaces de noyau composé ont été déterminées au moyen d'un calcul de modèle statistique qui utilisait les coefficients de transmission généralisés. Ces calculs tenaient compte des voies de sortie élastique et inélastiques ainsi que de la capture radiative et, dans le cas de ${}^{235}\text{U}$ et ${}^{239}\text{Pu}$, de la fission. Toutefois les distributions angulaires pour la contribution du noyau composé étaient supposées isotropes. Les valeurs mesurées et calculées sont comparées dans la figure 3 pour ${}^{239}\text{Pu}$ et dans la figure 4 pour ${}^{238}\text{U}$.

Ces résultats préliminaires ont fait l'objet d'une communication à la récente Conférence de Harwell [4]. Les calculs se poursuivent actuellement ; ils sont étendus aux cinq isotopes et tiennent compte de l'anisotropie des distributions angulaires pour la contribution du noyau composé.

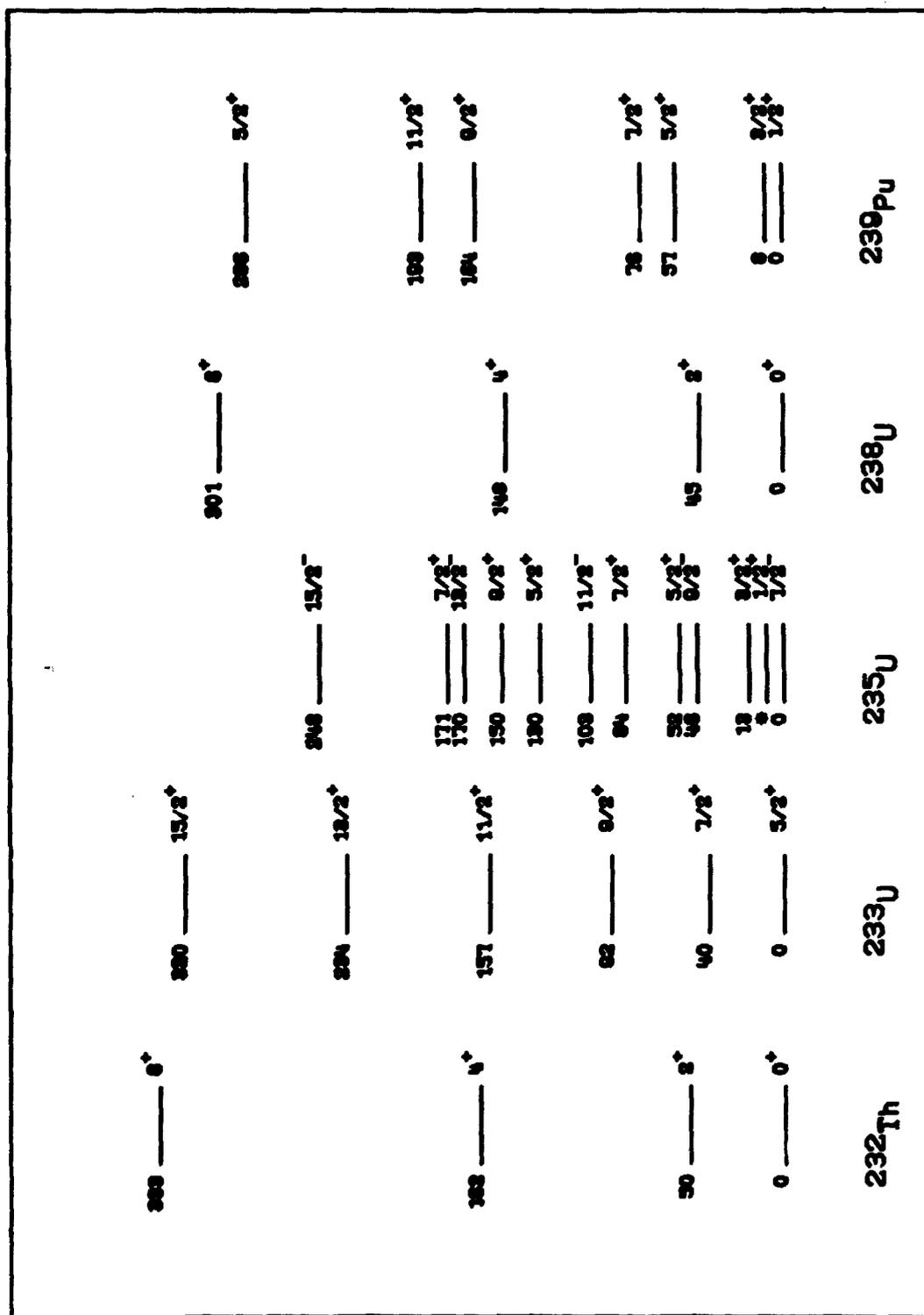
REFERENCES

- [1] - G. HAOUAT, J. SIGAUD, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, B. DUCHEMIN et Y. PATIN, *Rapport NEANDC (E) 180 "L" (1977)*.
- [2] - G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD et R.E. SHAMU, *Rapport NEANDC (E) 196 "L" (1978)*.
- [3] - G. HAOUAT, C. HUMEAU, S. SEGUIN, A. DANDINE, R. DUBOIS, P. MEUNIER, A. PENNARUN, *"Mesure de la durée de la bouffée pulsée du Van de Graaff 4 MeV" (Cf Chap. A-I-4)*.
- [4] - J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY, J. FERGUSON et R.E. SHAMU, *Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors and Other Applied Purposes, Harwell UK 25-29 Sept. 1978*.



B-I-5-FIGURE 1

Spectre de temps de vol des neutrons diffusés par ^{238}U . L'énergie des neutrons incidents est 700 keV.

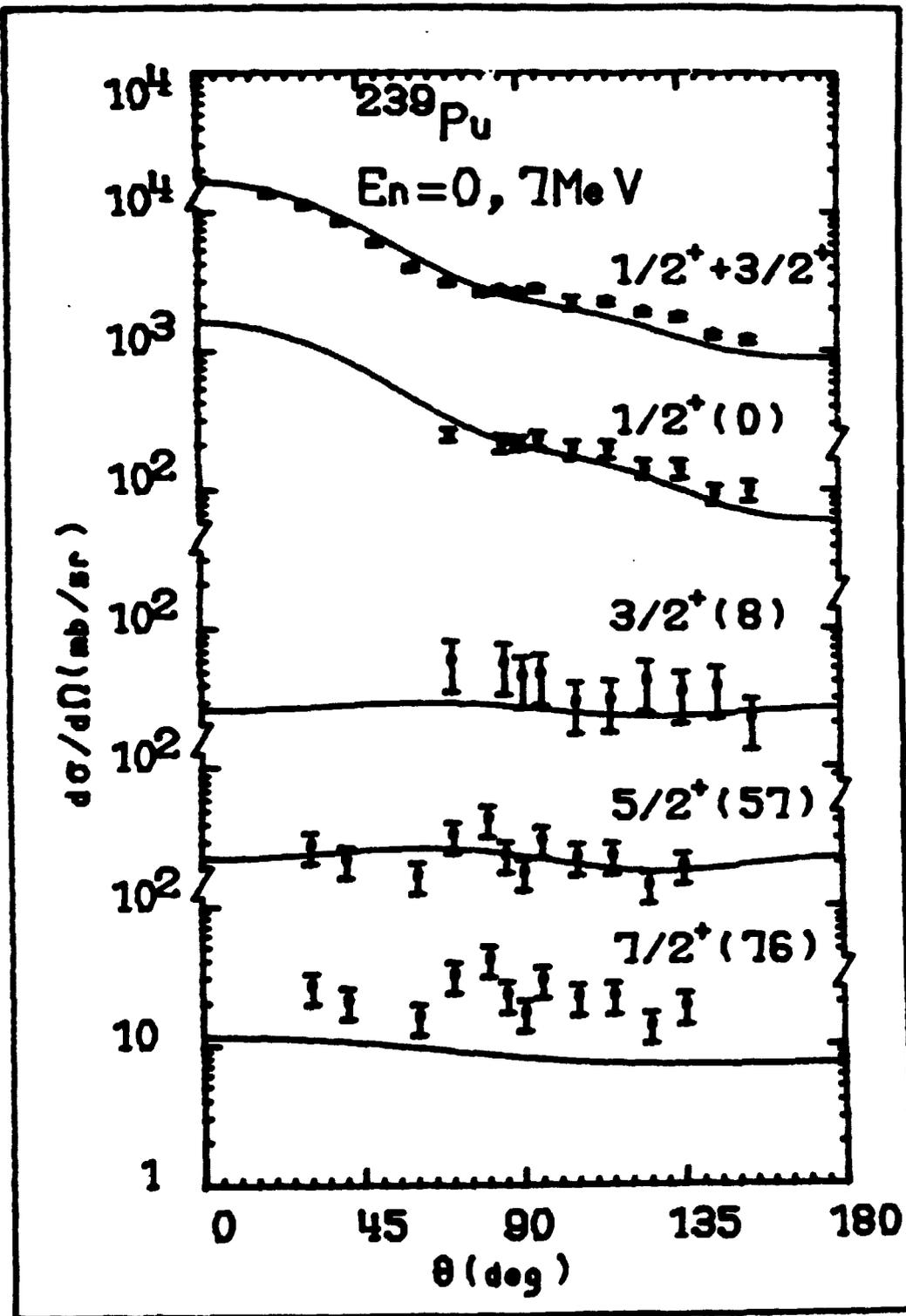


B-I-5-FIGURE 2

Schémas de niveaux des noyaux ^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U et ^{239}Pu .

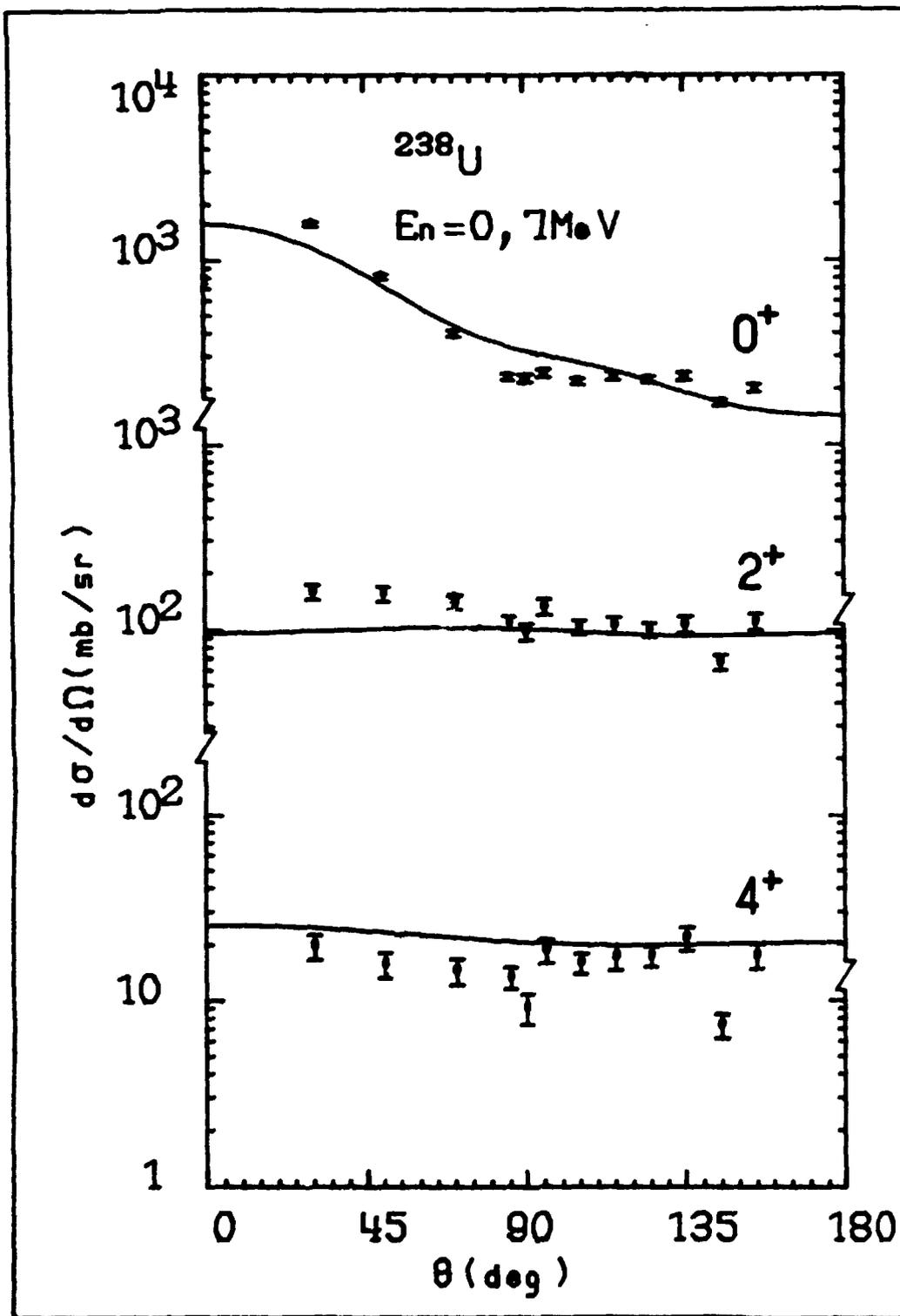
Les énergies d'excitation sont données en keV.

*L'énergie du premier état excité $1/2^+$ de ^{235}U est 75 eV.



B-I-5-FIGURE 3

Sections efficaces différentielles pour ^{239}Pu à l'énergie des neutrons incidents de 700 keV. L'énergie des niveaux excités est donnée en keV. Les tracés continus sont le résultat du calcul décrit dans le texte.



B-F-5-FIGURE 4

Sections efficaces différentielles de diffusion élastique (0^+) et inélastique pour les premiers états excités 2^+ et 4^+ de ^{238}U . Les tracés continus sont le résultat du calcul décrit dans le texte.

**B-I-6-Spectroscopie des isotopes pairs de sélénium au moyen de la réaction (n,n'γ)
(B. PEYAUD*, J. SIGAUD, J. LACHKAR).**

Spectroscopy of even-A selenium isotopes from (n,n'γ) reactions.

The energy levels and the decay schemes of $^{76,78,80,82}\text{Se}$ have been studied through the measurements of (n,n'γ) differential cross sections. Gamma-ray excitation functions have been measured between 2.0 and 4.1 MeV incident neutron energy, and angular distributions at 3.0 MeV have been obtained. The data have been compared to predictions of the Wolfenstein-Hauser-Feshbach formalism with width fluctuation corrections included.

L'analyse et l'interprétation des données expérimentales de la réaction (n,n'γ) sur les isotopes pairs de Se [1] a fait l'objet d'un mémoire de thèse [2]. Les fonctions d'excitations, à 55 deg, des transitions γ émises après diffusion inélastique de neutrons par les isotopes $^{76,78,80,82}\text{Se}$ ont été mesurées dans la gamme d'énergie 2,0-4,1 MeV ; les distributions angulaires des transitions γ les plus alimentées ont été enregistrées à l'énergie de 3,0 MeV. Dans la gamme d'énergie de ces mesures, le mécanisme d'interaction des neutrons avec les noyaux de sélénium procède principalement du noyau composé statistique. Les résultats expérimentaux ont pu, ainsi, être analysés dans le formalisme de Wolfenstein-Hauser-Feshbach en incluant les corrections de fluctuation des largeurs de niveaux. Les pénétrabilités des neutrons dans les voies d'entrée et de sortie ont été calculées à l'aide d'un code de modèle optique dont les paramètres ont été ajustés en utilisant les données expérimentales existantes, à savoir la variation avec l'énergie de la section efficace totale pour Se^{nat} et les distributions angulaires à 6-8 et 10 MeV des neutrons diffusés élastiquement et inélastiquement par les quatre isotopes pairs de Se [3].

L'ensemble des mesures analysées a permis d'établir ou de confirmer un schéma de niveaux pour chacun de ces isotopes jusqu'à une énergie d'excitation de 3 MeV environ. En particulier pour ^{80}Se et ^{82}Se , 10 et 8 niveaux respectivement, qui ne semblent pas avoir été rapportés à ce jour dans la littérature, ont été

identifiés. Des attributions de spin, parité et multipolarité des transitions γ de désexcitation ont été proposées [2].

**Stagiaire Militaire, adresse actuelle : D.Ph. P.E. - S.E.E. - SACLAY.*

REFERENCES

- [1] - J. SIGAUD, Y. PATIN, M.T. McELLISTREM, G. HAOUAT et J. LACHKAR, *Nat. Sov. Conf. on Neutron Phys. (1975) Kiev, URSS, aussi Conf. on Nuclear Cross Sections and Technology (1975) Washington, USA NBS (1975) SP 425 Vol. II, 893.*
- J. SIGAUD, B. PEYAUD, Y. PATIN, M.T. McELLISTREM, G. HAOUAT, J. LACHKAR, *Int. Conf. on Interactions of Neutrons with Nuclei (1976) Lowell, Mass. USA Conf-760715 (1975) tome 2, 1324.*
- [2] - B. PEYAUD, *Thèse de 3^{ème} Cycle (1978) (non publiée).*
- [3] - J. LACHKAR, M.T. McELLISTREM, G. HAOUAT, Y. PATIN, J. SIGAUD et F. COÇU, *Phys. Rev. C14 (1976) 933.*

B-I-7-Diffusion inélastique des neutrons rapides par les noyaux (J. LACHKAR).

Fast neutron inelastic scattering.

Several requests for neutron data concerning reactors as well as some applications are related to vibrational and rotational nuclei. Relevant studies have been recently performed in several laboratories. The quality of these investigations and the large number of recent results have motivated us to concentrate on them in a review topic.

La nécessité d'une connaissance précise des sections efficaces de diffusion inélastique apparaît à l'examen des demandes de données neutroniques pour les réacteurs et autres applications. Ces demandes sont, en partie, relatives à des noyaux sphériques pour lesquels de nombreuses études ont été entreprises. La synthèse de ces études a été présentée dans deux exposés de revue, en 1976, à l'occasion de la Conférence Internationale de Lowell sur l'interaction des Neutrons avec Les Noyaux [1].

D'autres demandes, relatives aux noyaux vibrationnels ou rotationnels, ont fait l'objet d'études récentes. La qualité de ces travaux et l'importance des résultats obtenus justifient une analyse approfondie des différents aspects de la diffusion inélastique des neutrons rapides par les noyaux déformés [2]. L'amélioration constante des techniques expérimentales permet, désormais, la mesure précise des données de diffusion inélastique pour les premiers niveaux excités de ces noyaux dans des gammes d'énergie incidente pour lesquelles chacun des mécanismes d'interaction est prépondérant. Ces données permettent, en utilisant des modèles phénoménologiques, la détermination des paramètres de déformation quadrupolaire, hexadécapolaire, et octupolaire des noyaux cibles. Le succès de ces analyses démontre que des informations précieuses relatives à la forme des noyaux peuvent être ainsi obtenues. La validité des modèles qui rendent compte des mécanismes d'interaction directe et du noyau composé est discutée à la lumière des résultats expérimentaux [2].

REFERENCES

- [1] - M.T. McELLISTREM, "Fast neutron scattering from some medium mass nuclei", *Proceedings Internat. Conf. on the Interactions of Neutrons with Nuclei*, p. 171, USERDA, 1977.
- A.T.G. FERGUSON et al., "Fast neutron scattering : reaction mechanisms and nuclear structure", *Proceedings Internat. Conf. on the Interactions of Neutrons with Nuclei*, p. 205, USERDA, 1977.
- [2] - J. LACHKAR, "Diffusion inélastique des neutrons rapides par les noyaux" (exposé de revue), *Conférence Internationale sur la Physique Neutronique et les Données Nucléaires pour les Réacteurs et autres Applications*, Harwell (G.B.) 25-29 Sept. 1978.

B-II-MESURES DE SECTIONS EFFICACES DE REACTIONS

REACTION CROSS SECTION MEASUREMENTS.

B-II-1-Mesure de flux de neutrons (M. CANCE, D. GIMAT, G. GRENIER, D. PARISOT).

Neutron flux measurement.

The signal-to-background ratio of the total energy conversion detector developed in this laboratory has been improved. Intercomparison measurements have been made between the three neutron flux techniques used.

L'amélioration des mesures de flux de neutrons s'est poursuivie, d'une part pour nos besoins propres et d'autre part dans le cadre du contrat passé avec le Bureau National de Métrologie.

En ce qui concerne, tout d'abord, l'utilisation du détecteur à absorption totale, nous avons cherché à améliorer son rapport signal sur bruit. Pour cela un nouveau collimateur et une nouvelle protection ont été réalisés. D'autre part, compte-tenu de la sensibilité de ce détecteur aux rayonnements γ , l'utilisation de la réaction $D(dn)^3\text{He}$ comme réaction productrice de neutrons s'est avérée plus intéressante que la réaction $T(pn)^3\text{He}$.

Nous avons, de plus, entrepris des mesures d'intercomparaison pour les différentes techniques de mesure de flux de neutrons utilisées. En effet, seule une bonne cohérence entre ces différentes techniques évitera d'éventuelles erreurs systématiques et permettra d'accroître la crédibilité de nos mesures.

Une première comparaison a été faite à 2,5 MeV entre le télescope à proton de recul et le long compteur directionnel.

Une deuxième comparaison a été effectuée à 4,5 et 6,5 MeV entre le télescope et le détecteur à absorption totale.

Si l'on suppose que le flux de neutrons donné par le télescope est égal à l'unité les flux obtenus avec les autres techniques sont :

- 1,023 avec le long compteur directionnel à 2,5 MeV,
- 0,964 et 0,971 avec le détecteur à absorption totale respectivement à 4,5 et 6,5 MeV.

Pour cette première série de mesures l'écart entre les flux obtenus avec ces trois techniques est de l'ordre de 5%.

B-II-2-Mesure de sections efficaces de capture radiative (G. GRENIER, S. JOLY, J. VOIGNIER, D. PARISOT).

Capture cross sections measurements.

Neutron capture cross section measurements have been carried out, for several natural elements or isotopes, in the 0.5 to 3 MeV energy range using two methods : the integrated spectrum and the total energy methods.

Les mesures de sections efficaces de capture, déterminées à partir des spectres des rayonnements γ émis par l'échantillon, ont été poursuivies.

L'exploitation des données expérimentales est faite suivant deux méthodes :

- la méthode du spectre intégré,
- la méthode du bilan d'énergie.

La première méthode dite du spectre intégré, a été décrite en détail antérieurement [1-2]. Rappelons que le spectre des rayonnements γ émis par l'échantillon $S(E_\gamma)$ est obtenu en déconvoluant le spectre d'amplitude et en le corrigeant de l'efficacité du spectromètre. Seule la partie supérieure du spectre $S(E_\gamma)$ est utilisable, en effet la partie basse du spectre ($E_\gamma < E_{\min} \approx$ énergie des neutrons incidents) contient essentiellement des rayonnements γ de la réaction $(n, n'\gamma)$. La distribution des rayonnements γ par capture $v(E_\gamma)$ est calculée en utilisant le modèle statistique. Cette distribution dépend de deux paramètres: la densité de niveaux et la fonction d'intensité gamma $f(E_\gamma)$. La densité de niveaux étant obtenue par ailleurs, la fonction $f(E_\gamma)$ est déterminée par ajustement pour $E_\gamma > E_{\min}$, de $v(E_\gamma)$ sur $S(E_\gamma)$ et par extrapolation vers zéro. Les fonctions d'intensité $f(E_\gamma)$ ainsi obtenues ont été comparées aux résultats d'autres méthodes [3]:

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} S(E_\gamma) \cdot dE_\gamma \quad / \quad \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} v(E_\gamma) \cdot dE_\gamma$$

avec $E_{\max} = E_n \frac{A}{A+1} + B_n$ (A étant le nombre du noyau étudié).

La deuxième méthode est basée sur le fait que lorsqu'il y a capture toute l'énergie d'excitation se retrouve sous forme d'énergie γ . Le nombre de captures est donné par la relation :

$$\frac{1}{E_{\max}} \int_0^{E_{\max}} S(E_{\gamma}) \cdot E_{\gamma} \cdot dE_{\gamma}$$

C'est une méthode simple, largement utilisée avec des neutrons thermiques ou de faible énergie. Cette méthode nécessite cependant l'extrapolation de $S(E_{\gamma})$ vers zéro et c'est, dans notre cas, un inconvénient important car le nombre de captures est très sensible à cette extrapolation. Elle permet, malgré tout, pour des neutrons de faible énergie de contrôler la méthode générale.

Les sections efficaces de capture ont été obtenues pour cinq ou six énergies de neutrons sur les éléments suivants :

- Y, Nb, Rh, W, Tm, Ir, Pt, Au et Tl naturels,
- les isotopes du gadolinium : $^{155-156-157-158-160}\text{Gd}$,
- les isotopes du thallium : $^{203-205}\text{Tl}$.

Parmi celles-ci les sections efficaces du : Rh, Tm, Ir, Au naturels doivent être publiées prochainement dans "Nucl. Sci. Eng."

Ces mesures ont fait, d'autre part, l'objet de deux communications à la Conférence de Harwell : l'une sur la méthode [4], l'autre sur les résultats [5]. Pour ces derniers la contribution de la réaction $(n,\gamma n)$ était incluse.

REFERENCES

- [1] - S. JOLY et al., *Rapport CEA-R-4884 (1977)*.
- [2] - S. JOLY et al., *Nucl. Instr. and Meth.* 153 (1979) 493.
- [3] - S. JOLY et al., *Proc. of the Third International Symposium on Neutron Capture, Gamma-ray Spectroscopy and Related Topics, Brookhaven (USA) September 18-22 (1978)*.

- [4] - S. JOLY et al., *Conférence Internationale sur la Physique Neutronique et les Données Nucléaires pour les Réacteurs et Autres Applications, Harwell (G.B.) 25-29 Sept. 1978.*
- [5] - J. VOIGNIER et al., *Conférence Internationale sur la Physique Nuutronique et les Données Nucléaires pour les Réacteurs et Autres Applications, Harwell (G.B.) 25-29 Sept. 1978.*

B-II-3-Etude de la capture résonnante de ^{28}Si entre 500 keV et 1 MeV (G. GRENIER, S. JOLY, J. VOIGNIER, J. BOLDEMAN^{*}).

Resonance capture study in ^{28}Si between 500 keV and 1 MeV.

Gamma-ray spectra from neutron capture by natural silicon have been measured for resonances at 565 and 813 keV. The deduced radiative widths are in reasonable agreement with those reanalysed by Boldeman et al. and those obtained from the valence model.

L'étude des largeurs radiatives partielles pour les deux plus importantes résonances $p^{3/2}$ du ^{28}Si , entreprise pour vérifier la validité du modèle de valence et l'extension de celui-ci en modèle en couches, a été présentée dans le précédent compte rendu [1]. Cette étude a montré un désaccord important avec les résultats antérieurs [2,3]. Les largeurs radiatives partielles ($\Gamma_{\gamma 0}$) et totales obtenues étaient environ deux fois plus faibles que les largeurs mesurées respectivement par JACKSON et al. [2] à l'aide de la réaction (γ, n) et par BOLDEMAN et al. [3] à l'aide de la réaction (n, γ).

Compte tenu de ce désaccord nous avons repris cette mesure avec une meilleure statistique. Cette deuxième mesure a confirmé nos premières valeurs absolues et a montré, d'autre part, un bon accord avec le modèle de valence (Tableau I).

De plus, un nouvel examen par BOLDEMAN et al. de leurs données expérimentales a révélé que la sensibilité aux neutrons prise en compte pour le détecteur de rayonnements γ était incorrecte. Suite à cette révision, leurs valeurs corrigées des largeurs radiatives totales sont maintenant en bon accord avec nos résultats. Cette comparaison est faite sur le Tableau II, où les nouvelles valeurs obtenues par BOLDEMAN et al. sont indiquées entre parenthèses.

Ce travail a fait l'objet d'une communication à la Conférence internationale sur les Interactions Nucléaires de CANBERRA [4] et sera publiée, de plus, dans le Compte Rendu de la Conférence de Brookhaven [5].

^{*}Collaborateur temporaire étranger, A.A.E.C. Research Establishment, SUTHERLAND (Australie).

REFERENCES

- [1] - Rapport CEA-N-2037, NEANDC (E) 194 "L" (1978) p. 63-65.
- [2] - H.E. JACKSON et R.E. TOOHEY, *Phys. Rev. Lett.* 29 (1972) 379.
- [3] - J.W. BOLDEMAN et al., *Nucl. Phys.* A252 (1975) 62.
- [4] - G. GRENIER et al., *International Conference on Nuclear Interactions
Canberra (Australie) - Aug. 28 - Sept. 1st 1978 .*
- [5] - S. JOLY et al., *Proceedings of the Third International Symposium on Neutron
Capture Gamma-ray Spectroscopy and Related Topics, Brookhaven (USA)
18-22 Sept. 1978.*

Energie de la résonance (keV)	Spin de l'état final J	Energie de l'état final (MeV)	Energie de la raie γ (MeV)	Intensité relative	Largeur radiative (eV)		
					Expérience	Modèle de valence	Modèle en couches
565	1/2	0	9,02	100	0,6 \pm 0,1	1,37	6,24
	3/2	1,27	7,75	30 \pm 2	0,18 \pm 0,03	0,08	0,01
	5/2	2,03	6,99	22 \pm 13	0,13 \pm 0,08	0,12	1,04
	3/2	2,43	6,59	19 \pm 4	0,11 \pm 0,03	0,01	1,48
	5/2	3,07	5,94	12 \pm 3	0,07 \pm 0,02	0,03	
813	1/2	0	9,26	100	2,8 \pm 0,4	2,63	11,11
	3/2	1,27	7,99	12 \pm 2	0,3 \pm 0,07	0,16	0,02
	5/2	2,03	7,23	51 \pm 5	1,4 \pm 0,24	0,23	1,85
	3/2	2,43	6,84	10 \pm 3	0,3 \pm 0,1	0,01	2,63
	5/2	3,07	6,19	16 \pm 2	0,4 \pm 0,08	0,06	

TABLEAU I : Largeurs radiatives partielles expérimentales et théoriques.

Energie de la résonance (keV)	$\Gamma_{\gamma 0}$ Réf. 2 (eV)	$\Gamma_{\gamma 0}$ Ce travail (eV)	Γ_{γ} Réf. 3 (eV)	$\Gamma_{\gamma} \sum_i \Gamma_{\gamma i}$ Ce travail (eV)
565	1,8	0,6 \pm 0,7	2,9 (1,1 \pm 0,4)	1,1 \pm 0,2
813	5,3	2,8 \pm 0,4	9,7 (6,6 \pm 1,1)	5,3 \pm 0,8

TABLEAU II : Comparaison des différentes valeurs des largeurs radiatives $\Gamma_{\gamma 0}$ et totales.

B-II-4-Mesure des sections efficaces (n,2n) et (n,3n) de ^{235}U et ^{239}Pu (J. FREHAUT, R. BOIS, A. BERTIN).

(n,2n) and (n,3n) cross section measurements for ^{235}U and ^{239}Pu .

The (n,2n) cross sections of ^{235}U and ^{239}Pu have been measured between threshold and 13 MeV using the large Gd-loaded liquid scintillator technique [1]. An average accuracy of $\pm 10\%$ has been achieved for ^{235}U . Data for ^{239}Pu are being analysed.

Une méthode de mesure des sections efficaces (n,xn) à l'aide d'un gros scintillateur liquide chargé au gadolinium a été développée depuis plusieurs années au Service PN [1] et utilisée dans le cas de noyaux légers et lourds ($A < 207$), ainsi que pour des noyaux présentant un seuil de fission induite par neutrons (^{238}U). Dans ce dernier cas, on ne peut distinguer, au niveau des événements élémentaires, une réaction (n,xn) d'une fission où x neutrons ont été émis. Cependant, les événements correspondant à l'émission de 4 neutrons ou plus sont des fissions (le seuil de réaction (n,4n) est toujours supérieur à 15 MeV). En utilisant la loi $P(\nu)$ de distribution de ν neutrons de fission mesurée par ailleurs au cours des mesures de $\bar{\nu}$, on peut alors calculer le nombre total des fissions enregistrées au cours de l'expérience, ainsi que le nombre de fissions associées aux événements à 2 et 3 neutrons : on déduit ainsi le rapport des sections efficaces (n,2n) et (n,3n) à la section efficace de fission du noyau étudié.

Cette méthode a été appliquée en 1978 au cas des noyaux fissiles ^{235}U et ^{239}Pu , pour lesquels la contribution des fissions induites par des neutrons de bruit de fond de basse énergie perturbe la distribution $P(\nu)$ du nombre de neutrons émis, et augmente la section efficace apparente de fission. Cette contribution a pu être estimée en mesurant simultanément le rapport de la section efficace (n,xn) du noyau fissile considéré à la section efficace de fission de ^{238}U .

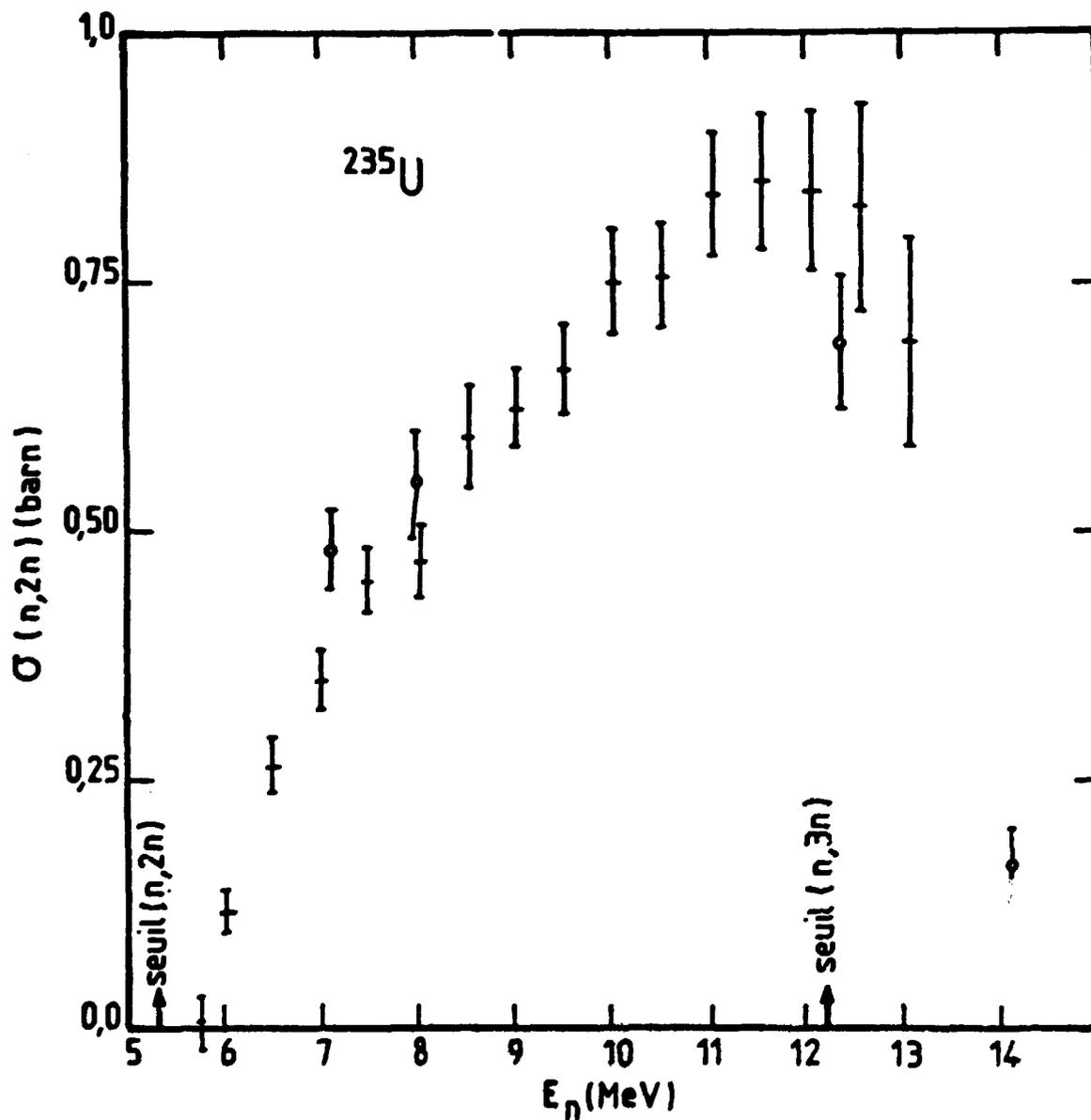
Les mesures ont été réalisées dans la gamme d'énergie comprise entre le seuil de réaction et 13 MeV, en utilisant la réaction $T(p,n)^3\text{He}$ pour produire les neutrons incidents.

Dans le cas de ^{235}U , les valeurs mesurées ont été peu affectées par la contribution des neutrons de basse énergie. La précision de la mesure est en moyenne de $\pm 10\%$. Les résultats sont présentés sur la figure 1, sur laquelle ont été également portés les résultats de la seule mesure publiée auparavant [2]. L'accord entre les 2 mesures est satisfaisant compte tenu des difficultés expérimentales.

L'analyse des données relatives à ^{239}Pu est en cours.

REFERENCES

- [1] - J. FREHAUT, *Nucl. Inst. Meth.* 135 (1976) 511.
- [2] - D.S. MATHER et al., *AWRE Report n° 072/72* (1972).



B-II-4-FIGURE 1

Section efficace (n,2n) de ^{235}U en fonction de l'énergie des neutrons incidents.

+ notre mesure.

o MATHER et al. [2].

B-II-5-Mesures de sections efficaces de fission (M. CANCE, D. GIMAT, G. GRENIER, D. PARISOT).

Fission cross sections measurements.

An absolute measurement of the fission cross section of ^{235}U has been made at 2.5 MeV using two references : a proton recoil telescope and a directional long counter. Our result is compared to previous data.

En dehors des mesures absolues de sections efficaces de fission faites autour de 14 MeV avec la méthode de la particule associée, nous avons développé une autre technique nous permettant d'effectuer des mesures à des énergies de neutrons pour lesquelles subsistent des désaccords importants.

Le détecteur hybride développé, est basé, comme celui de BARTON et al. [1], sur la mesure du rapport σ_{nf}/σ_{np} . Ce détecteur est composé comme le montre la figure 1, d'une chambre d'ionisation pour la détection des fragments de fission et d'un télescope pour la détection des protons de recul. L'utilisation d'une chambre d'ionisation, au lieu d'un détecteur semiconducteur [1], permet de minimiser la quantité de matière entre la cible et le dépôt fissile et par conséquent le nombre de fissions dues aux neutrons diffusés. Afin de tester cette technique une première mesure a été faite en utilisant une deuxième référence pour la détermination du flux de neutrons : le long compteur directionnel. La mesure a été faite à 2,5 MeV, cette énergie ayant souvent été proposée comme point de normalisation. C'est en réalité trois mesures qui ont été effectuées à cette énergie. L'écart entre les sections efficaces de fission moyennes obtenues avec ces deux références est de l'ordre de 2,3%. La moyenne de ces deux sections efficaces 1,252b est en bon accord avec la valeur de 1,257b suggérée par BHAT [2] pour l'évaluation ENDF/B V. La comparaison avec les données antérieures est faite sur le tableau 1.

REFERENCES

[1] - D.M. BARTON et al., *Nucl. Sci. Eng.* 60 (1976) 369.

[2] - M.R. BHAT, *Proc. of the NEANDC/NEACRP Specialists Meeting June 28-30 (1976)* Argonne, ANL 76-80 p. 307.

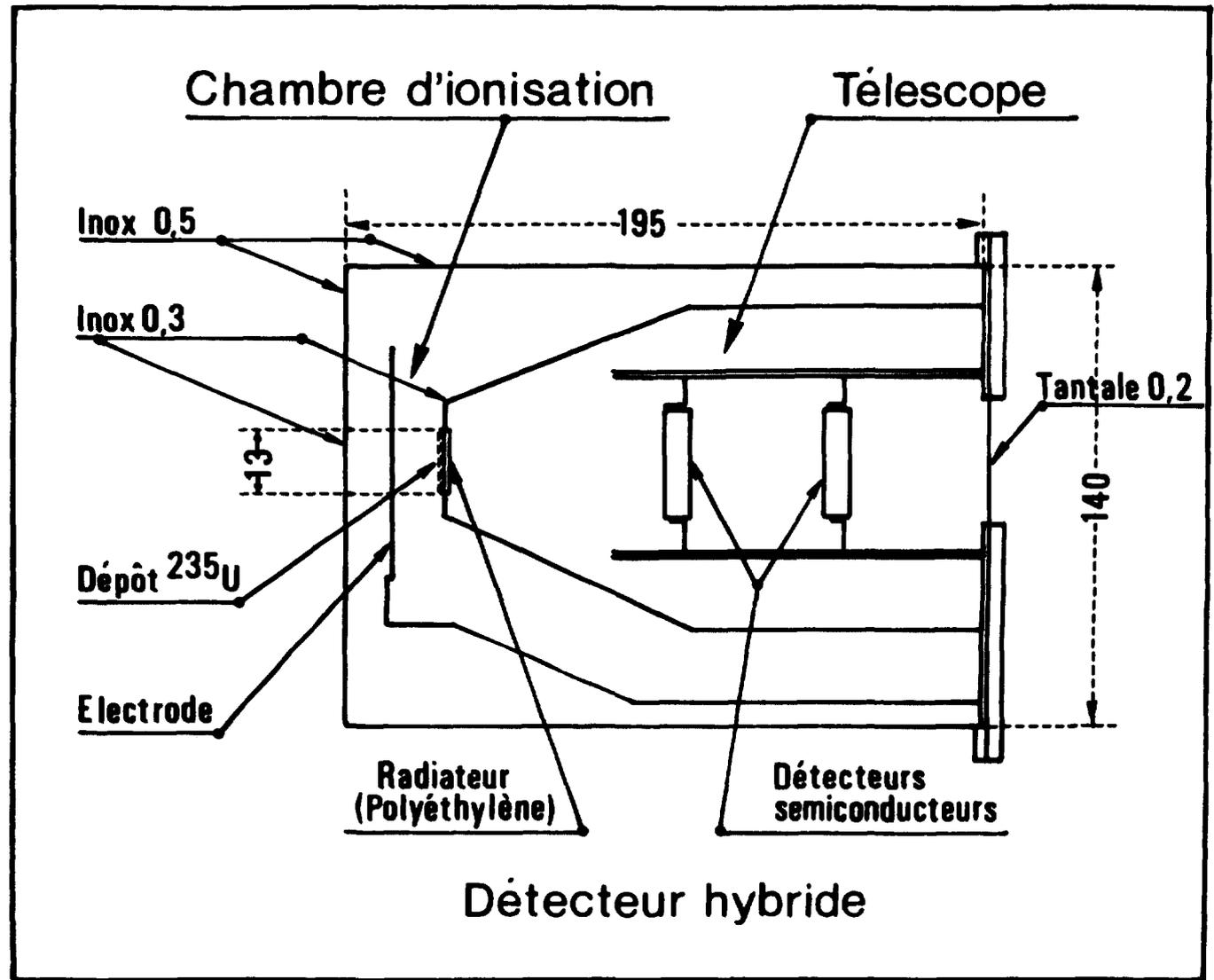
- [3] - P.H. WHITE et al., *J. Nucl. Energy* 21, 67 (1967).
- [4] - I. SZABC et al., *Rapport CEA-R-4804* (1976).
- [5] - W.P. POENITZ, *Nucl. Sci. Eng.* 53, 370 (1974).
- [6] - J.B. CZIRR et G.S. SIDHU, *Nucl. Sci. Eng.* 57, 18 (1975).
- [7] - B. LEUGERS et al., *Proc. of the NEANDC/NEACRP Specialists Meeting, June 28-30 (1976), Argonne ANL-76-90, p. 246.*

E_n (keV)	White et al. [3]	Szabo [4]	Poenitz [5]	Czurr et Sidhu [6] _a	Barton et al. [1]	Leugers et al. [7] _b	ENDF B IV	ENDF B V [2]	Résultat préliminaire (ce travail)
2250	1310								
2350		1256							
2380		1275							
2400			1266		1245			1265	
2450						1245			
2490				1260					
2500					1242		1275		1252
2549						1257			
2590		1219							
2600		1270	1253		1210			1250	

a - Normalisation σ_{nf} (3-4 MeV) = 1198 mb

b - Normalisation σ_{nf} (14 MeV) = 2136 mb.

TABLEAU 1 : $\sigma_{nf}(^{235}\text{U})$ en mb $2,25 \leq E_n \leq 2,6$ MeV



B-II-5-FIGURE 1

Vue schématique du détecteur hybride (toutes les dimensions sont exprimées en mm).

B-III-ETUDE DE LA FISSION
STUDY OF FISSION.

B-III-1-Etude d'un nouveau détecteur de fragments de fission (Y. PATIN,
J.P. LOCHARD, G. DALBERA, C. HUMEAU).

Study of a fission fragment detector.

A detector with a large solid angle and an excellent time resolution is needed for the study of charged particle induced fission reactions. A parallel plate avalanche counter is appropriate for this purpose, and has been developed in this laboratory.

Les niveaux du second puits de la barrière de fission sont souvent étudiés à l'aide des réactions de fission induite par particules chargées du type (d,pf). Il est nécessaire, pour cela, de mesurer l'énergie de la particule chargée émergente avec une excellente résolution ; nous disposons pour ce faire du spectromètre split-pole du Service de Physique Nucléaire [1]. Une étude préliminaire de la réaction $^{232}\text{Th}(d,pf)$ a montré que les détecteurs de fragments de fission à barrière de surface ne sont pas adaptés à ce genre d'expérience ; il est nécessaire d'utiliser, dans ce cas, des détecteurs caractérisés par un grand angle solide et une très bonne résolution en temps.

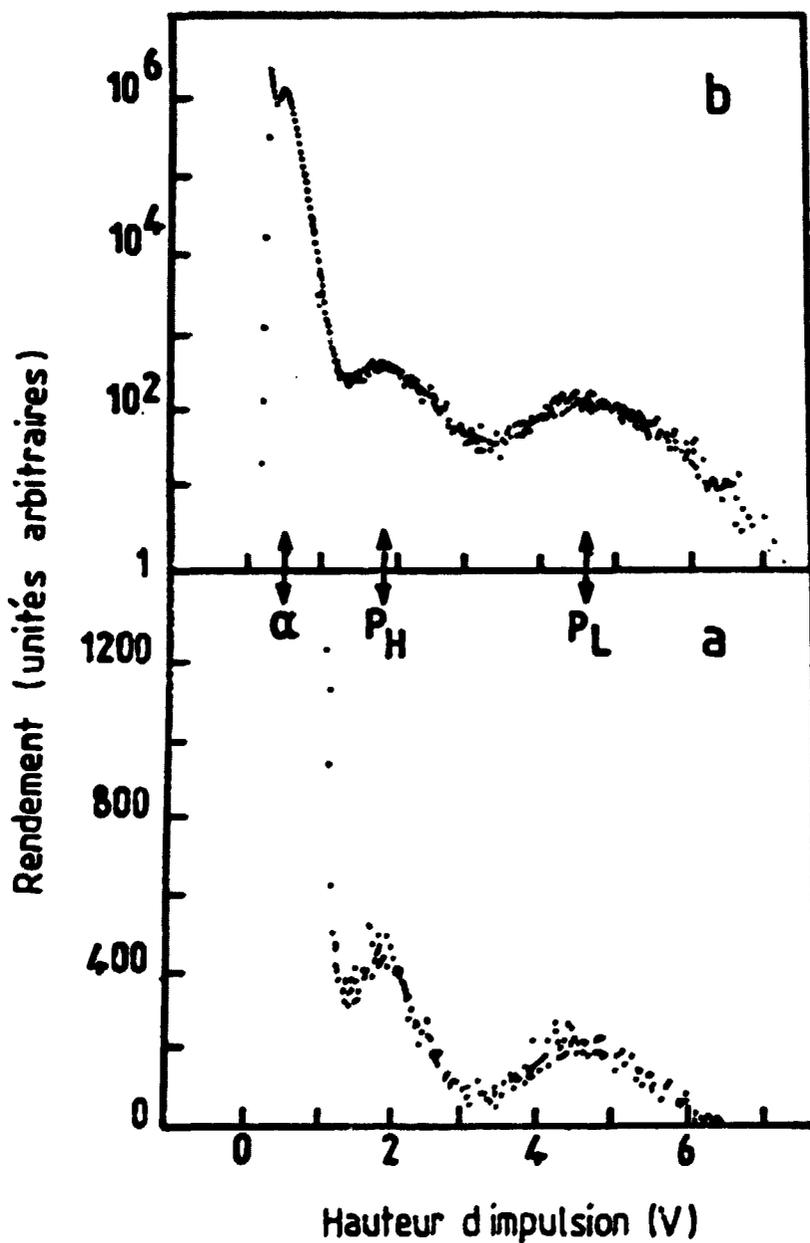
Les détecteurs constitués d'un scintillateur plastique mince associé à un photomultiplicateur rapide possèdent ces caractéristiques [2]. Nous avons réalisé et testé un tel détecteur. La figure 1 montre la réponse en énergie d'un scintillateur NE 102 de 10 μm d'épaisseur aux fragments de fission émis par une source de ^{252}Cf . Nous remarquons sur cette figure que la réponse de tels scintillateurs ne permet pas de séparer nettement les fragments de fission de basse énergie des particules α de la source. Ceci restreint considérablement les possibilités d'utilisation de ces détecteurs trop sensibles aux particules légères.

Le détecteur à avalanche de grande surface [3], moins sensible aux particules légères, semble mieux approprié à nos expériences. Nous avons entrepris l'étude et la réalisation d'un tel détecteur. Le détecteur a une surface utile de 20 cm^2 et une zone sensible entre anode et cathode de 2 mm d'épaisseur (fig. 2).

En choisissant comme gaz de remplissage de l'isobutane à une pression d'une dizaine de Torr et une tension de polarisation de 500 V, nous pouvons nous attendre à une résolution en temps d'environ 250 ps et à un taux de comptage pouvant s'élever au maximum à $5 \cdot 10^4$ coups/seconde. La mesure des caractéristiques du détecteur fera l'objet de nos prochains travaux. Nous envisageons, par la suite, la construction d'un ensemble de détection, associé au split-pole, utilisable dans des expériences de fission ou d'ions lourds.

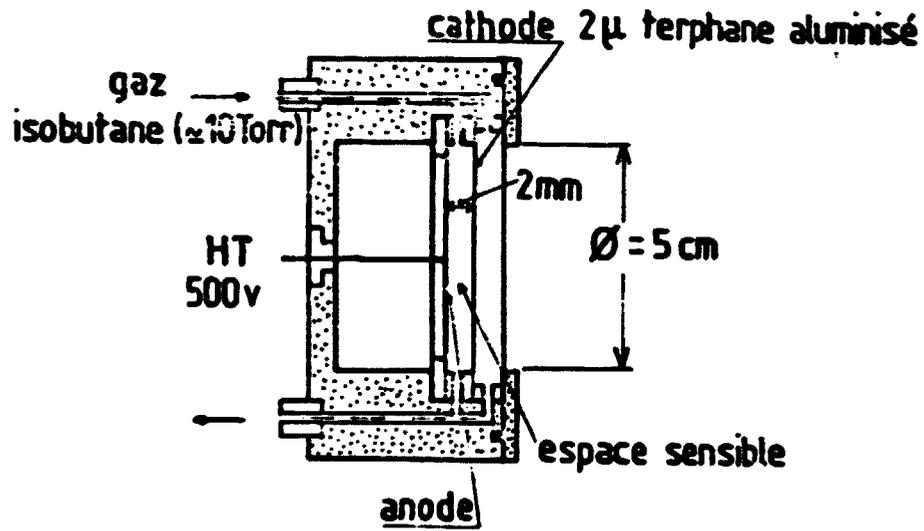
REFERENCES

- [1] - J. SIGAUD, J.P. LOCHARD, M. JOLIBOIS, *Rapport NEANDC (E) 173 "L" (1976) p. 7.*
- [2] - L. MUGA, A. CLEM, G. GRIFFITH, H.S. PLENDL, R. EAKER et R. HOLUB, *Nucl. Inst. and Meth. 119 (1974) 255.*
- [3] - M. JUST, D. HABS, V. METAG et H.J. SPECHT, *Nucl. Inst. and Meth. 148 (1978) 283.*



B-III-1-FIGURE 1

Réponse en énergie d'un scintillateur NE 102 de 10 μm d'épaisseur aux fragments de fission émis par une source de ^{252}Cf . Le même spectre est présenté en échelle linéaire (a) et logarithmique (b). Sur la figure ont été portées les hauteurs d'impulsion P_L et P_H correspondant respectivement aux masses moyennes légère et lourde ainsi que la hauteur d'impulsion correspondant aux particules α .



B-III-1-FIGURE 2

Schéma de principe du compteur à avalanche.

**B-III-2-Scintillateur gazeux utilisé comme détecteur de fragments de fission
(S. PLATTARD, M. DUMAZERT, D. GIMAT, L. SINOPOLI, J.L. UZUREAU).**

Gaseous scintillator used as a fission fragment detector.

We describe a sealed gas scintillator with a fast rising time for the detection of fission fragments where the fissile material is housed in 6 separate cells to reduce a pile up. The set up used for a neutron induced fission cross section measurement of ^{232}Th is briefly presented.

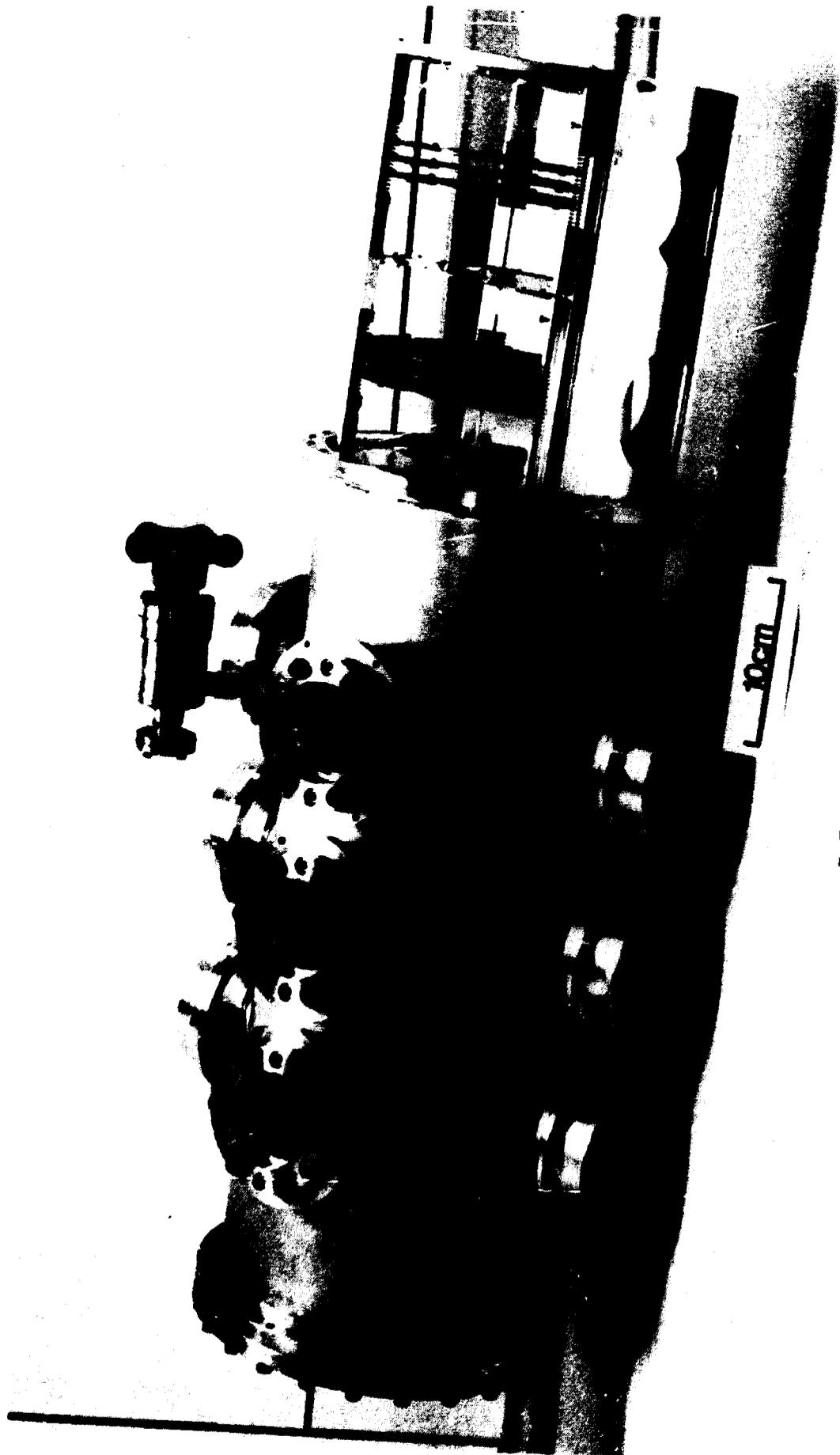
Dans le cadre de l'étude des propriétés de la fission dans la région du seuil de la section efficace de fission des actinides réputés fertiles, nous avons conçu et réalisé un scintillateur gazeux utilisé comme détecteur de fragments de fission afin d'effectuer des mesures à haute résolution. Ce détecteur possède i) l'avantage de pouvoir contenir plusieurs grammes de matériaux répartis en six cellules optiquement isolées les unes des autres pour réduire le nombre d'empilements α , ii) un temps de montée rapide, de l'ordre de 1,2 à 1,5 ns.

Le corps du scintillateur, en acier inoxydable, d'une longueur de 600 mm, est fermé à chaque extrémité par un fond plat en aluminium de 230 mm de diamètre et 1,5 mm d'épaisseur. Une valve disposée sur le côté du détecteur et reliée à un banc de pompage permet d'obtenir un vide de 10^{-7} torr et assure le remplissage en gaz scintillant jusqu'à une pression absolue de 3 atm. Les scintillations se produisant dans le proche ultra-violet, le détecteur comporte des fenêtres en quartz (\varnothing 60 mm, $e = 5$ mm) groupées par 4 en 3 plans parallèles équidistants de 125 mm. Les joints utilisés sont en indium et indium-argent pour permettre un fonctionnement scellé du scintillateur évitant ainsi toute circulation de gaz.

Les dépôts de matériau fertile sont constitués par de l'acétate ou de l'oxyde de l'isotope à étudier d'une épaisseur maximum de 2 mg/cm^2 déposé sur les deux faces d'un support semi-circulaire en titane de 200 mm de diamètre et $12,5 \mu\text{m}$ d'épaisseur. Pour faciliter la manipulation de ces dépôts, en particulier lorsqu'ils sont très radioactifs comme dans le cas de ^{230}Th et ^{231}Pa , on les dispose sur un porte-dépôts qui peut en contenir plusieurs par cellule avant d'être introduit dans le détecteur proprement dit (fig. 1).

A l'aide de la méthode du temps de vol de neutrons, ce scintillateur gazeux a permis de mesurer la section efficace de la réaction $^{232}\text{Th}(n,f)$ pour des neutrons d'énergie comprise entre 1,1 et 16 MeV. L'accélérateur tandem Van de Graaff étant utilisé comme source pulsée de neutrons via la réaction $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ fonctionnant à la fréquence de 625 kHz et délivrant des bouffées de neutrons de largeur maximum à mi-hauteur 1,1 ns. Le détecteur de fragments de fission, rempli de xénon à 1 atm, était situé à une distance de vol moyenne de 15,8 m et contenait 15 dépôts de $^{232}\text{ThO}_2$ groupés par 3 en cinq cellules, parallèles au faisceau incident de neutrons et équidistants de 12,5 mm, chaque cellule étant regardée par deux photomultiplicateurs XP 2020 Q montés en coïncidence. La sixième cellule contenait une source de ^{252}Cf (10^4 fiss/ 4π min) pour contrôler, grâce à l'amplitude des impulsions lumineuses, une éventuelle dégradation du gaz scintillant. Le scintillateur est resté scellé pendant 3 mois sans qu'aucune détérioration du gaz n'ait pu être détectée par ce moyen.

Placé derrière le détecteur, un scintillateur plastique SPF ($1 \times 1 \times 3 \text{ cm}^3$) couplé à un photomultiplicateur XP 2020 assurait la mesure du spectre de neutrons.



B-III-2-FIGURE 1

B-III-3-Mesure à haute résolution de la section efficace de la réaction $^{232}\text{Th}(n,f)$ et de l'anisotropie des fragments de fission (S. PLATTARD, G.F. AUCHAMPAUGH*, N.W. HILL**, R.B. PEREZ**, G. de SAUSSURE**).

A high resolution measurement of the cross section and the fission fragment anisotropy for the $^{232}\text{Th}(n,f)$ reaction.

Using a gaseous scintillator, the fission cross section and 3 anisotropies of the fission fragments for the $^{232}\text{Th}(n,f)$ reaction have been measured at ORELA with an energy resolution $\Delta E(\text{keV}) = 3.6 [E_n(\text{MeV})]^{3/2}$. K quantum numbers are assigned to broad resonances below $E_n = 2.5 \text{ MeV}$ but there is no clear evidence for the presence of fine structures superposed on the broad resonances.

Cette mesure a été entreprise en collaboration avec le laboratoire scientifique de Los Alamos et le laboratoire national d'Oak Ridge. Elle s'est déroulée auprès de l'accélérateur linéaire à électrons d'Oak Ridge utilisé comme source pulsée de neutrons avec une résolution nominale de 0,12 ns/m.

Les résultats de l'expérience devraient pouvoir donner des indications sur la forme de la barrière de fission de ^{233}Th qui présenterait, d'après les calculs de MÖLLER et NIX [1], un troisième minimum pour les déformations importantes du noyau fissionnant. Dans ce troisième puits apparaissent des états de vibration sur lesquels peuvent être construits des bandes de rotation. Il devrait donc être possible de déterminer le nombre quantique K pour chaque état de vibration ainsi que les valeurs de J des premiers membres d'une bande de rotation s'ils sont observés.

Le détecteur de fragments de fission, décrit par ailleurs [2], était utilisé avec un mélange He-N₂ à 2% en N₂ sous une pression de 1 atm. Cinq cellules sur six comportaient chacune 0,63 g de ^{232}Th , de densité 2 mg/cm², déposé sur les deux faces d'une feuille semi-circulaire en titane de 200 mm de diamètre et 12,5µm d'épaisseur.

Les deux premières cellules étaient utilisées pour la mesure de la section efficace de fission alors que dans chacune des trois autres un dépôt de ^{232}Th était pris entre deux grilles afin de détecter les fragments de fission à des angles respectivement compris entre 0° - 20° , 0° - 30° et 0° - 45° . La sixième cellule contenait un dépôt de ^{235}U (140 mg, $0,5 \text{ mg/cm}^2$) nécessaire à la normalisation de la section efficace de fission de ^{232}Th .

Les conditions expérimentales étaient les suivantes :

- Distance de vol moyenne 41,5 m
- Largeur de bouffée de neutrons $\sim 4,2 \text{ ns}$
- Fréquence de répétition 800 Hz
- Puissance moyenne 8-9 kW
- Temps de faisceau utilisé 24 jours.

La section efficace de fission σ_f de ^{232}Th et les 3 anisotropies ont été mesurées pour des énergies de neutrons comprises entre 0,8 et 12 MeV avec une résolution en énergie donnée par $\Delta E(\text{keV}) = 3,6 [E_n(\text{MeV})]^{3/2}$. En dessous de $E_n = 0,8 \text{ MeV}$, σ_f est difficilement mesurable compte tenu de sa faible valeur, $\sim 20 \mu\text{b}$, et aussi à cause de la contamination en ^{235}U de l'échantillon ($\sim 400 \text{ ppm}$) qui est détectable.

La variation de σ_f en fonction de E_n (fig. 1) présente des résonances larges pour $1 < E_n < 2,5 \text{ MeV}$ qui ont déjà été observées par ailleurs [3] et peuvent être interprétées comme des états de vibration dans le 3^{ème} puits de la barrière de fission de ^{232}Th . Pour $E_n > 2,5 \text{ MeV}$, l'énergie d'excitation du système ^{233}Th est supérieure à 7,3 MeV, c'est à dire au-dessus de la barrière de fission, ce qui explique la disparition de structures dans σ_f .

Les fluctuations observées dans les flancs des résonances centrées respectivement autour de $E_n = 1,4, 1,5, 1,6$ et $1,7 \text{ MeV}$ ne présentent pas le même aspect que celles indiquées par BLONS et al. [3]. Elles ne paraissent pas, dans l'état actuel du dépouillement, devoir être interprétées comme les membres de bandes de rotation construites sur des états de vibration, mais dans une large mesure semble-t-il, comme le résultat de fluctuations statistiques du taux de comptage. Les résultats préliminaires d'un calcul fondé sur le modèle statistique [4] et portant sur le calcul de σ_f pour $1,4 < E_n < 1,7 \text{ MeV}$ par pas de 5 keV ne sont pas encore en mesure de préciser la contribution de chacun des membres des bandes de rotation construites sur les états de vibration.

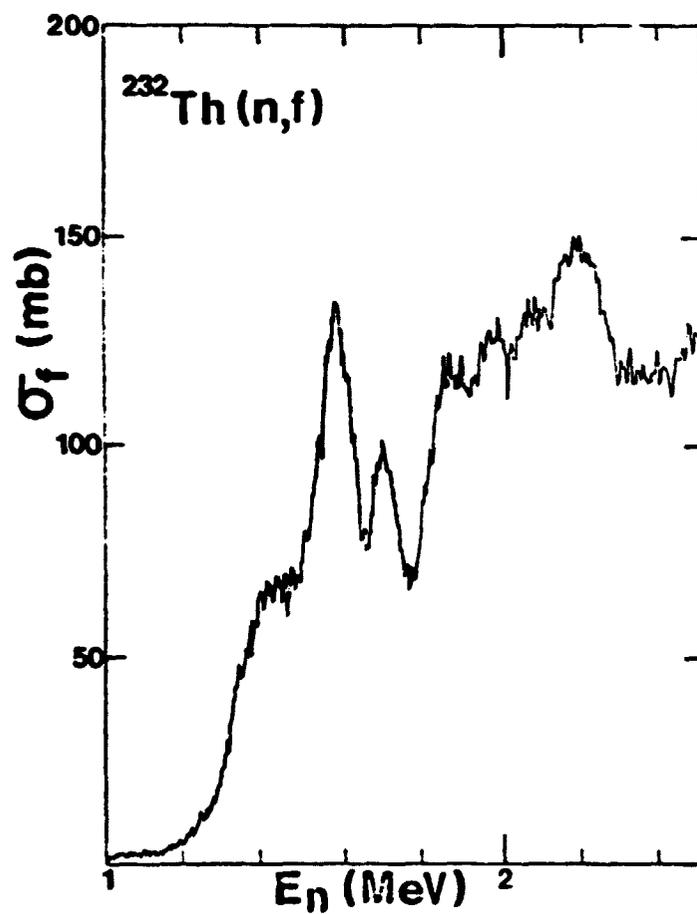
L'ajustement des valeurs calculées de l'anisotropie aux valeurs expérimentales ne peut se faire que si plus d'un nombre quantique K est attribué à chaque résonance large ; en général il y a une valeur bien déterminée de K qui est prédominante. Ainsi les 4 résonances larges centrées autour de $E_n = 1,4 - 1,5 - 1,6$ et $1,7$ MeV ont respectivement pour valeur prédominante de $K = 1/2, 3/2, 3/2$ et $1/2$. Autour de $E_n = 0,930$ et $1,015$ MeV, deux résonances larges ont été identifiées comme ayant $K = 1/2$ avec une contribution $K = 5/2$. La statistique dont nous disposons à l'heure actuelle est encore insuffisante pour confirmer ce résultat.

• Los Alamos Scientific Laboratory, LOS ALAMOS, New Mexico 87545 (USA).

•• Oak Ridge National Laboratory, OAK RIDGE, Tennessee 37830 (USA).

REFERENCES

- [1] - P. MÖLLER et J.R. NIX, *Physics and Chemistry of Fission*, I, 102, AIEA Vienne (1974).
- [2] - S. PLATTARD, M. DUMAZERT, D. GIMAT, L. SINOPOLI, J.L. UZUREAU, "Scintillateur gazeux utilisé comme détecteur de fragments de fission" (Cf Chap. B-III-2).
- [3] - J. BLONS, C. MAZUR et D. PAYA, *Phys. Rev. Lett.*, 35, 1749 (1975).
- [4] - J. TROCHON, H. ABOU YEHIA, J. JARY, Y. PRANAL, *proposé pour communication au 4^{ème} symposium sur la Physique et la Chimie de la Fission, 14-18 Mai 1979, Juliers (RFA).*



B-III-3-FIGURE 1

Section de fission de la réaction $^{232}\text{Th}(n,f)$ pour des neutrons d'énergie comprise entre 1 et 2,5 MeV.

B-III-4-Analyse de la section efficace et la distribution angulaire des fragments de la fission de ^{232}Th par neutrons (H. ABOU YEHIA[®], J. JARY, J. TROCHON).

Channel analysis of the ^{232}Th neutron cross sections.

The various ^{232}Th neutron cross sections - total, elastic and inelastic scattering, capture, fission - and the fission fragment angular distributions have been simultaneously calculated in the energy range 0.3-2.4 MeV, using the Hauser-Feshbach formalism and a statistical model. The results agree fairly well with the experimental data. The fission channels are deduced from this analysis.

De précédentes études sur la fission de ^{232}Th par neutrons dans la région du seuil, nous ont conduit à rechercher des effets de voies de sortie de fission dans les résultats sur l'énergie cinétique totale des fragments [1]. Un tel travail nécessite une bonne connaissance de la position et de la contribution relative des différents états menant à la fission. C'est pourquoi nous avons analysé en termes d'états de transition de Bohr la section efficace de fission et les distributions angulaires des fragments associés. La gamme d'énergie étudiée (de 0,3 à 2,4 MeV) comprend la région du seuil où cette section efficace présente de grandes structures attribuées à des états vibrationnels dans un troisième puits de la barrière de fission [2]. Pour cette analyse, nous avons utilisé les valeurs de σ_f publiées par BEHRENS jusqu'à $E_n = 1,2$ MeV [3] et celles publiées par BLONS au-delà [2]. Les distributions angulaires des fragments proviennent de différents travaux [4,5].

Le calcul par le modèle statistique de la section efficace de fission σ_f et des distributions angulaires est fait simultanément avec celui des autres sections efficaces - élastique $\sigma_{n,n}$, inélastique $\sigma_{n,n'}$, et de capture radiative $\sigma_{n,\gamma}$, à partir d'un jeu de coefficients de transmission $T(l,j)$ obtenu par une paramétrisation d'un potentiel optique en voies couplées faite par LAGRANGE [6]. Dans la figure 1, la section efficace totale calculée par LAGRANGE est comparée aux valeurs expérimentales. L'accord est bon en général, mais entre $0,5 < E_n < 2$ MeV les valeurs calculées sont un peu plus faibles que les données expérimentales

(l'écart maximum est de 7%). Cependant les fonctions densité sont bien reproduites :

	Calcul ($E_n = 10 \text{ keV}$)	mesure
S_0	$1,005 \cdot 10^{-4}$	$(0,9 \pm 0,1) 10^{-4}$
S_1	$1,518 \cdot 10^{-4}$	$(1,6 \pm 0,2) 10^{-4}$ [7]

Les états excités de ^{232}Th retenus pour le calcul de $\sigma_{n,n}$, sont indiqués dans le tableau 1. Aux énergies supérieures, nous utilisons une densité de niveaux continue ajustée au mieux sur le spectre des niveaux discrets (fig. 2). Le calcul de $\sigma_{n,\gamma}$ utilise les probabilités de transition γ de WEISSKOPF, normalisée en ajustant la largeur Γ_γ calculée à la valeur mesurée dans la région des résonances ($\bar{\Gamma}_\gamma = 21,2 \text{ meV}$ [7]).

Les barrières de fission prises pour le calcul de σ_f présentent trois bosses, en accord avec les prédictions théoriques de MÖLLER et NIX [8] et les résultats expérimentaux de BLONS et coll. [2]. Leurs paramètres sont donnés dans le tableau 2. En fait, la première barrière, inférieure d'environ 1 MeV à l'énergie de liaison d'un neutron, n'a pas d'influence et le calcul est ramené à celui de la pénétrabilité d'une barrière à deux bosses. Nous supposons également que la déformation asymétrique du noyau correspondant au troisième puits conduit à un dédoublement de chaque état vibrationnel de ce puits en deux états de même nombre quantique K mais de parités opposées, comme cela a été récemment mis en évidence dans la section efficace de fission de ^{230}Th [9]. Toujours en accord avec ces travaux, le 3^{ème} puits est supposé assez peu profond pour que ces états vibrationnels ne soient pas amortis par couplage avec des états intrinsèques.

Les figures 3(a et b), 4,5,6 et 7 illustrent la comparaison entre les différentes sections efficaces et distributions angulaires calculées et les résultats expérimentaux. Le bon accord global sur un ensemble aussi complet de sections efficaces donne une grande confiance dans le jeu d'états de transition obtenu. Toutefois, l'abaissement soudain de σ_f au-delà de 2,2 MeV n'a pu être reproduit qu'en augmentant légèrement la densité de niveaux continue dans l'hypothèse d'une compétition inélastique accrue dans cette région. Nous devons encore rechercher si cette hypothèse est justifiée.

* *Stagiaire Universitaire*

REFERENCES

- [1] - J. TROCHON et coll., *Nucl. Phys.* (1979), à paraître.
- [2] - J. BLONS et coll., *Phys. Rev. Lett.* 35 (1975) 1749.
- [3] - J.W. BEHRENS et J.C. BROWNE, *Phys. Lett.* 69B (1977) 278.
- [4] - S.B. ERMAGAMBETOV et G.N. SMIERENKIN, *Soviet Jour. of Nucl. Phys.* 11 (1970) 646.
- [5] - J. CARUANA et coll., *Nucl. Phys.* A285 (1977) 205.
- [6] - Ch. LAGRANGE, *Communication privée, et rapport NEANDC(E) 196 "L", INDC (FR) 29/L (1978). (en collaboration avec G. HAOUAT et al.)*.
- [7] - G. de SAUSSURE et R.L. MACKLIN, *Rapport ORNL/TM 6161 (1977)*.
- [8] - P. MÖLLER et J.R. NIX, *Physics and Chemistry of fission, AIEA Vienne I (1974) 103*.
- [9] - J. BLONS et coll., *Phys. Rev. Lett.* 41 (1978) 1282.
- [10] - L. GREEN et coll., *BNL 325, 3^{ème} édition, Volume II*.
- [11] - U. FASOLI et coll., *Nucl. Phys.* A151 (1970) 369.
- [12] - J.WHALEN, A.B. SMITH, *Nucl. Sci. Eng.* 67 (1978) 129.
- [13] - W. MacMURRAY, *Rapport SUNI-41 (1975)*.
- [14] - A. SMITH, *Phys. Rev.* 126 (1962) p. 718 - Voir aussi référence [15] pour les données de 1970 et 1977.
- [15] - J. MEADOWS et coll., *Rapport ANL/NDM-35 (1978)*.

- [16] - G. HAOUAT et coll., *Proc. Int. Conf. on the interaction of neutrons with nuclei*, LOWELL, CONF-760715 (1976).
- [17] - M. LINDNER et coll., *Nucl. Sci. Eng.* 59 (1976) 381 - Voir aussi référence [7].
- [18] - H.M. JAIN et coll., *Conférence internationale sur la Physique Neutronique et les Données Nucléaires et autres applications*, HARWELL (G.B.) 25-29 Septembre 1978.
- [19] - J.A. MISKEL et coll., *Phys. Rev.* 128 (1962) 2717 - Voir aussi référence [7].
- [20] - J.F. BARRY et coll., *Proc. Phys. Soc. (London)* 74 (1959) - Voir aussi référence [7].
- [21] - W. POENITZ, D. SMITH, cf. référence [15].

NIVEAU	ENERGIE	SPIN	PARITE
0	0,0	0	+
1	0,49369	2	+
2	0,16212	4	+
3	0,33310	6	+
4	0,55690	8	+
5	0,71425	1	-
6	0,73035	0	+
7	0,77410	2	+
8	0,77440	3	-
9	0,78520	2	+
10	0,82740	10	+
11	0,82960	3	+
12	0,87300	4	+
13	0,88330	5	-
14	0,89010	4	-
15	0,96020	4	+
16	1,05360	2	-
17	1,0729	2	+
18	1,0775	1	-
19	1,0787	0	+
20	1,0944	3	+
21	1,1057	3	-
22	1,1228	2	+

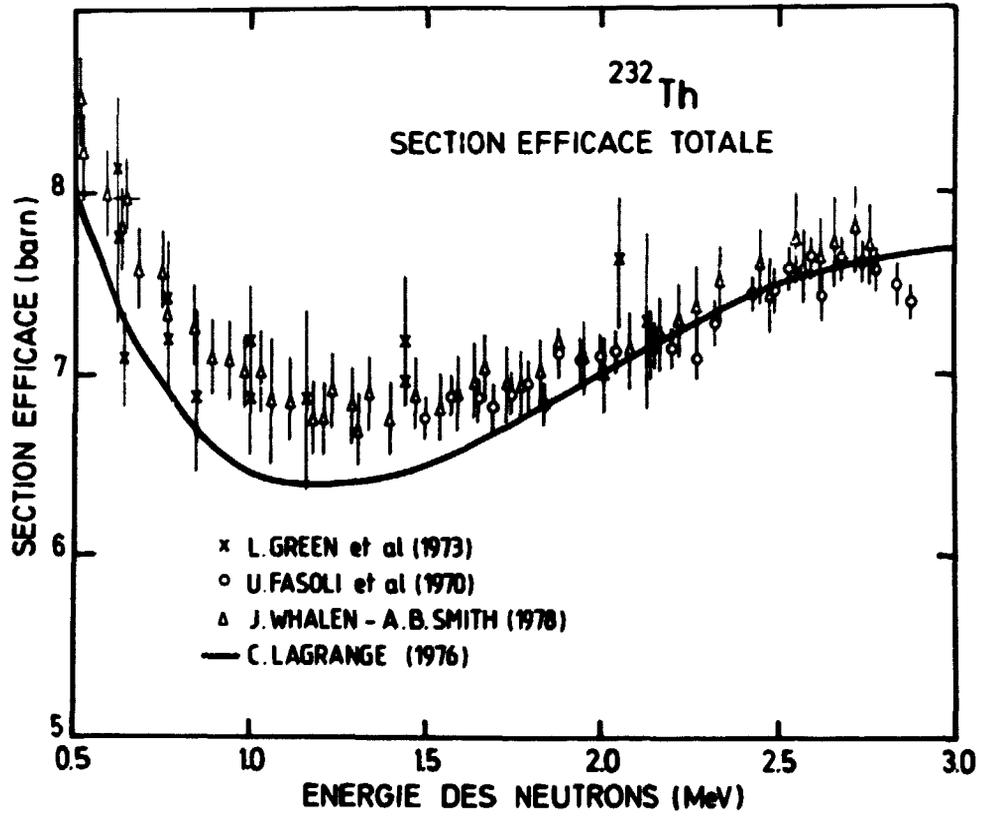
TABLEAU I : Etats excités de ^{232}Th pris en compte pour le calcul de $\sigma_{n,n'}$.

VOIE (K,π)	ENERGIE E_B (MeV)	ENERGIE E_{III} (MeV)	ENERGIE E_C (MeV)	t_{hB} (MeV)	$t_{h_{III}}$ (MeV)	t_{hC} (MeV)
(1/2+)	5,49	5,47	6,86	1,30	0,60	1,30
(7/2-)	5,70	5,46	6,87	0,74	0,60	1,05
(1/2+)	6,27	5,72	6,86	1,20	1,00	1,23
(3/2+)	6,29	5,723	6,77	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	6,29	5,81	7,28	1,40	1,00	1,40
(3/2+)	6,27	5,76	7,13	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	6,41	5,89	7,41	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	6,42	5,90	7,42	1,40	1,00	1,40
(3/2+)	6,41	5,89	6,94	1,40	1,00	1,40
(3/2-)	6,42	5,90	6,95	1,40	1,00	1,40
(5/2+)	6,40	5,89	6,88	1,40	1,00	1,40
(5/2-)	6,41	5,90	6,89	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	6,73	6,026	7,61	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	6,74	6,036	7,62	1,40	1,00	1,40
(3/2+)	6,71	6,016	7,31	1,40	1,00	1,40
(3/2-)	6,72	6,026	7,32	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	6,76	6,19	7,40	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	6,77	6,20	7,41	1,40	1,00	1,40
(5/2+)	6,78	6,18	7,31	1,40	1,00	1,40
(5/2-)	6,79	6,19	7,32	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	7,01	6,31	7,64	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	7,02	6,32	7,65	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	7,20	6,38	7,70	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	7,21	6,39	7,71	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	7,20	6,48	7,57	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	7,21	6,49	7,58	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	7,22	6,55	7,60	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	7,23	6,56	7,61	1,40	1,00	1,40
(1/2+)	7,24	6,625	7,52	1,40	1,00	1,40
(1/2-)	7,24	6,735	7,55	1,40	1,00	1,40

TABEAU II : Paramètres de barrières des différentes voies de fission de ^{232}Th .

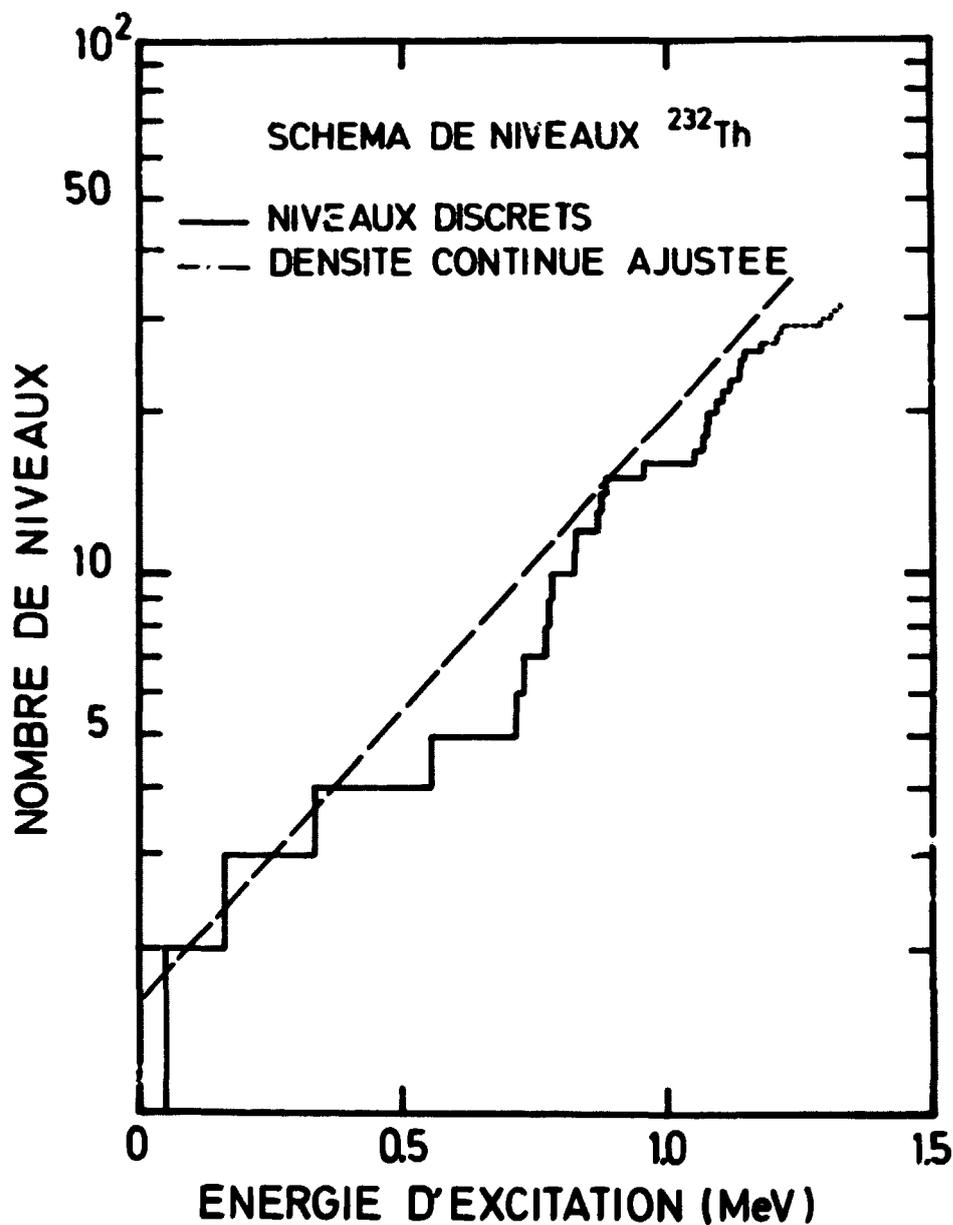
La première barrière et le second puits ne sont pas indiqués ici car ils n'ont pas d'influence sur le calcul des pénétrabilités.

($E_A = 4 \text{ MeV}$, $E_{II} = 2 \text{ MeV}$).



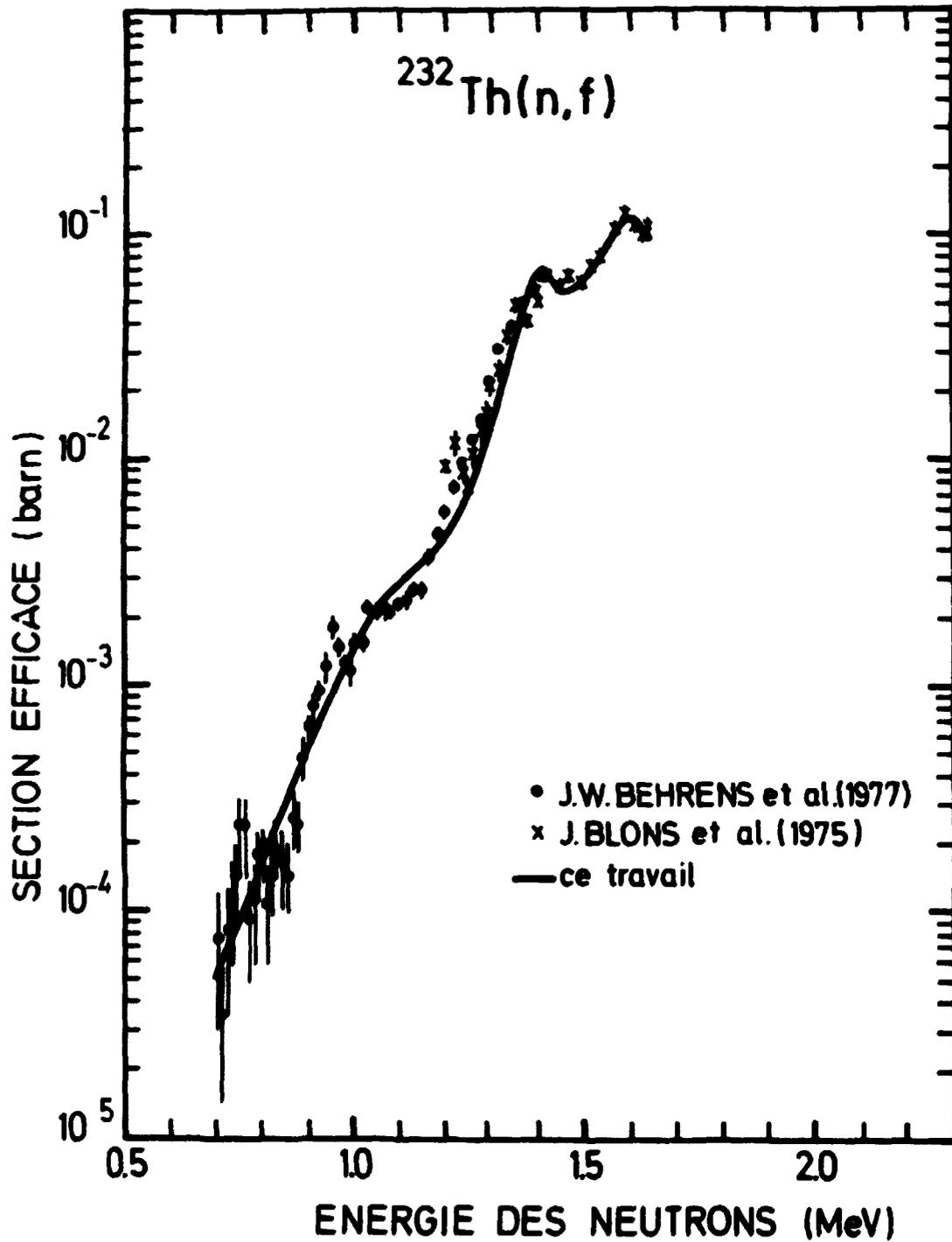
B-III-4-FIGURE 1

Section efficace totale calculée par Ch. LAGRANGE et comparée à diverses données expérimentales (cf. Ref. [10] à [12]).



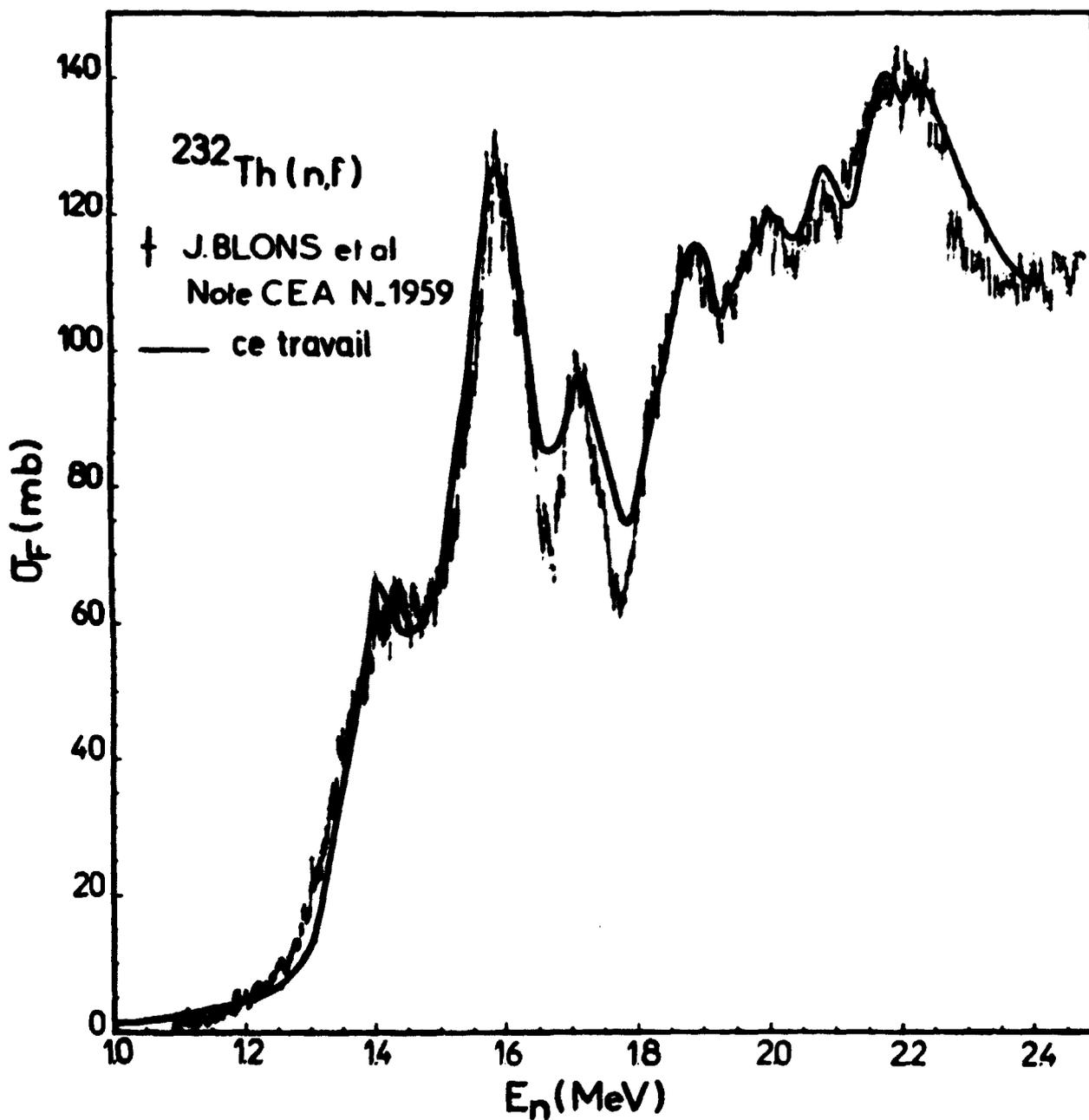
B-III-4-FIGURE 2

Histogramme des niveaux excités de ^{232}Th et densité continue des niveaux utilisée dans le calcul de σ_{nn} , au-delà de $E_n = 1,1228 \text{ MeV}$.



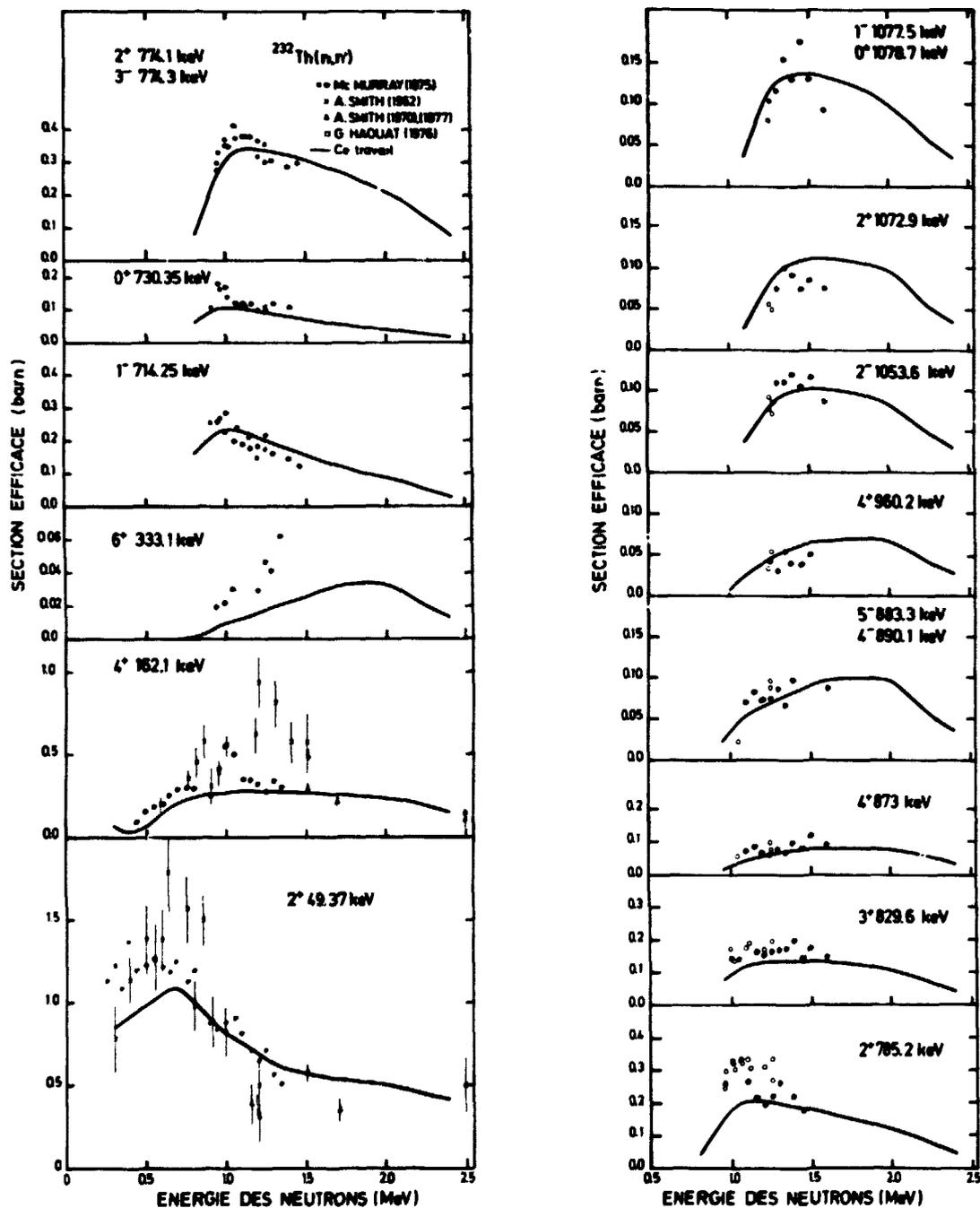
B-III-4-FIGURE 3 (a)

Section efficace de fission de ^{232}Th : ajustement entre le calcul et les données expérimentales des références [2] et [3].



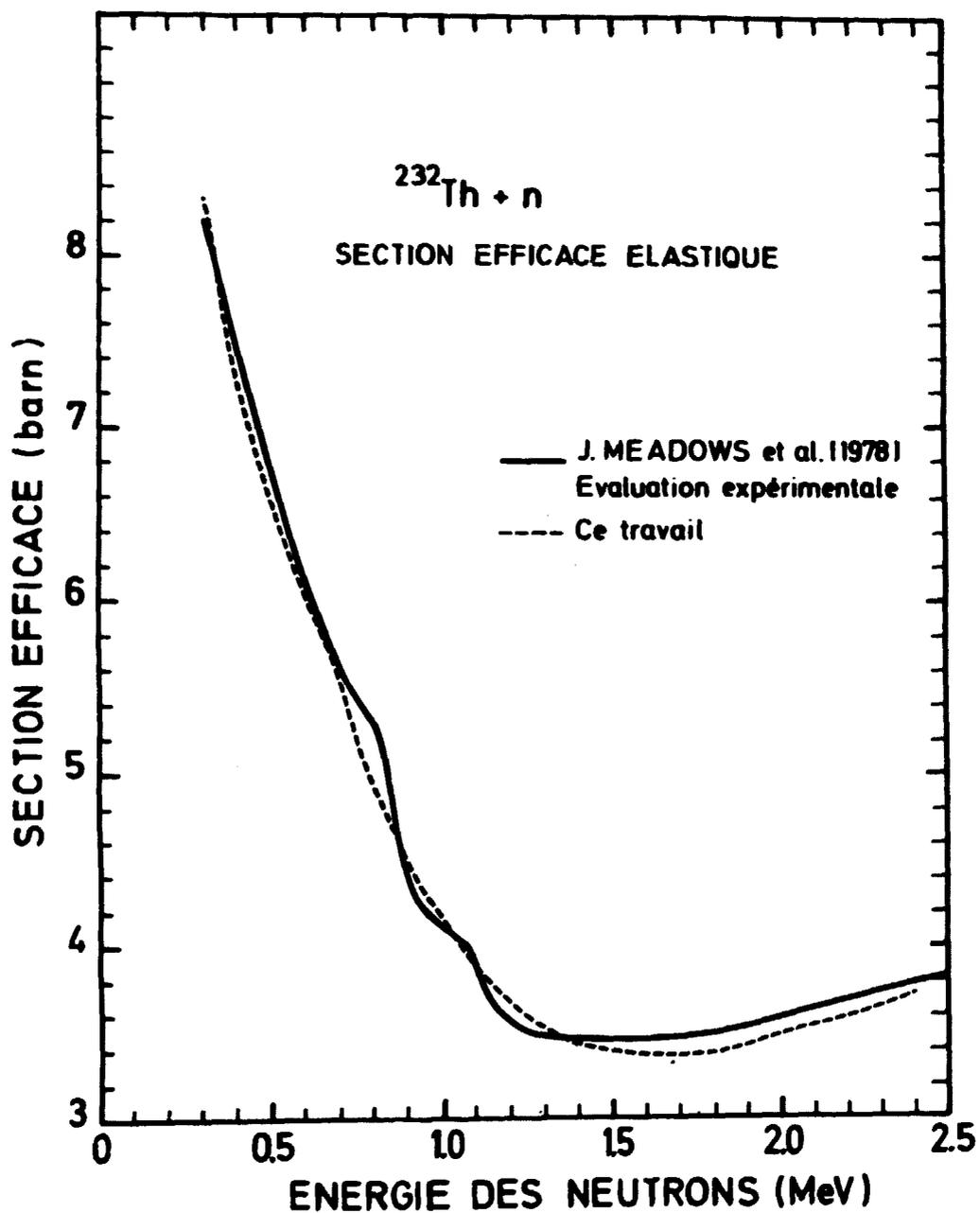
B-III-1-FIGURE 3 (b)

Section efficace de fission de ^{232}Th : ajustement entre le calcul présent et les données expérimentales de J. BLONS.



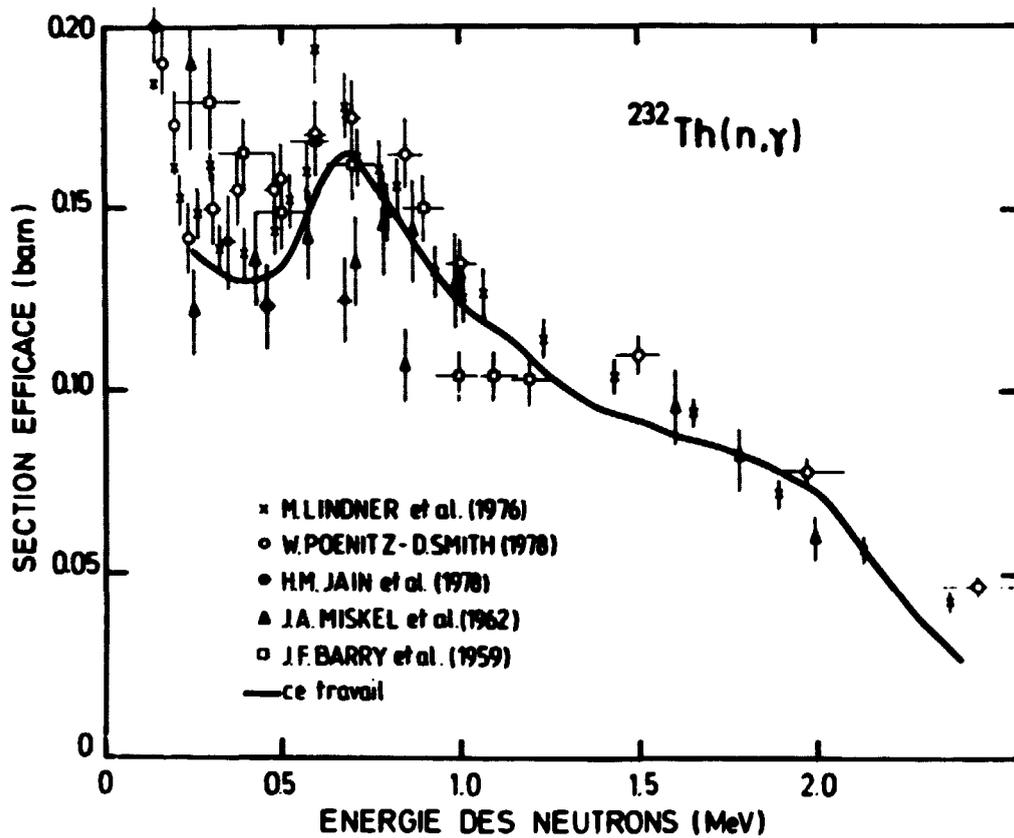
B-III-4-FIGURE 4

Section efficace inélastique sur différents niveaux de ^{232}Th :
 comparaison théorie-expériences (réf. [13] à [16]).



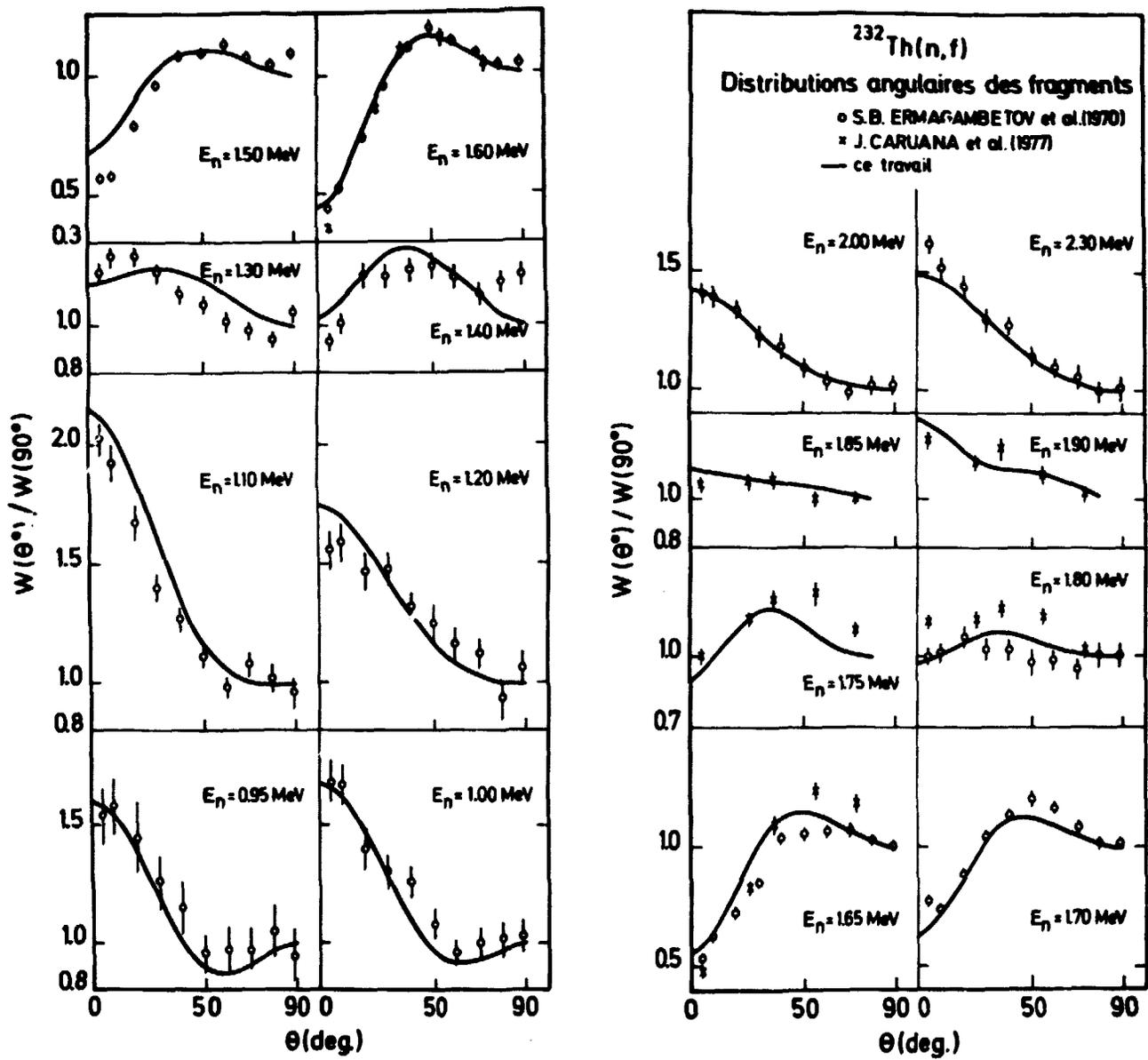
B-III-4-FIGURE 5

Section efficace élastique de ^{232}Th : comparaison du calcul présent avec l'évaluation expérimentale [15].



B-III-4-FIGURE 6

Section efficace de capture radiative de ^{232}Th : comparaison entre le calcul présent et différentes mesures (ref. [17] à [21]).



B-III-4-FIGURE 7

Distributions angulaires des fragments de fission : ajustement entre le calcul présent et les données des ref. [4] et [5].

B-III-5-Etude de l'énergie cinétique des fragments de fission de la réaction $^{238}\text{U}(n,f)$. (H. ABOU YEHIA*, F. BRISARD, Y. PRANAL, J. TROCHON).

Study of the fission fragment kinetic energy in the reaction $^{238}\text{U}(n,f)$.

The mean total kinetic energy $\overline{E_K^}$ of the fission fragments and their mass distributions have been measured in the reaction $^{238}\text{U}(n,f)$ for neutron energies E_n between 1.1 and 6 MeV. A slight decrease of the energy $\overline{E_K^*}$ versus E_n is observed. Some other characteristics are discussed.*

Dans le cadre général de l'étude expérimentale de la dynamique de la fission dans les réactions (n,f), nous avons étudié au cours de l'année 1977 la fission de ^{232}Th par neutrons d'énergie comprise entre 1,35 et 5,3 MeV (région du seuil de fission) [1]. Les résultats obtenus indiquent deux comportements distincts de l'énergie cinétique des fragments, suivant que la fission a lieu ou non par des voies de sortie ouvertes. Dans le premier cas, on observe une croissance linéaire de l'énergie $\overline{E_K^*}$ avec l'énergie d'excitation du noyau et dans le second des valeurs basses et à peu près constantes. Ce comportement a été interprété [2] en supposant un couplage très faible entre les degrés de liberté collectifs et intrinsèques du noyau. Ainsi l'augmentation d'énergie (collective) du noyau au point selle se retrouve en énergie cinétique des fragments à la scission.

Cette conclusion est assez différente de celle qui avait été tirée des résultats sur les autres actinides, pour lesquels, à énergie d'excitation similaire le couplage des états collectifs et intrinsèques est beaucoup plus fort, entraînant même une diminution de l'énergie $\overline{E_K^*}$ avec l'énergie d'excitation dans la plupart des cas.

Il semblait donc intéressant de comparer les résultats de ^{232}Th à ceux d'un autre actinide, dans des conditions similaires. Nous avons choisi ^{238}U dont la section efficace de fission présente des petites résonances dues à la fission sous le seuil par l'intermédiaire d'états vibrationnels de classe II.

Le dispositif expérimental est tout à fait identique à celui utilisé précédemment. Rappelons que l'énergie cinétique totale moyenne \bar{E}_K et la distribution en masse des fragments de fission sont déterminées à partir des hauteurs d'impulsions délivrées par les détecteurs (jonctions à barrière de surface entourant le dépôt fissile et refroidies à la température de l'azote liquide). La calibration en énergie est faite par rapport à la fission thermique de ^{235}U .

Les résultats obtenus appellent les remarques suivantes :

- i) les valeurs expérimentales de l'énergie \bar{E}_K (fig. 1) sont en bon accord avec une décroissance linéaire d'équation : $(174,433 \pm 0,080) - (0,145 \pm 0,035)E_n$, excepté pour $E_n = 6$ MeV. En effet à cette énergie la contribution de la réaction $^{238}\text{U}(n,n'f)$ occasionne une augmentation de l'énergie cinétique totale.
- ii) les quelques valeurs comprises entre 1,1 et 1,5 MeV semblent marquer un plateau ou même un changement de signe de la pente. Un tel effet, déjà observé dans la fission de ^{242}Am [3], doit être confirmé par une mesure plus détaillée dans cette région et en dessous.
- iii) aucune variation de l'énergie \bar{E}_K ne paraît se produire à la petite résonance dans la section efficace de fission autour de $E_n = 1,1$ MeV. Ce résultat, différent de ce qui a été observé pour ^{233}Th , doit être confirmé.
- iv) contrairement au cas de ^{233}Th , la masse moyenne \bar{m}_H du fragment lourd reste pratiquement constante quand l'énergie des neutrons augmente (fig. 2).
- v) le rapport du pic à creux des distributions en masse (fig. 3) présente une diminution rapide aux environs de $E_n = 3$ MeV. Cet effet, déjà observé pour d'autres noyaux est généralement interprété comme provenant de l'ouverture d'une voie de fission symétrique.
- vi) la dépendance de l'énergie \bar{E}_K en fonction de l'énergie E_n et du type de fragmentation est comparée sur la figure 4 à celle obtenue pour d'autres systèmes fissionnants. Nous remarquons pour ^{239}U , comme pour les autres noyaux, l'influence de la structure en couches des fragments sur leurs propriétés.

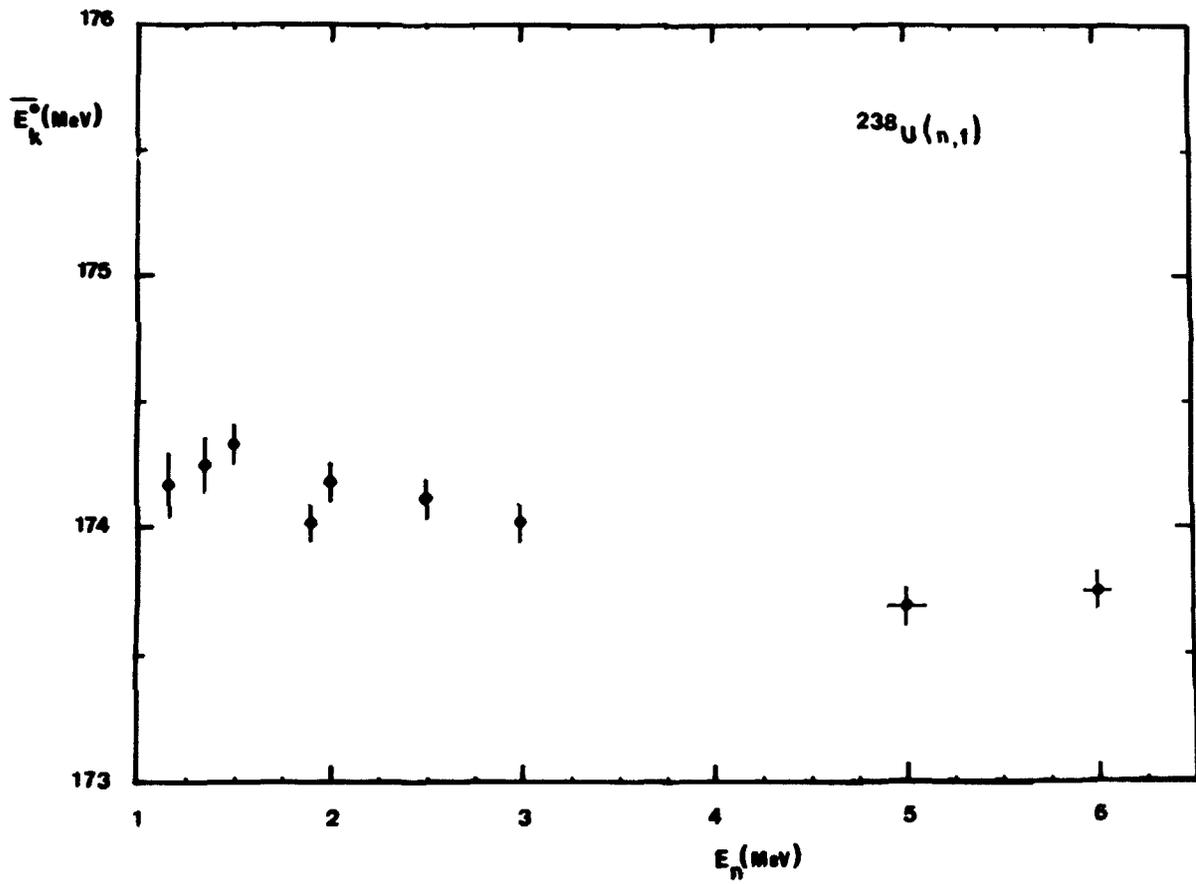
En utilisant le bilan en énergie de la fission, nous avons calculé à partir de nos valeurs de \bar{E}_K , les nombres moyens $\bar{\nu}_p$ de neutrons prompts émis par fission et nous les avons comparés aux mesures directes (fig. 5). Pour faire ce calcul, la valeur $d\bar{\nu}_p/dE_n = 0,13$ a été utilisée et les résultats ont été normalisés sur le nombre $\bar{\nu}_p = 2,584$ à $E_n = 2$ MeV. L'accord moyen est satisfaisant ; cependant nos

résultats (comme ceux de NURPEISOV [4]) ne semblent pas reproduire le changement de pente observé vers $E_n = 3$ MeV par SAVIN et coll. [5] et FREHAUT et coll. [6] même en tenant compte du changement de la distribution en masse.

**Stagiaire Universitaire.*

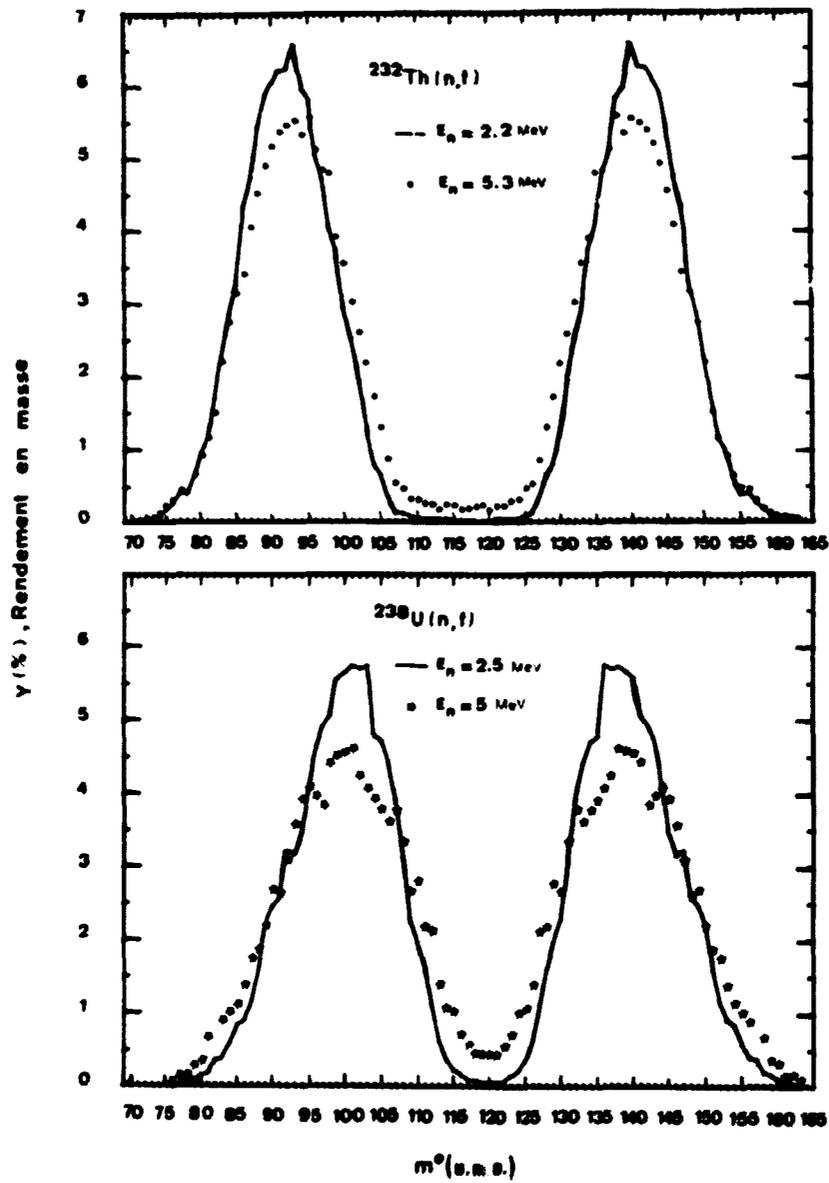
REFERENCES

- [1] - Compte rendu annuel du Service PN pour l'année 1977, Note CEA-N-2037, NEANDC (E) 194 "L", INDC (FR) 28/L.
- [2] - J. TROCHON et coll., soumis à Nucl. Phys. 1978.
- [3] - J. WEBER, B.R. ERDAL, A. GAVRON et J.B. WILHELMY, Phys. Rev. C13 (1976) 189.
- [4] - B. NURPEISOV, K.E. VOLODIN, V.G. NESTEROV, L.I. PROKHOROVA, G.N. SMIRENKIN et Yu. M. TURCHIN, At. Energ., Vol. 39 (1975) 199.
- [5] - M.V. SAVIN, Yu. A. KHOKHLOV, J.N. PARAMONOVA et V.A. CHIRKIN, At. Energ. 32 (1972) 408.
- [6] - M. SOLEILHAC, J. FREHAUT, J. GAURIAU, M. LABAT et J. PERCHEREAU, J. Nucl. Energy, 23 (1969) 257.
- [7] - E. KONECNY, H.J. SPECHT et J. WEBER, Physics and Chemistry of fission, Vol. 2 (1974) 3.
- [8] - J. LACHKAR, Y. PATIN et J. SIGAUD, Journal de Physique 36 (1975) 79.



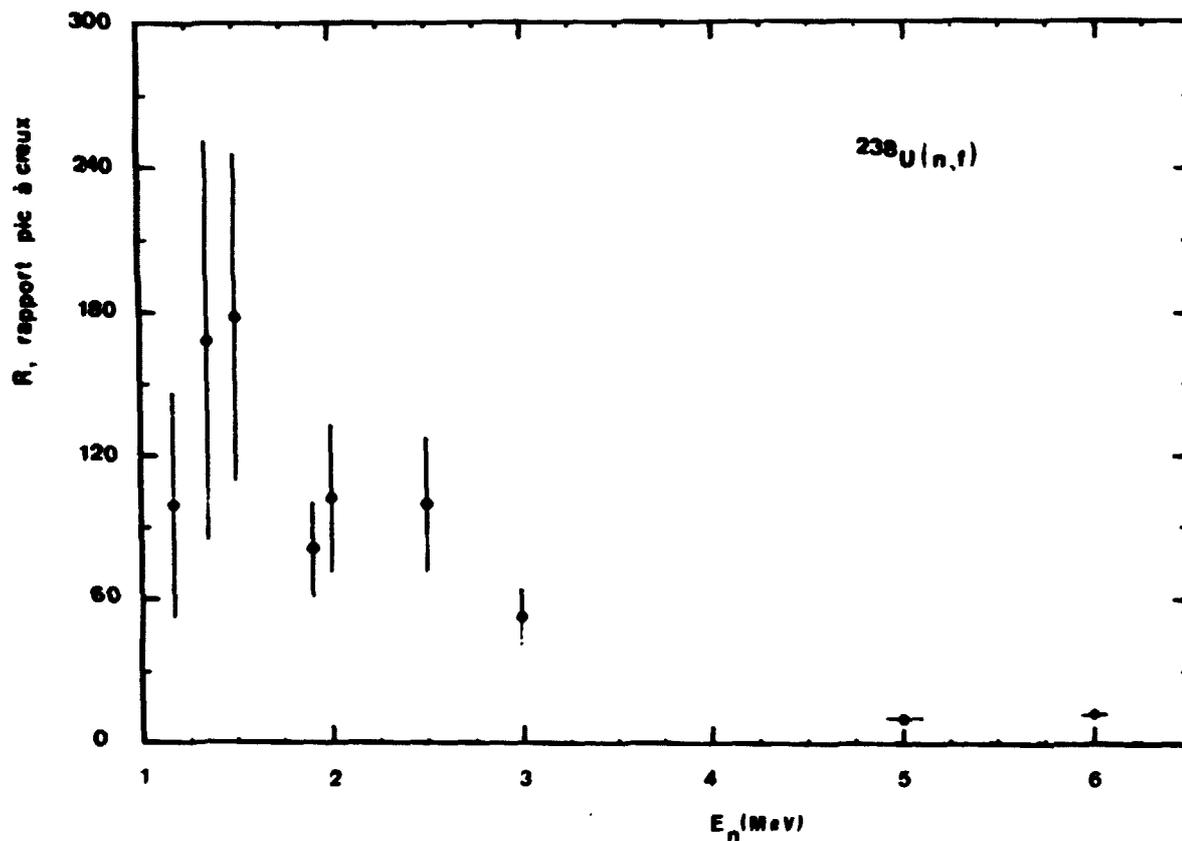
B-III-5-FIGURE 1

Variation de l'énergie cinétique totale moyenne des fragments en fonction de l'énergie E_n des neutrons incidents.



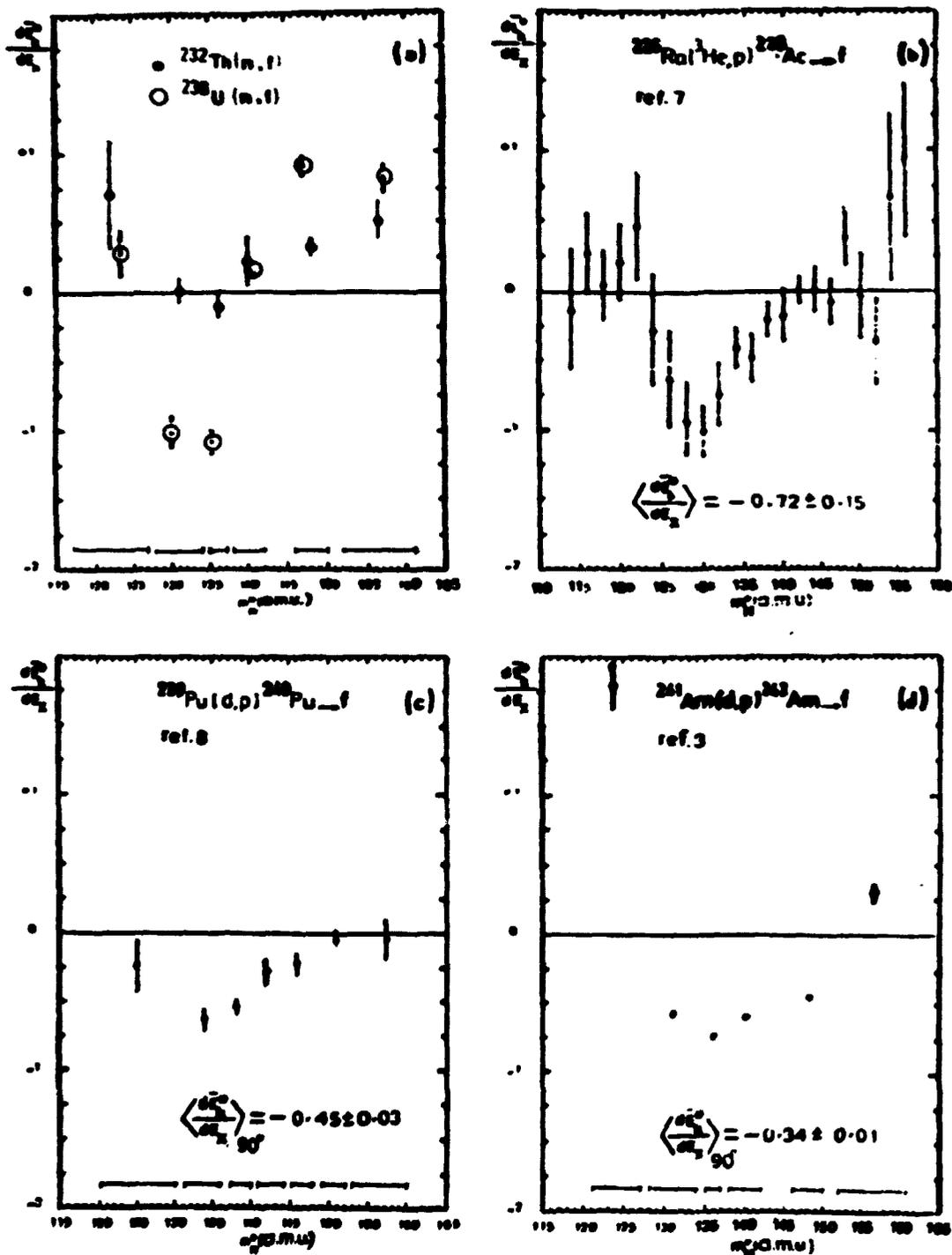
B-III-5-FIGURE 2

Comparaison des distributions en masse des fragments de fission de ^{232}Th et ^{238}U .



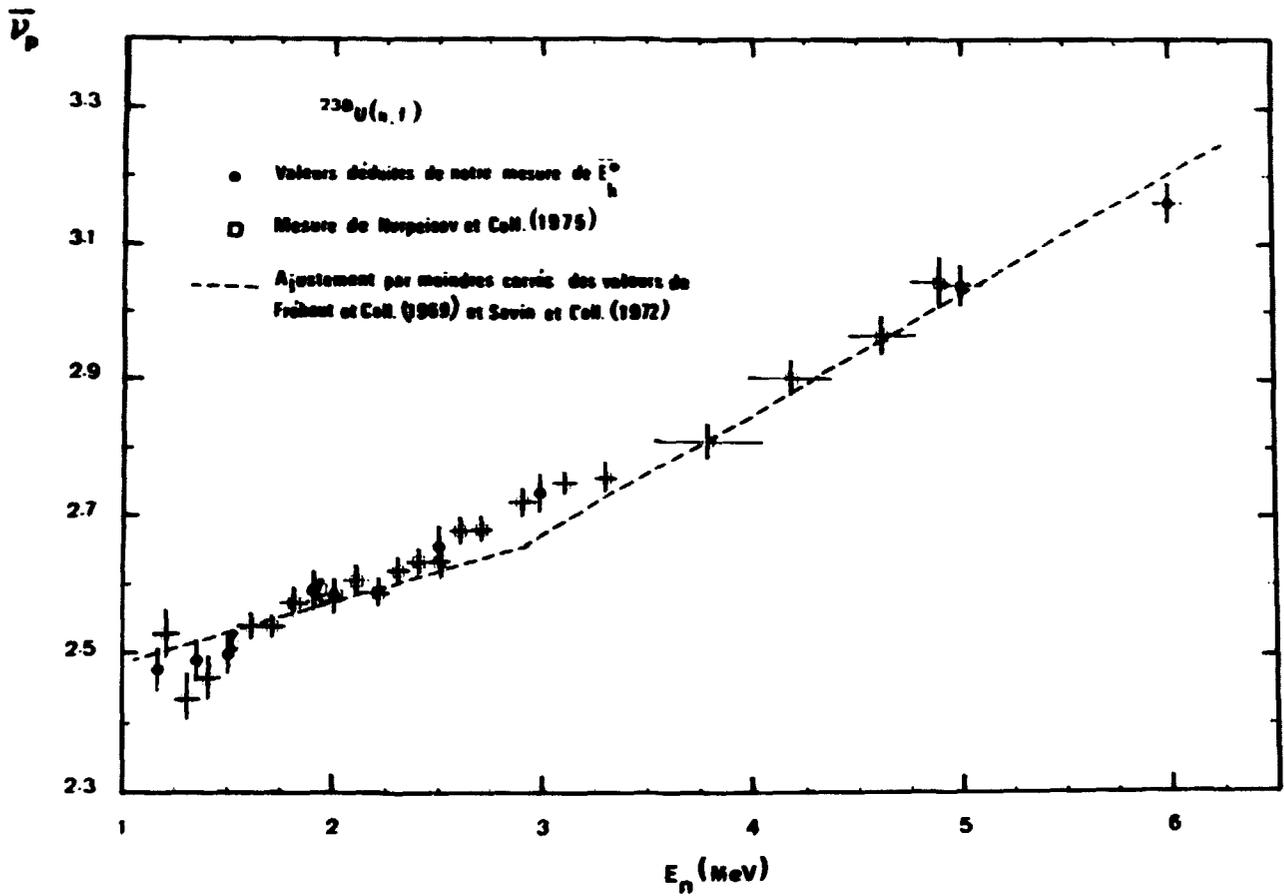
B-III-5-FIGURE 3

Variation du rapport pic à creux des distributions en masse en fonction de l'énergie des neutrons incidents.



B-III-5-FIGURE 4

Comparaison de la dépendance de l'énergie \overline{E}_K^* en fonction de l'énergie d'excitation et du type de fragmentation pour ^{239}U et autres noyaux.



B-III-5-FIGURE 5

Comparaison entre les valeurs du nombre $\bar{\nu}_p$ de neutrons prompts calculées à partir de notre mesure de l'énergie \bar{E}_K^* et celles mesurées expérimentalement.

B-III-6-Mesure corrélée de l'énergie et de la vitesse des fragments de fission dans la réaction $^{233}\text{U}(d, pf)$. (Y. PATIN, S. CIERJACKS*, J. LACHKAR, J. SIGAUD, G. HAOUAT, F. COÇU).

Simultaneous measurement of the kinetic energies and the velocities of the fission fragments in the $^{233}\text{U}(d, pf)$ reaction.

A new experimental method is proposed to determine, as a function of excitation energy of the fissioning nucleus, the mass and energy distributions of the fragments for both pre- and post-neutron emission. The method is based on the simultaneous measurements of fragment kinetic energies and fragment velocities in charge-particle induced fission. Typical experimental results, obtained from the $^{233}\text{U}(d, pf)$ reaction, prove particular capabilities of this type of experiment, which cannot be derived in a double-energy measurement.

Durant ces dernières années, l'étude des aspects dynamiques du processus de la fission a pris une importance croissante en physique nucléaire. En particulier l'évolution du système fissionnant entre le point selle et le point de scission fait intervenir un grand nombre de degrés de liberté entre lesquels l'énergie disponible peut être répartie [1]. Une description complète de cette évolution dynamique nécessite, au préalable, une bonne connaissance du système dans son état initial (point selle) et dans son état final (point de scission). Les informations sur les niveaux du noyau composé fissionnant : énergie d'excitation, spin et parité, peuvent apporter des renseignements sur les configurations du point selle. D'autre part les configurations possibles au point de scission peuvent être déduites des distributions en masse et en énergie des fragments résiduels. En se basant sur un modèle statique de deux noyaux au contact, WILKINS et al. [2] ont tenté de décrire les configurations du point de scission et ainsi de rendre compte des distributions expérimentales en masse et en énergie. Malheureusement, les résultats expérimentaux sont fortement perturbés par l'évaporation des neutrons, et les techniques de mesure utilisées ne donnent accès, après correction, qu'aux valeurs moyennes des distributions avant émission de neutrons.

Dans le but de s'affranchir de ces corrections et d'obtenir les moments d'ordre supérieur des distributions au point de scission, nous avons adopté une méthode de temps de vol pour la détermination des masses des fragments avant émission de neutrons et la méthode de SCHMITT, pour la détermination des énergies cinétiques après émission de neutrons. Nous ne rappellerons que très brièvement le dispositif expérimental et la méthode de calcul qui ont déjà été décrits en détail dans le précédent compte rendu d'activité du Service [3] et qui font l'objet d'un article soumis pour publication [4].

Cette méthode a été appliquée à l'étude de la fission de ^{234}U induite par la réaction $^{233}\text{U}(d, pf)$. Les protons sont détectés à 110° du faisceau incident à l'aide d'un compteur télescope $\Delta E, E$. La base de vol est de 15,5 cm, le temps étant mesuré entre l'instant de détection du proton et l'instant d'arrivée des fragments dans les paires de détecteurs, placés à 0° et à 60° de la direction de recul de ^{234}U . La résolution en temps des divers détecteurs permet d'obtenir les masses des fragments avant l'émission de neutrons avec une dispersion inférieure à 1 uma. Cependant nous devons tenir compte, dans cette expérience, de l'importante dispersion due à l'épaisseur de la cible qui est d'environ $200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ de U_3O_8 . Pour cette raison nous avons dû corriger les distributions expérimentales de l'élargissement résultant des pertes d'énergie dans la cible. La correction a été effectuée en appliquant la méthode des dérivées secondes décrite par SCHMITT et al. [5]. Le code de calcul écrit à cet effet est présenté par ailleurs en détail, dans ce présent compte rendu [6].

La figure 1 montre la distribution en masse m^\bullet des fragments avant émission de neutrons pour une énergie d'excitation de ^{234}U comprise entre 6,34 et 7,24 MeV et centrée autour de l'énergie de liaison d'un neutron. Cette distribution est déduite directement des mesures de temps de vol. Les résultats, corrigés de l'épaisseur de la cible, sont comparés à ceux de PLEASANTON obtenus en fission induite par neutrons thermiques [7].

Un paramètre important de la fission est la distribution en énergie cinétique des fragments. La méthode utilisant l'enregistrement simultané de l'énergie et du temps de vol permet, en particulier, de mesurer indépendamment pour chaque masse la distribution de l'énergie cinétique des fragments. Cette dernière ne peut être déduite de la mesure basée sur la méthode de SCHMITT car, dans ce cas, les énergies cinétiques mesurées sont corrélées aux masses par la relation :

$$\mu_1 E_{k1} = \mu_2 E_{k2}$$

Ainsi, pour chaque masse m^* , nous avons calculé l'écart type $\sigma(E_k)$ de la distribution en énergie cinétique post-émission de neutrons. Ceci est illustré dans la figure 2 sur laquelle nous avons porté, en trait continu les résultats $\sigma_\mu(E_k)$ obtenus dans notre expérience en appliquant la méthode de SCHMITT. On constate que ces deux courbes diffèrent considérablement, en particulier pour les régions de masses où un grand nombre de neutrons est évaporé.

Ce type de résultat devrait nous permettre de déduire les distributions en énergie cinétique au point de scission. Pour ce faire, nous avons écrit un code de calcul qui, à partir des distributions mesurées, permet d'obtenir les distributions en énergie cinétique et en énergie d'excitation au point de scission, en tenant compte des neutrons et des rayons γ qui sont émis. Les détails de ce calcul sont donnés par ailleurs dans ce présent compte rendu [8].

Nous avons parallèlement mesuré la variation de l'énergie cinétique d'un fragment en fonction de l'énergie d'excitation du noyau fissionnant. Nous présentons dans la figure 3, la variation de la valeur moyenne de cette énergie cinétique, avec l'énergie d'excitation de ^{234}U pour divers groupes de masses. En imposant la conservation de l'énergie dans la fission, il est possible de déduire la variation du nombre moyen de neutrons émis par chaque fragment, en fonction de l'énergie d'excitation du noyau fissionnant.

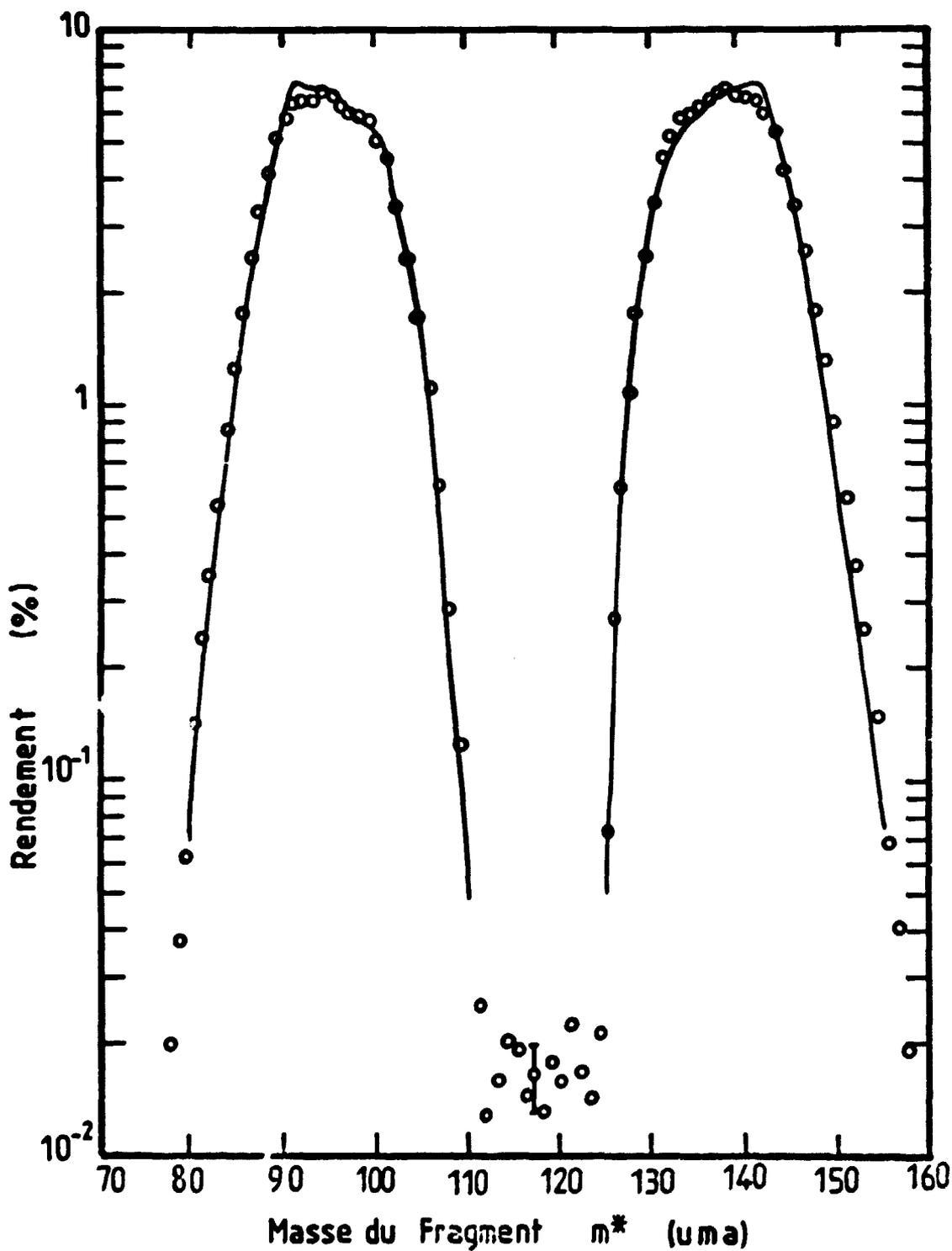
Le test le plus approprié démontrant la validité de notre méthode expérimentale, réside dans la mesure du nombre moyen de neutrons évaporés $\bar{\nu}(m^*)$ en fonction de la masse. La technique de calcul de $\bar{\nu}(m^*)$ a déjà été décrite par ailleurs [3,4]. Elle utilise les équations qui relient les masses m^* déduites des mesures de temps de vol aux masses approchées μ définies par SCHMITT [5]. Pour cela il est nécessaire de déconvoluer les distributions en masse observées, des effets de résolution expérimentale. Ces effets sont principalement dus à l'épaisseur de la cible et sont, de ce fait, corrélés. La correction doit donc être faite pour la surface bi-paramétrique $N(m^*, \mu)$. Le code utilisant la méthode de la dérivée seconde [6] permet cette déconvolution le long des lignes de régression qui correspondent dans ce cas particulier, à des droites de pente 2. Dans la figure 4, nous avons tracé le nombre moyen de neutrons émis, en fonction de la masse du fragment avant émission de neutrons. Les résultats de $\bar{\nu}(m^*)$ sont en bon accord avec ceux de APALIN et al. [9] portés en trait continu.

Nous n'avons présenté ici qu'une partie des résultats obtenus dans cette expérience $^{233}\text{U}(d,pf)$. L'interprétation théorique de l'ensemble de ceux-ci est actuellement en cours.

*Collaborateur temporaire étranger, K.F.K., KARSLRUHE (R.F.A.).

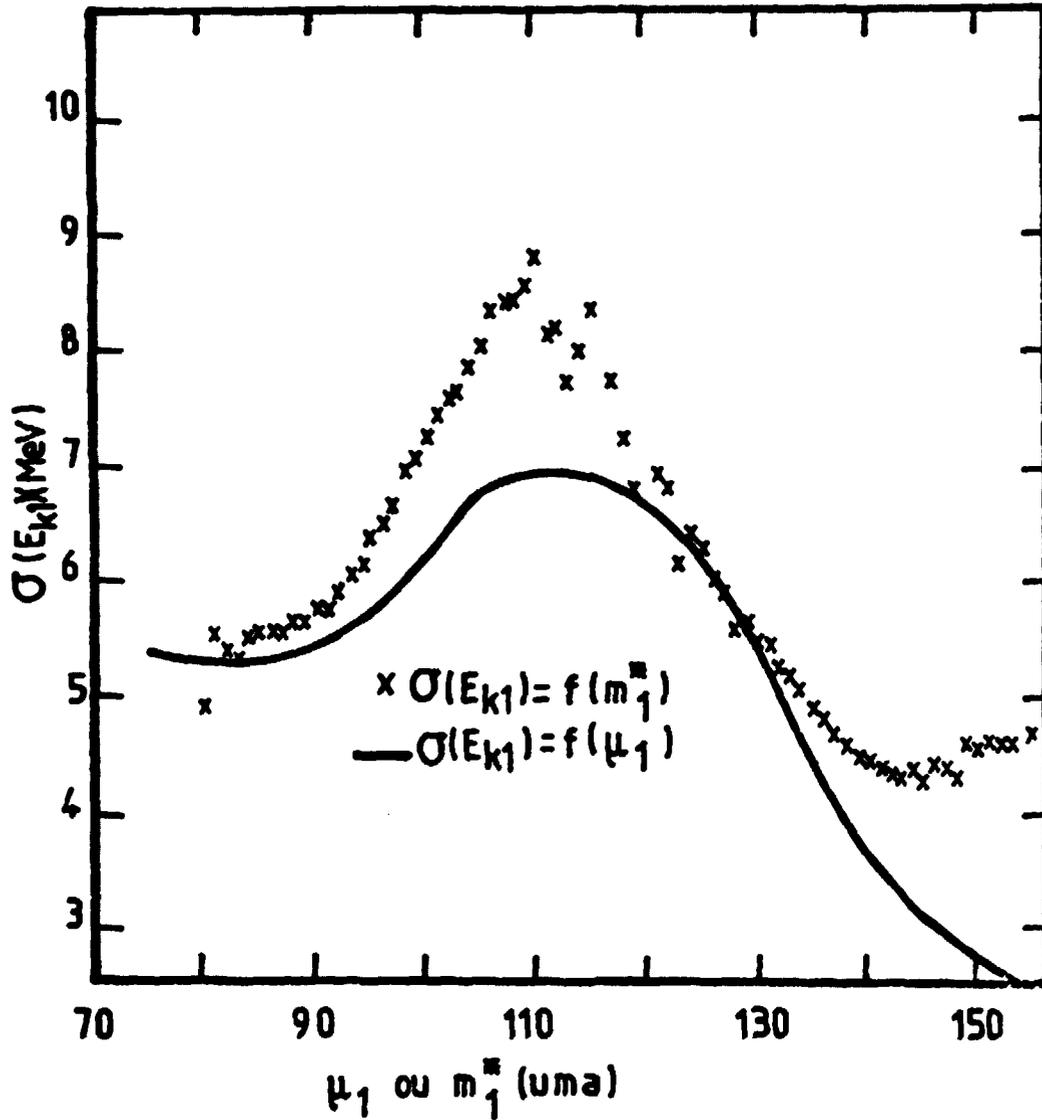
REFERENCES

- [1] - T. LEDERGERBER, H.C. PAULI et Y. YARIV, *Nucl. Phys. A280 (1977) 241.*
- J.W. NEGELE, S.E. KOONIN, P. MÖLLER, J.R. NIX et A.J. SIERK, *Phys. Rev. C17 (1978) 1098.*
- [2] - B.D. WILKINS, E.P. STEINBERG et R.R. CHASMAN, *Phys. Rev. C14 (1976) 1832.*
- [3] - Y. PATIN, S. CIERJACKS, J. LACHKAR, F. COÇU, C. HUMEAU et J. CHARDINE, *NEANDNC (E) 194 "L" p. 79.*
- [4] - Y. PATIN, S. CIERJACKS, J. LACHKAR, J. SIGAUD, G. HAOAU et F. COÇU, *à paraître dans Nucl. Inst. Meth.*
- [5] - H.W. SCHMITT, W.E. KIKER et C.W. WILLIAMS, *Phys. Rev. 137 (1975) B837.*
- [6] - M.A. BEUVE, D. COTTEN, M. GAUTIER, *Ce compte rendu (cf A-IV).*
- [7] - F. PLEASANTON, *Phys. Rev. 174 (1968) 1500.*
- [8] - F. COÇU et al., *ce compte rendu (cf. B-III-6).*
- [9] - V.F. APALIN, Yu. N. GRITSYUK, I.E. KUTIKOV, V.I. LEBEDEV et L.A. MIKAELIAN, *Nucl. Phys. 71 (1965) 553.*



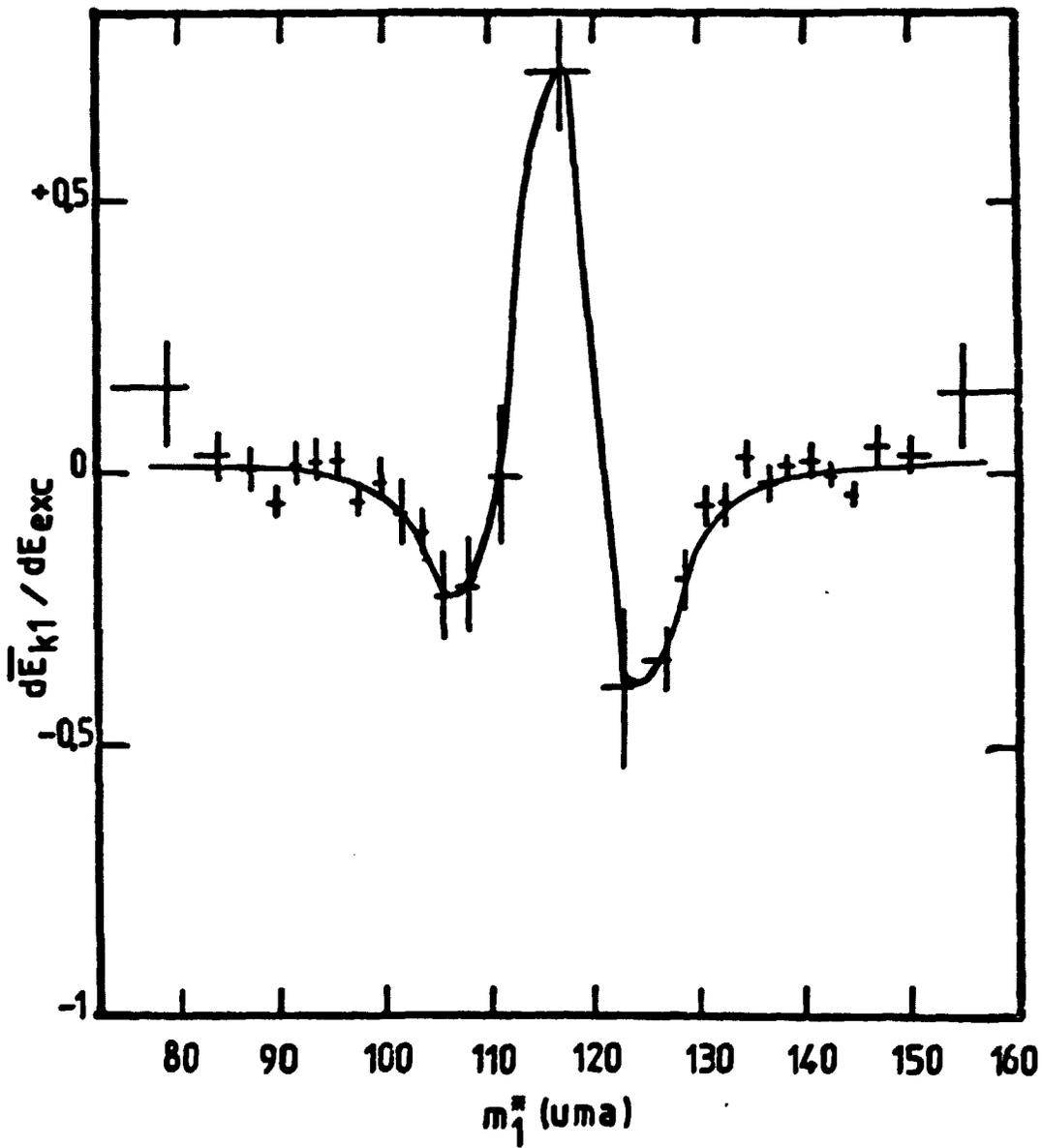
B-III-6-FIGURE 1

Distribution des masses pré-émission de neutrons obtenues à partir de la méthode de temps de vol pour $6,34 \leq E_{exc} \leq 7,24$ MeV. Cette distribution (cercles) est corrigée des effets de dispersion et est comparée aux résultats de PLEASANTON [7] en traits continus.



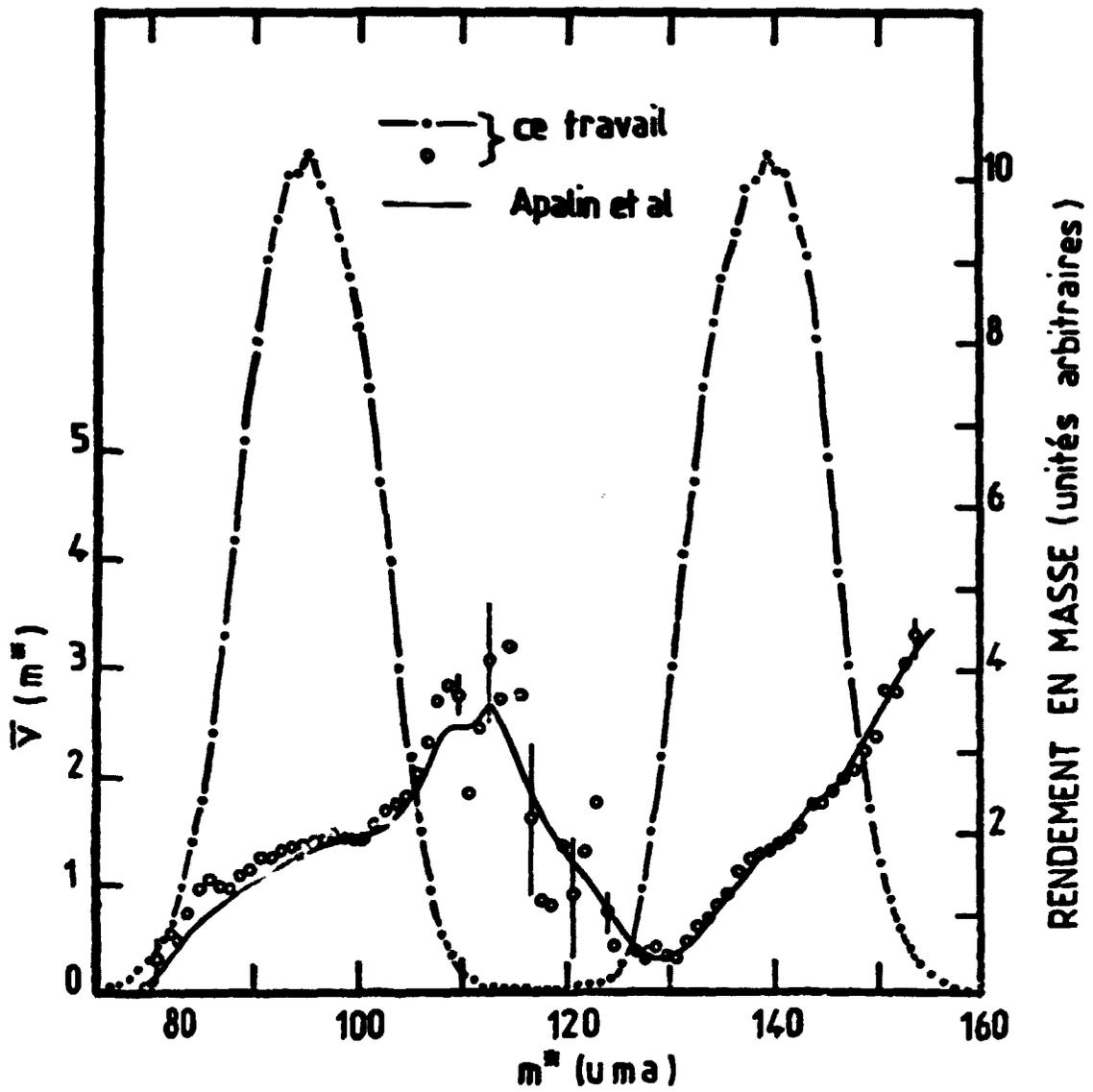
B-III-6-FIGURE 2

Écarts types de la distribution en énergie cinétique d'un fragment post-émission de neutrons, en fonction de la masse. Les croix correspondent aux valeurs associées aux masses pré-émission de neutron m^* . Le trait continu est le résultat équivalent associé aux masses provisoires μ .



B-III-6-FIGURE 3

Pentes $\frac{d\bar{E}_k}{dE_{exc}}$ en fonction des masses pré-émission de neutrons m^* .
Les croix sont les résultats d'ajustement par moindre carré au premier ordre, le tracé continu étant juste un guide pour l'oeil.



B-III-6-FIGURE 4

Nombre moyen de neutrons $\bar{\nu}(m^*)$ en fonction de la masse m^* . Nos résultats (cercles) sont comparés à ceux d'APALIN et al. [9] en traits continu. La distribution en masse a été ajoutée comme point de repère dans la figure (-.-).

B-III-7-Etude du partage de l'énergie au point de scission dans la fission

(F. COÇU, Y. PATIN, S. CIERJACKS*, J. LACHKAR).

Study of the energy balance at scission in the fission process.

The energy balance in the fission of ^{234}U has been investigated on the basis of experimental data from the $^{233}\text{U}(d, pf)$ reaction. Accurate values of the nuclear temperature of neutron spectra from complementary fragments have been obtained by fitting the widths of the kinetic energy distribution for a given fragment mass. Total kinetic energy and excitation energy distributions have been deduced for the primary fragment masses.

Les expériences de fission induite par particules chargées, entreprises dans ce laboratoire, permettent la détermination des distributions en énergie cinétique des fragments résiduels en fonction de leur masse, de l'énergie d'excitation du système et de la valeur moyenne du nombre de neutrons prompts émis par chaque fragment [1].

La méthode de calcul des distributions en énergie cinétique a déjà été décrite dans le précédent compte rendu d'activité [2]. Elle est basée sur la conservation de l'énergie au cours du processus de fission et tient compte explicitement des différentes grandeurs qui caractérisent la désexcitation des fragments par émission de neutrons et de rayons γ . Le bilan en énergie de la réaction qui conduit à une fragmentation suivant deux noyaux de masses et de charges données ainsi que les énergies de liaison des neutrons de chaque fragment sont extraits des tables de GARVEY et al. [3]. La loi de distribution du nombre de neutrons prompts émis par chaque fragment est une gaussienne, centrée autour de la valeur moyenne $\bar{\nu}_1$ déterminée expérimentalement, dont l'écart quadratique moyen est une fonction de $\bar{\nu}_1$ comme le montrent les mesures relatives à ^{252}Cf de SIGNARBIEX et al. [4]. Le spectre en énergie des neutrons de fission dans le système du centre de masse du fragment présente la forme d'une distribution de Maxwell. La température nucléaire qui la définit est supposée identique pour les deux fragments complémentaires et est ajustée en fonction des $\sigma(E_{k1})$ expérimentales. Bien que la valeur de la température pour chaque masse diffère sensiblement de celle rapportée par BOWMAN et al. [5] et relative à ^{252}Cf , la valeur de l'énergie cinétique moyenne des neutrons est très voisine de celle généralement adoptée (~ 2 MeV). Nous avons ainsi calculé la distribution

en énergie d'excitation de chacun des fragments $P(E_{\text{exci}})$ la distribution de l'énergie cinétique totale des deux fragments primaires $P(EKT^*)$ et en tenant compte des effets cinématiques liés à l'évaporation des neutrons la distribution de l'énergie cinétique d'un fragment après émission de neutrons $P(E_{ki})$.

Nous comparons dans la figure 1 les valeurs moyennes calculées de l'énergie cinétique de chaque fragment après émission de neutrons avec les valeurs expérimentales obtenues de la réaction $^{233}\text{U}(d, pf)$. On peut constater que les deux courbes diffèrent sensiblement pour des fragmentations de masses lourdes comprises entre 119 et 130 uma. Cette différence correspond à des écarts maxima de 5% entre la valeur de Q extraite des tables de GARVEY [3] et les résultats expérimentaux. On trouvera dans la figure 2a les variances $\sigma(E_{ki})$ des distributions calculées et mesurées de l'énergie cinétique de chaque fragment après émission de neutrons. Comme nous l'avons mentionné précédemment les températures d'évaporation des neutrons ont été ajustées pour reproduire les largeurs expérimentales relatives aux masses légères (partie gauche de la courbe). On notera que les valeurs qui en résultent pour les masses lourdes sont en bon accord avec l'expérience. Les valeurs calculées des écarts type $\sigma(EKT^*)$ de la distribution en énergie cinétique totale sont portées sur la figure 2b.

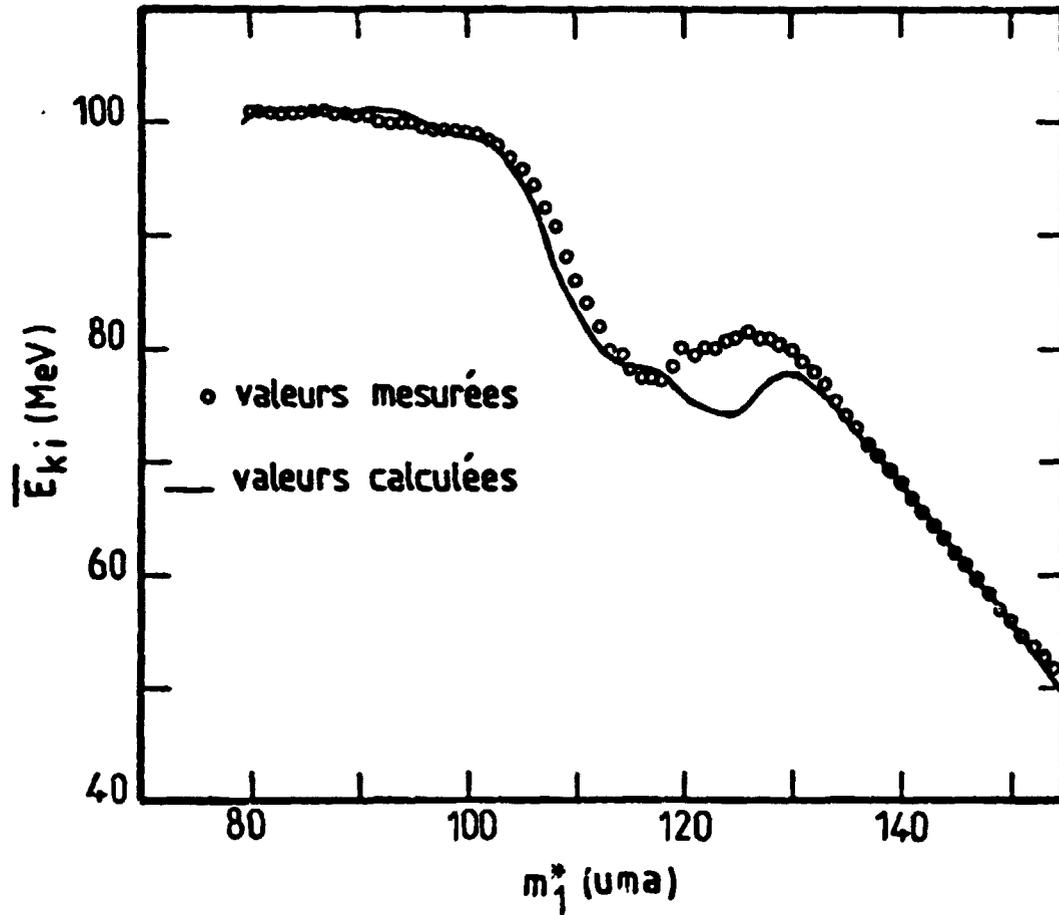
L'analyse théorique des distributions $P(EKT^*)$ et $P(E_{\text{exci}})$ au point de scission est actuellement en cours. Elle est faite en termes de déformation des fragments primaires et de leur déformabilité, de l'énergie cinétique de translation au point de scission et des énergies intrinsèques et collectives de chacun des fragments.

*Collaborateur temporaire étranger, K.F.K., KARSLRUHE (R.F.A.).

REFERENCES

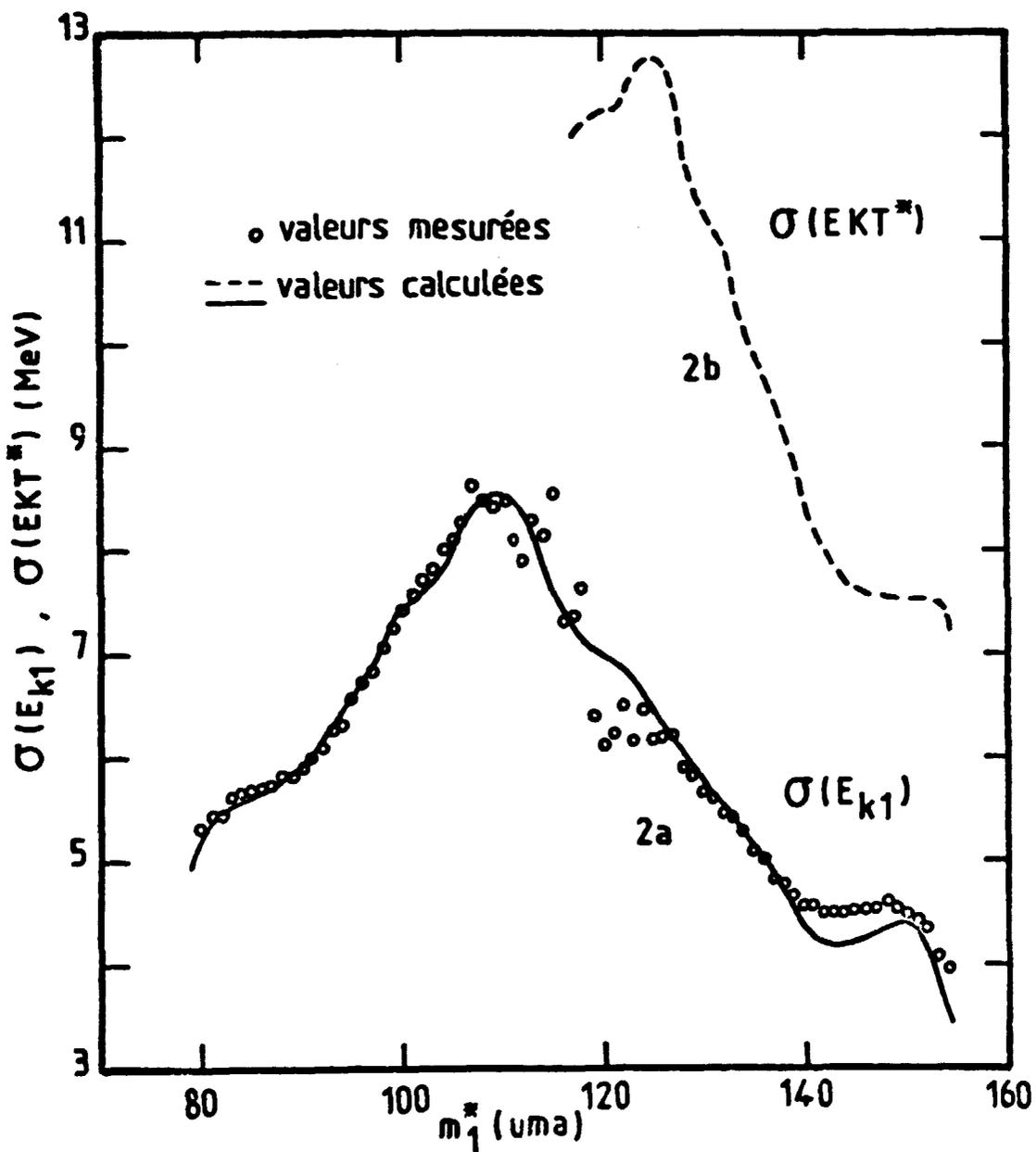
- [1] - Y. PATIN, S. CIERJACKS, J. LACHKAR, J. SIGAUD, F. COÇU, G. HAOUAT,
(cf. Chap. B-III-6 de ce compte rendu) et à paraître dans N.I.M.
- [2] - F. COÇU, Y. PATIN, G. HAOUAT, J. LACHKAR, J. SIGAUD, J.M. FIENI, J. UZUREAU,
NEANDC (E) 194 "L" B-III-3- p. 86.

- [3] - G.T. GARVEY, W.J. GERACE, R.L. JAFFE, I. TALMI, *Rev. Mod. Phys.* 41 (1969).
- [4] - C. SIGNARBIEX, R. BABINET, H. NIFENECKER et J. POITOU, *Compte rendu du 3^{ème} Symposium sur la physique et la chimie de la fission, Rochester IAEA-SM-174/41* p. 179.
- [5] - H.R. BOWMAN, S.G. THOMPSON, J.C.D. MILTON, W.J. SWIATECKI, *Phys. Rev.* 129, 2133 (1963).



B-III-7-FIGURE 1

Valeurs moyennes mesurées et calculées de l'énergie cinétique d'un fragment après émission de neutrons en fonction de la masse primaire de ce fragment. Les cercles correspondent aux résultats expérimentaux obtenus pour la réaction $^{233}\text{U}(d, pf)$ (1). Le résultat du calcul utilisant les tables de GARVEY et al. [3] est porté en trait continu.



B-III-7-FIGURE 2

Variation des variances de l'énergie cinétique d'un fragment résiduel mesurées (O) et calculées (-) (2a) et de celle calculée de l'énergie cinétique totale des fragments primaires (---) (2b) en fonction de la masse du fragment primaire m_1^* .

B-IV-ETUDE DES REACTIONS INDUITES PAR IONS LOURDS

STUDY OF HEAVY ION INDUCED REACTIONS.

B-IV-1-Recherche de résonances de bas spin dans le système $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$

(J.M. FIENI[®], J.L. UZUREAU, F. COÇU).

Investigation of low spin resonances in the $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ system.

The excitation functions of the reaction $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \alpha)^{24}\text{Mg}$ were measured at 15° and 20° lab below the Coulomb barrier. A resonant structure was found at 6.10 MeV. An analysis of the angular distribution measured at this energy indicates $J^\pi = 2^+$ for this resonance.

Des résonances de bas spin ont été trouvées pour des énergies incidentes sous-coulombiennes dans les deux systèmes d'ions lourds $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ et $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ et dans ces deux systèmes uniquement.

En ce qui concerne le système $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, nous avons précédemment montré [1,2,3] que toutes les résonances observées apparaissaient groupées en "clusters" de mêmes caractéristiques spectroscopiques J^π , l'énergie moyenne des clusters suivant approximativement une loi en $J(J+1)$. Ce dernier point conduit à l'idée d'une bande de rotation à haute énergie d'excitation dans ^{24}Mg .

Pour le système $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$, les résonances observées récemment à $E_{\text{cm}} < 15$ MeV dans d'autres laboratoires semblent également suivre une loi en $J(J+1)$ (fig. 1). Dans l'optique de l'existence d'une bande de rotation à haute énergie d'excitation dans ^{28}Si , des résonances de bas spin (et plus particulièrement des résonances 0^+ ou 1^-) devraient se trouver entre 22,5 et 24 MeV d'énergie d'excitation (dans ^{28}Si), soit entre 6 et 7 MeV dans le système du centre de masse. La recherche de telles résonances constituait le but de nos travaux.

L'expérience a été réalisée en utilisant l'accélérateur Van de Graaff tandem super EN. Les particules alpha issues de la réaction $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \alpha)^{24}\text{Mg}$ ont été analysées avec un spectromètre magnétique split-pole EPS 60 et détectées en position par un compteur à fil de longueur utile 40 cm.

Les fonctions d'excitation des groupes de particules alpha associées à l'état fondamental (α_0) ($J^\pi = 0^+$) et aux six premiers niveaux excités (α_1 à α_6) du

noyau ^{24}Mg ont été mesurées, aux angles $\theta_{\text{lab}} = 15$ et 20° , par pas de 65 keV pour $5,9 \leq E_{\text{cm}} \leq 6,6$ MeV et $9,4 \leq E_{\text{cm}} \leq 12,6$ MeV. Les cibles autoportées de carbone avaient une épaisseur de $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. La fig. 2 montre la variation de la section efficace de ces groupes α_i ainsi que celle de leur somme $\sum_{i=0}^6 \alpha_i$ pour $5,9 \leq E_{\text{cm}} \leq$

$6,6$ MeV. Une structure résonnante non répertoriée dans la littérature apparaît très nettement à $E_{\text{cm}} = 6,10$ MeV dans la fonction d'excitation du groupe α_6 associé au niveau à $6,43$ MeV de ^{24}Mg , de caractéristiques $J^\pi = 0^+$. La distribution angulaire du groupe de particules α associé à ce niveau, mesurée à $6,10$ MeV, est présentée figure 3.

Les maxima et minima de la section efficace expérimentale sont assez bien reproduits par le carré d'un polynôme de Legendre de degré 2 : $[P_2(\cos \theta)]^2$. L'accord des points expérimentaux avec le développement de la section efficace en série de polynômes de Legendre $\sum_l a_l P_l(\cos \theta)$, $l = 0, 1, 2$, est satisfaisant et l'addition des polynômes de degré supérieur ne modifie pas la valeur du χ^2 (fig. 3) qui chute dès l'apparition du terme $l = 2$. Ceci nous a permis [4] de proposer le spin et la parité $J^\pi = 2^+$ pour cette résonance située à $22,9$ MeV d'énergie d'excitation dans ^{28}Si .

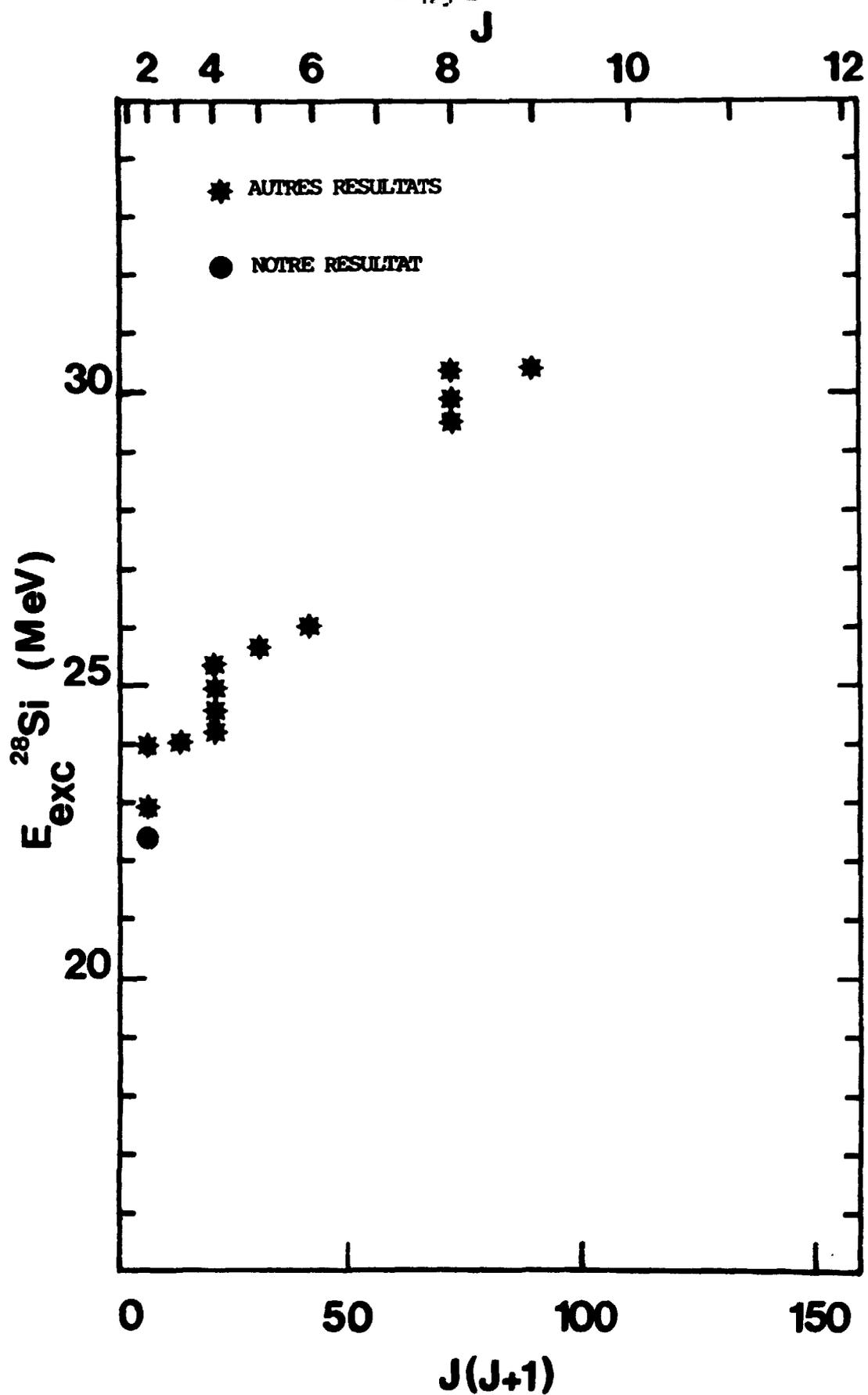
Une confirmation de l'existence de cette résonance est donnée par la présence d'une structure prononcée à $6,10$ MeV dans le facteur de structure nucléaire S calculé par PATTERSON et al. [5] à partir des données obtenues au cours de l'étude des réactions $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \alpha)^{24}\text{Mg}$ et $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, p)^{27}\text{Al}$. Cette structure est aussi présente dans les fonctions d'excitation de diffusion élastique $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha_0)^{24}\text{Mg}$ et inélastique $^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha_1)^{24}\text{Mg}$, mesurées par F. AUGER [6] à une énergie incidente E_α correspondant à $22,9$ MeV d'énergie d'excitation dans ^{28}Si .

Cette résonance $J^\pi = 2^+$ à $E_{\text{cm}} = 6,10$ MeV se trouve, parmi toutes celles observées antérieurement dans le système $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$, à l'énergie la plus faible. Dans l'hypothèse d'une bande rotationnelle à haute énergie d'excitation dans ^{28}Si , ce résultat implique l'existence de résonances ($J^\pi = 0^+, 1^-$) à des énergies encore plus basses. Mais, compte tenu de la valeur des sections efficaces, leur observation expérimentale est un problème très difficile à résoudre.

* Sous contrat temporaire de recherche.

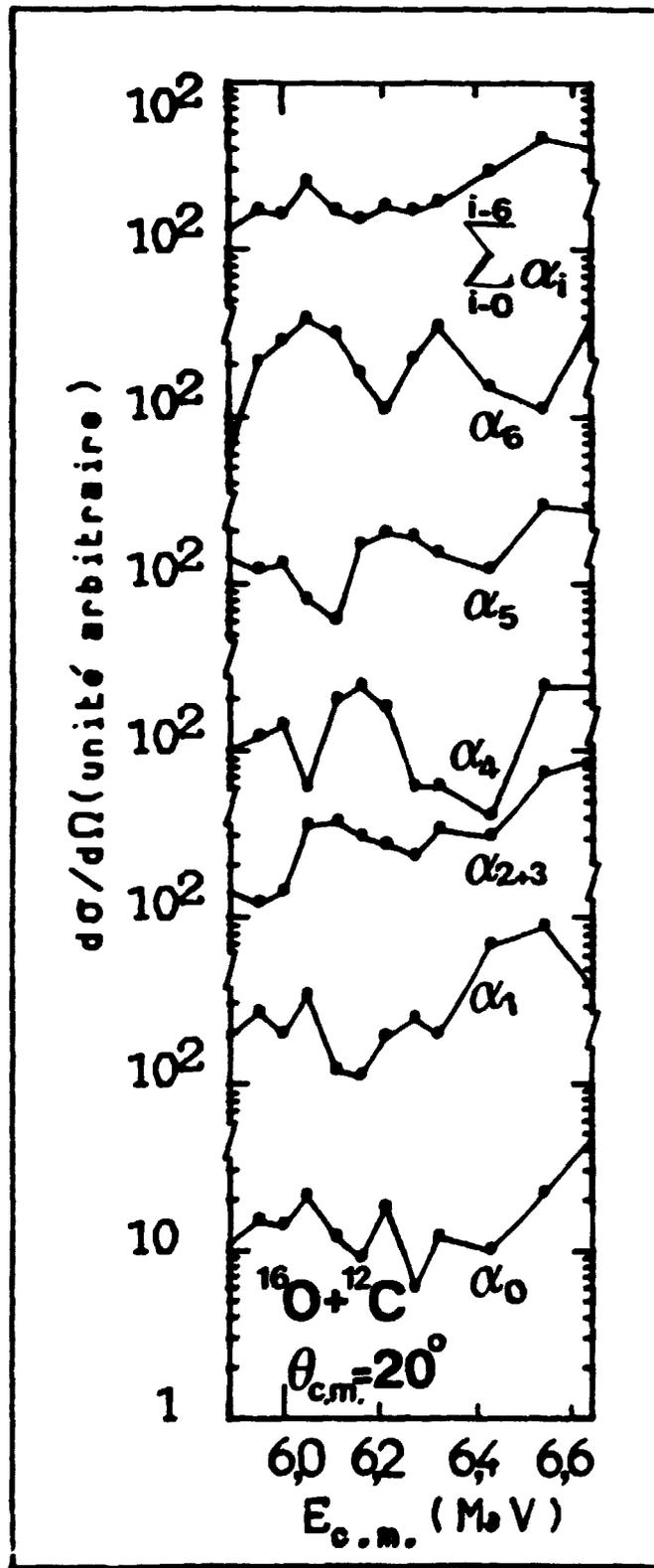
REFERENCES

- [1] - F. COÇU et al., *Compte rendu d'activité du Service de Physique Nucléaire pour l'année 1977, Note CEA-N-2037.*
- [2] - F. COÇU, J. UZUREAU, S. PLATTARD, J.M. FIENI, A. MICHAUDON, G.A. KEYWORTH, M. CATES et N. CINDRO, *Lett. J. Phys.*, 38 (1977) 421.
- [3] - N. CINDRO, F. COÇU, J. UZUREAU, Z. BASRAK, M. CATES, J.M. FIENI, E. HOLUB, Y. PATIN et S. PLATTARD, *Phys. Rev. Lett.* 39 (1977) 1135.
- [4] - J.L. UZUREAU, J.M. FIENI et F. COÇU, *Int. Conf. on Nucl. Interactions Canberra (Australie) (1978) à paraître.*
- [5] - J.R. PATTERSON, B.N. NAGORCKA, G.D. SYMONS et W.M. ZUK, *Nucl. Phys.* A165 (1971) 545.
- [6] - F. AUGER, *Thèse 3^{ème} cycle, ORSAY (1975).*



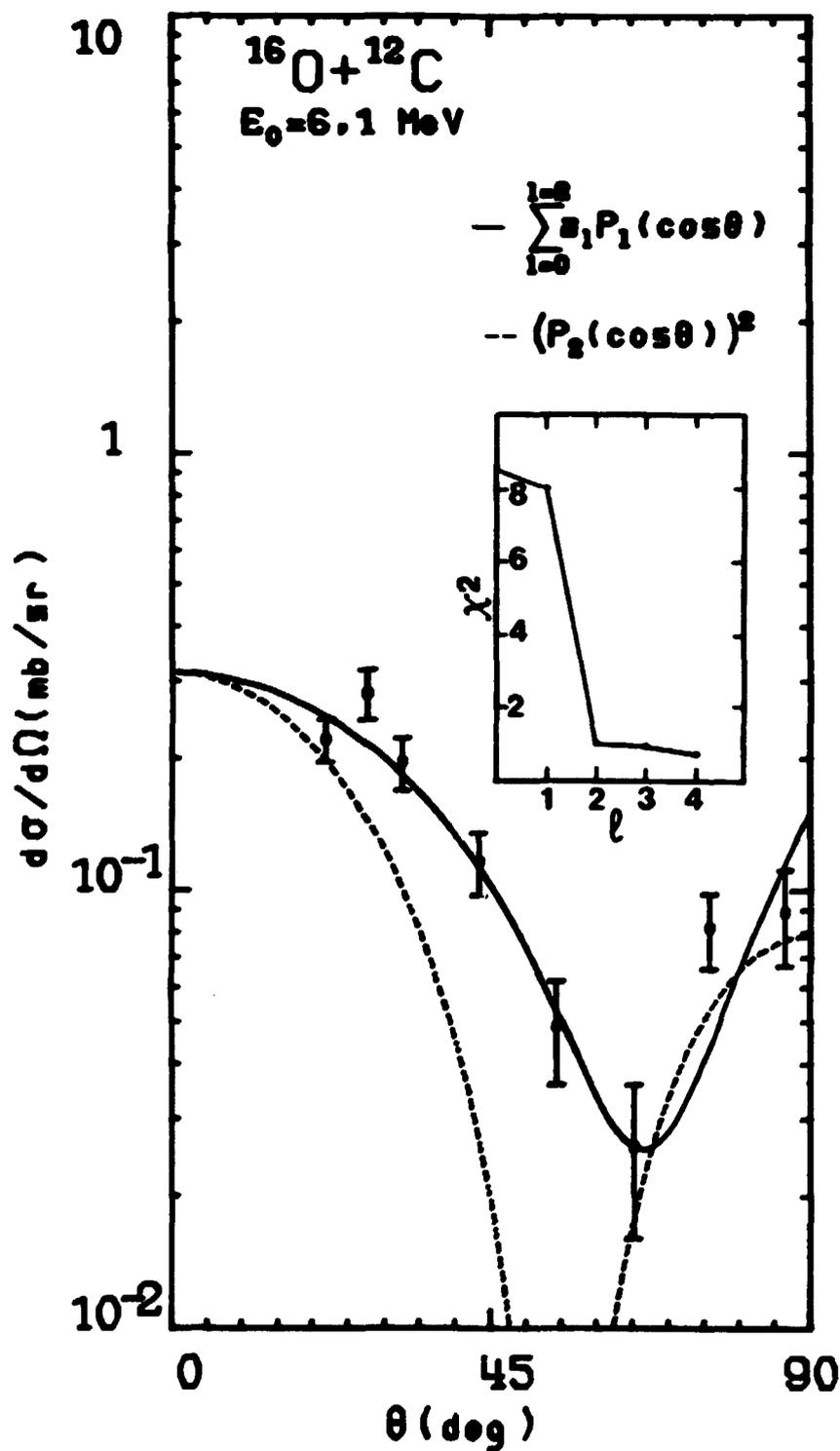
B-IV-1-FIGURE 1

Résonances de spin $J \leq 9$ observées dans le système $^{16}O + ^{12}C$.



B-IV-1-FIGURE 2

Fonctions d'excitation des groupes de particules α issus de la réaction $^{12}\text{C}(^{16}\text{O},\alpha)^{24}\text{Mg}$, à $\theta_{cm} = 20^\circ$, pour $5,9 \leq E_{cm} \leq 6,6$ MeV.



B-IV-1-FIGURE 3

Distribution angulaire du groupe de particules α_g (associé au niveau $J^\pi = 0$ à 6,43 MeV dans ^{24}Mg) issu de la réaction $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \alpha)^{24}\text{Mg}$ à $E_{cm} = 6,1 \text{ MeV}$.

B-IV-2-Etude des isotopes du plomb très déficients en neutrons : recherche des formes non sphériques (Y. PATIN*).

Production of neutron deficient nuclei in the lead region using heavy ions reactions.

A new experimental technique using a recoil method has been tested with the heavy ion accelerator ALICE. It will be used to determine the level schemes of ^{190}Pb and ^{188}Pb .

Une étude systématique des niveaux de spin élevé a été faite sur les isotopes du plomb très déficients en neutrons ayant une masse comprise entre 202 et 192. Bien que ces niveaux excités puissent être interprétés dans le cadre du modèle en couches, une composante collective semble apparaître pour les noyaux les plus légers [1].

Il est apparu intéressant de poursuivre ces travaux sur des isotopes de masse inférieure ou égale à ^{190}Pb . Dans le cadre d'une collaboration avec les physiciens de l'IPN d'ORSAY, nous avons entrepris, dans une expérience préliminaire auprès de l'accélérateur ALICE d'ORSAY, l'étude de la réaction $^{154}\text{Sm}(^{40}\text{Ca}, 4n)^{190}\text{Pb}$. Une expérience prochaine, utilisant la technique du recul, devrait permettre l'étude du schéma de désexcitation des niveaux de haut spin de ^{190}Pb et ^{188}Pb .

* Ce travail a été effectué en collaboration avec G. ALBOUY, G. AUGER, J.M. LAGRANGE, M. PAUTRAT, H. RICHEL et J. VANHORENBEEK à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, B.P. n° 1, 91406 ORSAY.

REFERENCE

- [1] - G. ALBOUY, G. AUGER, J.M. LAGRANGE, M. PAUTRAT, H. RICHEL, C. ROULET, H. SERGOLLE et J. VANHORENBEEK, *Nucl. Phys.* A303, 521 (1978).

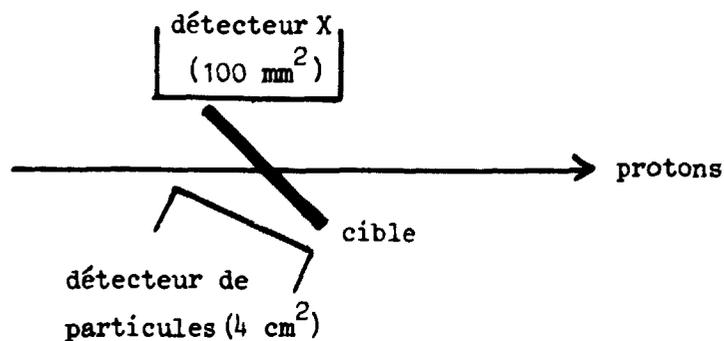
B-IV-3-Mesure de la durée de vie du noyau composé ^{107}In à 13,7 MeV d'excitation par la réaction $^{106}\text{Cd}(p,p')$ à $E_p = 10$ MeV. (S. ANDRIAMONJE*, J.F. CHEMIN*, S. JOLY, S. PLATTARD, J. ROTURIER*, B. SABOYA*, J.P. THIBAUD**, J.L. UZUREAU).

Lifetime measurements of the ^{107}In compound nucleus at 13.7 MeV excitation energy by means of the $^{106}\text{Cd}(p,p')$ reaction at $E_p = 10$ MeV.

The lifetime of the ^{107}In compound nucleus excited by the $^{106}\text{Cd}(p,p')$ reaction at $E_p = 10$ MeV has been measured by X-ray spectroscopy.

Le principe de la mesure repose sur le fait qu'une particule chargée peut interagir avec la couche électronique K et le noyau d'un même atome pour induire une ionisation et une réaction nucléaire. A chacun de ces deux processus est associé un temps de désexcitation τ_K et τ_C . Lorsque τ_K et τ_C sont du même ordre de grandeur, la lacune créée dans l'atome cible peut être remplie par une transition électronique dans le même atome ou dans l'atome correspondant au noyau composé. Connaissant τ_K , τ_C peut être déduit du nombre de raies X caractéristiques de "l'atome composé". La mesure consiste à déterminer le spectre des rayonnements X en coïncidence avec les produits de désexcitation nucléaire du noyau composé [1].

Le faisceau de protons de 10 MeV est délivré par l'accélérateur tandem de Bruyères-le-Châtel. Les protons diffusés sont détectés par une diode Si(Li) placée à un angle moyen de 120° et les rayonnements X sont détectés par une diode Si(Li), plus petite, à 90° du faisceau incident. La géométrie est la suivante :



Lors du bombardement du noyau ^{106}Cd par des protons, on observe des raies X caractéristiques des atomes de cadmium ($E_{K\alpha} = 23 \text{ keV}$ et $E_{K\beta} = 26 \text{ keV}$) et des atomes d'indium ($E_{K\alpha} = 24 \text{ keV}$ et $E_{K\beta} = 27,3 \text{ keV}$). Or les sections efficaces de production des rayonnements X de In (noyau composé), que l'on veut mesurer, sont très inférieures aux sections efficaces pour Cd (d'un facteur 10^4 environ). La difficulté de la mesure réside donc dans la détermination de l'intensité de la raie K_{α} de l'indium, très faible, au voisinage immédiat de la raie K_{α} très intense du cadmium. Le taux de coïncidences fortuites est très important et l'on doit utiliser de grands angles solides de détection (2 sr pour le détecteur de particules et 0,25 sr pour le détecteur de rayonnements X). L'intensité du faisceau est limitée à 0,3 nA à cause du taux de comptage très élevé sur la voie X (de l'ordre de 10^4 par seconde). Les spectres X mesurés en coïncidences vraies et en coïncidences fortuites avec les protons diffusés entre les énergies de 3,5 MeV et 8,5 MeV sont présentés sur la figure 1. La durée de vie du noyau composé est alors déduite de l'intensité de la raie K_{α} de In, après soustraction des coïncidences fortuites, et d'autres quantités telles que la probabilité d'ionisation de la couche K et le rendement de fluorescence [2]. La vie moyenne ainsi déterminée pour le noyau ^{107}In à 13,7 MeV d'excitation correspond à une largeur $\Gamma = 10_{-7}^{+12} \text{ eV}$.

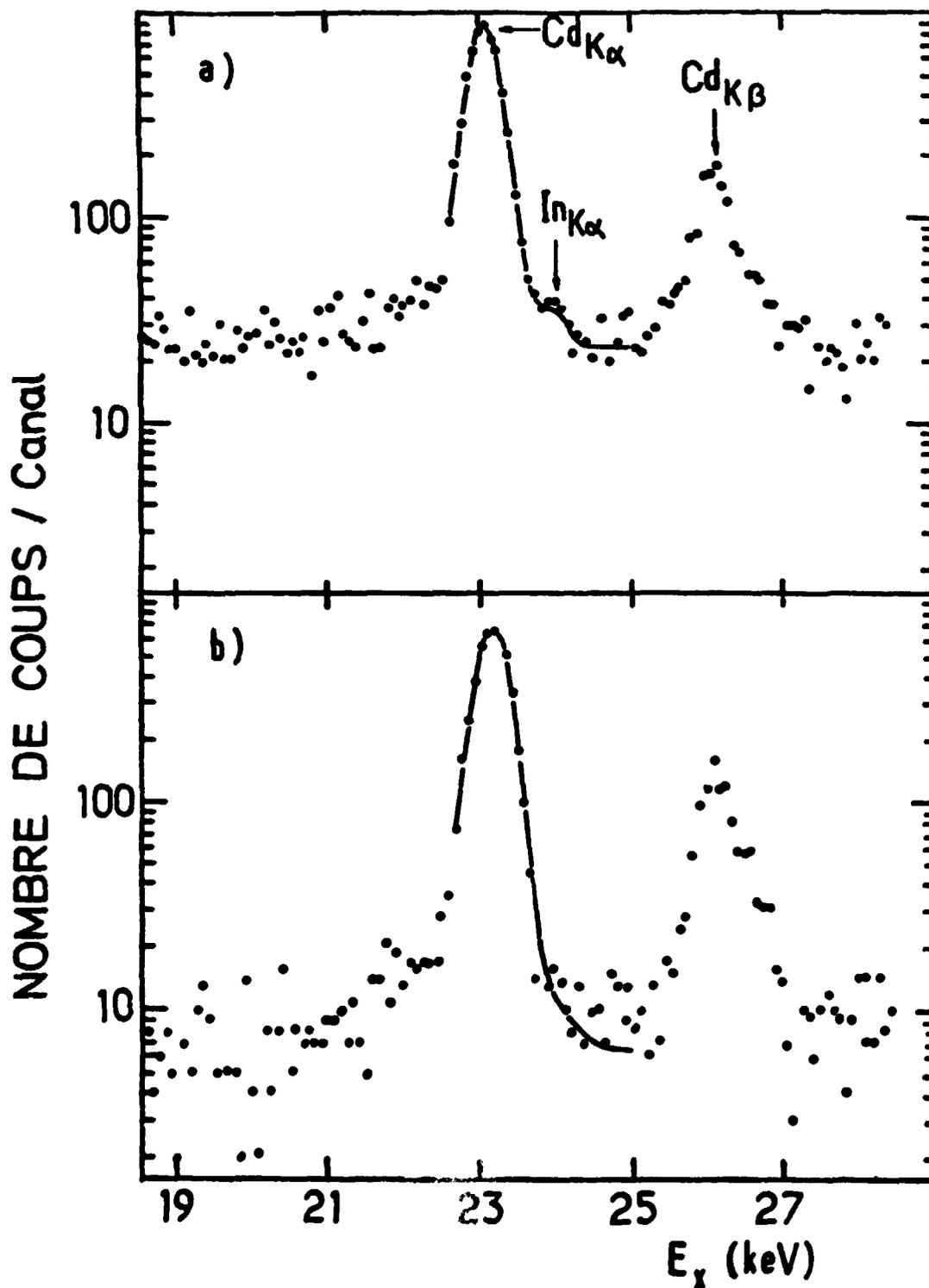
*Centre d'Etudes Nucléaires de BORDEAUX-GRADIGNAN.

**CSNSM - ORSAY.

REFERENCES

[1] - J.F. CHEMIN et al., *Rapport CENBG-7501*.

[2] - J.F. CHEMIN, *Thèse Bordeaux (1978)*.



B-IV-3-FIGURE 1

Spectres de rayons X en coincidence avec les protons dont l'energie est comprise entre 3,5 MeV et 8,5 MeV dans la reaction $^{106}Cd(p,p')$ à $E_p = 10$ MeV.

a) avec une fenetre correspondant au pic temps. La courbe en trait plein est tracée à partir du code SAMPO.

b) avec une fenetre en dehors du pic temps. La courbe correspondant au spectre direct normalisé à l'energie de la raie K_{α} du Cd.

PARTIE C :

THEORIE

ET

EVALUATION

C-I-EVALUATION DES DONNEES NUCLEAIRES

EVALUATION OF NUCLEAR DATA.

C-I-1-Evaluation des sections efficaces neutroniques de Ir naturel de 10^{-5} eV à 20 MeV (O. BERSILLON, G. SIMON, C. PHILIS, E. ARTHUR^{*}).

Evaluation of cross sections for natural Ir from 10^{-5} eV to 20 MeV

The total, elastic, inelastic, capture, (n,p), (n, α), (n,2n), (n,3n) cross sections have been evaluated for natural Ir from 10^{-5} eV to 20 MeV.

Les sections efficaces totale, élastique, inélastiques, de capture, (n,p), (n, α), (n,2n) et (n,3n) ont été évaluées pour les isotopes ^{191}Ir , ^{193}Ir et ipso facto pour l'élément $^{\text{Nat}}\text{Ir}$ dans la gamme d'énergie 10^{-5} eV à 20 MeV. De plus les distributions angulaires des sections efficaces élastique et inélastiques ont été calculées et caractérisées par les coefficients de leur développement en polynômes de Legendre.

A basse énergie (10^{-5} eV - 228 eV), où les paramètres de résonances sont assez bien connus pour les deux isotopes, le calcul des sections efficaces totale, élastique et de capture a été effectué en utilisant le formalisme de Reich et Moore (Fig. 1) [1 à 6]. Les paramètres de résonances utilisés sont extraits essentiellement du BNL-325, en adoptant une largeur moyenne Γ_{γ} de 80 meV pour les deux isotopes.

A plus haute énergie (228 eV - 20 MeV) les sections efficaces ont été évaluées soit à partir des résultats expérimentaux existants, soit à l'aide de calculs basés sur le modèle statistique.

Jusqu'à 1 MeV les sections efficaces totale, élastique, inélastiques (16 niveaux pour chaque isotope) et de capture ont été calculées à l'aide du code COMNUC [7]. Par contre, entre 1 et 6 MeV, où les effets de cascade γ deviennent importants, ces mêmes sections efficaces ont été calculées en utilisant le code GNASH [8].

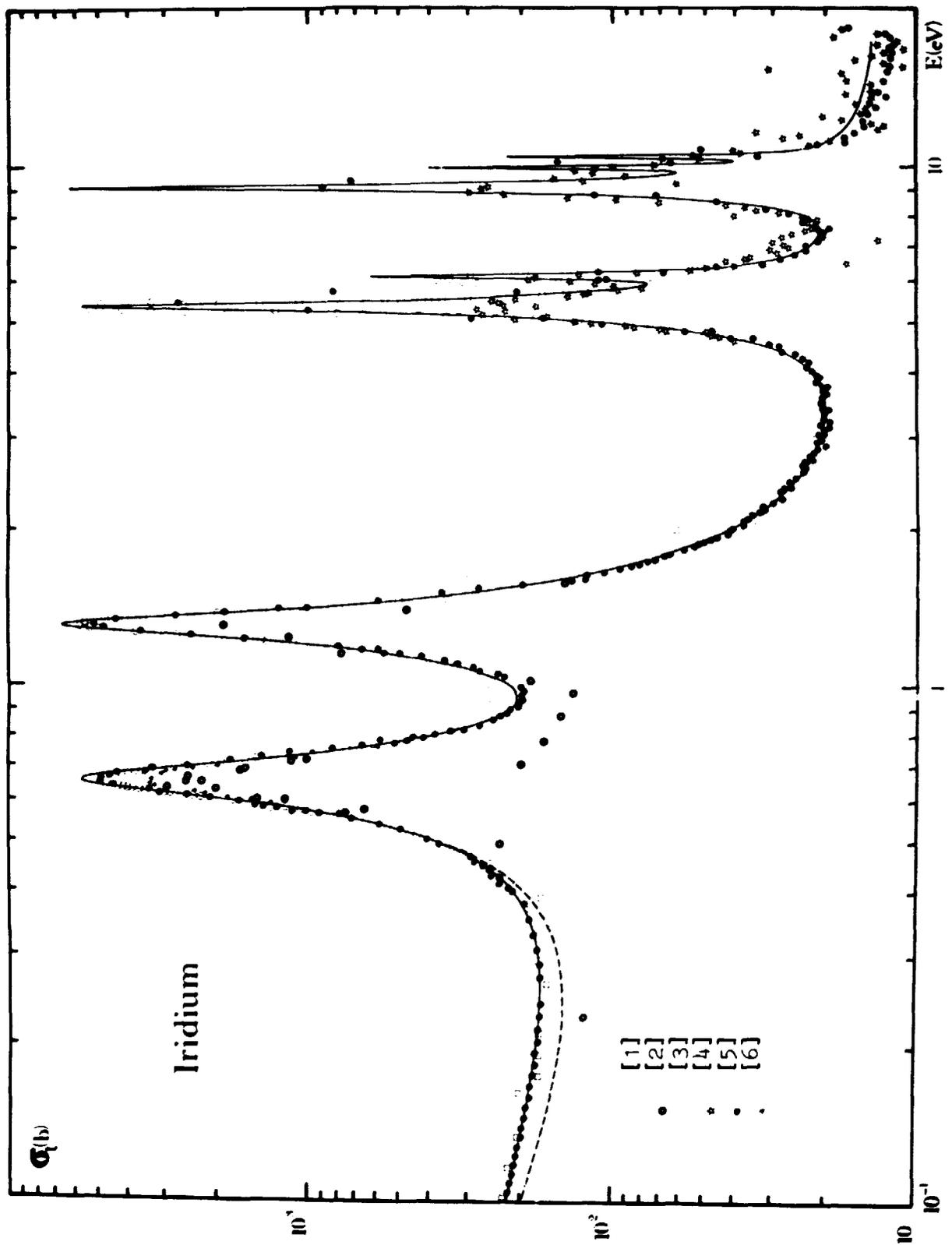
De 6 à 20 MeV, la section efficace de capture a été calculée par la version du modèle direct - semi direct incluse dans GNASH [8]. Les sections efficaces (n,2n) et (n,3n) ont été évaluées sur la base de résultats expérimentaux tandis que les sections efficaces (n,p) et (n, α) ont été calculées par le code AMALTHEE [9].

Tous les résultats concernant ^{Nat}Ir sont présentés sous le format d'un fichier ENDF. Cette nouvelle évaluation de Ir naturel constitue une amélioration de celle faite en 1977 par C. PHILIS [10].

*Adresse permanente : T2, Los Alamos Scientific Laboratory, LOS ALAMOS,
New Mexico 87545 (USA).

REFERENCES

- [1] - L.J. RAINWATER et al., *Phys. Rev.* 71 (1947) 65.
- [2] - R.B. SAWYER et al., *Phys. Rev.* 72 (1947) 109.
- [3] - H.H. LANDON, *Phys. Rev.* 100 (1955) 1414.
- [4] - V.V. VLADIMIRSKY et al., *Conférence de Genève, Volume IV* (1955).
- [5] - J. BRUNNER et F. WIDDER, *Conférence de Paris, Volume 1* (1966).
- [6] - R. FULFARO et al., *IAE-150* (1967) 67.
- [7] - C.L. DUNFORD, *AI-AEC-12931* (1970).
- [8] - P.G. YOUNG et E.D. ARTHUR, *LA-6947* (1977).
- [9] - O. BERSILLON et L. FAUGERE, *NEANDC (E) 191 "L"* (1977).
- [10] - C. PHILIS et G. SIMON, *INDC (FR) 28/L*, p. 99 (1978).



C-I-1-FIGURE 1

Evaluation de la section efficace totale de ^{nat}Ir entre 10^{-1} et 20 eV comparé à différentes valeurs expérimentales.

C-I-2-Evaluation des sections efficaces neutroniques de ^{169}Tm (G. SIMON, E. ARTHUR*, C. PHILIS, O. BERSILLON).

Evaluation of cross sections for ^{169}Tm from 10^{-5} eV to 20 MeV

The total, elastic, inelastic, capture (n,p), (n, α), (n,2n), (n,np) and (n,3n) cross sections have been evaluated for ^{169}Tm in the energy range 10^{-5} eV to 20 MeV.

Une évaluation des sections efficaces totale, élastique, inélastique et des réactions (n, γ), (n,p), (n, α), (n,2n), (n,np), (n,pn) et (n,3n) de ^{169}Tm a été réalisée dans la gamme d'énergie 10^{-5} eV - 20 MeV.

A basse énergie (10^{-5} eV - 760,6 eV) les sections efficaces totale, élastique et de capture ont été déduites des paramètres de résonances** en utilisant le code RESEND.

A plus haute énergie (760,6 eV - 20 MeV) les sections efficaces des réactions autres que (n,2n) et (n,3n) ont été calculées par des codes de modèle statistique : COMNUC [1] et GNASH [2] ou par le code AMALTHEE [3] basé sur le modèle d'excitons.

La figure 1 présente la section efficace de capture obtenue et la compare aux valeurs expérimentales de DRAKE [4], JOLY [5], GIBBONS [6], BLOCK [7] et SIDDAPPA [8].

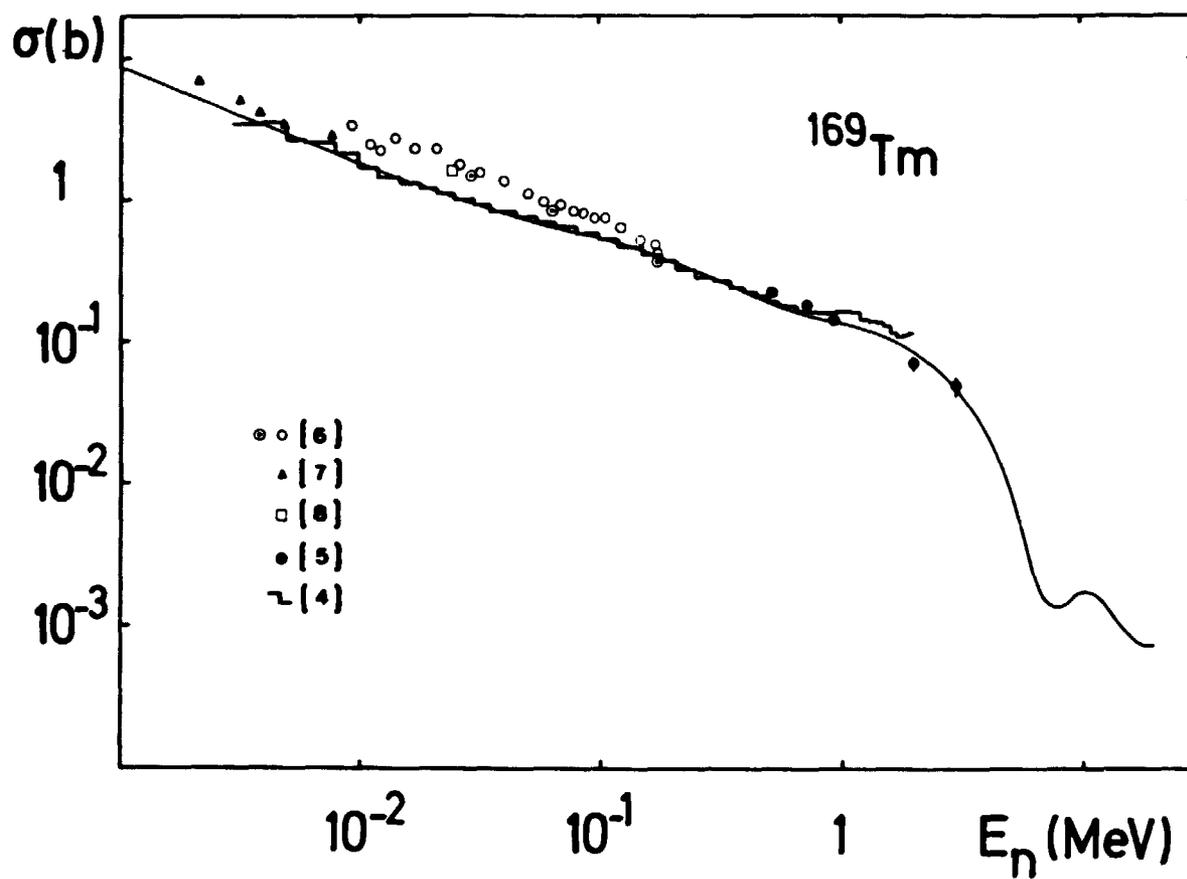
Enfin les sections efficaces (n,2n) et (n,3n) ont été déduites de l'évaluation de PHILIS [9] et des mesures de BAYHURST [10] et de VEESER [11].

* Adresse permanente : T2, Los Alamos Scientific Laboratory, LOS ALAMOS
New Mexico 87545 (USA).

** essentiellement extraits du BNL 325.

REFERENCES

- [1] - C. DUNFORD, *AI-AEC-12931* (1970).
- [2] - P.G. YOUNG et E.D. ARTHUR, *LA-6947* (1977).
- [3] - O. BERSILLON et L. FAUGERE, *NEANDC (E) 191 "L"* (1977).
- [4] - D. DRAKE, *communication privée* (1977).
- [5] - S. JOLY et al., *Nucl. Sci. Eng.*, à paraître (1978).
- [6] - J.H. GIBBONS et al., *Phys. Rev.* 122 (1961) 182.
- [7] - R.C. BLOCK et al., *Compte Rendu Conférence SACLAY 24-27/07/1961*.
- [8] - K. SIDDAPPA et al., *J. Phys.* A5 (1972) 877.
- [9] - C. PHILIS et P.G. YOUNG, *Rapport CEA-R-4712* (1975).
- [10] - B.P. BAYHURST et al., *Phys. Rev.* C12 (1975) 451.
- [11] - L.R. VEESER et al., *Phys. Rev.* C16 (1977) 1792.



C-I-2-FIGURE 1

Evaluation de la section efficace de capture de ^{169}Tm comparée à différentes valeurs expérimentales.

C-I-3-Evaluation des données nucléaires des isotopes du tungstène (C. PHILIS, E.D. ARTHUR*, A.B. SMITH**).

Evaluation of the nuclear data for the tungsten isotopes from 10^{-5} eV to 20 MeV

In cooperation with LASL and ANL, a complete re-evaluation of the nuclear data for ^{182}W , ^{183}W , ^{184}W , ^{186}W is in progress.

Dans le cadre de la coopération avec LASL, ANL et BRC a été entreprise, avec des délais relativement courts, une réévaluation des données nucléaires du tungstène, en particulier des sections efficaces neutroniques et des productions photoniques associées entre ~ 3 MeV et 20 MeV. Les grandes lignes de l'étude, faite en grande partie au cours d'un stage à LASL [1], sont les suivantes :

A) Données de base.

Il a été fait une compilation de toutes les données expérimentales des bibliothèques ECSIL [2] et CSIRIS [3]. De plus des valeurs numériques de sections efficaces élastiques et inélastiques ont été extraites de [4].

Pour 127 niveaux des différents isotopes du tungstène nous avons compilé les parités, énergies, spins et rapports de branchements et mis les résultats sous un format adéquat pour être utilisé dans les codes.

Des données supplémentaires nécessaires ($\langle D \rangle$, $\Gamma_\gamma \dots$) ont été généralement extraites de BNL 325.

B) Détermination des paramètres du modèle optique sphérique (M.O.S.).

Un effort important a été fait pour obtenir les paramètres du M.O.S. utilisé dans les codes de modèle statistique de LASL pour les calculs des pénétrabilités neutron de : ^{182}W , ^{183}W , ^{184}W , ^{186}W entre 2 et 20 MeV.

Pour calculer la contribution directe inélastique pour les deux premiers niveaux excités des isotopes 182, 183, 184, 186 des calculs en voies couplées ont été faits, en utilisant les paramètres de DELAROCHE [5], avec le code JUPITOR [6].

Les données obtenues nous ont permis d'aboutir à un assez bon accord avec les données expérimentales dont nous disposons pour les sections efficaces élastique, inélastiques et totale (voir exemple ^{184}W - Fig. 1 et 2).

C) Calculs des sections efficaces.

Les calculs des sections efficaces (n,n') , $(n,2n)$, $(n,3n)$ ont été faits avec un code de modèle statistique et les résultats obtenus pour les sections efficaces $(n,2n)$ sont en bon accord avec les résultats expérimentaux de FREHAUT [7] (voir exemple ^{184}W - Figure 3). Les calculs des sections efficaces (n,p) et (n,α) sont en cours.

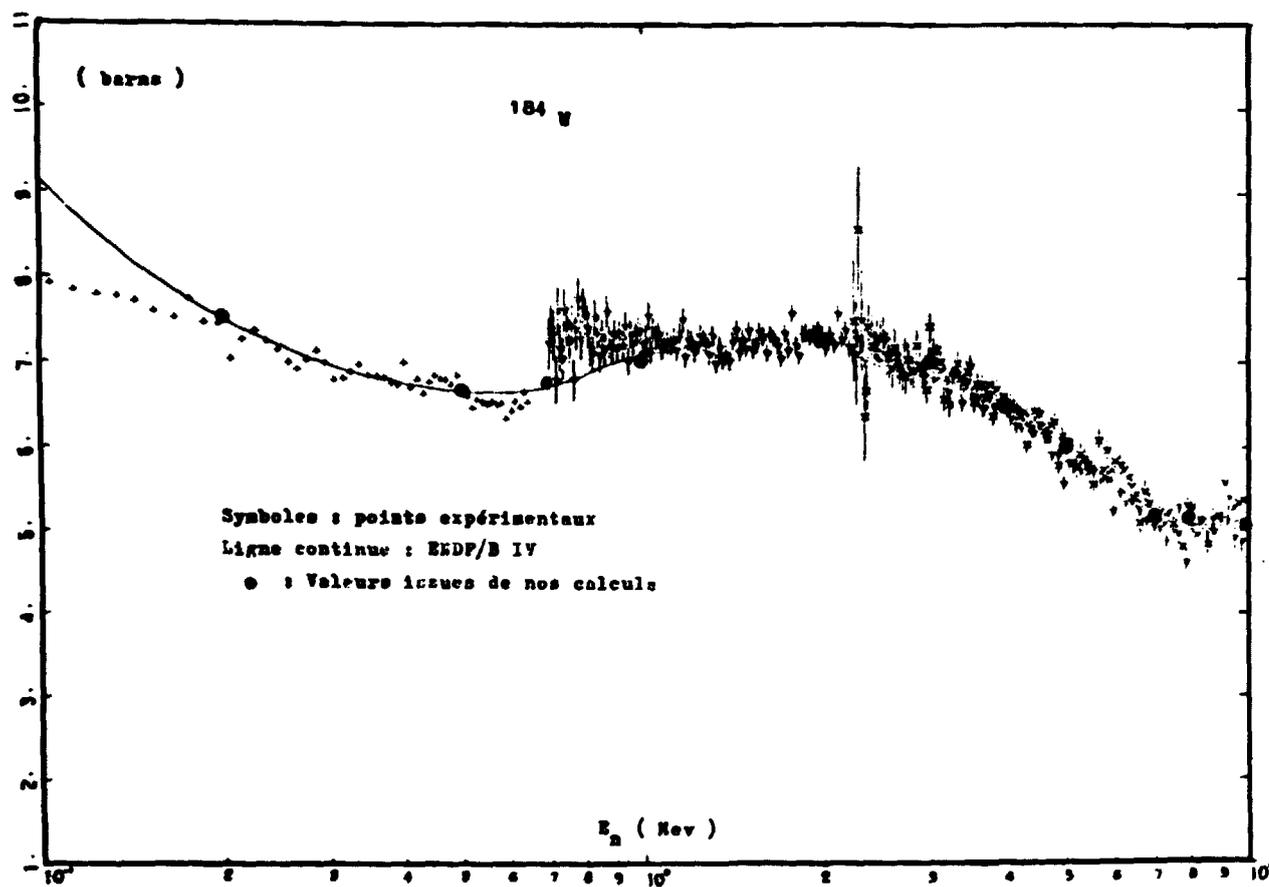
Enfin un calcul préliminaire de production photonique pour le W naturel a été obtenu à partir des isotopes 182, 184, 186 et comparé aux résultats expérimentaux. Malgré un pas en énergie important, l'accord est bon comme il apparaît sur la figure 4.

• Adresse permanente : T2, Los Alamos Scientific Laboratory, LOS ALAMOS
New Mexico 87545 (USA).

•• Adresse permanente : Argonne National Laboratory, AR 'E, Illinois 60439 (USA).

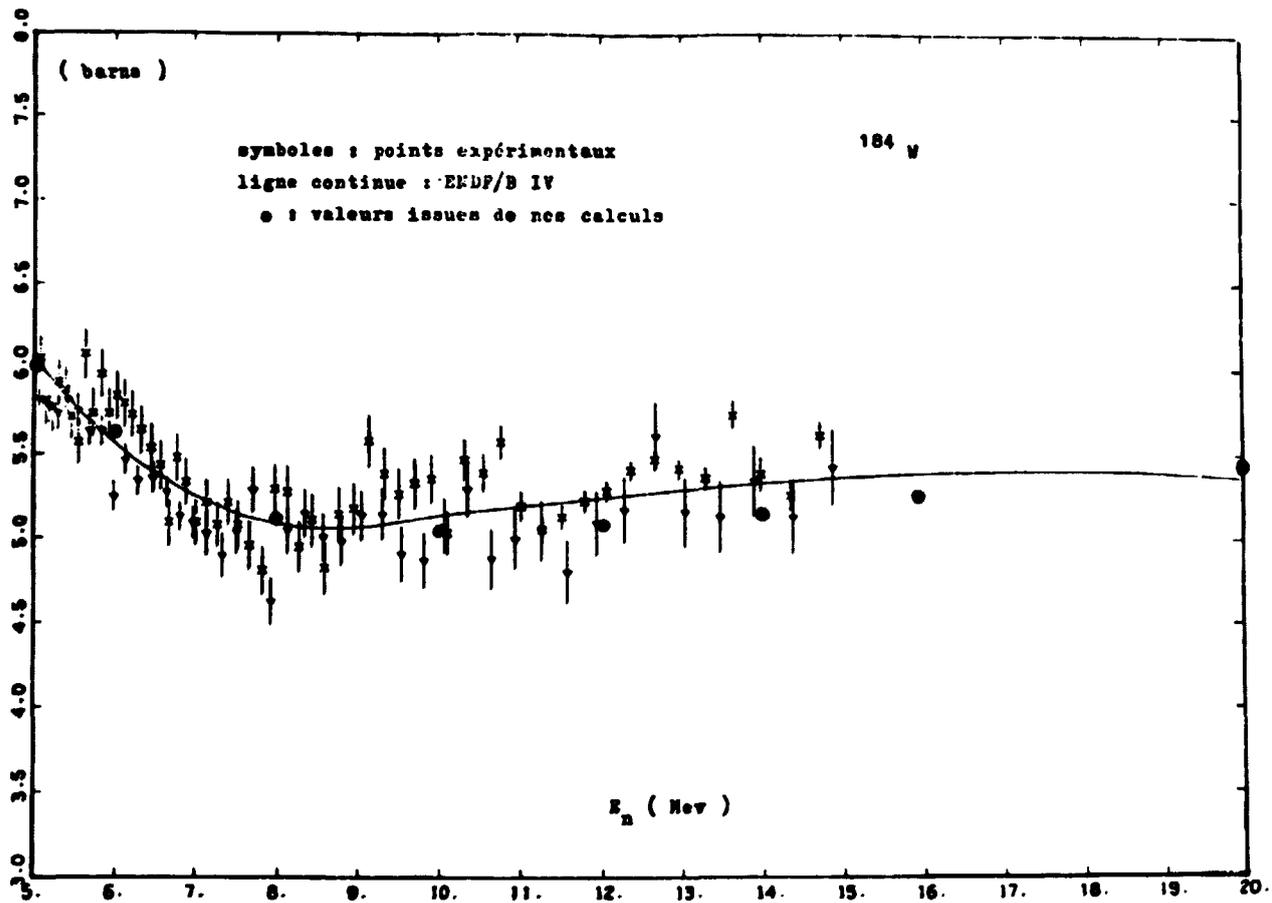
REFERENCES

- [1] - C. PHILIS, E.D. ARTHUR, *Evaluation of the tungsten isotopes*, LA-7842-PR (1978).
- [2] - D.E. CULLEN et al., *UCRL 50400, Vol. 1, Rev. 2* (1974).
- [3] - CSIRIS Experimental Nuclear Data File, National Nuclear Data Center BNL.
- [4] - P.T. GUENTHER, *Thesis, University of Illinois* (1977).
- [5] - J.P. DELAROCHE et al., *KIEV, 18-22 Avril 1977*.
- [6] - T. TAMURA, *ORNL-4152* (1967).



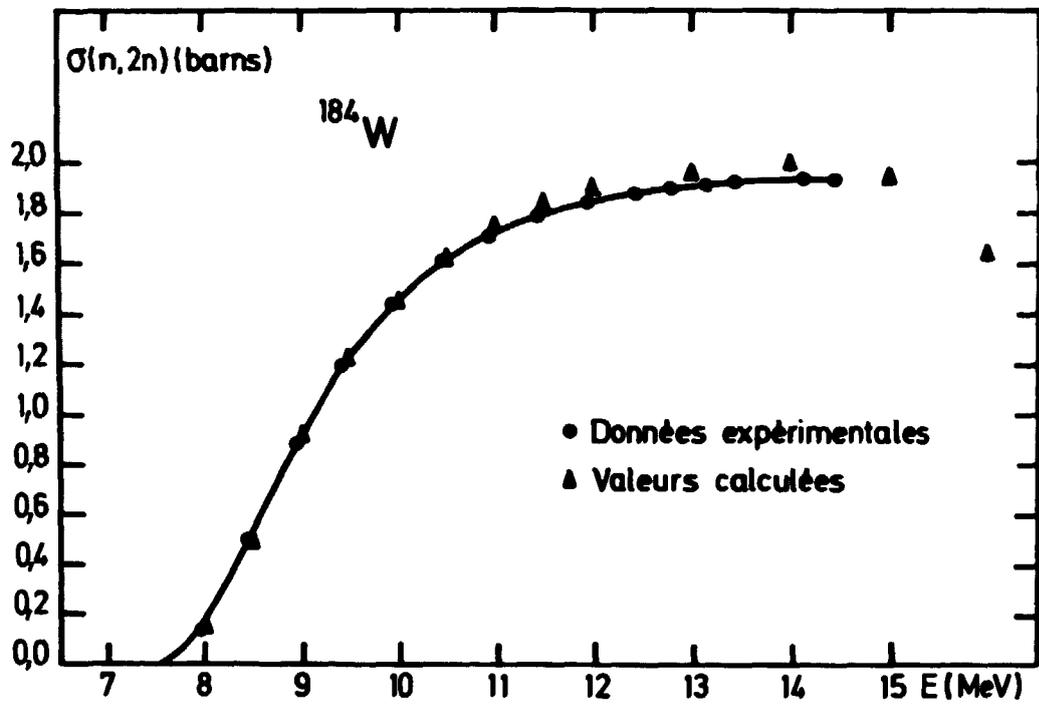
C-I-3-FIGURE 1

Section efficace totale de ^{184}W de 100 keV à 10 MeV.



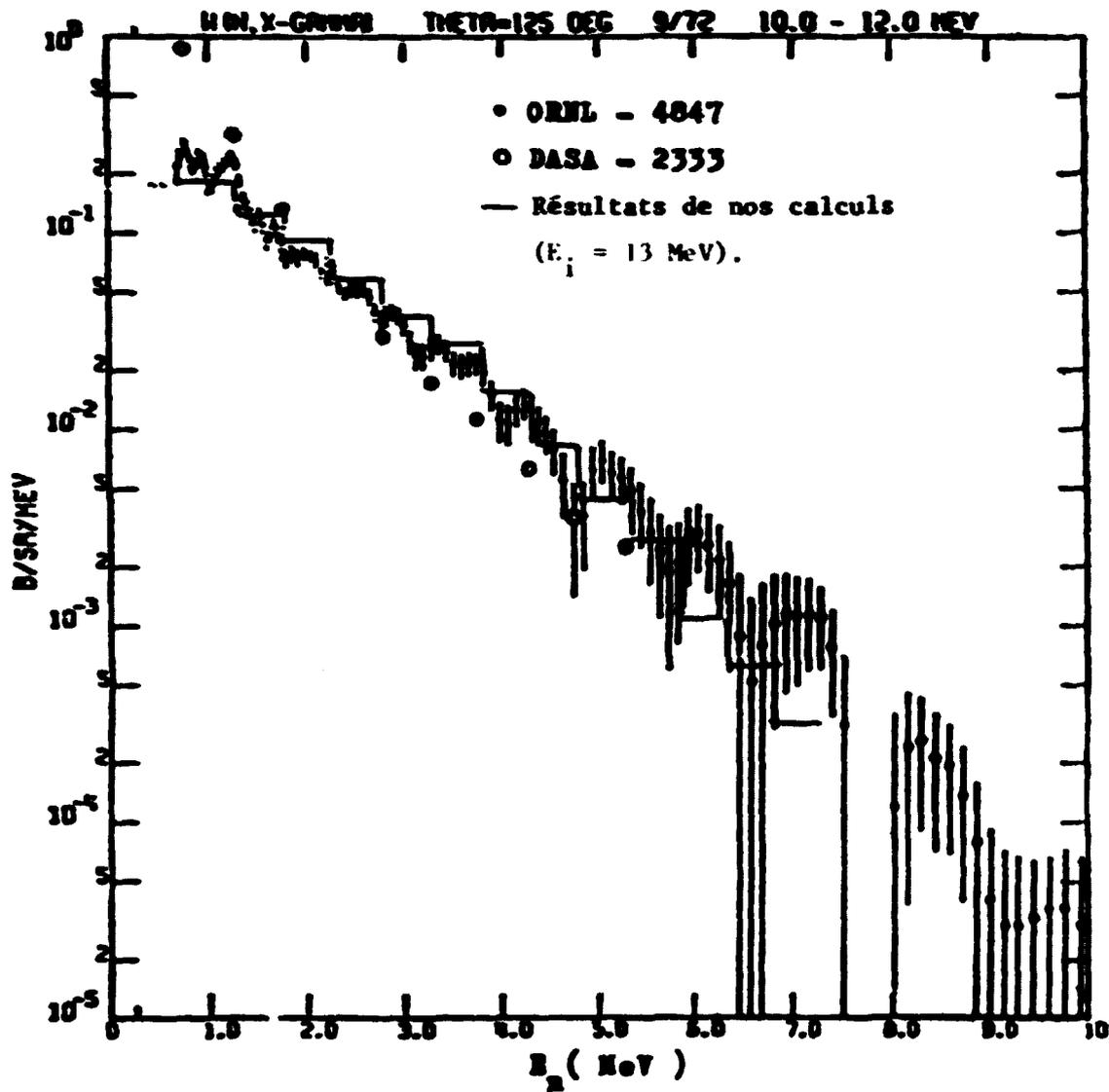
C-I-3-FIGURE 2

Section efficace totale de ^{184}W entre 5 et 20 MeV.



C-I-3-FIGURE 3

Section efficace $(n,2n)$ de ^{184}W du seuil à 20 MeV.



C-I-3-FIGURE 4

Comparison calcul-expérience des sections efficaces de production de photons pour W naturel.

C-I-4-Evaluation des données nucléaires de ^{242}Pu (C. PHILIS, D. COTTEN).

Evaluation of the nuclear data for ^{242}Pu

A preliminary evaluation of ^{242}Pu nuclear data has been revised by using ^{240}Pu experimental data and recent nuclear models calculations.

L'évaluation préliminaire des données de ^{242}Pu dans la gamme d'énergie 10^{-5} eV - 20 MeV a été révisée. Elle est basée sur des calculs théoriques de sections efficaces faits au Service PN [1] ainsi que sur une loi semi-empirique $\bar{\nu}_p(E)$ [2]. Les lois de renvoi ont également été évaluées. Cette évaluation a été complétée, en particulier pour les énergies inférieures à 10 keV, par des données extraites de ENDF/B IV.

Cette évaluation a été mise entièrement sous format ENDF [3].

REFERENCES

- [1] - J. JARY, Ch. LAGRANGE, *Rapport INDC (FR) 30/L, NEANDC (E) 198 "L" (1978)*
- [2] - R. BOIS, J. FREHAUT, *Rapport CEA-R-4791 (1976)*.
- [3] - J. JARY, Ch. LAGRANGE, C. PHILIS, *"Meeting on nuclear Data of higher Pu and Am isotopes for reactor application BROOKHAVEN (USA)" 20-22 Nov. 1978.*

C-II TRAITEMENT DES DONNEES

DATA PROCESSING.

C-II-1-Fichiers (C. PHILIS, O. BERSILLON, R. PERRIER, N. VERGES).

Files.

Afin de réduire le nombre de données à introduire pour l'utilisation des programmes de calcul de sections efficaces, nous avons catalogué sur CDC 7600 les fichiers suivants :

A) Masses.

Comporte, pour 1720 noyaux, la masse en u.m.a. et l'excès de masse en keV. Ce fichier, écrit en binaire, correspond à la table [1].

B) Coefficients de transmission.

Comprend, pour différents couples particule incidente noyau cible, un tableau d'énergie et les coefficients de transmission correspondants calculés par SCAT, (programme basé sur le modèle optique sphérique) ainsi qu'un certain nombre d'informations supplémentaires (paramètres optiques utilisés,...).

C) Niveaux.

Comporte pour 260 noyaux, le schéma des niveaux excités (énergie, J, π) et de desexcitation gamma.

Les programmes de gestion et d'accès à ces fichiers sont opérationnels.

C-II-2-CDMLAB (O. BERSILLON, R. PERRIER).

Code

Le programme CDMLAB (calculant les distributions angulaires, de la particule émise dans une réaction donnée pour certaines énergies données) [2] a été inclus dans un programme plus général permettant de traiter les distributions angulaires existant dans les fichiers ENDF quels que soient leurs modes de présentation et référentiel.

C-II-3-COMMUC (O. BERSILLON)

Code

Le programme COMMUC (calculant les sections efficaces des réactions nucléaires, sur la base du modèle statistique, Version 5 [5] a été implanté sur

CDC 7600, corrigé de certaines erreurs et modifié de façon à pouvoir utiliser les fichiers des masses, niveaux et coefficients de transmission.

REFERENCES

- [1] - A.H. WAPSTRA, N.B. GOVE, *Nuclear Data Tables* 9 (1971) 267.
- [2] - O. BERSILLON, R. PERRIER, *Note CEA-N-1993* (1977).
- [3] - C.L. DUNFORD, *AI-AEC-12931* (1970).

C-II-4-Evaluation de paramètres du modèle optique sphérique par une méthode de moindres carrés généralisée (R. PERRIER) [1].

Evaluation of the spherical optical model parameters using a generalized least square method.

In order to get spherical optical model parameters from experimental data, a generalized least square method based on the LEVENBERG-MARQUARDT algorithm has been used.

Un sous-programme (EVOPT) a été mis au point pour la recherche automatique des paramètres du modèle optique sphérique dans le cadre des différents stades d'utilisation de la méthode SPRT [2]. Il est basé sur une méthode d'optimisation par moindres carrés généralisée utilisant l'algorithme de LEVENBERG-MARQUARDT avec différences finies (cf. p. ex. [3]) et amélioré par la modification de R. FLETCHER [4]. La méthode mise au point fournit également une estimation des erreurs induites sur les paramètres libres par les incertitudes associées aux grandeurs physiques utilisables dans la recherche (fonctions force s et p , rayon de diffusion, sections efficaces totales et distributions angulaires de diffusion élastique). Ainsi un gain de temps appréciable peut être obtenu dans l'optimisation de ces paramètres à partir d'un jeu important de données expérimentales. Le tableau 1 (page 149) et les Figs. 1 et 2 reflètent une partie des divers résultats des tests effectués dans le cas de l'interaction neutron - ^{89}Y .

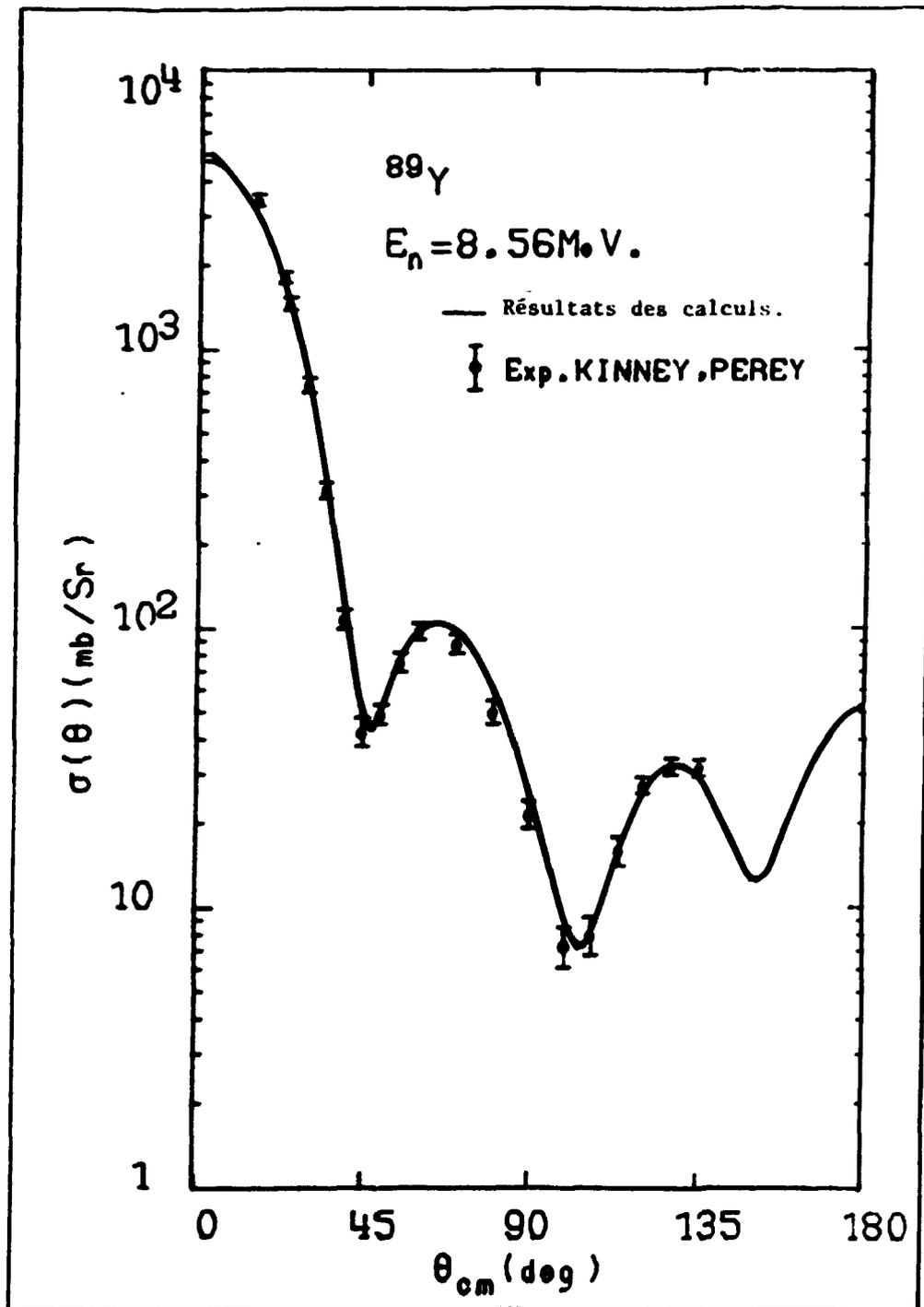
REFERENCES

- [1] - R. PERRIER, *Thèse CNAM (Oct. 1978)*.
- [2] - J.P. DELAROCHE, Ch. LAGRANGE, J. SALVY, "*Nuclear Theory in Neutron Nuclear Data Evaluation*", IAEA-190 (1976).
- [3] - Hakan RAMSIN, Per-Ake WEDIN, "*A comparison of some algorithm for the non linear least squares problem*", BIT 17 (1977) 72.

- [4] - R. FLETCHER, "A modified Marquardt subroutine for non linear least squares" AERE-R-6799 (1971).
- [5] - F.G. PEREY, W.E. KINNEY, "Neutron Elastic and Inelastic Scattering Cross Sections for yttrium in the Energy Range 4.19 to 8.56 MeV", ORNL-4552 (Déc. 1970).
- [6] - M.D. GOLDBERG, S.F. MUGHABGHAB, B.A. MAGURNO, V.M. MAY, "Neutron Cross Sections, Volume II A, Z = 21 to 40, BNL 325, Second Edition, Supplément n° 2, Feb. 1966.

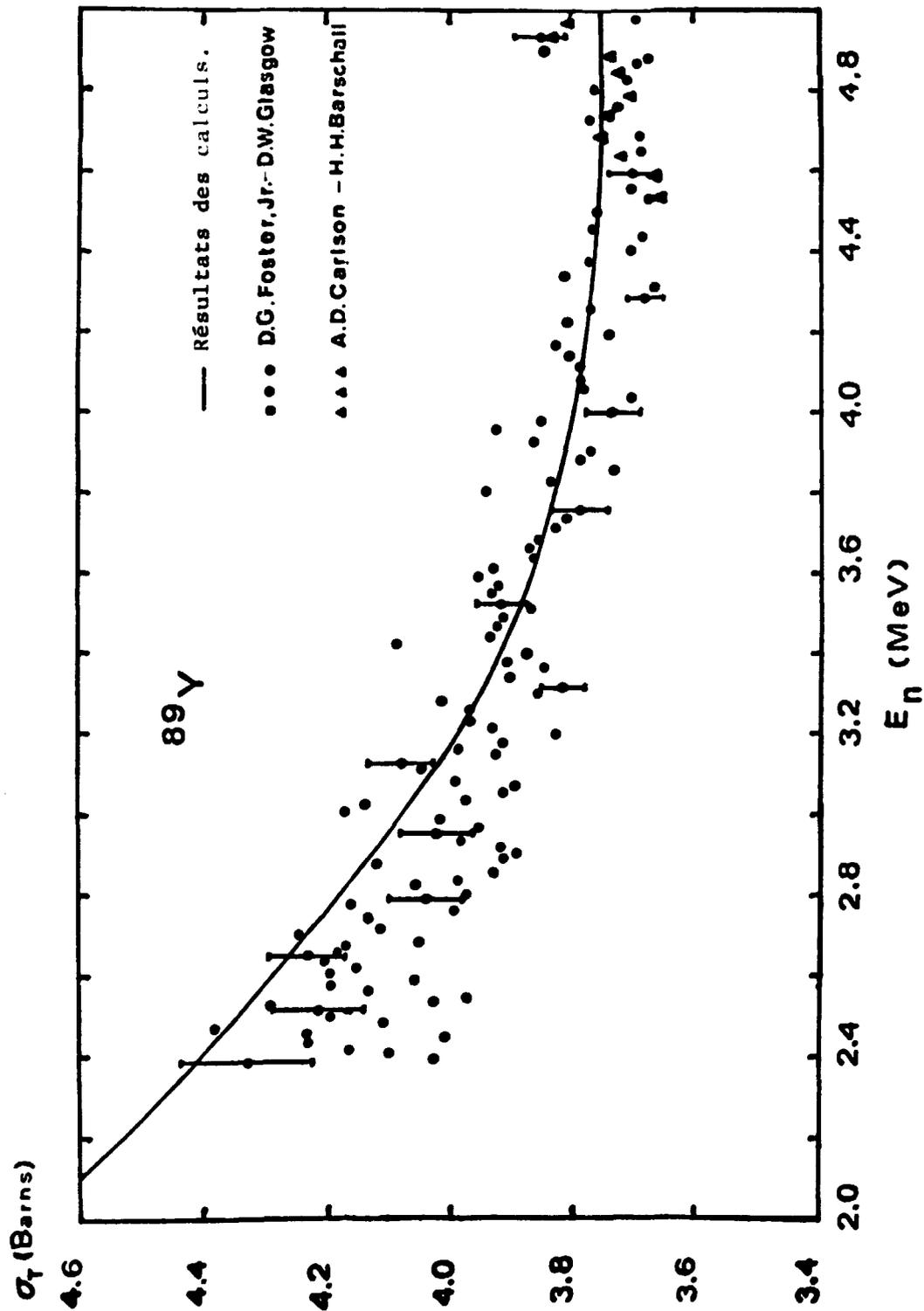
E (MeV)	V_0	W_0	χ^2	Cycle
6,44	49	3,3	5,22	premier
	$48,77 \pm 0,13$ (0,26%)	$3,87 \pm 0,12$ (3%)	2,2	dernier
7,6	49	3,3	7,92	premier
	$48,96 \pm 0,24$ (0,5%)	$4,38 \pm 0,19$ (4,4%)	2,3	dernier
8,56	49	3,3	4,7	premier
	$49,1 \pm 0,22$ (0,44%)	$4,28 \pm 0,19$ (4,38%)	1,6	dernier

TABLEAU 1 : Exemple d'ajustement sur les données expérimentales de diffusion élastique [5] montrant les résultats d'une recherche sur les profondeurs V_0 et W_0 des potentiels réel et imaginaire du modèle optique ainsi que les incertitudes associées.



C-II-4-FIGURE 1

Données expérimentales de section efficace différentielle de diffusion élastique de neutrons sur ⁸⁹Y (Réf. [5] et comparaison avec notre calcul de modèle optique [1], à l'énergie incidente E_n = 8,56 MeV.



C-II-4-FIGURE 2

Données expérimentales de section efficace (Réf. [6]) de neutrons pour ^{89}Y et comparaison avec notre calcul de modèle optique [1], dans le domaine d'énergie 2 MeV-5 MeV.

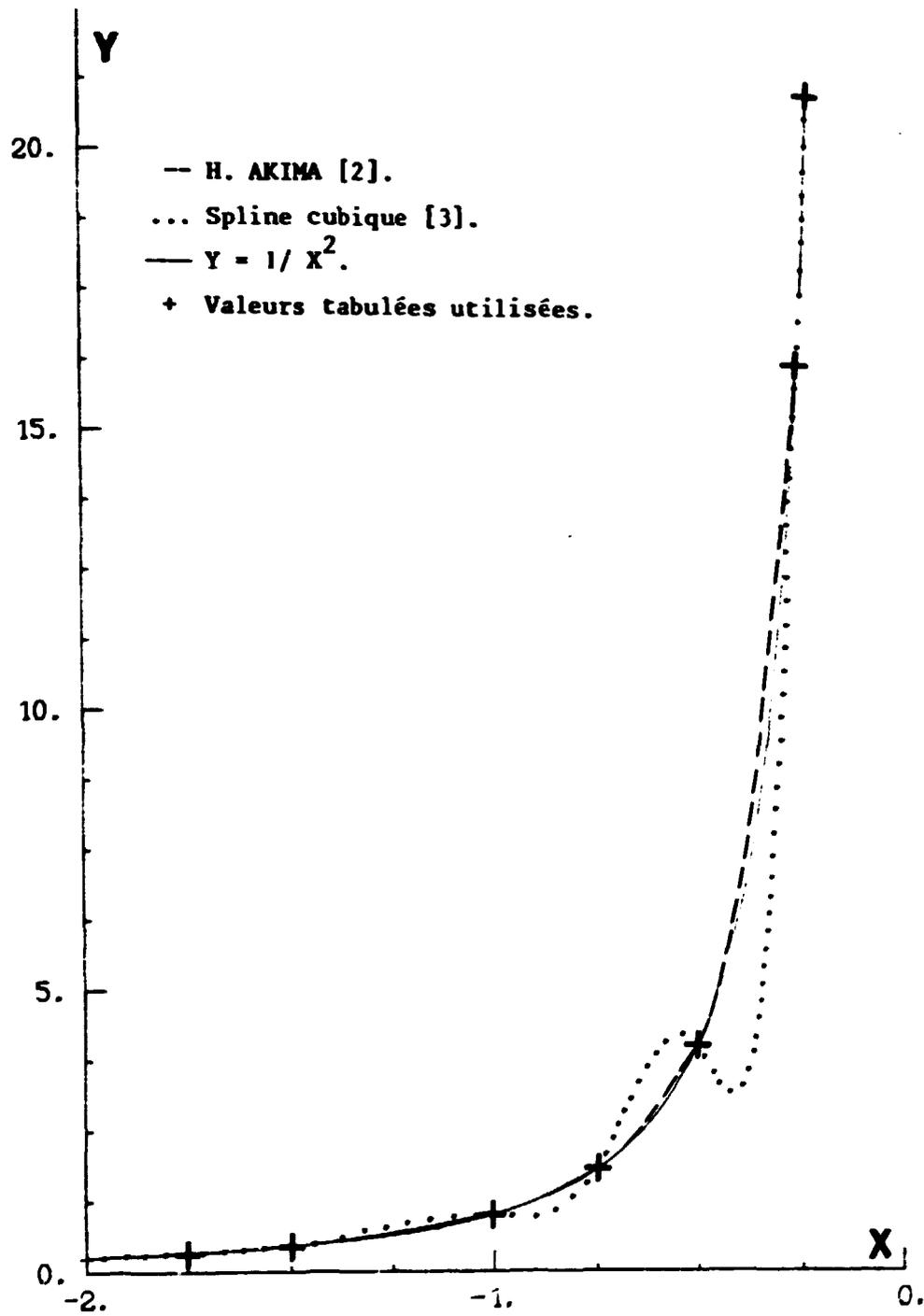
C-II-5-Une nouvelle méthode d'interpolation (R. PERRIER).

A new interpolation method.

Un certain nombre de difficultés apparaissent quand on désire interpoler une fonction à variations rapides ; les méthodes classiques conduisent généralement à de très fortes oscillations. Pour éviter ces inconvénients nous étudions actuellement une nouvelle méthode [1 et 2] qui consiste à découper en morceaux la fonction considérée et à approcher chacun d'eux par un polynôme du troisième degré en prenant de sérieuses précautions quant aux raccordements de ces diverses parties. La figure 1 permet de comparer les résultats obtenus avec cette nouvelle méthode [2] à ceux donnés par une méthode plus classique de spline cubique [3].

REFERENCES

- [1] - C. PHILIS, *Compte rendu de mission et de stage aux USA - DPG/PN-CM*
78 05 31.
- [2] - H. AKIMA , *J.A.C.M.*, 17, 4 (1970) 589.
- [3] - J. GAY, un algorithme d'interpolation à un ou deux variables par des fonctions spline cubiques et bicubiques *CEA/DAM/R (1970)*.



C-II-5-FIGURE 1

C-II-6-Codes de calcul de sections efficaces de production de photons à partir de fichiers du type ENDF (G. SIMON, R. PERRIER).

Photonic production cross section calculation codes using ENDF microscopic data

Two codes have been written to calculate the cross section for the production of a photon having an energy E_γ lying between $E_{\gamma i}$ and $E_{\gamma j}$ produced by one or more reactions induced by a neutron having an E_n comprised between E_{np} and E_{nq} .

Deux codes ont été réalisés afin de calculer, à partir des fichiers du type ENDF/B, la section efficace de production des photons ayant une énergie E_γ comprise entre $E_{\gamma i}$ et $E_{\gamma j}$, issus d'une ou de plusieurs réactions induites par un neutron ayant une énergie E_n comprise entre E_{np} et E_{nq} .

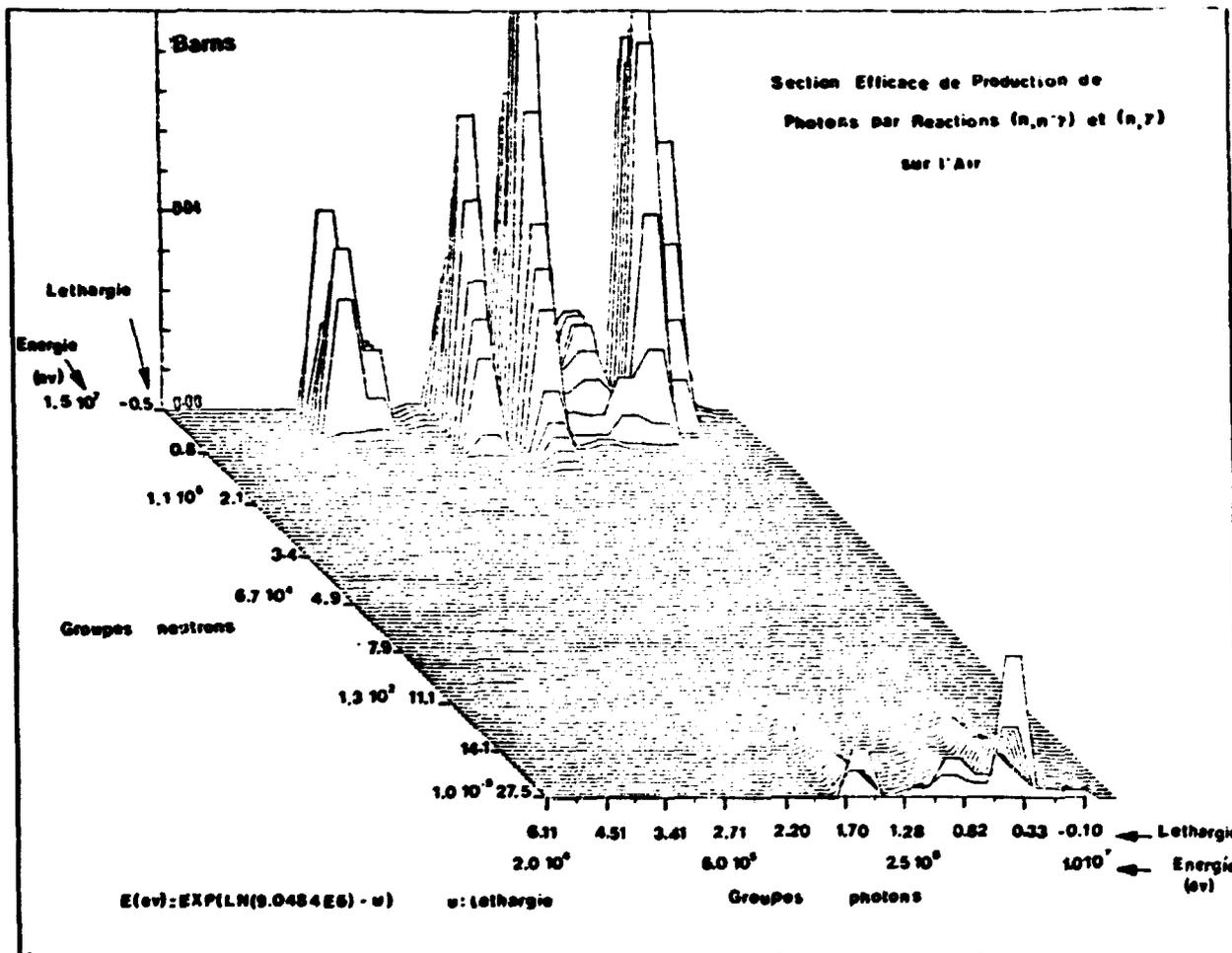
Le premier de ces codes permet de traiter les spectres continus en combinant les files 3, 12 et 15 ou 13 et 15 des fichiers ENDF/B.

Le deuxième permet de traiter les photons discrets en combinant les files 3 et 12 ou en utilisant les données de la file 13.

Ces codes nous ont déjà permis de réaliser une mise en groupe "neutron-gamma" pour la production photonique sur l'air.

La figure 1 représente graphiquement le cas 100 groupes neutrons - 18 groupes gamma pour l'air.

Ces deux codes vont être fusionnés et le traitement des probabilités de transition y sera ajouté (option figurant également en file 12 des fichiers ENDF/B). Ce code sera alors capable de traiter en un seul passage les fichiers de type ENDF quelque soit le mode de description des "files" de production photonique.



C-II-6-FIGURE 1

C-II-7-Système conversationnel de comparaison et d'évaluation de données nucléaires (M. COLLIN, A. SCHETT*).

Interactive system for comparing and evaluating nuclear data

A interactive program system is under development which permits maintenance of evaluated, calculated and experimental nuclear reaction data files stored in their original format with a direct access device and simultaneous graphical display of a given function retrieved from the various files.

Depuis quelques années, il est apparu indispensable de disposer d'un système souple permettant :

- des comparaisons entre les différentes évaluations de données nucléaires d'un même noyau ainsi qu'avec des données expérimentales,
- des modifications de ces données.

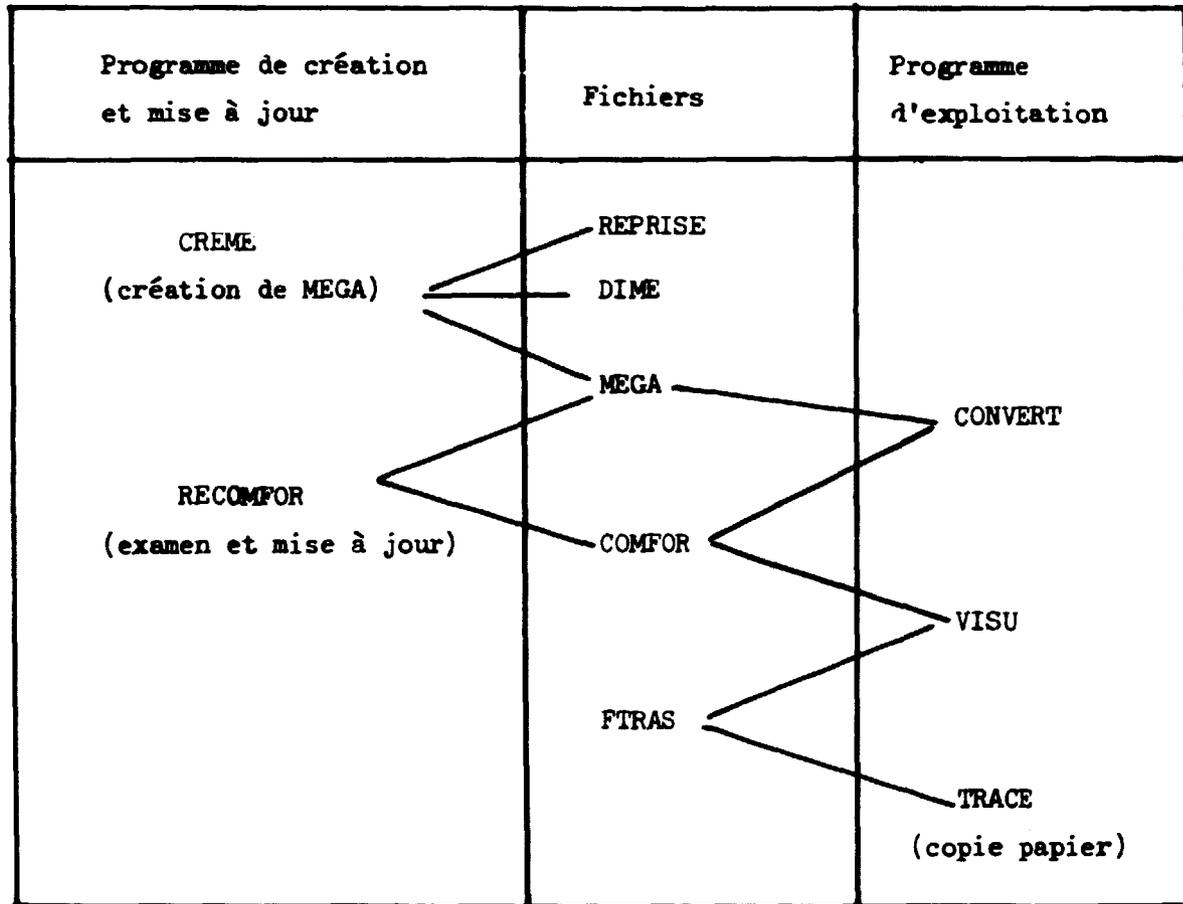
Actuellement nous utilisons le système de traitement de données sur 10 020. Ce traitement comporte 3 stades :

- 1 - Un programme conversationnel "CONVERT" qui permet le choix des données à partir de bandes magnétiques, leur traduction en "format commun" (fichier COMFOR) et le calcul des fonctions paramétrées (en cours d'élaboration).
- 2 - Un programme conversationnel de visualisation de tout ou partie des données stockées dans COMFOR et de tracé des courbes correspondantes sur écran.
- 3 - Un programme de copie des courbes sur support papier.

Nos travaux futurs se partageront entre l'adaptation du système de traitement sur MITRA 125 (ce qui permettra à partir d'un fichier COMFOR de travailler indifféremment sur les 2 machines) et la mise au point d'un système de stockage des données évaluées sur disque.

Ce fichier contiendra, sous la forme la plus compacte possible toutes les données numériques et bibliographiques des bibliothèques ENDF, ENDL et KEDAK. Un système de fichiers permettra un accès sans test à chaque lot de données.

La structure du système complet est décrite dans le tableau 1.



C-II-7-TABLEAU 1

*Collaborateur temporaire étranger, VIENNE (Autriche)

C-II-8-Biblion (A. SCHETT*, N. VERGES, C. PHILIS).

Biblion.

Biblion is a program system for updating and editing a subject oriented library index. It is applied to our nuclear data library.

Nous avons reconsidéré le "code-fichier" EVBIB qui avait été développé pour faciliter la gestion de notre bibliothèque. Actuellement, le fichier-bibliothèque déjà constitué comporte environ 800 références. Le nouveau code "BIBLION" est écrit en langage PL1 et est déjà opérationnel [1].

Il effectue une analyse logique des données d'entrée et permet de trier les informations du fichier-bibliothèque d'une manière multiparamétrique, soit par année, soit par auteur, soit par code-référence, soit par noyau, soit par réaction. Les priorités des différents tris peuvent être choisis d'une manière optionnelle.

Une liste réduite au seul code-référence des documents est également disponible pour permettre un travail d'entrée des documents en bibliothèque plus facile ; le format d'entrée est choisi de telle sorte qu'il permette d'introduire le maximum d'informations sous la forme la plus compacte possible.

A chaque instant, des mises à jour ou des corrections peuvent être effectuées de façon simple sur le fichier.

Dans l'annexe 1 sont donnés des exemples montrant sous quelle forme se présentent les cartes entrées et les différentes sortes de tri.

* *Collaborateur temporaire étranger, (Autriche).*

REFERENCE

[1] - A. SCHETT*, C. PHILIS, S. PERLES**, *Biblion, a program system for updating and editing a nuclear data oriented library index, Rapport NEANDC 100 "L".*

** *Stagiaire Universitaire.*

ANNEXE 1

Exemple de cartes d'entrée codées d'un document.

BRANLITT.E.T PR 131 26491963 01
 29065.30070.31071.41093.23051.32076.35081.37087.47107.47109.49115.79197.81203.
 22./14029.19041.21045.22050.23051.25055.33075.33089.41093.55133.57159.59141.
 65159.111./21045.41093.79197.91205.106./39089.41093.59141.102./59141.79197.
 81203.17./#

INDEX DE LA BIBLIOTHEQUE DU LABORATOIRE FN CLASSE PAR
 Z,A,REACTION,ANNEE,TYPE DE TRAVAIL,AUTEUR,REFERENCE

 CA-048 N,ZN 1967 EXP CSIKAI.J ANP 23 87
 CA-049 N,P 1956 EXP LEVKOVSKII.V.N SPJETP 31 291
 SC-NAT N,GAMMA 1969 EXP RAJU.B.B.V AAEC/TH 5J2
 SC-NAT N,GAMMA 1977 EXP BUDNAR.M INDC(YUG) 5
 SC-NAT N,N 1974 EXP VEYSSIERE.A NP/A 227 513
 SC-044 N,ZN 1975 EXP EAPEN.P.K JIN 37 1121

INDEX DE LA BIBLIOTHEQUE DU LABORATOIRE FN CLASSE PAR
 AUTEUR,Z,A,REACTION,ANNEE,TYPE DE TRAVAIL,REFERENCE

 ZABEL.C.M ZR-094 N,TOTAL 1955 EXP MASH 188
 ZEITNITZ.B H -002 N,ELASTIC 1974 EXP NP/A 231 13
 ZEITNITZ.B H -002 N,ZN 1974 EXP NP/A 231 13
 ZELLERMAYER.D.M IR-191 N,ZN 1972 EXP FR/C 6 315
 ZELLERMAYER.D.M AU-197 N,ZN 1972 EXP FR/C 6 315
 ZHURAVLEV.K.D U -235 N,F TOTAL 1977 EXP SJA 42 62

INDEX DE LA BIBLIOTHEQUE DU LABORATOIRE FN CLASSE PAR
 ANNEE,Z,A,REACTION,TYPE DE TRAVAIL,AUTEUR,REFERENCE

 1965 U -238 N,ZN COMP BORMAN.M NP 65 257
 1965 NP-237 N,ZN COMP BORMAN.M NP 65 257
 1966 C -NAT N,ELASTIC EXP KORZH.I.A INDC(CCP) 15
 1966 C -NAT N,INEL EXP KORZH.I.A INDC(CCP) 15
 1966 C -NAT N,INEL EXP KORZH.I.A OAEF 20 9
 1966 NA-NAT N,ELASTIC EXP KORZH.I.A INDC(CCP) 15

INDEX DE LA BIBLIOTHEQUE DU LABORATOIRE FN CLASSE PAR
 REACTION,Z,A,ANNEE,TYPE DE TRAVAIL,AUTEUR,REFERENCE

 N,A PU-242 1977 EVAL GARG.S.B INDC(IND)- 21
 N,ABSORPH PU-241 1973 EVAL CANER.M IA 1274
 N,ABSORPH PU-242 1973 EVAL CANER.M IA 1275
 N,D MANY 1965 EXP CHATTERJEE.A NUCS 23 112
 N,D H -001 1976 EXP HAIGHT.R.C UCRL-PFEPF. 78785

INDEX DE LA BIBLIOTHEQUE DU LABORATOIRE FN CLASSE PAR
 REFERENCE,ANNEE,Z,A,REACTION,AUTEUR,TYPE DE TRAVAIL

 EAI:DC(E) 89 1967 TH-169 N,RESINTG JULIEN.J EXP
 EAI:DC(E) 89 1967 HG-200 N,RESINTG JULIEN.J EXP
 EAI:DC(J) 22 1971 ZR-090 N,ZN KANDA.Y EXTH
 EAI:DC(J) 22 1971 MO-092 N,ZN KANDA.Y EXTH
 EAI:DC(US) 143 1970 AL-NAT N,GAMMA MILIK.S.S EXTH
 EAI:DC(US) 143 1970 V -051 N,GAMMA POSTMA.M EXTH

EAI:DC(US) 143 1979
 EAI:DC(US) 148 1972
 EAI:DC(US) 175 1972

C-III-CALCULS DE DONNEES ET ETUDES DE MODELES NUCLEAIRES

CALCULATION OF DATA AND STUDY OF NUCLEAR MODELS.

C-III-1-Relations empiriques entre les probabilités de fission et les sections efficaces thermiques de certains actinides (J. JARY).

Empirical relations between measured fission probabilities and thermal neutron fission cross sections.

We have pointed out an empirical relation between the fission probabilities P_f measured by direct reactions [(such as (t,pf), (d,pf), (^3He ,df))] at an excitation energy equal to the neutron binding energy and the thermal neutron fission cross section leading to the same fissioning nucleus. We found also a smooth dependence on P_f of the capture to fission ratio.

Nous avons mis en évidence une relation empirique existant entre :

1°) les probabilités de fission $P_f(B_n)$ mesurées [1] directement par des réactions du type (t,pf), (d,pf), (^3He ,df) ou indirectement par des réactions (n,f) à une énergie du noyau fissionnant égale à l'énergie B_n de séparation d'un neutron,

2°) les sections efficaces thermiques (section efficace de fission et rapport α des sections efficaces de capture et de fission) des réactions (n,f) conduisant au même noyau fissionnant.

Les figs. 1 et 2 donnent les sections efficaces de fission thermiques [2] en fonction des $P_f(B_n)$ mesurées, les barres d'erreur fléchées vers le bas indiquant les noyaux dont on ne connaît que la limite supérieure de la section efficace de fission thermique. On constate que, à quelques exceptions près, ces sections efficaces suivent, en fonction des $P_f(B_n)$, une variation régulière représentée en moyenne par les relations empiriques suivantes :

$$\log_{10} \sigma_f = 1,31754 \log_{10} P_f + 2,27178 \text{ pour } 10^{-6} \lesssim P_f < 0,1$$

et

$$\log_{10} \sigma_f = 3,7826 P_f + 0,57598 \text{ pour } 0,1 < P_f < 1$$

Enfin, nous avons tracé sur la fig. 3 les rapports α des sections efficaces de capture radiative et de fission à l'énergie thermique des neutrons. A l'exception des cibles ^{233}U ($P_f = 0,46$) et ^{232}Pa ($P_f = 0,68$), on peut constater que ces rapports suivent une variation régulière en fonction des probabilités de fission $P_f(B_n)$ dans le domaine étendu $0,1 < P_f < 0,8$.

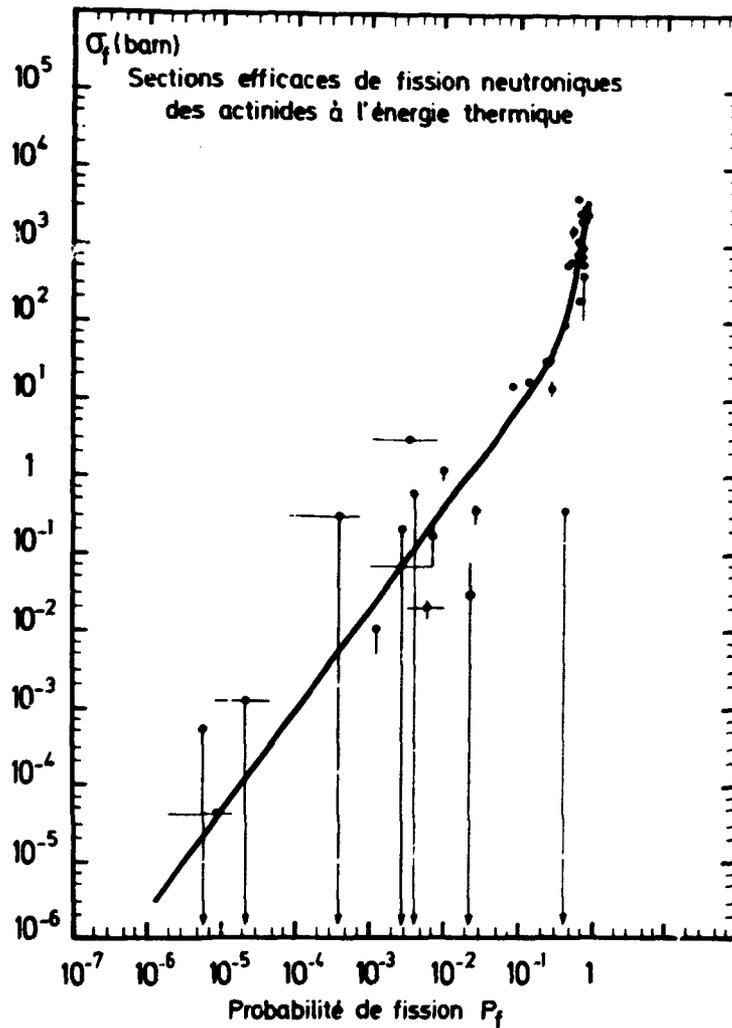
Les relations empiriques précédentes permettent d'estimer les sections efficaces de fission et de capture à basse énergie de nombreux actinides pour lesquels seules les probabilités $P_f(B_n)$ ont été mesurées [3].

REFERENCES

- [1] - B.B. BACK et al., LA-UR-73-1762 (1973).
- B.B. BACK et al., *Nucl. Phys. A166* (1971) 449.
- J.D. CRAMER, LA-4198-UC-34 (1969).
- B.B. BACK et al., LA-UR-74-798 (1974).

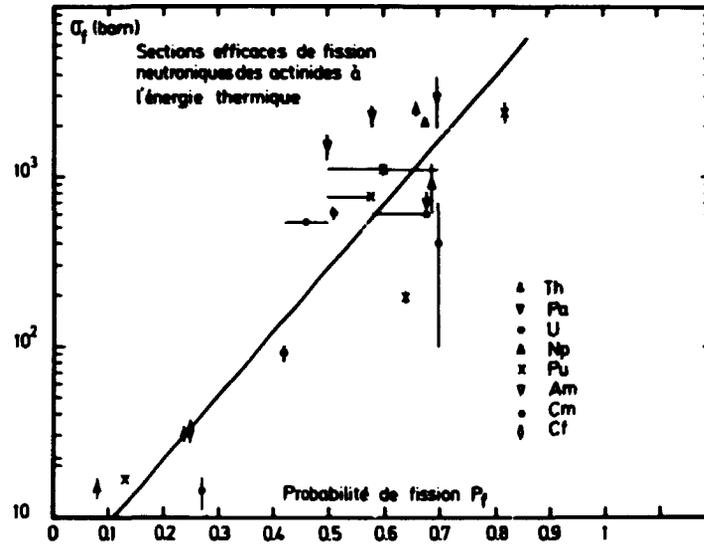
- [2] - BNL 325 - 3^e édition, volume 1 (1973).

- [3] - J. JARY, *Note interne PN 506/78* (Mai 1978).



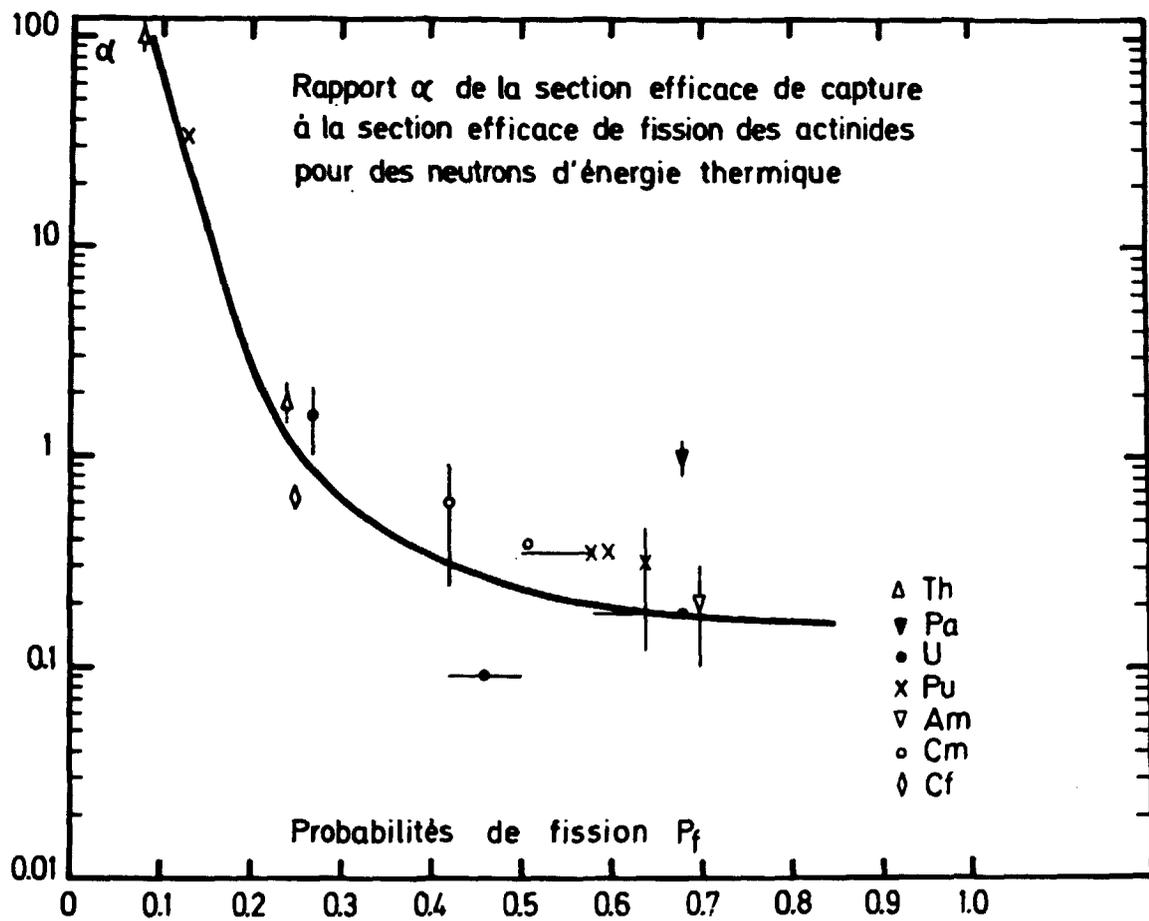
C-III-1-FIGURE 1

Sections efficaces de fission des actinides aux neutrons thermiques en fonction des probabilités de fission des noyaux composés à l'énergie de séparation d'un neutron.



C-III-1-FIGURE 2

Même légende que pour la figure 1, dans le domaine des sections efficaces de fission supérieures à 10 barns.



C-III-1-FIGURE 3

Rapport α des sections efficaces thermiques de capture et de fission des actinides en fonction de la probabilité de fission P_f des noyaux composés à l'énergie de séparation d'un neutron.

C-III-2-Calcul des sections efficaces de certains actinides (J. JARY, Ch. LAGRANGE).

Cross section calculations for some actinide nuclei.

From adjustments (A) to the neutron fission cross sections $^{235}\text{U}(n,f)$ and $^{239}\text{Pu}(n,f)$ a preliminary set of saddle point transition state spectra of the corresponding compound nuclei has been obtained. Starting from these spectra, compound elastic and inelastic neutron cross sections were compared to measurements at an incident energy of 0.7 MeV (Cf Chap. B-I-5). The adjustment (B) to the fission cross section $^{232}\text{Th}(n,f)$ and the fragment angular distributions needed a more complete treatment of the transition state spectra which is described in detail in Chapter B-III-4. A preliminary evaluation of ^{242}Pu neutron cross sections (C) based on use of optical and statistical models has been completed (cf also Chap. C-I-4).

A/ Une analyse en voies des sections efficaces de fission neutroniques à basse énergie ($10 \text{ keV} < E_n < 60 \text{ keV}$) a permis de déterminer un ensemble préliminaire des voies de fission des noyaux composés ($^{235}\text{U} + n$) et ($^{239}\text{Pu} + n$). Les pénétrabilités "neutron" utilisées sont calculées par le modèle optique en voies couplées. Un ajustement à la section efficace de fission à $E_n = 0,7 \text{ MeV}$, a permis de calculer selon la méthode décrite en référence [1] les sections efficaces élastique et inélastiques partielles par noyau composé présentées dans le chapitre B-I-5 du présent compte rendu.

B/ Les sections efficaces neutroniques du ^{232}Th , en particulier les résonances intermédiaires de la section efficace de fission dans le domaine d'énergie incidente $0,3 \text{ MeV} \leq E_n \leq 2,4 \text{ MeV}$ et les distributions angulaires des fragments ont nécessité la prise en compte d'un nombre élevé de voies de fission ainsi qu'un changement des formes de barrières de ces différentes voies. Cette analyse et ses résultats sur les diverses sections efficaces neutroniques de ^{232}Th sont détaillés dans le chapitre B-III-4.

C/ Une évaluation préliminaire des sections efficaces neutroniques de ^{242}Pu dans le domaine d'énergie 10^{-5} eV-20 MeV a fait l'objet de la Communication [2]. Cette évaluation est basée sur une utilisation cohérente des modèles optique et statistique entre 10 keV et 20 MeV prenant en compte les données du ^{240}Pu [3], et complétée comme indiqué au chap. C-I-4. L'utilisation du modèle statistique a été récemment reprise pour tenir compte des 10 premiers niveaux connus de ^{242}Pu [4] complétés par ceux de ^{240}Pu [5].

REFERENCES

- [1] - J. JARY, Ch. LAGRANGE, P. THOMET, *Rapport NEANDC (E) 174 "L", INDC (FR) 9/L (Février 1977), "Coherent optical and statistical model calculations of neutron cross sections for ^{238}U between 1 keV and 20 MeV"*.
- [2] - J. JARY, Ch. LAGRANGE, C. PHILIS, " ^{242}Pu : preliminary evaluation with consideration of ^{240}Pu , and some sensitivity results", *Communication au "Meeting on Nuclear Data for higher Pu and Am isotopes for Reactor Applications", Brookhaven (20-22 Novembre 1978)*.
- [3] - Ch. LAGRANGE, J. JARY, "*Coherent optical and statistical model calculations of neutron cross sections for ^{240}Pu and ^{242}Pu between 10 keV and 20 MeV*", *Rapport NEANDC (E) 198 "L", INDC (FR) 30/L (Juillet 1978)*.
- [4] - Nuclear Data Sheets 21, n° 4 (1977).
- [5] - Nuclear Data Sheets 20, n° 2 (1977).

C-III-3-Analyse théorique par modèle optique en voies couplées des sections efficaces neutroniques des isotopes pairs et impair du tungstène (J.P. DELAROCHE).

Theoretical analysis of the neutron cross sections of even and odd W isotopes in the framework of the coupled channel optical model.

The parameterization of the deformed optical potential previously determined has been used for calculating the neutron cross sections of $^{182},^{183},^{184},^{186}\text{W}$ isotopes and natural W. The results obtained from coherent optical and statistical model calculations are shown to be in good agreement with the experimental data, in particular capture cross sections and inelastic excitation functions.

L'étude des sections efficaces neutroniques relatives aux isotopes $^{182},^{183},^{184},^{186}\text{W}$ et à l'élément W s'est développée dans le cadre de l'utilisation d'un potentiel optique déformé. Après avoir débuté par l'analyse des distributions angulaires de diffusions élastique et inélastiques mesurées à 3,4 MeV [1] dans ce laboratoire, elle s'est poursuivie aux énergies inférieures à 10 MeV par l'analyse des sections efficaces de capture radiative $\sigma(n,\gamma)$, des fonctions d'excitation de diffusions inélastiques relatives aux isotopes séparés, et par l'analyse des distributions angulaires relatives à $^{\text{nat}}\text{W}$ mesurées par KINNEY et PEREY [2].

Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

- 1°) les paramètres du modèle optique en voies couplées [1] permettent de calculer des coefficients de transmission qui amènent à des prédictions raisonnables pour les diverses sections efficaces de capture radiative (cf fig. 1 et 2 pour ^{186}W et $^{\text{nat}}\text{W}$) et de diffusions inélastiques (cf fig. 3 pour ^{182}W).
- 2°) l'analyse des fonctions d'excitation relatives à la diffusion inélastique a permis de préciser certaines valeurs des spins et parités d'états excités de ^{186}W .

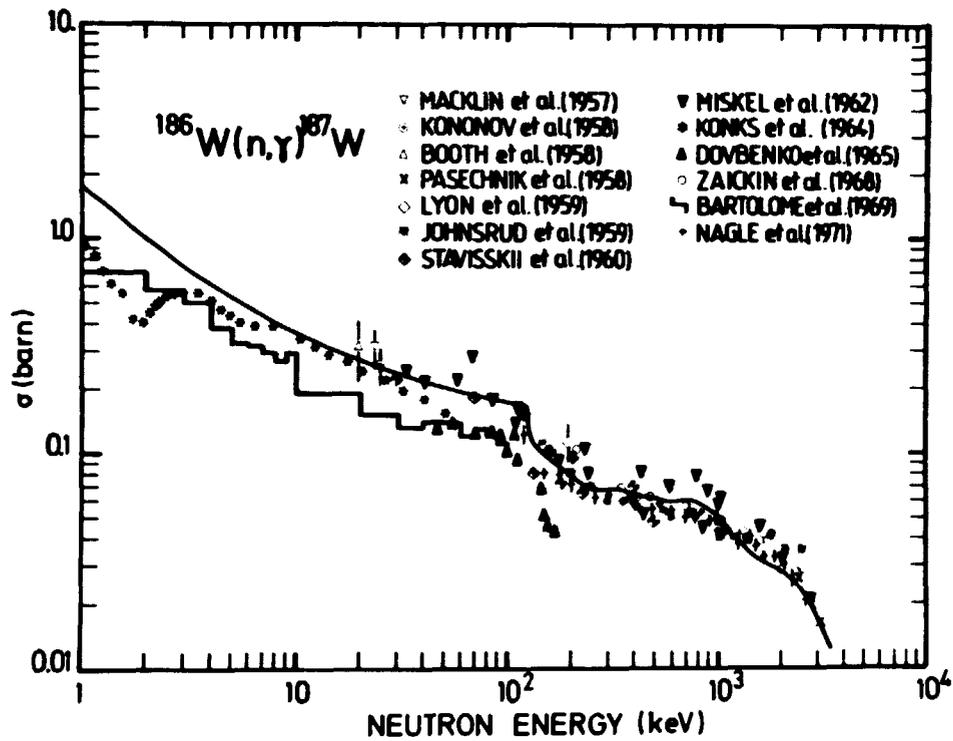
3°) l'état 6^+ de la bande de rotation construite sur l'état fondamental des isotopes pairs est faiblement excité. Si l'interaction directe des neutrons avec l'état 2^+ , tête de la bande de vibration γ , existe, elle n'est pas très importante.

4°) les distributions angulaires relatives à ^{nat}W et mesurées par KINNEY et PEREY [2] à 8,56 MeV, 7,54 MeV et 6,44 MeV sont bien reproduites par le modèle optique en voies couplées adopté [1]. Il existe un léger désaccord aux énergies 4,92 MeV et 4,34 MeV dont l'origine n'est pas encore élucidée.

En résumé, le potentiel optique en voies couplées qui a été déterminé [1] par ajustement sur un petit nombre choisi de résultats expérimentaux permet de rendre compte de façon cohérente de l'ensemble des données disponibles à l'heure actuelle.

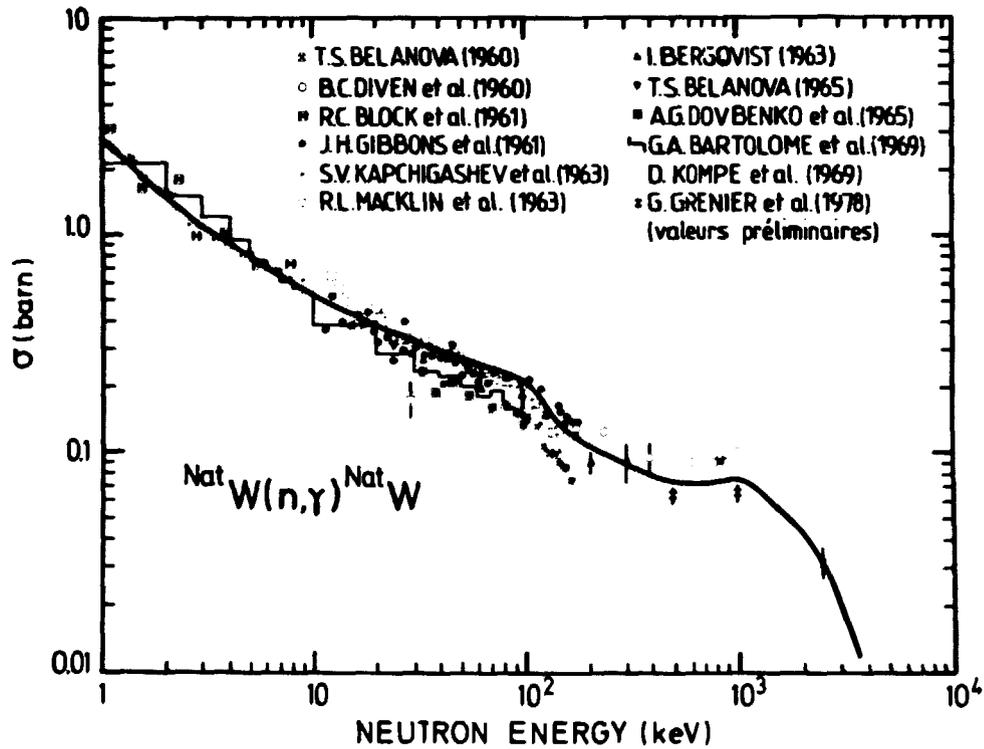
REFERENCES

- [1] - J.P. DELAROCHE et al., *Nat. Sov. Conf. on Neutron Physics, Kiev (1977)*.
- J.P. DELAROCHE, 7th *Symp. on Fast Nucleon Interactions with Nuclei, Gaussig (1977)*.
- Note CEA-N-2037 (1978).
- [2] - W.E. KINNEY, F.G. PEREY, *ORNL-4803 (1973)*.



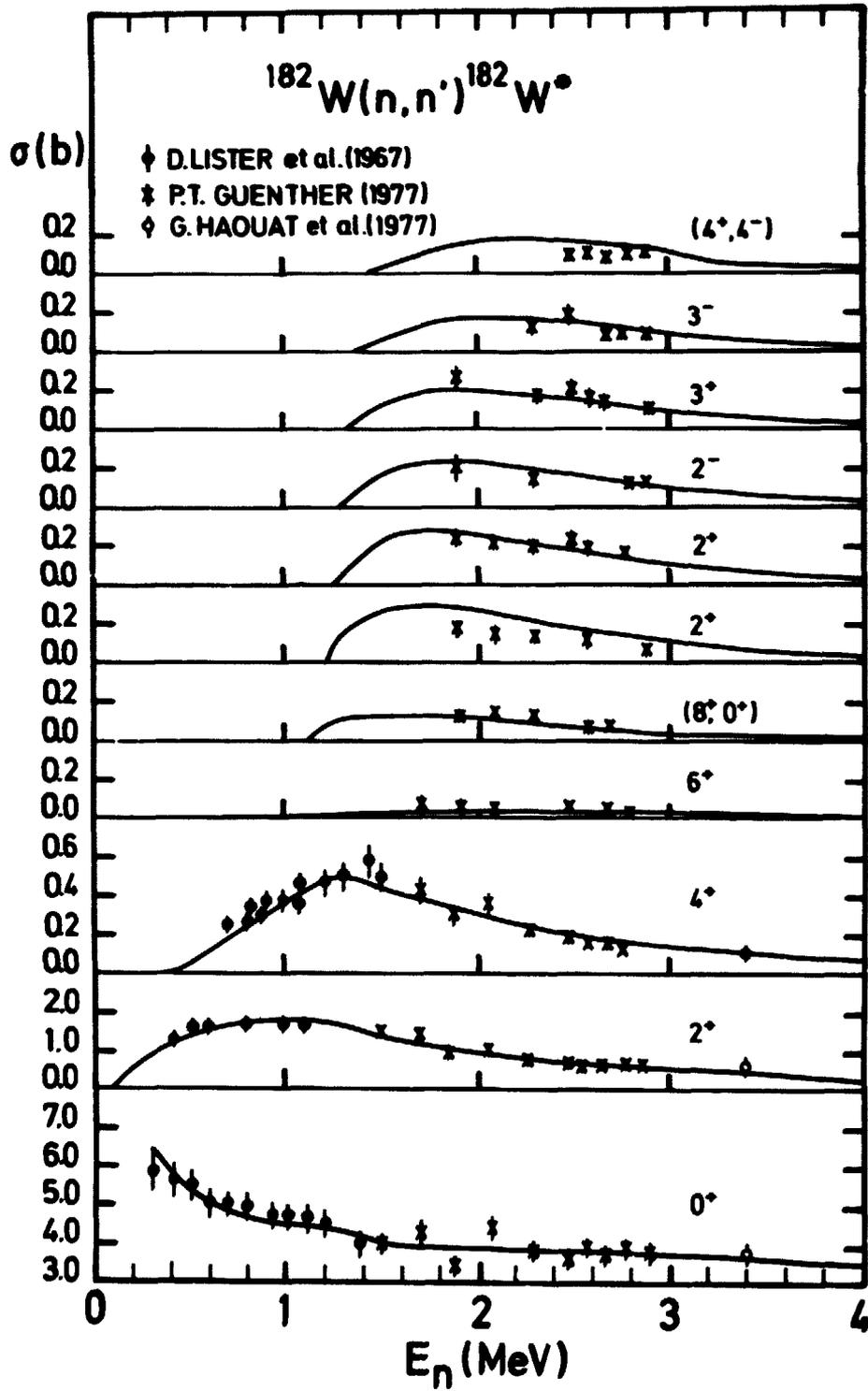
C-III-3-FIGURE 1

*Section efficace de capture radiative de ^{186}W :
comparaison théorie-expérience.*



C-III-3-FIGURE 2

*Section efficace de capture radiative du W naturel :
comparaison théorie-expérience.*



C-III-3-FIGURE 3

Sections efficaces inélastiques partielles des réactions sur ^{182}W : comparaison théorie-expérience.

C-III-4-calculs des sections efficaces neutroniques pour les isotopes du gadolinium (Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE).

Calculations of neutron cross sections of Gd isotopes.

Coherent optical and statistical model calculations are being done for evaluating the neutron cross sections of odd and even Gd isotopes within the neutron energy range 10 keV-20 MeV. Results are given in Chap. B-I-3.

Des calculs par modèle optique et statistique sont actuellement en cours pour déterminer un ensemble physiquement cohérent de sections efficaces neutroniques des isotopes pairs et impairs du gadolinium entre 10 keV et 20 MeV. La détermination des paramètres est principalement basée sur la diffusion élastique et inélastique de neutrons aux énergies de 2,5 MeV et 4,08 MeV, sur les fonctions densité et rayon de diffusion à basse énergie, ainsi que sur la section efficace totale de l'élément naturel. La comparaison entre les données expérimentales de diffusion et les calculs théoriques est présentée au Chap. B-I-3 et a fait l'objet d'une communication [1].

REFERENCE

- [1] - G. HAOUAT, J.P. DELAROCHE, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD, R.E. SHAMU, M.T. McELLISTREM, *Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors and Other Applied Purposes, Harwell UK (25-29 Sept. 1978).*

C-III-5-Etudes sur la paramétrisation du modèle optique pour le calcul de données nucléaires (Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE).

Studies on the optical model parameterization in view of calculating nuclear data.

Global parameters of the optical potential have been gathered (A) for 25 nuclei within the mass region $A = 89$ to $A = 240$. Volume integrals per nucleon and mean square radii of the real and imaginary parts have been deduced from our SPRT type parameterization and compared to theoretical results from the J.L.M. model. In view to evaluating nuclear data above 10 MeV, the competition between volume and surface absorptions has been studied (B) by using phenomenological optical potentials. Results are given for the target ^{208}Pb . Finally, the use of the theoretical model J.L.M. for generating optical potentials from Hartree-Fock-Bogoluybov nuclear densities has been tested (C) within the energy range 10 keV-100 MeV for the targets ^{208}Pb and ^{93}Nb .

A - Paramètres globaux du potentiel optique dans le domaine de masses $A = 89$ à 242 .

L'analyse phénoménologique par modèle optique d'un grand nombre de données neutroniques concernant quelque vingt cinq noyaux dans la région de masse $A = 89$ à $A = 240$ nous a permis de déterminer un ensemble cohérent de paramètres globaux dans un grand intervalle d'énergie (10 keV - 30 MeV) [1]. Ces derniers concernent les intégrales de volume par nucléon et les rayons quadratiques moyens des parties réelle et imaginaire du potentiel optique.

Dans les études phénoménologiques habituelles, les paramètres globaux étaient déduits essentiellement à partir de potentiels choisis à la suite d'ajustements sur les données expérimentales de diffusion élastique disponibles à une ou plusieurs énergies. Par contre dans nos études les différents potentiels ont été choisis de manière à reproduire l'ensemble des données expérimentales suivantes : fonctions densité d'ondes "s" et "p" et rayon de diffusion à basse énergie, section efficace totale dans un grand domaine d'énergie et données expérimentales de diffusion élastique et inélastiques à une ou plusieurs énergies. Ces études ont été effectuées

pour des noyaux dont la forme d'équilibre peut être considérée comme sphérique ou quasi sphérique : ^{89}Y , ^{93}Nb , $^{92,94,96,98,100}\text{Mo}$, $^{142,144,146,148}\text{Nd}$, $^{148,150}\text{Sm}$, ^{197}Au , $^{206,208}\text{Pb}$ et pour des noyaux dont la forme d'équilibre a une déformation permanente : $^{152,154}\text{Sm}$, $^{182,184,186}\text{W}$, ^{232}Th , ^{238}U , ^{240}Pu . De plus nous avons employé le formalisme du modèle optique en voies couplées pour les isotopes du samarium, du tungstène et pour ^{232}Th , ^{238}U et ^{240}Pu .

Les paramètres globaux ainsi obtenus ont été comparés, aux énergies 9 MeV et 11 MeV, aux résultats de calculs théoriques fondamentaux [2,3,4] qui nous ont été communiqués par A. LEJEUNE.

La comparaison des paramètres globaux du potentiel réel montre, cf fig. 1, pour l'intégrale de volume un bon accord dans toute la région de masse. Par contre, en ce qui concerne le rayon quadratique moyen, l'accord n'est bon que dans la région de masse $A = 89$ à $A = 100$. La comparaison des paramètres globaux du potentiel imaginaire est plus délicate. En effet les calculs théoriques [2,3,4] indiquent une absorption de volume et de surface alors que les calculs phénoménologiques ont été effectués avec de l'absorption de surface seulement.

En ce qui concerne les noyaux déformés, MACKINTOSH [5] a montré que la comparaison des différents moments normalisés du potentiel était préférable à la comparaison des paramètres de déformation (β_2 , β_4). Ces moments sont définis comme :

$$q_{\lambda 0} = Z \int V(r, \theta) r^\lambda Y_\lambda^0(\theta) \vec{dr} / \int V(r, \theta) \vec{dr}$$

Les moments des potentiels obtenus sont en bon accord avec les moments issus des données d'excitation coulombienne, de diffusion d'électrons et de protons, ainsi qu'avec les moments issus de calculs théoriques Hartree-Fock-Bogolyubov de D. GIROD.

B - Etude par modèle phénoménologique de la compétition entre les absorptions de surface et de volume

Les données expérimentales de diffusion élastique et inélastique de neutrons par les noyaux sont rares dans le domaine d'énergie 10 MeV-40 MeV. En conséquence les évaluations se basent essentiellement sur les prédictions de données obtenues par modèle optique phénoménologique. Dans ce domaine d'énergie l'utilisation

du modèle requiert une connaissance suffisante des différents paramètres et en particulier de l'absorption de volume aussi bien que de surface. Dans ce but une étude des sections efficaces neutroniques pour le ^{208}Pb a été entreprise. Un jeu unique de paramètres a été déterminé suivant la méthode SPRT par un ajustement portant en particulier sur la section efficace totale et les sections efficaces de diffusion élastique et inélastique [6,7]. L'ajustement sur la section efficace totale du ^{208}Pb et du $^{\text{nat}}\text{Pb}$ est montré sur les figures 2 et 3 respectivement. La détermination correspondante des paramètres a été grandement facilitée par l'utilisation de la procédure de recherche de paramètres du programme de modèle optique sphérique SOMC2 [8], (cf aussi Chap. C-II-4).

C - Etudes sur l'utilisation de potentiels optiques théoriques associés à des densités calculées par la méthode Hartree-Fock-Bogolyubov (HFB).

Récemment J.P. JEUKENNE, A. LEJEUNE et J. MAHAUX [2] ont proposé de construire le potentiel optique à partir des données des densités neutron et proton du noyau cible. Dans ce modèle J.L.M., les différentes composantes du potentiel optique ont été paramétrisées dans le domaine d'énergie 10 MeV-160 MeV. L'utilisation de ce modèle (equ. A-1, réf.[2]) avec l'adjonction d'un potentiel spin orbite du type :

$$V_{SO} \frac{1}{r} \frac{d\rho}{dr} \cdot \vec{l} \cdot \vec{\sigma}$$

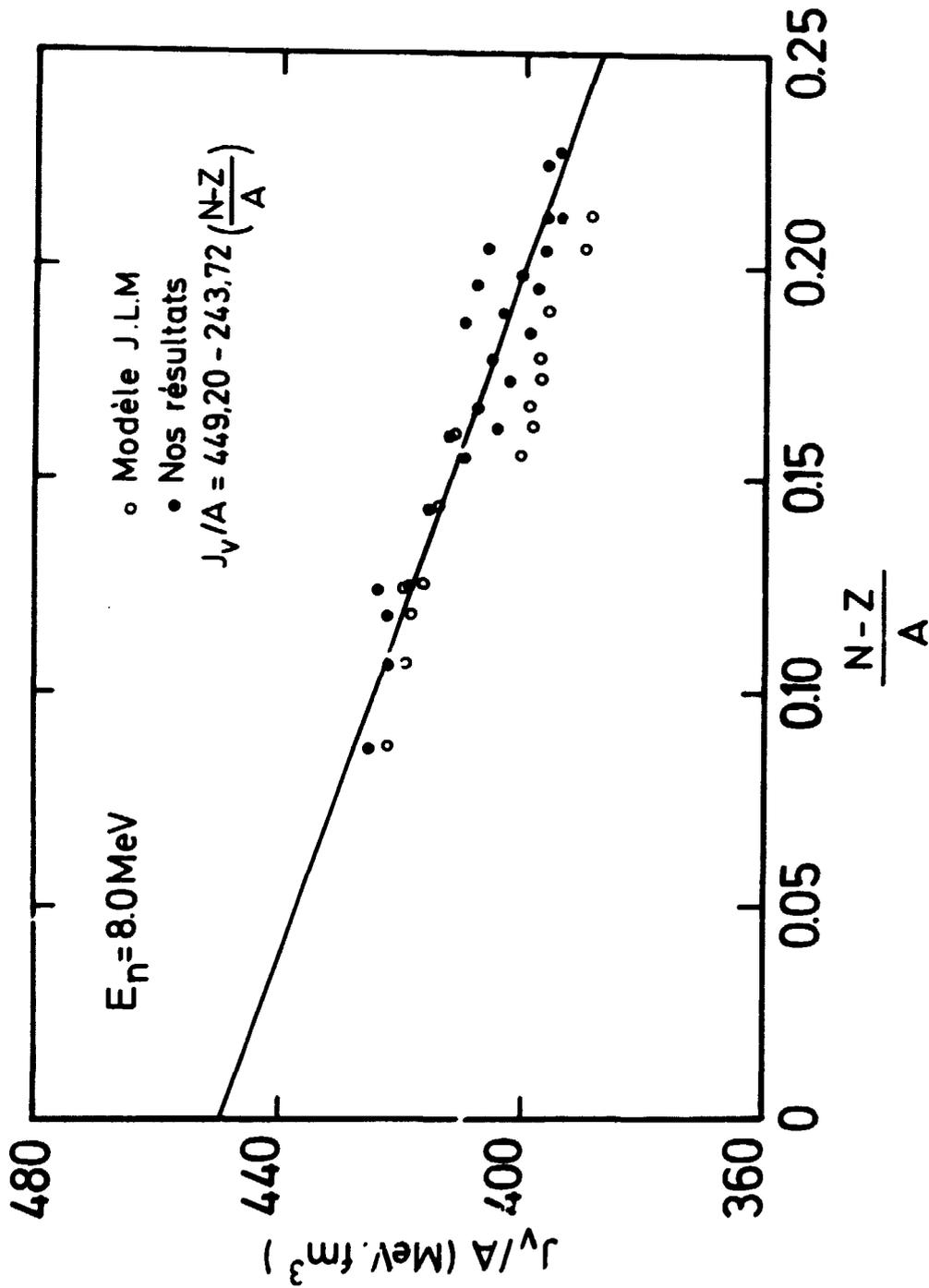
a été étudiée en vue de la prédiction de données par modèle optique. En effet une fois connues les densités ρ des nucléons, ce modèle nécessite la détermination de 5 paramètres, à savoir : 2 portées, et 3 "intensités" (potentiels réel et imaginaire et spin orbite), au lieu de 9 paramètres au minimum pour le modèle conventionnel. De plus on pouvait espérer que les valeurs des différentes portées seraient indépendantes du noyau cible considéré.

Les densités H.F.B. pouvant être fournies par le groupe de Physique Nucléaire Théorique (cf Chap. C-IV) et grâce aux formules analytiques pour la convolution avec une gaussienne de la densité du noyau cible mises au point par Melle DUFOUR, un programme de modèle optique adapté (SOMC4) a été élaboré. Ce programme utilise de plus la procédure de recherche de paramètres mise au point par R. FERRIER (cf Chap. C-II-4).

L'exploitation de ce modèle a été entreprise pour le ^{208}Pb et le ^{93}Nb dans le domaine d'énergie 10 keV-100 MeV. La figure 4 montre un exemple des résultats obtenus sur la diffusion élastique des neutrons d'énergie comprise entre 7,5 MeV et 13,5 MeV sur ^{208}Pb . Ces résultats sont à comparer avec ceux obtenus à partir d'un potentiel optique conventionnel (cf Réf [9], B-I-3, fig. 1b). Nous avons constaté que l'extrapolation à basse énergie $E_n \leq 5$ MeV de ce processus de paramétrisation pose des problèmes probablement liés à la non prise en compte des excitations collectives de la cible (cf Chap. C-III-10).

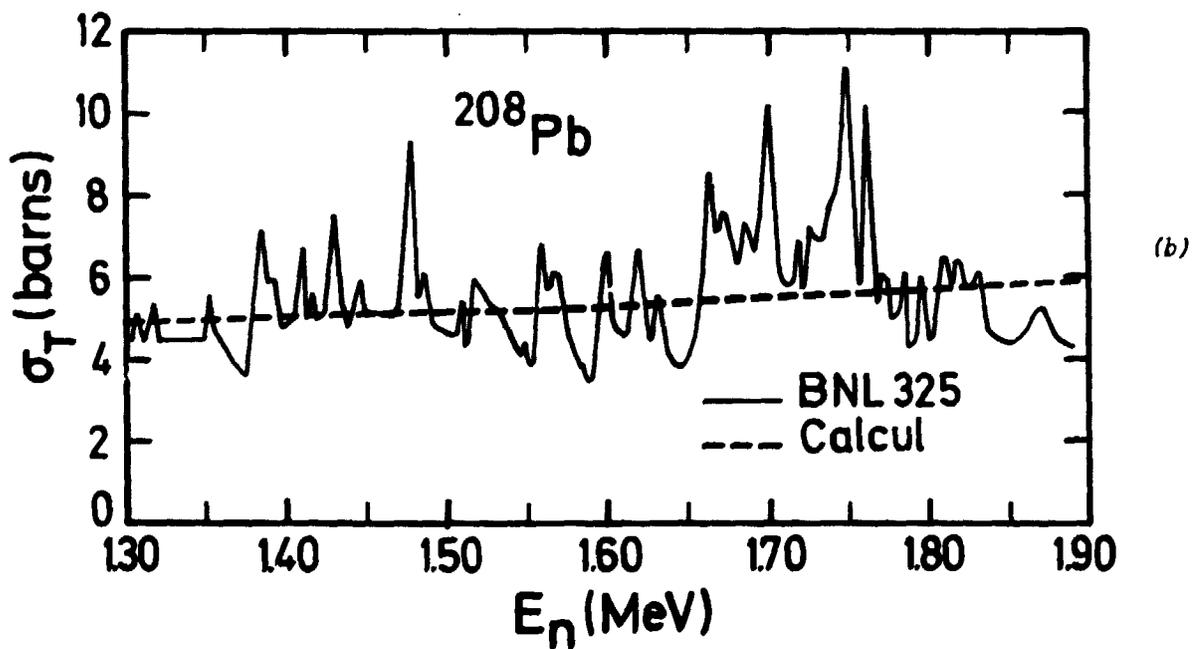
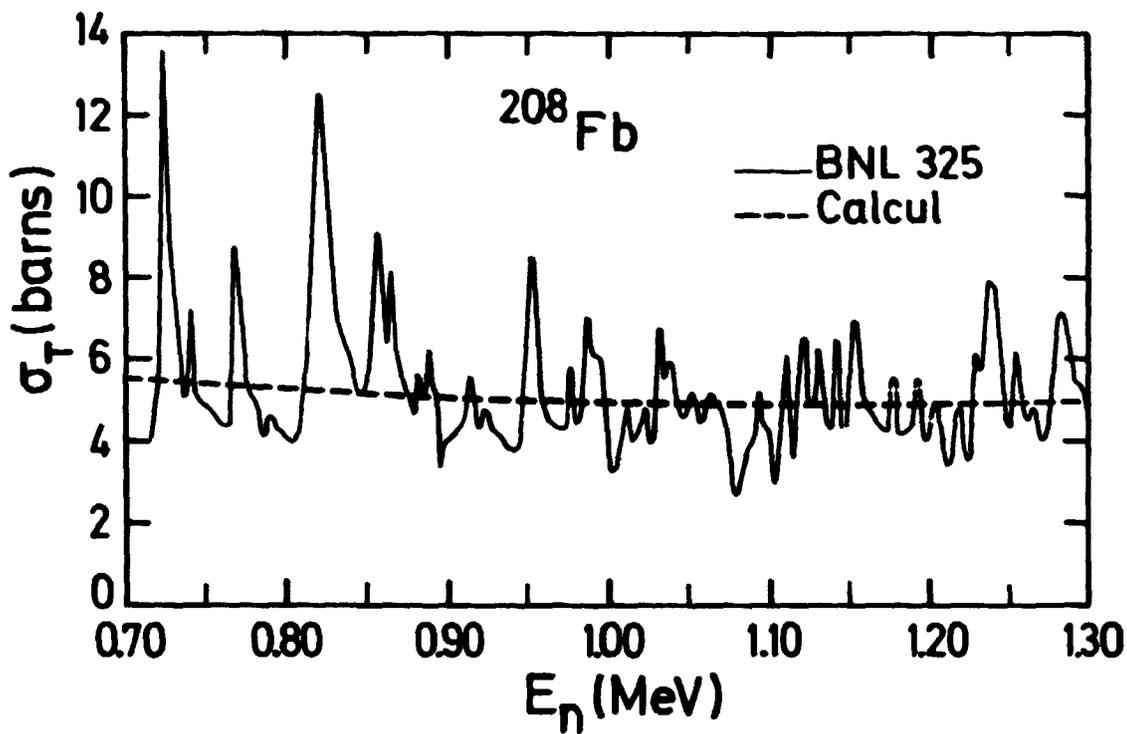
REFERENCES

- [1] - Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE, *Int. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors and Other Applied Purposes, Harwell UK (25-29 Sept. 1978)*.
- [2] - J.P. JEUKENNE, A. LEJEUNE, C. MAHAUX, *Phys. Rev. C16 (1977) 80*.
- [3] - A. LEJEUNE, P.E. HODGSON, *Nucl. Phys. A295 (1978) 301*.
- [4] - A. LEJEUNE, *communication privée (1978)*.
- [5] - R.S. MACKINTOSH, *Nucl. Phys. A226 (1976) p. 379*.
- [6] - G. HAOUAT et al., *Note CEA-N-2037 (1978) p. 32*.
- [7] - T. CHEFMA, *Ph. D. Thesis, Ohio University (1976)*.
- [8] - R. PERRIER, Ch. LAGRANGE, "SOMC2" - "Spherical optical model calculations, version 2", à paraître.
- [9] - Note CEA-N-2037 (Juin 1978) : compte rendu d'activité du Service de Physique Nucléaire pour l'année 1977.



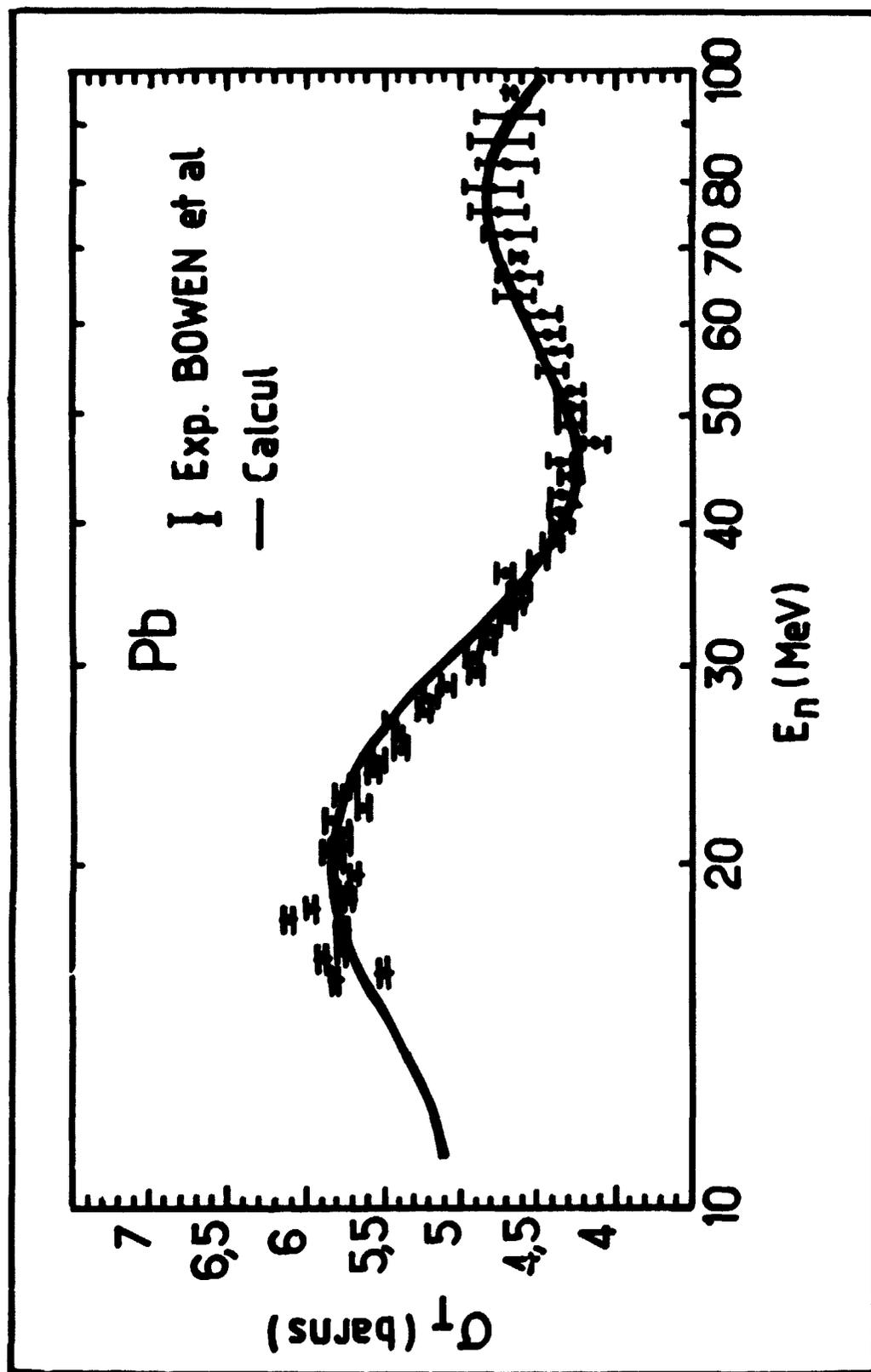
C-III-5-FIGURE 1

Comparaison entre les intégrales de volume par nucléon de nos potentiels optiques et celles déduites du modèle J.L.M. dans un large domaine de masses nucléaires.



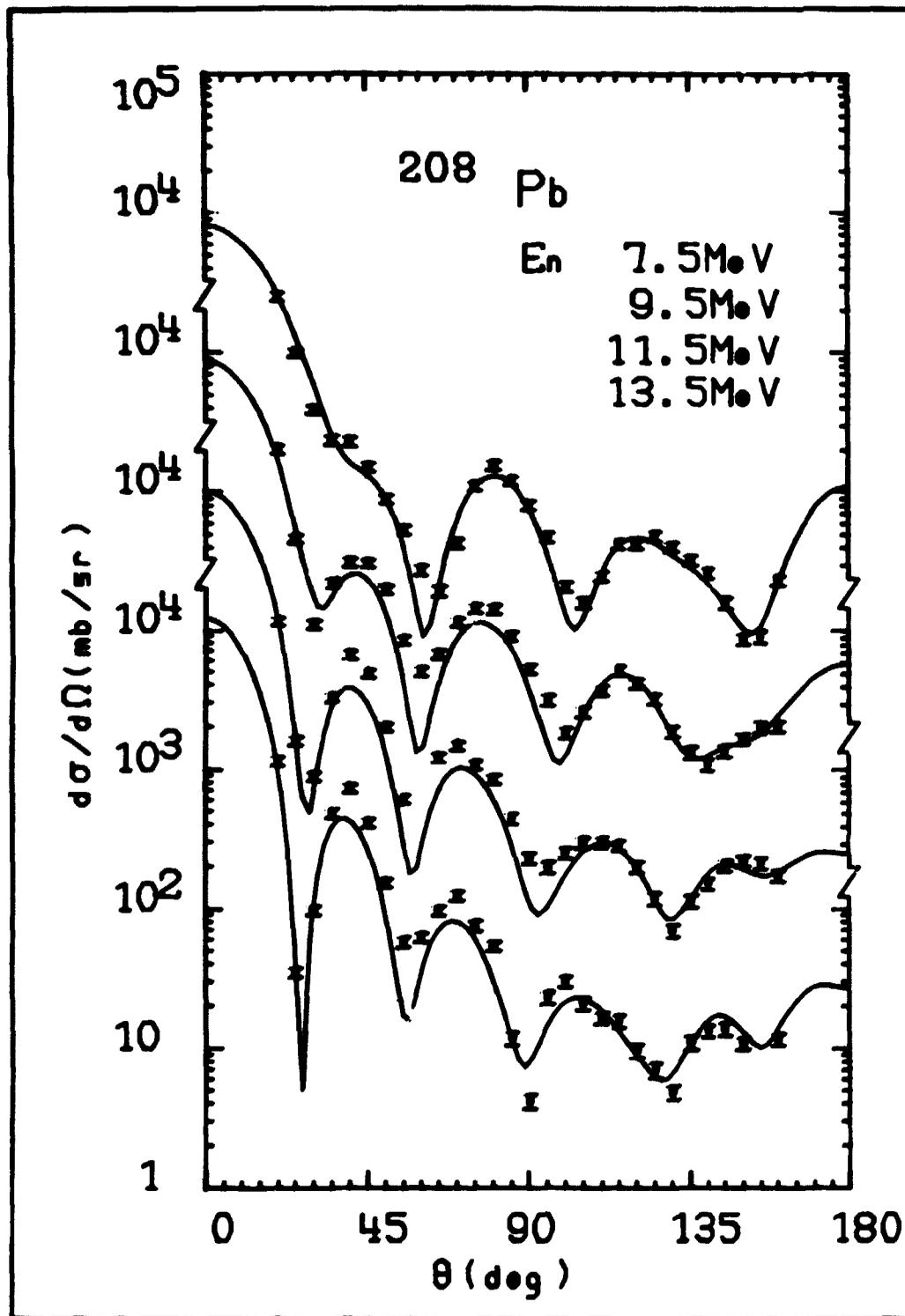
C-III-5-FIGURE 2

Paramétrisation du potentiel optique neutron-²⁰⁸Pb :
comparaison entre les sections efficaces calculées
et expérimentales à basse énergie.



C-III-5-FIGURE 3

Paramétrisation du potentiel optique neutron-plomb : comparaison entre les sections efficaces totales calculée et expérimentale du Pb naturel au dessus de 10 MeV.



C-III-5-FIGURE 4

Distributions angulaires de diffusion élastique de neutrons sur ^{208}Pb : comparaison théorie-expérience (cf texte).

C-III-6-Facteur de forme du potentiel optique isoscalaire ; cas du noyau lourd ^{197}Au (J.P. DELAROCHE).

Isoscalar optical potential form factor ; case of the heavy nucleus ^{197}Au .

The optical potential previously determined for interpreting a set of neutron- ^{197}Au interactions has been tested in view of predicting (p,n) charge exchange angular distributions. It is shown that the isoscalar form factor can be improved for obtaining a good agreement with the (p,n) data while saving the quality of the other predictions.

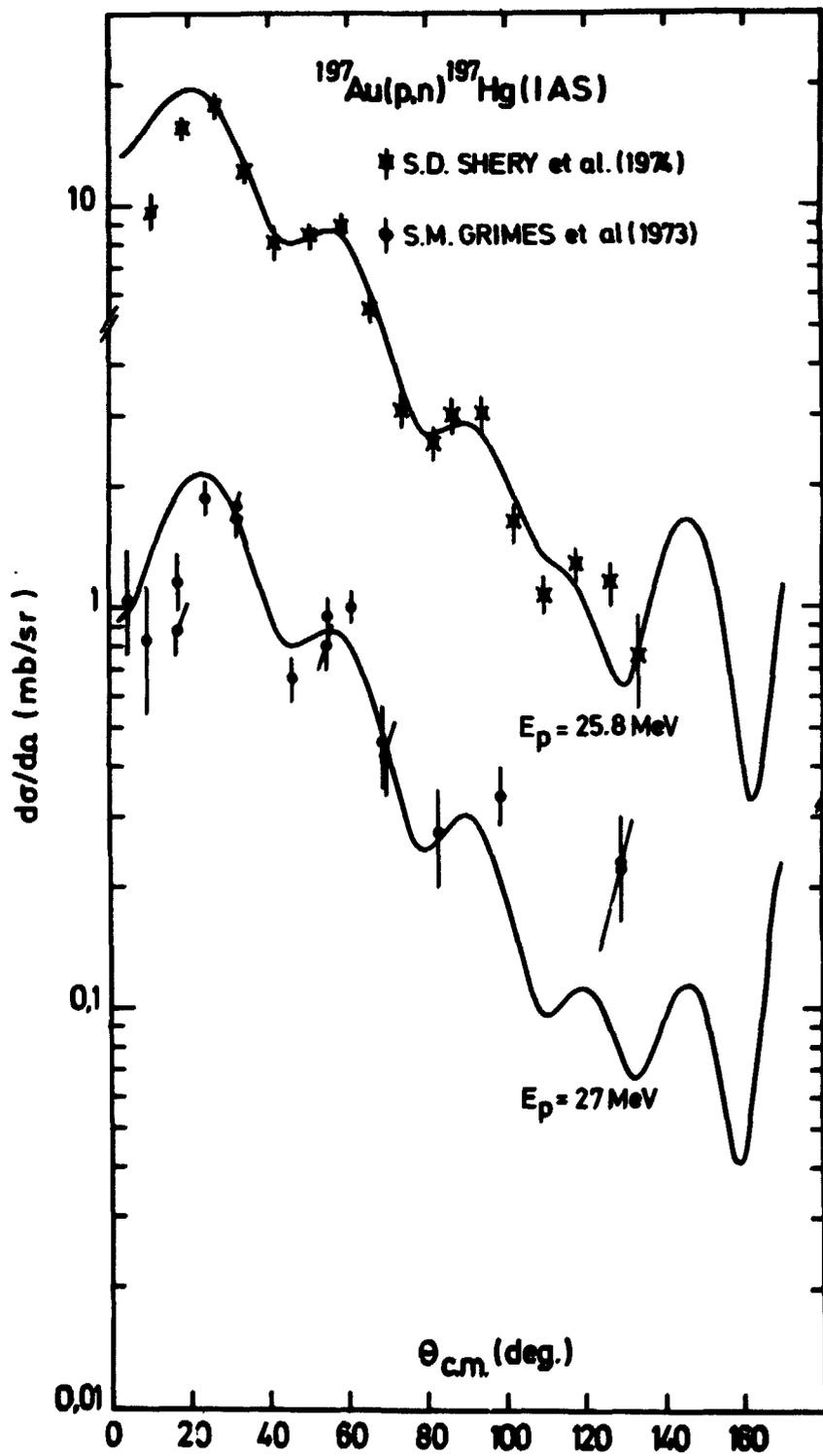
L'étude des nombreuses sections efficaces de diffusion de neutrons et protons sur l'or dans la gamme d'énergie 10 keV-57 MeV a permis de déterminer de façon satisfaisante [1,2] le potentiel optique nucléon- ^{197}Au . Cette étude a également permis de montrer que ce noyau se comportait dans la diffusion des nucléons comme un rotor associé à une forme légèrement aplatie. Cette propriété s'accorde assez bien avec les travaux récents [3] effectués à ORSAY sur plusieurs isotopes impairs de l'or.

Malgré son succès, le potentiel optique tel qu'il est donné en réf. [1,2] ne permet pas de rendre compte de façon satisfaisante des structures observées dans les distributions angulaires des sections efficaces d'échange de charge (p,n) mesurées à 25,80 MeV [4] et 27 MeV [5]. Il est possible d'améliorer sensiblement la forme des distributions angulaires calculées correspondantes, tout en conservant la qualité des ajustements obtenus précédemment sur les autres sections efficaces, grâce à un changement des paramètres des facteurs de forme réel et imaginaire du potentiel d'isospin $U_1(r)$. Le résultat de cette étude est présenté en fig. 1. Bien que l'accord théorie-expérience soit maintenant assez satisfaisant, on pourrait améliorer ces résultats par l'introduction d'une contribution de surface dans la partie réelle du terme de symétrie.

En résumé, le modèle de LANE permet de rendre compte des sections efficaces d'échange de charge (p,n) pour les noyaux lourds comme ^{197}Au à condition de choisir pour le potentiel $U_1(r)$ des facteurs de forme différents de ceux du potentiel scalaire $U_0(r)$. De plus, la partie réelle du potentiel $U_1(r)$ doit être décrite par un facteur de forme qui n'est pas purement de volume.

REFERENCES

- [1] - J.P. DELAROCHE, *Contrib. "VII^{ème} Int. Symp. on the Interactions of fast Neutrons with nuclei", Gausig (1977).*
- [2] - J.P. DELAROCHE, *Contrib. à la "Conférence Intern. sur la Physique Neutronique et Les Données Nucléaires pour Les Réacteurs et Autres applications", Harwell (G.B.) (25-29 Sept. 1978).*
- [3] - Ch. VIEU et al., *J. Phys. G, 4 (1978) 531.*
- [4] - S.G. SCHERY et al., *Nucl. Phys. A234 (1974) 109.*
- [5] - S.M. GRIMES et al., *Phys. Rev. Lett. 30 (1973) 992.*



C-III-6-FIGURE 1

Distributions angulaires d'échange de charge $^{197}\text{Au}(p,n)$:
comparaison théorie-expérience.

C-III-7-Etudes sur l'utilisation du formalisme de calcul des sections efficaces par modèle statistique (Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE, P. BRETON).

Studies on the use of the statistical model formalism for calculating cross sections.

Various approximations were compared in using the statistical model formalism to calculate inelastic scattering from discrete and continuum levels. Applications have been made for the targets ^{93}Nb and some Sm and Nd isotopes.

L'étude entreprise en réf. [1] pour le calcul des sections efficaces par modèle statistique a été étendue au domaine d'énergie pour lequel les diffusions conduisent à la fois vers un ensemble discret et vers un continuum de niveaux finaux. Différentes approximations ont été comparées, en particulier celle proposée par G. REFFO [2].

Pour des raions de continuité, dans le calcul du nombre de degrés de liberté effectif ν , avec le cas où seuls des niveaux discrets finaux sont à considérer, nous avons adopté la méthode pratique de la réf. [3] en associant aux niveaux du continuum des pénétrabilités effectives données par la relation :

$$\bar{T}_{l,j,I,\pi} = \int_{E_X}^{E_{CM}} \rho^{I\pi}(E') T_{l,j,I,\pi}(E_{CM} - E') dE'$$

Le nombre de voies représentées par les pénétrabilités effectives a été dûment pris en compte pour le calcul de ν .

Le formalisme ainsi complété a été introduit dans le code HELMAG [4] et appliqué au calcul des sections efficaces neutroniques du ^{93}Nb [5] dans le domaine d'énergie 5 keV-5 MeV. On constate une amélioration des sections efficaces de diffusions inélastiques calculées (n,n') au voisinage de leurs maximums respectifs, ainsi qu'un bon accord théorie-expérience à plus haute énergie. Ce même formalisme a été aussi utilisé pour le calcul des sections efficaces de diffusion élastique et inélastiques de neutrons par les isotopes pairs du samarium et du néodyme à une énergie de 4,08 MeV. On peut en effet considérer qu'à cette énergie

l'interférence interaction directe-noyau composé devient négligeable, étant donné le grand nombre de voies ouvertes.

REFERENCES

- [1] - Ch. LAGRANGE, *contribution au "Specialists Meeting on Neutron Data of Structural Materials" Geel (Belgique) 5-8 Décembre 1977;*
- J.P. DELAROCHE, Ch. LAGRANGE, *Note CEA-N-1969 (1977), p. 130.*
- [2] - G. REFFO, F. FABBRI, *Nucl. Sc. Eng. 66, 2 (1978) 251.*
- [3] - H.F. HOFMANN, J. RICHERT, J.W. TEPEL et H.A. WEIDENMÜLLER, *Ann. Phys. 90 403 (1975).*
- [4] - Ch. LAGRANGE, B. DUCHEMIN, *non publié.*
- [5] - Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE, P. BRETON, *Note Interne PN-1014/78 (1978).*

C-III-8-Effets des déformations non-axiales sur la diffusion des neutrons par $^{76,78}\text{Se}$ et ^{196}Pt (J.P. DELAROCHE).

Effects of non axial deformations on the neutron scattering from $^{76,78}\text{Se}$ and ^{196}Pt .

The role of non axial deformations in the neutron interactions has been investigated in the framework of the coupled channel optical model. Some results are given for the interpretation of the backward angle inelastic scattering from $^{76,78}\text{Se}$ and the low energy total cross section of ^{196}Pt .

L'étude théorique des déformations nucléaires dans lesquelles la symétrie axiale des noyaux n'est pas imposée a progressé ces dernières années. Ces travaux consacrés aux mouvements de grande amplitude de la surface nucléaire peuvent être classés en deux catégories. Dans la première, il est généralement admis que les noyaux ont une très grande rigidité : ces études sont basées sur le modèle déjà ancien du rotor triaxial (modèle de Davydov et Filippov [1]). Dans la seconde les distributions de déformations sont déterminées en même temps que les valeurs propres du hamiltonien de BOHR [2,3]. Ces deux approches, apparemment contradictoires, permettent de décrire de façon plus réaliste les fonctions d'ondes collectives de certains noyaux et d'améliorer ainsi la spectroscopie des états nucléaires à basse énergie d'excitation.

Jusqu'à ce jour, seul le modèle du rotor triaxial rigide a été utilisé dans quelques interprétations de mesures de diffusion élastique et inélastique de particules (protons et particules α). Nous l'avons étendu au cas des neutrons.

Nos travaux ont consisté principalement à réinterpréter les mesures de diffusion élastique et inélastique de neutrons de 8 MeV par $^{76,78,80,82}\text{Se}$ effectuées dans le laboratoire : le modèle vibrationnel ne permettait pas de rendre compte de façon satisfaisante de la section efficace de diffusion inélastique aux grands angles par le premier état excité de spin et parité 2^+ des isotopes $^{76,78,80}\text{Se}$. Divers arguments (séquences de niveaux, probabilités de transitions réduites $B(E2)$) permettent de penser que l'utilisation du modèle de DAVYDOV et

FILIPPOV est justifiée. Il a été trouvé que ce modèle pouvait convenir à la description des états excités de $^{76,78}\text{Se}$, ce qui n'est pas le cas pour ^{80}Se . Les calculs en voies couplées utilisant les fonctions d'ondes de ce modèle ont confirmé ces résultats puisqu'ils ont permis de bien rendre compte aux angles arrière des sections efficaces de diffusion inélastique des neutrons par ces deux isotopes.

A l'issue de cette étude, il apparaît que le modèle de DAVYDOV et FILIPPOV est mieux adapté que le modèle vibrationnel pour décrire les fonctions d'ondes des isotopes $^{76,78}\text{Se}$. La figure 1 montre le cas de ^{76}Se . On pourrait commenter ces résultats en disant que les isotopes 76,78,80,82 du sélénium sont situés dans une région de transition allant de noyaux triaxiaux ($^{76,78}\text{Se}$) à des noyaux sphériques (^{82}Se), l'isotope ^{80}Se occupant une position intermédiaire.

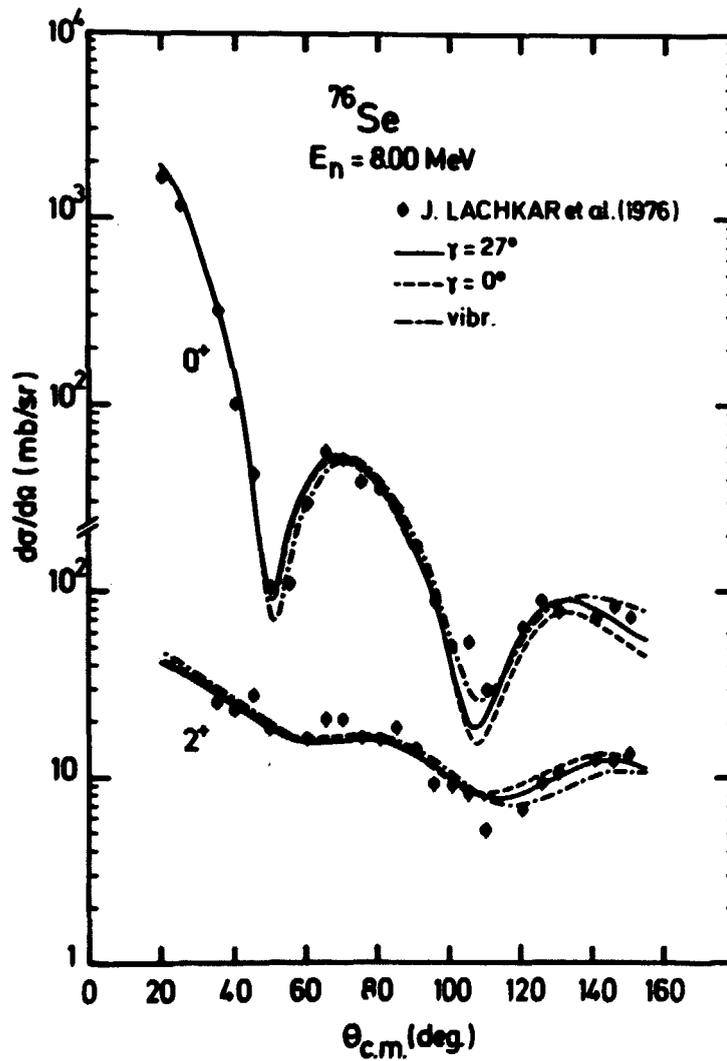
Des études récentes de spectroscopie ont montré que les isotopes pairs du platine se comportaient comme des rotors triaxiaux rigides. Bien que ne disposant pas de mesure sur les isotopes séparés, des calculs de sections efficaces totales σ_T ont été entrepris dans la gamme d'énergie 10 keV-2 MeV où les effets de déformation sont connus pour être très importants [4] et où par conséquent l'effet "axial-non axial" risque d'être le plus sensible. La prise en compte de la triaxialité amène une modification considérable des valeurs de σ_T aux énergies inférieures à quelques dizaines de keV (à 10 keV, par exemple, l'effet est de l'ordre de 60%) et une modification plus faible (quelques pour cent) au-delà de 300 keV environ (cf. figure 2).

Ces deux exemples montrent que la non axialité des noyaux peut jouer un rôle non négligeable dans la diffusion des neutrons [5].

REFERENCES

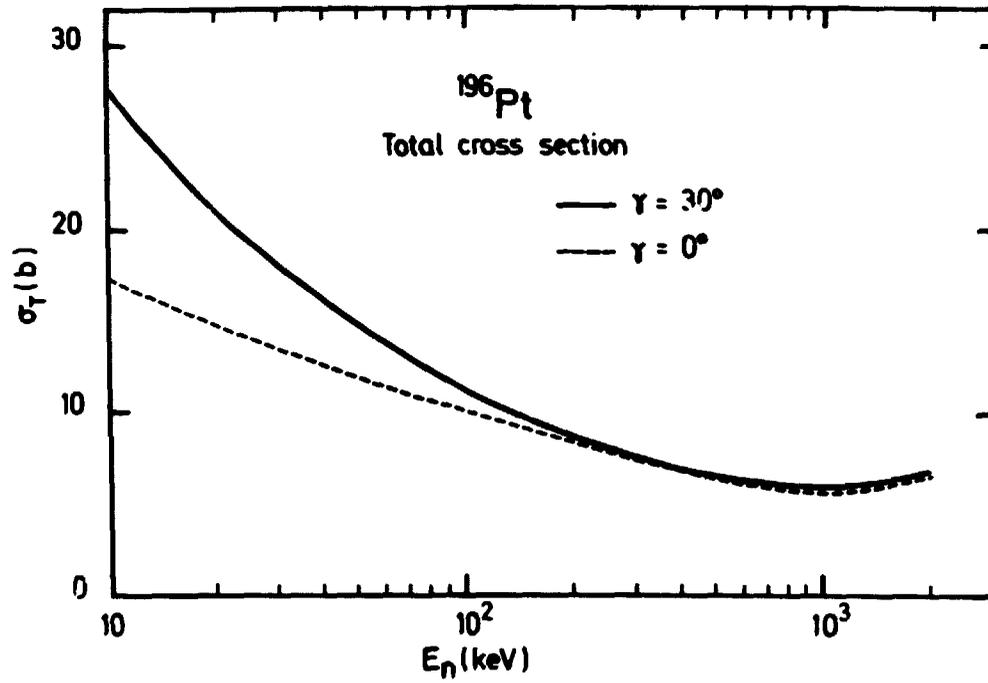
- [1] - A.S. DAVYDOV, G.F. FILIPPOV, "Rotational states in even atomic nuclei", *Nucl. Phys.*, Vol. 8, p. 327-249 (1958).
- [2] - A. BOHR, "The coupling of nuclear surface oscillations to the motion of individual nucleons", *Dan. Mat. Fys. Medd.*, Vol. 26, n° 14 (1952).

- [3] - K. KUMAR, "Collective and microscopic model predictions of electromagnetic moments", dans "The electromagnetic interaction in nuclear spectroscopy", p. 55, W.D. Hamilton editor, North-Holland/American Elsevier (1975).
- [4] - J.P. DELAROCHE, "Potential optique nucleon-¹⁹⁷Au entre 10 keV et 5? MeV", Communication à la "Conférence Intern. sur la Physique Neutronique et Les Données Nucléaires pour Les Réacteurs et Autres Applications, Harwell (G.B.) (25-29 Sept. 1978).
- [5] - J.P. DELAROCHE, Communication à la "Conférence Inter. sur la Physique Neutronique et Les Données Nucléaires pour Les Réacteurs et Autres applications" Harwell (G.B.) (25-29 Sept. 1978).



C-III-8-FIGURE 1

Comparaison théorie-expérience pour la diffusion inélastique de neutrons de 8 MeV sur ^{76}Se dans diverses hypothèses de déformation non-axiale de ^{76}Se .



C-III-8-FIGURE 2

Section efficace totale de ^{196}Pt calculée avec ou sans déformation non-axiale de la cible.

C-III-9-Mise au point d'un code pour le calcul des sections efficaces et spectres γ de capture radiative des nucléons dans le modèle direct-semi-direct (J.M. DUFOUR).

Carrying out of a code for calculating cross sections and γ -spectra in the direct-semi-direct nucleon radiative capture.

A fortran code has been written and tested in view of calculating the proton or neutron radiative capture cross sections in the framework of the direct-semi-direct model. Various forms of the coupling interaction terms are taken into consideration. In this version the one particle wave functions needed are generated from Woods-Saxon type potentials. The resulting γ -ray spectra are also calculated.

Un code Fortran CAPDQ a été écrit et testé pour le calcul des sections efficaces intégrées de capture radiative de nucléons par un noyau supposé sphérique et de spin nul, suivant le formalisme des modèles direct et semi-direct [1] avec termes d'interférences, et dans une gamme d'énergie entourant la résonance dipolaire géante.

Le programme prend en compte les radiations dipolaires électriques isovecteurs et quadrupolaires isoscalaires et isovecteurs. Diverses interactions de couplage pour l'excitation inélastique des états électriques collectifs de la cible par le nucléon incident sont utilisables : en surface et en volume, réelle ou complexe, suivant les expressions développées par LONGO et SAPORETTI [2] ou POTOKAR [3,4,5].

Pour divers jeux de paramètres entrant dans le facteur de forme dipolaire, le programme permet de sortir les fonctions d'excitation pour la capture de neutrons ou de protons dans des états à une particule non occupés du noyau final. De plus les raies γ émises peuvent être dispersées en énergie suivant une fonction de distribution (gaussienne + exponentielle décroissante) correspondant au pouvoir de résolution en énergie du spectromètre ; un spectre γ final est obtenu.

Dans le code présent, les fonctions d'onde d'états liés à une particule du noyau final, et celles de la diffusion du nucléon incident sur le noyau cible sont construites en résolvant l'équation de SCHROEDINGER par la méthode de NUMEROV [6] avec des potentiels du type Woods-Saxon .

Divers tests ont porté sur les réactions : $^{208}\text{Pb}(n,\gamma)^{209}\text{Pb}$ [2,3] et $^{89}\text{Y}(n,\gamma)^{90}\text{Y}$ [7].

REFERENCES

- [1] - C.F. CLEMENT, A.M. LANE et J.R. ROOK, *Nucl. Phys.* 66, 273 (1965).
- [2] - G. LONGO et F. SAPORETTI, *Il Nuovo Cimento Vol. 56B-N2*, 234 (1968) ;
Nucl. Phys. A199, 530 (1973) ; *Phys. Lett. Vol 65B, N1*, 15 (1976).
- [3] - M. POTOKAR, A. LIKAR, M. BUDNAR et F. CVELBAR, *Nucl. Phys. A277*, 29 (1977).
- [4] - A. LIKAR, F. SEVER, *Nucl. Phys. A295*, 405 (1978).
- [5] - A. LIKAR, F. SEVER, R. MARTINCIC, *Nucl. Phys. A307*, 77 (1978).
- [6] - B.V. NUMEROV, *Monthly Notras Roy. Astron. Soc. 84*, (1924) 592, *Publ. Observ. Astrophys. Central Russie 2* (1923) 188.
- [7] - I. BERGQVIST et al., *Nucl. Phys. A295*, 256 (1978).

C-III-10-Etudes de potentiels optiques généralisés (J.M. DUPOUR, J. SALVY).

Studies on Generalized Optical Potentials.

In view of evaluating scattering nuclear data in the frame of the optical model, matrix methods have been developed (A) to deal with generalized non-local optical potentials. In particular the use of spherical and deformed folding type potentials and spherical Hartree-Fock-Bogolyubov fields has been investigated. An improved calculation of the optical potential for neutron scattering from ^{208}Pb in the intermediate structure model has been carried out (B) and applied exactly for testing the role of the particle-vibration coupling in various nuclear data. Finally the matrix methods for treating deformed and non local folding type potentials have been developed (C) and tested in the case of ^{152}Sm neutron cross sections.

A - L'utilisation des méthodes matricielles pour le traitement pratique de potentiels optiques non locaux a été développée dans la référence [1] pour le cas de noyaux cibles sphériques. D'un point de vue formel, deux types de potentiels ont été examinés en détail : des potentiels du type "folding" non localisables suivant la procédure de PEREY et BUCK, et des potentiels réels non locaux tels qu'ils résultent de calculs Hartree-Fock-Bogolyubov (HFB). Dans ce dernier cas, les seuls paramètres (éventuels) sont ceux de l'interaction effective nucléon-nucléon ajustée sur des données de structures (interaction de portée non nulle, avec dépendances de densité et de spin-orbite, comme l'interaction D1 de GOGNY [2]). Nous avons montré que de tels potentiels non locaux se prêtaient à une construction relativement aisée de leurs éléments de matrice sur une base de N états d'oscillateur harmonique, et que, pour des applications pratiques, N n'excédait pas 10 pour chaque couple de moments angulaires (l_j) et sur une gamme de masses nucléaires très étendue. Une illustration de la convergence obtenue en fonction de N de diverses grandeurs physiques associées à une paramétrisation du type SPRT [3] est donnée dans la figure 1 pour l'interaction neutron- ^{93}Nb . Le potentiel correspondant est du type folding et l'effet du choix du paramètre d'oscillateur β et du rayon R_{max} de la région interne est également indiqué.

Un code [4] a été construit et testé pour le calcul de la diffusion de particules chargées ou non et de spin 0, 1 ou 1/2, sur un potentiel optique non local généré par un folding gaussien sur une densité "carrée". Dans le cas de nucléons incidents, il inclut le calcul des dérivées de toutes les grandeurs calculées, y compris les polarisations, par rapport à tous les paramètres du modèle (y compris l'énergie incidente pour les neutrons). Dans le cas des particules de spin 0 ou 1, les sensibilités de tous les paramètres du potentiel sont calculées sur les coefficients de la matrice de diffusion S.

L'utilisation de champs réels HFB (sans paramètres libres) associés à un potentiel imaginaire phénoménologique, a été testée pour la prévision de diverses grandeurs physiques dans le domaine d'énergie du neutron incident $E_n \lesssim 15$ MeV (fonctions densité, sections efficaces totales et diffusions élastiques différentielles). Les essais effectués sur les cibles ^{208}Pb , ^{93}Nb , ^{90}Zr , ont montré qu'un ajustement unique des seuls paramètres libres associés à la partie imaginaire, prise du type folding non local, était insuffisant pour fournir un accord satisfaisant avec l'expérience, surtout à basse énergie (cf. B). La figure 2 montre l'effet du remplacement de la partie réelle d'un potentiel de folding, paramétrisé suivant la méthode SPRT [3], par le champ HFB sur le calcul de la diffusion élastique neutron- ^{93}Nb à 8,03 MeV. Les données expérimentales sont celles de la référence [5]. Le calcul des sensibilités aux seuls paramètres de la partie imaginaire a montré qu'une amélioration globale ne pouvait être espérée sans corriger aussi la partie réelle. En ce qui concerne la section efficace $n + ^{93}\text{Nb}$ calculée en utilisant le champ HFB, on constate par exemple une sous-estimation de l'ordre de 20%, à $E_n = 100$ keV, par rapport aux calculs conventionnels [6].

B - Dans le domaine des basses énergies ($E_n \lesssim 10$ MeV) il est probable que le couplage particule-vibrations par exemple apporte au champ réel HFB une correction non locale et complexe $\Delta V(r, r')$ non négligeable. En vue d'en étudier le rôle dans les phénomènes de diffusion, ce terme du 2^e ordre $\Delta V(r, r')$ a été évalué dans le cadre de la théorie de FESHBACH [7] pour une cible de ^{208}Pb . Le potentiel optique ainsi calculé ne comporte plus de paramètres libres. Les précédents calculs de ce type, cf. réf. [8], ont été ici étendus dans les directions suivantes :

1^o) - le terme réel du 1^{er} ordre a été pris sous la forme d'un potentiel de folding non local, avec contributions dépendantes de densité, qui avait été ajusté sur les états à 1 particule et rayons moyens issus de calculs HFB. Ses résonances dans le continuum ont été déterminées et prises en compte dans les états intermédiaires du terme du 2^e ordre ΔV . Les fonctions d'ondes correspondantes, ainsi que celles des états liés, ont servi au calcul de ΔV sous la forme de développement sur des fonctions d'oscillateur tels qu'ils résultent de la méthode matricielle [1].

2°) - les voies d'entrée (lj) ont été prises en compte jusqu'à la voie $j15/2$ incluse, au lieu de $g9/2$ [8]. Les potentiels correspondants $\Delta V_{lj}(r,r')$ qui, pour chaque voie (lj) sont explicitement dépendants de l'énergie, ont été déterminés en moyenne sur un intervalle d'énergie $I = 0,75$ MeV dans le domaine $10 \text{ keV} < E_n < 2,6$ MeV, ainsi qu'à 7 MeV et à 14,6 MeV. La figure 3 donne par exemple une comparaison des termes diagonaux réels et imaginaires $\Delta V(r,r)$ calculés à $E_n = 10$ keV dans les voies $l = 0$ et $l = 1$. On notera leur dépendance marquée sur (lj), leur caractère de surface, et la relative importance de la partie réelle, qui représente le complément au terme de 1^{er} ordre (en principe le champ HFB) dû au couplage particule-vibrations.

3°) - les potentiels optiques non locaux précédents ont été traités explicitement par la méthode matricielle [1] après construction de leurs éléments de matrices sur des fonctions d'oscillateur. Ainsi le calcul exact de la section efficace d'absorption fournit des valeurs à 7 MeV et à 14,6 MeV (respectivement 2,53 et 2,60 barns) qui se rapprochent des valeurs recommandées ENDF-BIV (respectivement 2,54 et 2,50 barns), ce qui n'est pas le cas lorsque l'on utilise moins de moments angulaires et les fonctions de diffusion générées par le seul terme du 1^{er} ordre [8]. Dans le même contexte, des calculs tests ont été faits avec $I = 15$ keV dans une zone d'énergie étroite autour de $E_n = 2,383$ MeV où interviennent des états "portes" dans les voies $p3/2$ et $f5/2$. La figure 4 illustre les effets de résonance obtenus sur la section efficace de diffusion élastique calculée dans de telles conditions de "bonne résolution". On notera cependant que le calcul présent, dénué de toute phénoménologie, ne prend pas en compte les couplages à des configurations plus compliquées du noyau composé. De plus les structures intermédiaires sont très sensibles au choix du terme du 1^{er} ordre. Des calculs sont envisagés utilisant pour ce dernier le champ HFB, associé à des termes de couplage particule-vibrations tels qu'ils résultent de calculs du type RPA (cf. Section C-IV).

C - Des tests ont été effectués en vue d'étudier l'applicabilité des méthodes matricielles pour le calcul de données neutroniques à basse énergie relatives à des noyaux cibles déformés et éventuellement lourds. Pour cela, dans le cadre du modèle rotationnel, un potentiel optique phénoménologique du type "folding" a été généré par convolution d'une gaussienne sur une densité de matière nucléaire supposé limitée par une surface de la forme :

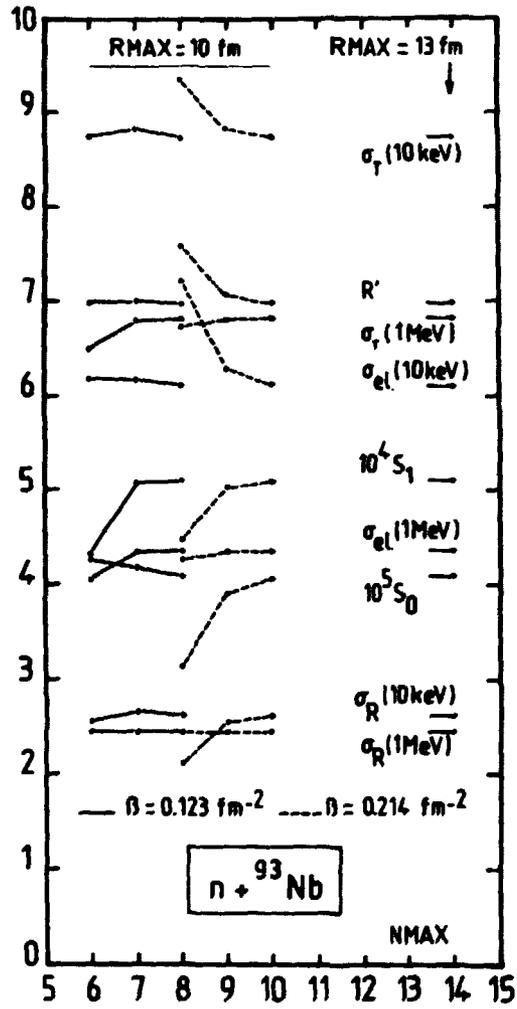
$$R(\theta') = R_0 \left[1 + \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} Y_0^{\lambda}(\theta') \right] .$$

Les coefficients β_{λ} décrivent la déformation de la cible. Des termes d'absorption et de spin-orbite déformés et concentrés en surface ont également été définis à partir d'un processus de convolution analogue. Tous les termes de ce potentiel peuvent être rendus non locaux suivant la procédure de PEREY et BUCK. Des méthodes pratiques pour construire les éléments de matrices d'un tel potentiel sur des fonctions d'oscillateur harmonique sphérique ont été mises au point, généralisant au cas des noyaux déformés celles données en référence [1]. La méthode, qui n'implique que des inversions de matrices, a été testée en fonction de ses propriétés de convergence par rapport au choix des différents facteurs, notamment les rayons des voies ainsi que le nombre des fonctions de base et leur paramètre de définition. Des tests concluants du code correspondant ont été effectués dans le cas de noyaux légers par comparaison avec des calculs utilisant les méthodes conventionnelles d'intégration numérique (code JUPITOR 1) mais en l'absence de non localité et de déformation du terme spin-orbite. L'applicabilité de la méthode matricielle a enfin été étudiée dans le cadre de l'évaluation de données neutroniques à basse énergie (fonctions densités d'ondes s et p, rayon de diffusion potentielle, sections efficaces totales et de diffusion) en prenant pour exemple la cible rotationnelle ^{152}Sm considérée dans le domaine d'énergie neutron 10 keV-2,5 MeV. Les effets sur les grandeurs physiques précédentes de divers paramètres du modèle, dont la non localité et la déformation, ont été étudiés.

REFERENCES

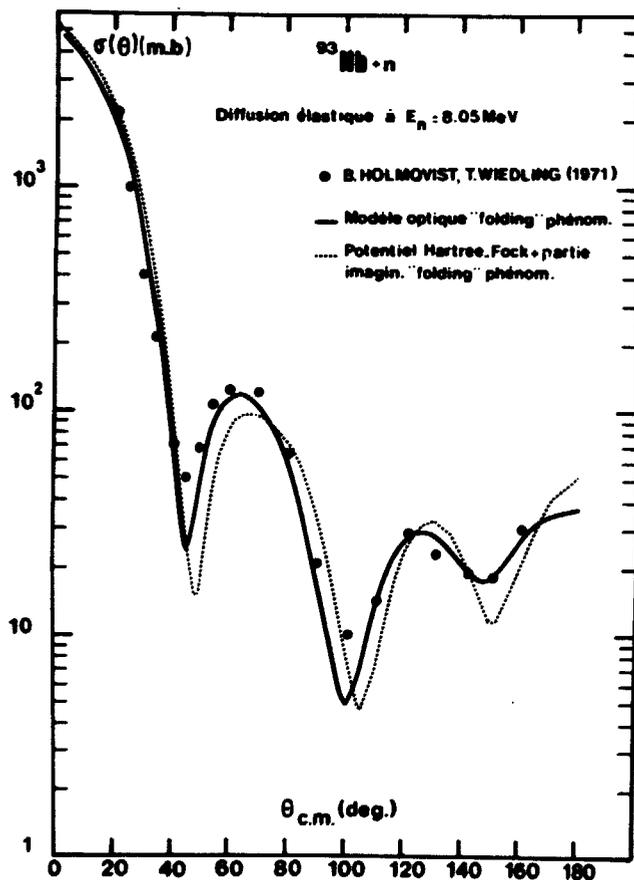
- [1] - J. SALVY, "Matrix Methods in Optical Model-Spherical Nuclei" Course on Nuclear Theory Applications - Trieste (Italie) (Jan-Fev. 1978).
- [2] - D. GOGNY, *Proceedings of the Int. Conf. on Nuclear Self-consistent Fields, I.C.T.P., Trieste (Italie), fév. 1975, Ed. G. RIPKA, M. FORNEUF, IAEA (1975).*
- [3] - J.P. DELAROCHE, Ch. LAGRANGE, J. SALVY, "Nuclear Theory in Neutron Nuclear Data Evaluation", Trieste (Italie) (déc. 1975), IAE-190 Vol. I, p. 251 (1976).
- [4] - J.M. DUFOUR, J. SALVY, rapport à paraître.

- [5] - B. HOLMQVIST, T. WIEDLING, *Rapport AE-430* (1971).
- [6] - Ch. LAGRANGE, *Proceedings de la Conf. de Kiev (URSS) (1975), Vol. 3, p. 65*
(Moscou, 1976).
- [7] - H. FESHBACH, A.K. KERMAN, R.H. LEMMER, *Ann. Phys.* 41, 230 (1967).
- [8] - A. LEV, W.P. BERES, M. DIVADEENAM, *Phys. Rev. C* 9 (1974) 2416.



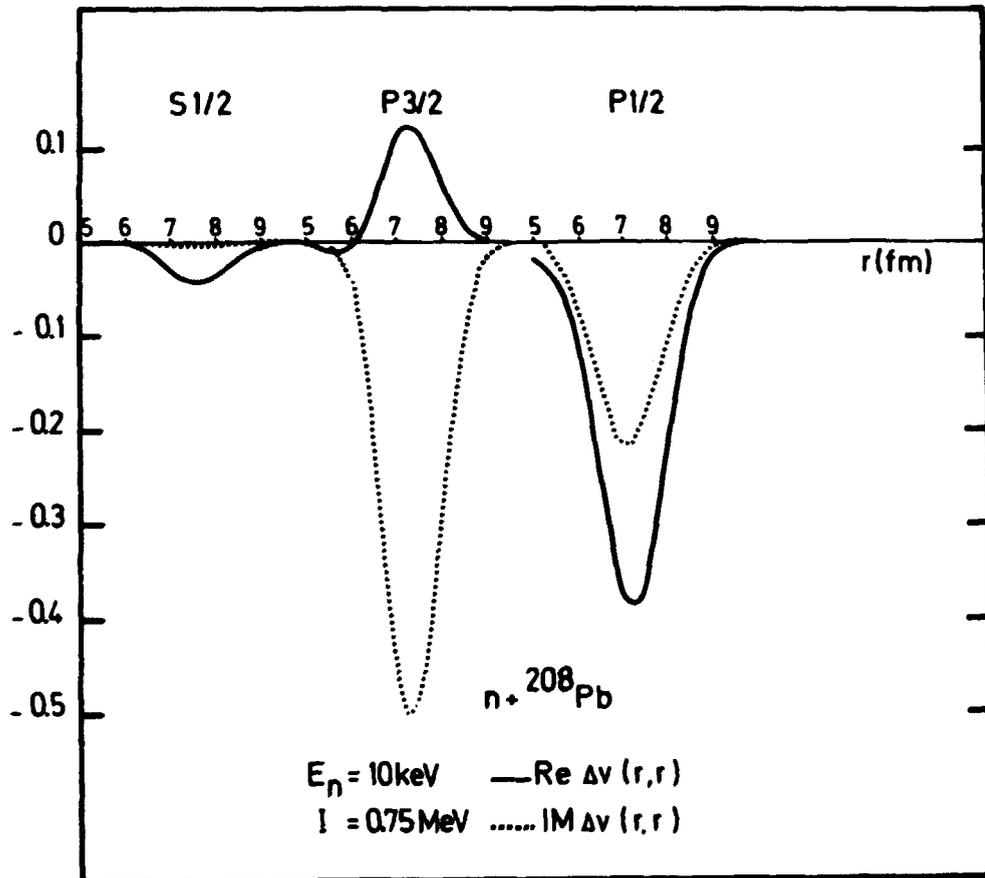
C-III-10-FIGURE 1

Tests de convergence de la méthode
matricielle pour le calcul de diverses
grandeurs associées à l'interaction
neutron-⁹³Nb.



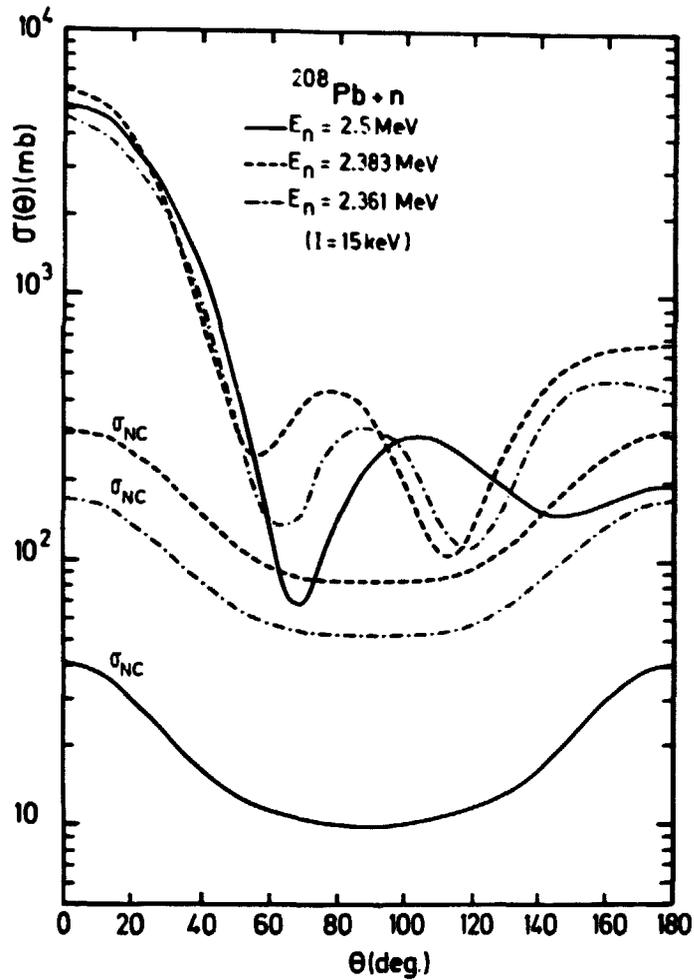
C-III-10-FIGURE 2

Diffusion élastique différentielle $^{93}\text{Nb} + n$ à 8,05 MeV :
comparaison théorie-expérience dans diverses hypothèses
de calcul (potentiel optique réel de type folding ou de
type HFB).



C-III-10-FIGURE 3

Dépendance radiale comparée des parties réelle et imaginaire de la contribution diagonale $\Delta V(r,r)$ du couplage particule-vibrations au potentiel optique neutron- ${}^{208}\text{Pb}$ calculé à 10 keV dans les états s et p.



C-III-10-FIGURE 4

Effets de résonance intermédiaire particule-vibrations dans le calcul de la diffusion élastique différentielle $n + ^{208}\text{Pb}$ utilisant un potentiel optique généralisé moyenné sur un intervalle $I = 15 \text{ keV}$.

C-IV-DESCRIPTION DES NOYAUX DANS LE CADRE DES
THEORIES SELF-CONSISTANTES

DESCRIPTION OF NUCLEI WITHIN THE SELF-CONSISTENT THEORIES.

C-IV-1-Description microscopique de la réaction $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ (J.F. BERGER).

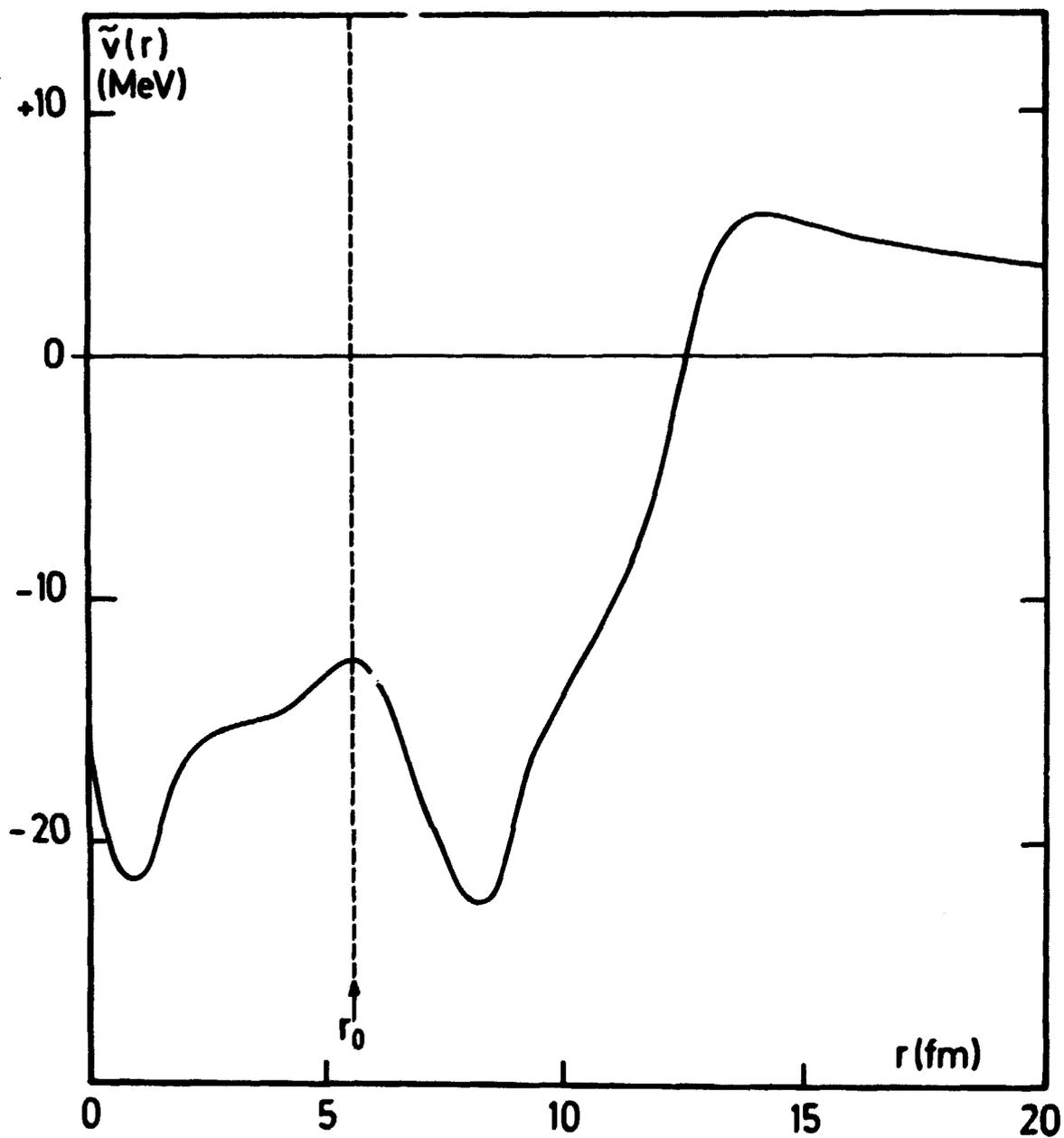
Microscopic description of the $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaction.

The $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaction has been studied in the adiabatic limit of the time dependent Hartree-Fock theory. An effective $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ potential for frontal collisions has been derived. The $l = 0$ resonances of this potential are in fair agreement with the experimental data.

L'application des méthodes microscopiques à la diffusion d'ions lourds a été poursuivie en vue de réaliser un meilleur accord avec les résultats expérimentaux. En effet, l'approche qui consistait à chercher le potentiel ion-ion comme un mélange des potentiels adiabatique et soudain n'avait pas permis de reproduire convenablement les résonances de basse énergie du système $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$. Dans cette optique, nous avons développé une nouvelle méthode qui repose sur la théorie de la coordonnée génératrice. Le principe de cette méthode consiste à exprimer la fonction d'onde de diffusion comme la superposition des états Hartree-Fock obtenus pour toutes les déformations du système. Les coefficients de cette superposition sont les solutions d'une équation intégrale du type de HILL et WHEELER, qui peut être transformée en une équation différentielle du type de BOHR si l'on fait l'approximation adiabatique. Les grandeurs intervenant dans cette équation différentielle sont essentiellement un paramètre de masse et la surface d'énergie potentielle corrigée des énergies de point zéro associées aux variables collectives, quantités qui peuvent toutes être obtenues par le calcul Hartree-Fock.

Nous avons appliqué cette méthode à la réaction $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ au voisinage de la barrière coulombienne. Le paramètre de masse a été calculé par la formule d'Inglis (formule du "cranking"). Il se révèle très sensible aux corrélations d'appariement dans la région des faibles déformations. (Nous avons utilisé pour le calculer le programme Hartree-Fock-Bogolyubov de M. GIROD). Pour les grandes déformations, ce paramètre de masse devient à 10% près la masse réduite du système $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ (la différence provient de l'utilisation de la formule d'Inglis). En ce qui

concerne l'extraction des énergies de point zéro, nous avons tenu compte de celles associées aux mouvements collectifs de vibration (reliée au mouvement relatif des deux fragments à grande déformation) et de rotation. Le potentiel effectif ion-ion que l'on obtient est représenté sur la figure 1. La variable r qui apparaît en abscisse est la coordonnée radiale "naturelle" pour ce potentiel, en ce sens que la masse collective, exprimée à l'aide de r , est égale à la masse réduite du système. Le nombre et la position des résonances 0^+ calculées dans ce potentiel ($E_{\text{calc}} = 1,40 \text{ MeV}, 4,54 \text{ MeV}$ et $7,70 \text{ MeV}$) sont en bon accord avec les données expérimentales respectivement ($E_{\text{exp}} = 1,50 \text{ MeV}, 4,25 \text{ MeV}$ et $5,80 \text{ MeV}$).



C-IV-1-FIGURE 1

Potentiel effectif $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$. La droite verticale pointillée $r = r_0$ est l'asymptote du potentiel coulombien $(Ze)^2/(r - r_0)$ avec $Z = 6$, auquel se réduit $\tilde{V}(r)$ aux grandes déformations ($r > 15$ fm).

C-IV-2-Etudes microscopiques des spectres collectifs des noyaux pairs-pairs
(K. KUMAR).

Microscopic studies of collective spectra of even nuclei.

The dynamic deformation microscopic theory based on the STRUTINSKY method [1,2] has been improved and employed to calculate the spectra of 25 even-even nuclei from ^{12}C to ^{240}Pu . Four improvements have been made.

La théorie microscopique des déformations dynamiques basée sur la méthode de STRUTINSKY [1,2] a été améliorée et utilisée pour calculer les spectres de vingt cinq noyaux pairs-pairs depuis le ^{12}C jusqu'au ^{240}Pu . Quatre améliorations ont été faites :

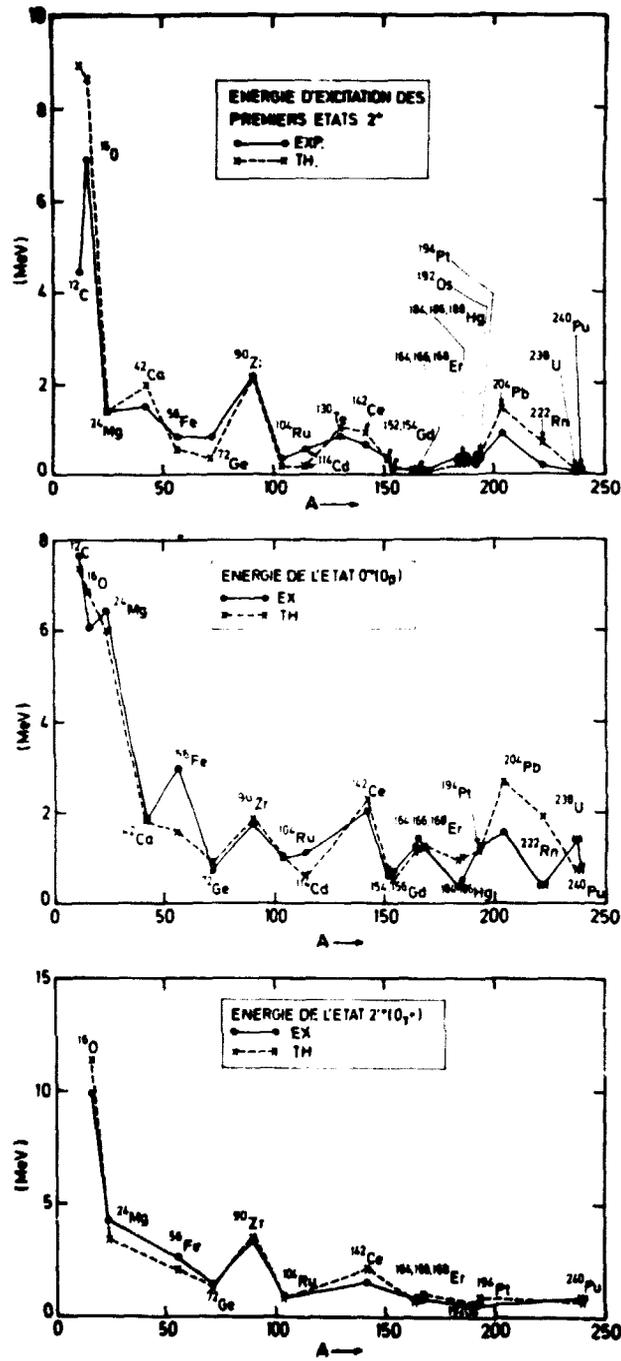
- 1 - L'approximation utilisée précédemment dans le calcul des facteurs d'appariement, qui affectent particulièrement les moments magnétiques, est abandonnée. Par conséquent le paramètre isovectoriel de la force d'appariement a été augmenté de la valeur 0,3 à 0,5. Il en résulte un accroissement dans le rapport des intensités de l'appariement proton, neutron qui varie de 0% pour le ^{12}C à 10% pour le ^{240}Pu .
- 2 - La dépendance des fonctions du modèle de la goutte (surface, coulomb, corrections de courbure) est calculée exactement [3] au lieu d'utiliser comme avant un développement en perturbation [2].
- 3 - Au lieu d'ajuster le paramètre d'élargissement Γ de STRUTINSKY sur le premier état excité 2^+ [2], nous utilisons la relation $\Gamma = 0,3 + 0,2 A^{1/3}$, où A est le nombre de masse et Γ est exprimé en unité de l'énergie de l'oscillateur, $\hbar\omega_0$. Cette relation est basée sur les valeurs de Γ obtenues précédemment [1] en étudiant la convergence des corrections de couches sur les trois noyaux très déformés : ^{24}Mg , ^{40}Zr et ^{160}Er .
- 4 - On a aussi amélioré la méthode de résolution de l'Hamiltonien de BOHR à cinq dimensions. Cette méthode permet de calculer les bandes de rotation-vibration jusqu'à $I = 20$.

Sans aucun paramètre ajustable d'un noyau à l'autre, cette théorie donne un accord remarquable avec les spectres des noyaux pairs-pairs du ^{12}C au ^{240}Pu : les énergies (la figure 1 donne la comparaison pour les états 2^+ , 0^+ , $2'^+$),

les moments quadrupolaires, les moments magnétiques, les valeurs du $B(E2)$, etc...
La limitation principale de cette théorie vient en grande partie de l'interaction
de CORIOLIS dont les termes d'ordre supérieur deviennent grands à des hauts spins
($I \sim 12$ pour $A = 160$).

REFERENCES

- [1] - K. KUMAR, B. REMAUD, P. AGUER, J.S. VAAGEN, A.C. RESTER, R. FOUCHER et
J.H. HAMILTON, *Phys. Rev. C* 16 (1977) 1235.
- [2] - K. KUMAR, *J. Phys.* G4 (1978) 849.
- [3] - B. REMAUD, à paraître.



C-IV-2-FIGURE 1

Comparaison des énergies expérimentales et théoriques des états 2^+ , $0^+(0_{\beta})$ et $2^+(2_{\gamma})$ des noyaux pairs-pairs. Aucun paramètre théorique n'a été ajusté pour reproduire les données.

C-IV-3-Analyse de la diffusion magnétique avec les fonctions d'ondes HARTREE-FOCK-BOGOLYUBOV (J. DECHARGE, M. GIROD, D. GOGNY).

Analysis of the magnetic elastic scattering with H.F.B. wave functions.

In the framework of the independant quasi-particle model the transverse form factors are calculated and compared to the recent experimental values.

Les expériences de diffusion d'électrons à très haut moment de transfert réalisées à l'A.L.S. de SACLAY sur des noyaux pairs-impairs ont permis d'extraire les facteurs de forme magnétique. L'analyse de ces expériences dans le cadre du modèle de particules ou de quasi-particules (q.p.) indépendantes donne des renseignements précieux sur la distribution spatiale des nucléons de valence. Pour les noyaux suivants : ^{49}Ti , ^{59}Co , ^{51}V , ^{89}Sr et ^{93}Nb nous avons calculé avec les fonctions d'ondes de HARTREE-FOCK-BOGOLYUBOV les différents moments des facteurs de forme transverse. La situation expérimentale est dans l'ensemble assez bien reproduite par la théorie. On ne s'attendait pas à décrire avec précision les effets fins associés à ces expériences dans le cadre du modèle des q.p. indépendantes. En effet il est probable que l'on peut négliger complètement le couplage du nucléon célibataire aux vibrations du coeur. En outre les degrés de libertés mésoniques peuvent contribuer de façon non négligeable aux facteurs de forme expérimentaux. Ces calculs sont détaillés dans une publication en cours d'élaboration.

REFERENCE

- [1] - J. DECHARGE, M. GIROD, D. GOGNY, *Self consistent Hartree-Fock-Bogolyubov description of the spherical nuclei*, soumis à "Physical Review".

C-IV-4-Etudes des propriétés des noyaux dans le cadre de la théorie R.P.A.

(J. DECHARGE, M. GIROD, R. PADJEN*, D. COGNY).

Studies of the properties of nuclei in the framework of the Random-Phase-Approximation (R.P.A.).

The long range ground state correlations are studied in the context of the R.P.A. theory. The aim is to see their effects on the charge densities, isotope shifts, etc

Différentes applications sont en projet sur la base des excitations collectives décrites dans le cadre de la théorie R.P.A.

L'une consiste à calculer les effets de corrélation longue portée sur les valeurs moyennes d'opérateurs à un corps. Comme application directe nous envisageons d'évaluer l'effet de ces corrélations sur les densités de charge des noyaux ^{208}Pb , ^{40}Ca , ^{48}Ca . Nous espérons expliquer en partie, certains désaccords qui subsistent entre la théorie et l'expérience. En particulier il est probable que l'on pourrait de cette façon réduire les densités centrales du ^{208}Pb et du ^{40}Ca et prédire la faible différence $r_p(^{48}\text{Ca}) - r_p(^{40}\text{Ca})$ observée expérimentalement. Une autre application concerne l'étude de la condensation éventuelle des pions dans les noyaux finis. Une telle étude nécessite de compléter l'interaction effective D1 par le terme tenseur résultant de l'échange d'un pion et d'un méson ρ . Nous avons programmé ce terme dans les calculs H.F.. Il reste à l'introduire dans le calcul des éléments de matrice particule-trou.

* Collaborateur temporaire étranger : Université de Montréal (Canada).

C-V-ASTROPHYSIQUE
ASTROPHYSICS.

C-V-1-Evolution des galaxies (J.P. CHIEZE)●

Evolution of galaxies.

We have developed a model for the formation and the dynamical and chemical evolution of elliptical galaxies. A brief description is given and some applications are proposed.

Les développements récents de l'instrumentation spatiale (ballon, avions et fusées dans le domaine Infra-Rouge, satellites dans les domaines X et Y) et de la détection radio-astronomique des molécules interstellaires ont fait grandement progresser la connaissance des milieux galactique et extra-galactique.

Deux thèmes majeurs font l'objet d'observations et de travaux théoriques importants :

- a)-la question de la formation des étoiles qui est la base de la compréhension de l'Evolution Chimique des Galaxies,
- b)-les conséquences de l'observation de la raie d'émission à 7 keV de Fe XXVI (Fer 26-1 = 25 fois ionisé) dans plusieurs amas de galaxies [1,2].

C'est dans ce contexte que nous avons mis en oeuvre un modèle de formation et d'évolution dynamique et chimique des galaxies elliptiques. Des résultats préliminaires ont déjà été présentés [3]; la figure 1 fournit un exemple des profils radiaux de densité de gaz et d'étoiles d'une telle galaxie, qui sont obtenus en excellent accord avec les profils déduits des observations photométriques des galaxies elliptiques [4].

C-V-1-1-Description sommaire du modèle.

Dans une galaxie, la matière se répartit en quatre composantes (ou phases), à savoir :

1 - une phase "condensée", elle-même constituée de :

1-a)-l'ensemble de la population stellaire galactique, qui évolue en nombre (c'est à dire en masse), en âge et en composition chimique,

1-b)-l'ensemble des nuages froids, neutres et denses : $(n,T) \sim (40 \text{ cm}^{-3}, 80 \text{ K})$ et des nuages moléculaires géants.

2 - une phase "diffuse" qui occupe la presque totalité de l'espace et qui se compose de :

2-a)-un milieu peu dense, très chaud et totalement ionisé, et de facteur de remplissage f , élevé : $(n,T,f) \sim (10^{-3} \text{ cm}^{-3}; 10^6 \text{ K}; 0,7-0,8)$,

2-b)-un milieu relativement dense, "tiède" partiellement ionisé, physiquement associé aux nuages du milieu 1.b dont il constitue la partie externe des enveloppes : $(n,T,f) : (1-10 \text{ cm}^{-3}; 10^4 \text{ K}; 0,3-0,2)$.

La reconnaissance d'une telle structure du milieu galactique est récente. Elle est fondée sur des arguments théoriques, et sur l'observation, au moins en ce qui concerne notre galaxie (en particulier, l'observation des raies d'absorption de O VI, et la mesure de la dispersion des signaux pulsars, toutes deux attribuées au milieu 2-a, le plus difficile à observer).

Ces quatre composantes se partagent la masse, l'impulsion et l'énergie totales dans ce modèle à symétrie sphérique.

Les échanges de masse sont régis par les lois de la formation d'étoiles (lois phénoménologiques de CALPETER et de SCHMIDT) et de l'évolution stellaire ; les premières peuvent de ce fait être testées).

Dans notre programme, les échanges d'impulsion et d'énergie entre ces quatre phases de propriétés physiques très différentes sont traitées selon les techniques numériques d'intégration des équations non linéaires de l'hydrodynamique (milieux 2a et 2b) et des équations d'évolution des moments de la distribution des vitesses des constituants des milieux 1a et 1b (équation de Vlassov).

Outre l'aspect dynamique de l'évolution d'une galaxie, ce programme traite l'importante question de son évolution chimique (enrichissement progressif en éléments lourds, qui résulte de la nucléosynthèse stellaire).

C-V-1-2-Applications.

Parmi les applications, très nombreuses, d'un tel modèle nous citerons :

- 1)-l'étude des galaxies compactes bleues (galaxies de Zwicky), entreprise cette année, dont la structure particulière peut s'interpréter par un mécanisme de formation d'étoiles récurrent. Un tel mécanisme ne peut être mis en évidence qu'à l'aide d'un modèle dynamique à plusieurs phases (fig. 2).
- 2)-l'interprétation des abondances cosmiques du Fer, observées dans les amas de galaxies, à l'aide d'un mécanisme d'ablation et d'expulsion du gaz hors des galaxies, qui a pour origine les explosions de Supernovae (éventuellement de population III).

**Ce travail bénéficie de la collaboration de :*

- M. Laurent VIGROUX (SAP-DPh CEN-SACLAY) qui apporte en particulier les supports d'observations développées dans son Service (observation X des satellites HEAO).
- M. Bernard LAZAREFF (Département de Radio-Astronomie, observatoire de Paris-Meudon) et du soutien scientifique de M. James LEQUEUX (D.RAD. observatoire de Paris-Meudon) et de M. Jean AUDOUZE (Institut d'Astrophysique du CNRS, Paris).

REFERENCES

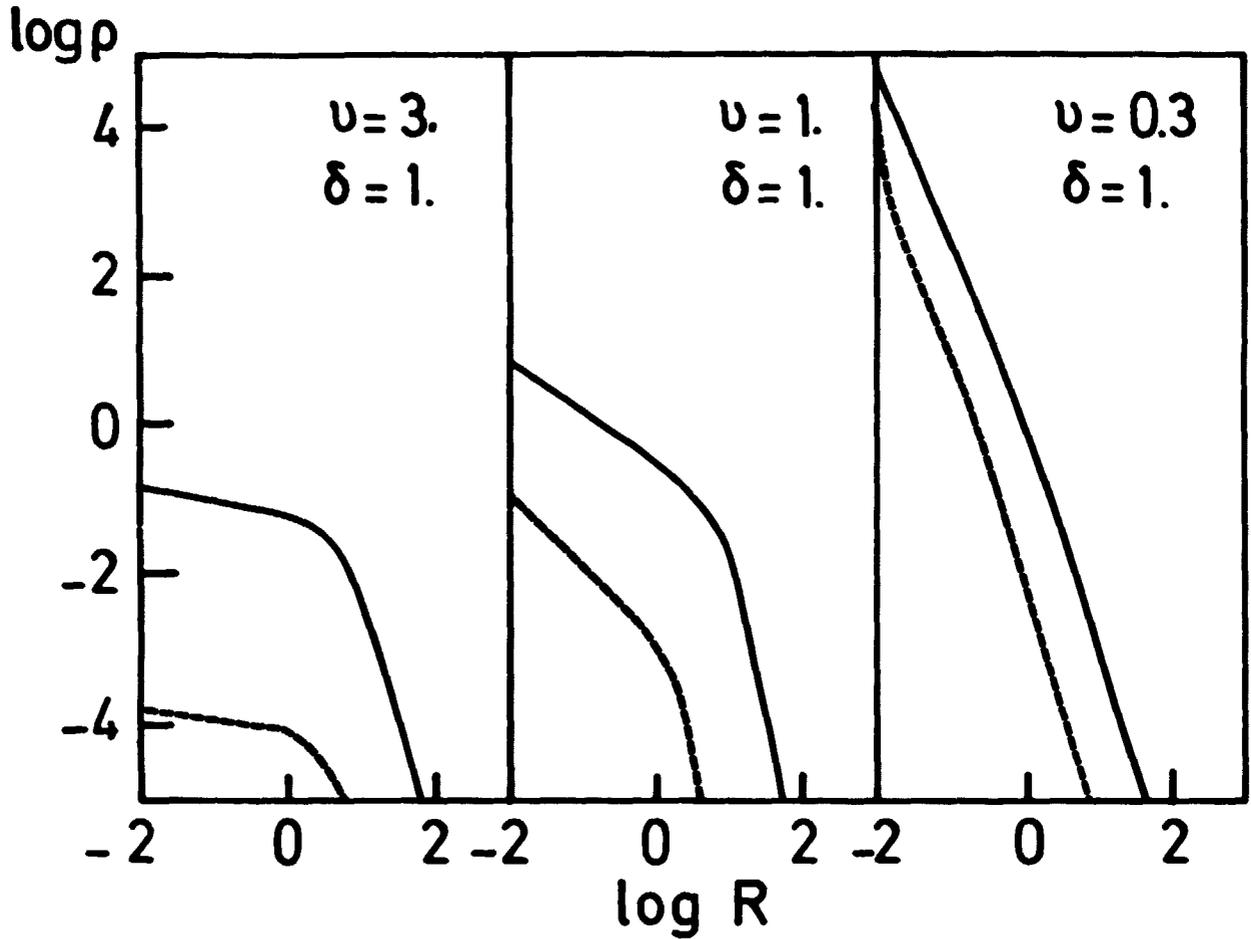
- [1] - R.J. MITCHELL, J.L. CULHANE, P.J.N. DAVIDSON et J.C. IVES, 1976, MNRAS, 176, 29P.

- [2] - R.F. MUSHOTZKY, P.J. SERELEMITOS, B.W. SMITH, E.A. BOLDT et S.S. HOLT, 1978, *Astr. Phys. J.*, 225, 21.

- [3] - J.P. CHIEZE, B. LAZAREFF et L. VIGROUX, 47^o IAU Colloquium 1977, *Torun (Pologne)*.

- [4] - K.M. STROM et S.E. STROM, 1978, *Astron. J.*, 83, 73.

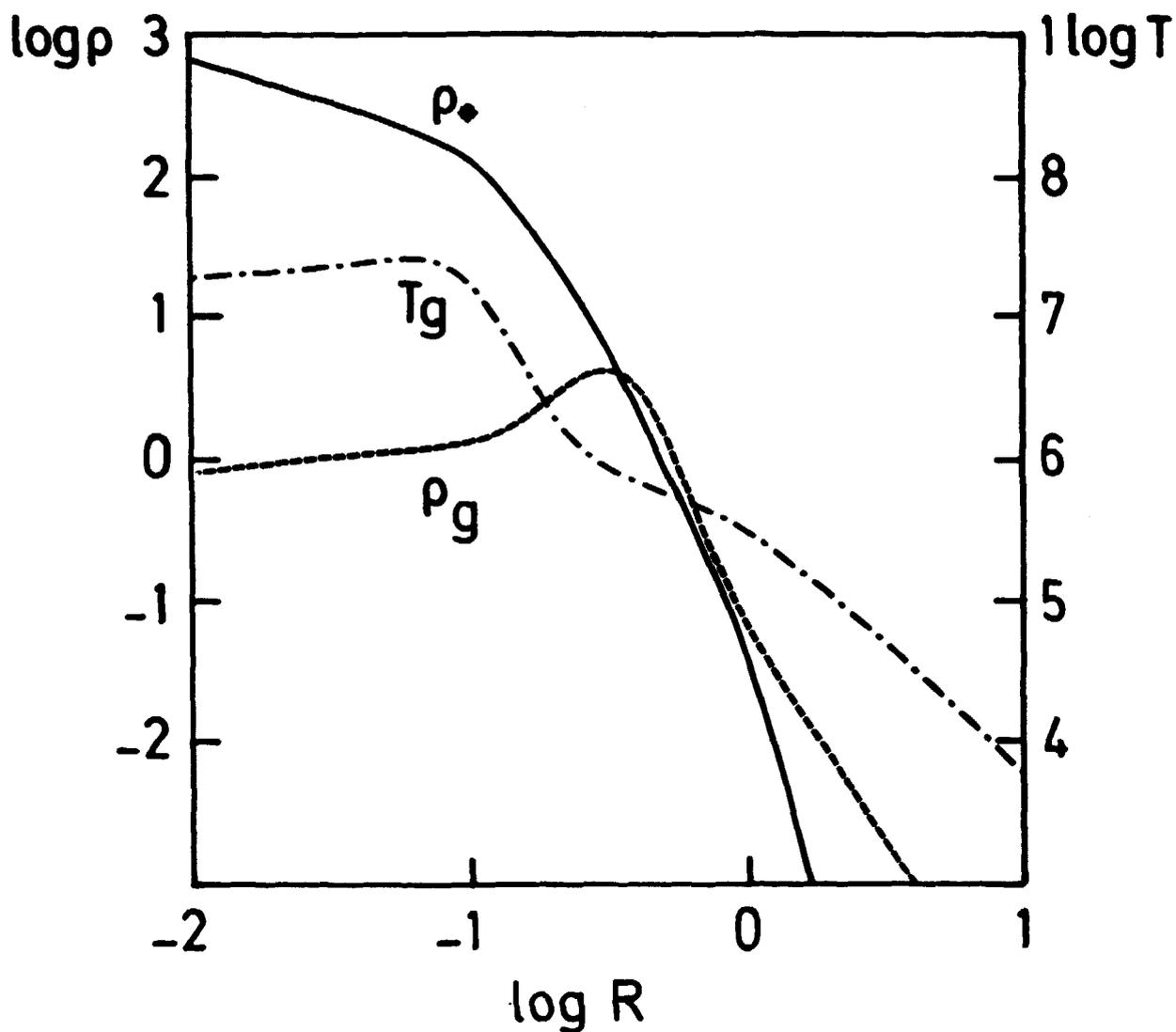
- [5] - W.G. MATHEWS et J.C. BAKER, 1971, *Astr. Phys. J.*, 170, 241.



C-V-1-FIGURE 1 (a,b,c).

Profils de densité d'étoiles trait continu (—) et de gaz trait discontinu (---), obtenus pour un taux donné de dissipation radiative et turbulente du gaz interstellaire ($\delta = 1$) et trois taux de formation d'étoiles ν (décroissant de droite à gauche). Noter la forte condensation centrale pour $\nu = 0,3$. Les conditions initiales sont identiques dans les trois cas.
Unité de densité : $10^9 M_{\odot} \text{ kpc}^{-3}$

Unité de longueur : $1 \text{ kpc} \approx 3 \cdot 10^{21} \text{ cm}$



C-V-1-FIGURE 2

Application aux galaxies bleues compactes. Mise en évidence du processus de formation récurrente d'étoiles. Profils de densité d'étoiles (ρ_*), de gaz (ρ_g), et de température du gaz (T_g °K) au temps $t = 10^8$ ans. La température élevée du gaz interstellaire qui s'est développée dans la région centrale de la galaxie inhibe la formation d'étoiles. Celle-ci reprend une fois le gaz refroidi par expansion et rayonnement. Période du cycle $P \sim 10^8$ ans.

PARTIE D

BIBLIOGRAPHIE

PUBLICATIONS

(Documents émis ou publiés dans le Service PN au cours de l'année 1978).

- Measurement of the differential elastic and inelastic neutron scattering cross sections of carbon from 8.0 to 14.5 MeV.
G. HAOUAT, J. LACHKAR, J. SIGAUD, Y. PATIN, F. COÇU.
Nuclear Science and Engineering Vol. 65 2 p. 331-346 (1978).

- Radiative capture cross section measurements for fast neutrons using a large Gd-loaded liquid scintillator.
S.K. GUPTA, J. FREHAUT, R. BOIS.
Nuclear Instruments and Methods 148 1 p. 77-84 (1978).

- The propagation and the damping of the collective modes in the nuclear matter.
D. GOGNY, R. PADJEN
Nuclear Physics Vol. A293, n° 3 p. 365-378 (1977).

- The hydrodynamical approximations in the cold nuclear matter.
R. PADJEN.
Submitted to Canadian Journal of Physics.

- Dynamic deformation theory based on the pairing plus quadrupole model and its extension to multi-phonon vibrational bands of ^{154}Gd .
K. KUMAR, J.B. GUPTA, J.H. HAMILTON.
Submitted to Australian Journal of Physics.

- Measurement of fast neutron capture cross sections using a NaI spectrometer.
S. JOLY, J. VOIGNIER, G. GRENIER, D.M. DRAKE, L. NILSSON.
Nuclear Instruments and Methods Vol. 153 n° 2,3 p. 493-501 (1978)

- The quest for triaxial nuclei : some Hartree-Bogoliubov predictions.
M. GIROD, B. GRAMMATICOS.
Physical Review Letters Vol. 40 n° 6 p. 361-364 (1978).

- Neutron capture cross sections of rhodium, thulium, iridium and gold between 0.5 and 3.0 MeV.
S. JOLY, J. VOIGNIER, G. GRENIER, D.M. DRAKE, L. NILSSON.
Submitted to Nuclear Science and Engineering.

- An evaluation of the $^{175}\text{Lu}(n,2n)^{174}\text{Lu}$, $^{175}\text{Lu}(n,3n)^{174m}\text{Lu}$, and $^{175}\text{Lu}(n,3n)^{173}\text{Lu}$ cross sections from threshold to 20 MeV.
C. PHILIS, P.G. YOUNG, E.D. ARTHUR.
Rapport LOS ALAMOS LA 7236-MS (Avril 1978).

- Titanium II : An evaluated nuclear data file.
C. PHILIS, R. HOWERTON, A.B. SMITH.
ANL/ADM 28 (Juin 1977).

- Investigation of (n,2n) reactions by the evaporation process.
E. HOLUB, N. CINDRO, O. BERSILLON, J. JARY
Soumis à ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK A

- Dynamic deformation theory of the B(E2) values and the quadrupole shape characteristics for even gadolinium nuclei.
K. KUMAR.
Nuclear Physics 304 n° 2 p. 295-306 (1978).

- Absolute neutron fission cross sections measurements of ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu at 13.9 and 14.6 MeV.
M. CANCE, G. GRENIER.
Nuclear Science Engineering Vol.68 n° 2 p. 197-203 (1978).

- Neutron total cross section measurements of ^9Be , $^{10,11}\text{B}$ and $^{12,13}\text{C}$ from 1.0 to 14 MeV using the $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ reaction as a "white" neutron source.
G.F. AUCHAMPAUGH, S. PLATTARD, N.W. HILL.
Soumis à Nuclear Science Engineering.

- Fission Properties of ^{233}Th .
J. TROCHON
Soumis à Nuclear Physics.

- Calculation of nuclear deformations and collective spectra starting from a density dependent finite range nuclear force.
M. GIROD, K. KUMAR, B. GRAMMATICOS, P. AGUER.
Soumis à Physical Review Letters.

- The zero-point energy correction and its effect on nuclear dynamics.

M. GIROD, B. GRAMMATICOS.

Soumis à Nuclear Physics A.

- Nuclear Fission.

A. MICHAUDON.

Soumis à Mc GRAW HILL, Yearbook of Science and Technologie.

COMMUNICATIONS

Course on nuclear theory for applications, TRIESTE (Italie) du 17 Janvier au 10 Février 1978.

- Matrix methods in optical model - spherical nuclei -
J. SALVY. - *Paraftra dans les proceedings de la Conférence.*

Topical Symposium on "the techniques of capture cross sections measurements" 25th meeting of the NEA nuclear data committee. OAK RIDGE (USA) du 3 au 7.04.1978.

- Measurement of fast neutron capture cross section using the integrated gamma-ray spectrum method.
S. JOLY, J. VOIGNIER, G. GRENIER, D.M. DRAKE, L. NILSSON.
Paraftra en rapport CEA-CONF.

Conférence Internationale sur la Physique Neutronique et les Données Nucléaires pour les réacteurs et autres applications - HARWELL (G.B.) du 25 au 29.09.1978.

- Diffusion inélastique des neutrons rapides par les noyaux (Invited Paper).
J. LACHKAR.
Paraftra en rapport CEA-CONF.
- Apport des calculs microscopiques self-consistant dans le domaine de l'évaluation (Invited Paper).
D. GOGNY.
Paraftra en rapport CEA-CONF.
- Evaluation des sections efficaces neutroniques de ^{169}Tm et Ir naturel de 10^{-5} eV à 20 MeV.
O. BERSILLON, G. SIMON, C. PHILIS, E. ARTHUR.
Paraftra en rapport CEA-CONF.
- Calcul de spectres d'émission et de sections efficaces par le modèle d'excitons de Griffin.
O. BERSILLON, L. FAUGERE.
Paraftra en rapport CEA-CONF.
- Effets des déformations non axiales sur la diffusion des neutrons par $^{76,78}\text{Se}$ et ^{196}Pt .
J.P. DELAROCHE.
Paraftra en rapport CEA-CONF.

- Potentiel optique nucléon ^{197}Au entre 10 keV et 57 MeV.
J.P. DELAROCHE.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Evaluation par modèles nucléaires des sections efficaces neutroniques des plutonium 240 et 242 entre 10 keV et 20 MeV.
J. JARY, Ch. LAGRANGE.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Paramètres globaux du potentiel optique dans le domaine de masses $A = 89$ à 242.
Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Mesures absolues de sections efficaces de fission.
G. GRENIER, M. CANCE.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Mesures de sections efficaces de capture radiative de neutrons rapides par la méthode du spectre intégré.
S. JOLY, J. VOIGNIER, G. GRENIER, D.M. DRAKE, L. NILSSON.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Mesure de la section efficace de capture radiative du rhodium, thulium, or et thallium entre 0,5 et 3 MeV.
J. VOIGNIER, S. JOLY, G. GRENIER.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Systématique des sections efficaces de réaction $(n,2n)$ pour des séries d'isotopes séparés.
J. FREHAUT, J. JARY.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Mesure de $\bar{\nu}_p$ pour la fission de ^{235}U induite par des neutrons d'énergie inférieure à 2 MeV.
J. FREHAUT, J.W. BOLDEMAN.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Production d'un spectre continu de neutrons à l'aide de la réaction $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ auprès de l'accélérateur Van de Graaff du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel.
S. PLATTARD, M. DUMAZERT, D. GIMAT, L. SINOPOLI, J. UZUREAU.
Paraître en rapport CEA-CONF.

- Description de l'interaction des neutrons avec des noyaux de la région du plomb et des actinides à partir des mesures de sections efficace totale, de diffusion élastique et de diffusion inélastique. J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, M. CATES, Y. PATIN, J. SIGAUD, J. JARY. *Parattra en rapport CEA-CONF.*
- Diffusion des neutrons par les noyaux de la région des terres rares et déformations nucléaires.
G. HAOUAT, J.P. DELAROCHE, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD, R.E. SHAMU, N.T. McELLISTREM.
Parattra en rapport CEA-CONF.

International Conference on Nuclear Interactions, CANBERRA (Australie) du 28.08. au 1.09.1978.

- Investigation of low spin resonances in the $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ system.
J. UZUREAU, J.M. FIENI, F. COÇU.
Parattra en rapport CEA-CONF.
- Resonance neutron capture spectroscopy in ^{28}Si .
G. GRENIER, S. JOLY, J. VOIGNIER, J.W. BOLDEMAN.
Parattra en rapport CEA-CONF.

Third International Symposium on Neutron Capture Gamma-ray Spectroscopy and Related Topics.

- Gamma-decay of p 3/2 neutron resonances in ^{28}Si .
S. JOLY, G. GRENIER, J. VOIGNIER, J.W. BOLDEMAN.
Parattra en rapport CEA-CONF.
- Gamma-ray strength functions in ^{170}Tm and ^{198}Au .
S. JOLY, D.M. DRAKE, L. NILSSON.
Parattra en rapport CEA-CONF.
- Evaluation of the capture cross section of ^{169}Tm from 10^{-5} eV to 2.10^7 eV.
G. SIMON, E. ARTHUR, C. PHILIS, O. BERSILLON.
Parattra en rapport CEA-CONF.

World Conference of the International Nuclear Target Development Society, GARCHING (R.F.A.) du 10 au 14.09.1978.

- Preparation of self supported (100 to $2000 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) tritiated titanium targets.
C.P. BONETTI.
Parattra en rapport CEA-CONF.

Abstract submitted for the Asilomar Meeting of the American Physical Society, ASILOMAR, Californie (USA) du 1 au 3.11.1978.

- Nuclear Potential Deformations of ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu .

S.M. FERGUSON, R.E. SHAMU, J. LACHKAR, G. HAOUAT, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD.

Meeting on Nuclear Data of Higher Pu and Am Isotopes for Reactor Applications, BROOKHAVEN (USA) du 20 au 22.11.1978.

- ^{242}Pu : Preliminary evaluation with consideration of ^{240}Pu , and some sensitivity results.

J. JARY, Ch. LAGRANGE, C. PHILIS.

Paraftra en rapport CEA-CONF.

NOTE C.E.A.

- Compte Rendu d'Activité du Service de Physique Nucléaire pour l'année 1977.

A. MICHAUDON, D. DIDIER, M. SOLEILHAC.

Note CEA-N-2037 - NEANDC(E) 194 "L" - INDC(FR) 28/L -

DIVERS ET THESES

- Amalthee : A fortran code for spectra and cross sections calculations within the exciton model.
O. BERSILLON, L. FAUGERE
Rapport NEANDC(E) 191/L - INDC(FR) 26/L -

- Differential cross section measurements for 3.4 MeV neutron scattering from ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu .
G. HAOUAT, J. LACHKAR, Ch. LAGRANGE, Y. PATIN, J. SIGAUD, R.E. SHAMU.
Rapport NEANDC(E) 196 "L" - INDC(FR) 29/L -

- Coherent optical and statistical model calculations of neutron cross sections for ^{240}Pu and ^{242}Pu between 10 keV and 20 MeV.
Ch. LAGRANGE, J. JARY.
Rapport NEANDC(E) 198 "L" - INDC(FR) 30/L -

- Biblion, a program system for updating and editing a nuclear data oriented library index.
A. SCHETT, C. PHILIS, S. PERLES.
Rapport NEANDC(E) 199 "L" à paraître.

- Spectroscopie des noyaux de sélénium pairs avec la réaction (n,n' γ).
B. PEYAUD.
Thèse Docteur 3ème cycle soutenue le 10.02.1978.

- Etude de la paramétrisation d'un potentiel optique pour le calcul de sections efficaces de réactions nucléaires.
R. PERRIER.
Mémoire Ingénieur C.N.R.S. en Informatique soutenue le 5.10.1978.

- Evaluation par modèles nucléaires des sections efficaces neutroniques des plutonium 240 et 242 entre 10 keV et 20 MeV.
J. JARY, Ch. LAGRANGE.
Note scientifique n° PN 87/77 du 28.10.1977.

- Mesure de la durée de la bouffée pulsée du Van de Graaff tandem 14 MeV - mise en place d'une chaîne de mesure -
J. BARDY.
Note technique n° PN 190/78 du 22.02.1978.

- Taux des réactions thermonucléaires entre éléments $Z = 1$ à 3 .

J. JARY.

Note scientifique n° PN 287/78 du 16.03.1978.

- Production d'ions lourds ^{16}O , - ^{12}C à l'aide d'une source duoplasmatron sur le Van de Graaff Tandem 14 MeV de Bruyères-le-Châtel.

R. BODIN

Note technique n° PN 601/78 du 15.06.1978.

- Relations entre probabilités de fission et sections efficaces thermiques

J. JARY.

Note scientifique n° PN 506/78 du 25.05.1978.

- Données neutroniques de ^{93g}Nb et ^{93m}Nb entre 5 keV et 5 MeV.

Ch. LAGRANGE, J.P. DELAROCHE, P. BRETON.

Note scientifique n° PN 1014/78 du 13.11.1978.

- Nouvelle documentation pour l'utilisation du Co/ordinateur 500.

P. BRETON.

Note technique n° PN 1013/78 du 13.11.1978.

PARTIE E

SEMINAIRES

LISTE DES SEMINAIRES DONNES AU SERVICE P.N. EN 1978

(en principe le lundi de chaque semaine)

Lundi 9 Janvier 1978 -

Diffusion de protons aux énergies intermédiaires.

(A. CHAUMEAUX - DPh-N-ME - CEN/SACLAY).

Lundi 16 Janvier 1978 -

Résonances géantes dans les noyaux excités par des faisceaux de hadrons.

(M. MORLET - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Jeudi 19 Janvier 1978 -

Section efficace de fusion pour la réaction $^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$ et moment angulaire maximum pour le noyau composé ^{26}Al .

(R. DAYRAS - Oak Ridge National Laboratory - USA).

Lundi 23 Janvier 1978 -

Theory of compound and direct neutron scattering.

(P. MOLDAUER - Argonne National Laboratory - USA).

Lundi 30 Janvier 1978 -

Interaction, spin-orbite dans la diffusion inélastique.

(J. RAYNAL - DPh-T - CEN/SACLAY).

Lundi 6 Février 1978 -

Etude de la partie réelle du potentiel d'interaction noyau-noyau.

(F. STANCU - Université de Liège - Belgique).

Lundi 13 Février 1978 -

Dynamic deformation theory of even-even nuclei.

(K. KUMAR - Service de Physique Nucléaire, C.E. Bruyères-le-Châtel ;
détaché de : Vanderbilt Université Nashville).

Lundi 20 Février 1978 -

Décomposition radioactive des isotopes de Na et de K très riches en neutrons.

(C. DETRAZ - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Lundi 6 Mars 1978 -

Accélération d'ions lourds avec les cyclotrons.

(D.T. TRAN - CGR MeV).

Lundi 13 Mars 1978 -

Mesure de masse des noyaux exotiques légers par réactions de transfert.

(F. NAULIN - Service de Physique Nucléaire, C.E. Bruyères-le-Châtel).

Lundi 20 Mars 1978 -

Caractéristiques des chambres à multifils de grande dimension utilisés dans la Physique des particules élémentaires.

(G. MAREL - DPh-PE - CEN/SACLAY).

Lundi 3 Avril 1978 -

Les lasers de puissance et la fusion par confinement inertiel.

(A. BEKARIAN - Service Haute Densité d'Energie - Centre d'Etudes de Limeil).

Lundi 10 Avril 1978 -

Etude de noyaux de transition par réactions de transfert.

(M. VERGNES - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Mardi 18 Avril 1978 -

Comparaison des réactions (${}^6\text{Li}, d$) et (${}^{16}\text{O}, {}^{12}\text{C}$) sur les isotopes du fer.

(J. SUNIER - Laboratoire Scientifique de Los Alamos - USA).

Lundi 24 Avril 1978 -

The spallation breeder concept.

(A.A. HARMS Mc MASTER - University Hamilton - Ontario Canada).

Mardi 25 Avril 1978 -

Diffraction des neutrons et des rayons X.

(R. ALLEMAND - LETI MCTE Grenoble).

Lundi 8 Mai 1978 -

Applications des détecteurs naturels de traces nucléaires en astrophysique.

(P. PELLAS - Directeur de recherche au CNRS).

Vendredi 19 Mai 1978 -

Le potentiel externe dans la théorie de Brueckner. Son choix ?

(Dr. A. LEJEUNE - Université de Liège Belgique).

Lundi 22 Mai 1978 -

Calculs TDHF à trois dimensions ; applications à la collision d'ions lourds.

(M. FLOCARD - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Lundi 29 Mai 1978 -

Réactions rapides induites par ^{16}O sur ^{208}Pb à haute énergie.

(C. MERMAZ - DPh-N/BE - CEN/SACLAY).

Lundi 5 Juin 1978 -

Récents développements dans les techniques de détection et de traitement du signal.

(J. ITZCOVITZ - Société ORTEC).

Lundi 12 Juin 1978 -

Réactions très inélastiques dans les systèmes symétriques d'ions lourds de masse moyenne.

(N. FRASCARIA - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Lundi 19 Juin 1978 -

The pion condensation and neutron stars.

(A. MIGDAL - Institut de Physique Théorique - Moscou URSS).

Lundi 26 Juin 1978 -

Calculs microscopiques de densités de niveaux.

(N. CARJAN - Centre d'Etudes Nucléaires de BORDEAUX).

Mardi 5 Septembre 1978 -

Equations of state experiments in the 20 megabars pressure region.

(Charles Ellis RAGAN III - Los Alamos USA).

Lundi 2 Octobre 1978 -

Present research in E-Division at LLL.

(Luisa F. HANSEN - Livermore USA).

Mercredi 4 Octobre 1978 -

γ -ray strength functions in the mass range of $A \approx 90$.

(D. GARDNER - Livermore USA).

Mercredi 11 Octobre 1978 -

Measurements of the ^{235}U fission cross section in the MeV energy region.

(A.D. CARLSON - National Bureau of Standards Washington USA).

Lundi 16 Octobre 1978 -

3 ébauches d'utilisation des solutions de TDHF.

(B. GIRAUD - Service de Physique Théorique - CEN/SACLAY).

Lundi 23 Octobre 1978 -

Diffusion inélastique des neutrons des noyaux de la région des terres rares et celles des actinides.

(J. LACHKAR, Service de Physique Nucléaire, C.E. Bruyères-le-Châtel).

Lundi 6 Novembre 1978 -

Results and interpretation of capture γ -rays studies on ^{166}Er , ^{194}Os , ^{196}Pt , ^{235}U .
(W. DAVIDSON - Institut Laue Langevin - Grenoble).

Lundi 13 Novembre 1978 -

Laboratoire UNILAC à Darmstadt - Etude de la réaction $^{132}\text{Xe} + ^{56}\text{Fe}$ à 5.9 MeV/n.
(C. VOLANT - DPh-N/BE - CEN/SACLAY).

Lundi 20 Novembre 1978 -

Utilisation de galettes de micro-canaux en physique nucléaire.
(J. POUTHAS - Institut de Physique Nucléaire - ORSAY).

Vendredi 24 Novembre 1978 -

Coherent and Statistical Features in Heavy-Ion Reactions.
(V. STRUTINSKY - Institute for Nuclear Research Kiev URSS).

Lundi 4 Décembre 1978 -

Confinement inertiel par électrons et ions légers.
(J.P. BABUEL-PEYRISSAC - Centre d'Etudes Nucléaires de Limeil).

Lundi 11 Décembre 1978 -

Transfert de moment angulaire accompagnant les collisions très inélastiques dans la réaction $^{20}\text{Ne} + ^{63}\text{Cu}$.
(R. DAYRAS, Service de Physique Nucléaire, C.E. Bruyères-le-Châtel).

Lundi 18 Décembre 1978 -

Aperçu de la théorie des probabilités comme théorie de l'information.
(F. PEREY - Oak Ridge National Laboratory (ORNL) USA).

Mardi 19 Décembre 1978 -

Applications de la théorie des probabilités aux données expérimentales.

(*F. PEREY - Oak Ridge National Laboratory (ORNL) USA*).

Mardi 19 Décembre 1978 -

Evaluated Nuclear Cross Section Data for Fusion Reactor Calculations.

(*M. BHAT - Brookhaven National Laboratory USA*).



Edité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91190 GIF-SUR-YVETTE (France)