

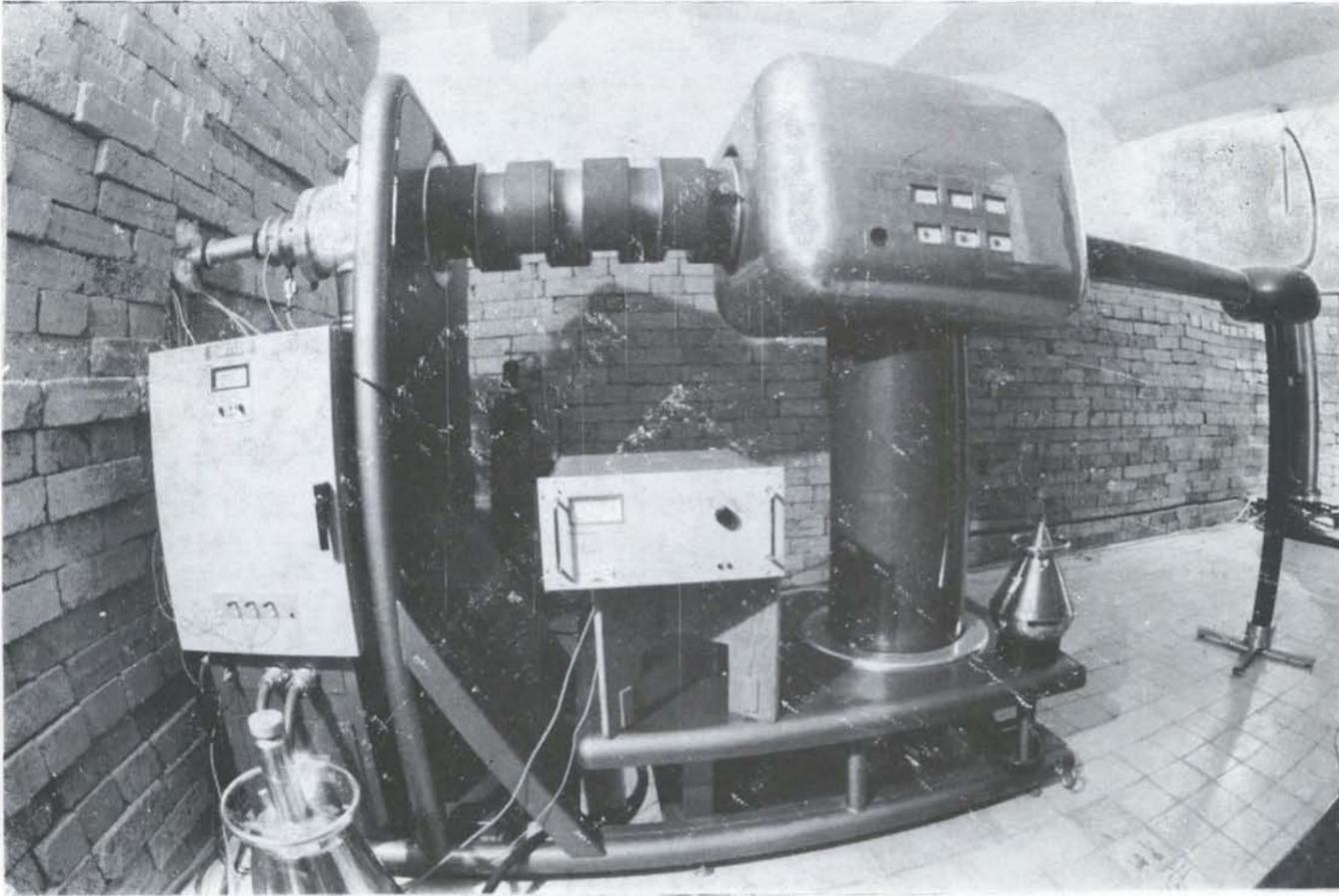
UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DES SCIENCES DE RABAT

INDC(MOR)-003/GI
INT(86)-11

LABORATOIRE
DE
PHYSIQUE
NUCLEAIRE

مختبر
الفيزياء
النوية

NDS LIBRARY COPY



NDS LIBRARY COPY

RAPPORT D'ACTIVITE

ANNEES 1983 et 84

UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DES SCIENCES
AVENUE IBN BATOTA
R A B A T

Tél. : 718-34 (35) poste 233, 220
Télex : 32626

RAPPORT D' ACTIVITE DU LABORATOIRE
DE PHYSIQUE NUCLEAIRE

N° 6
ANNEES 1983 et 84.

La photocopie de couverture représente l'accélérateur SAMES
de 400 KV du laboratoire (photo J. JOFFRE).

S O M M A I R E

	Pages
Introduction :	2
I. Personnel :	4
II. Matériel :	5
III. Budget :	6
IV. Axes actuels de recherche :	7
1. Activation neutronique et mesure des sections efficaces.	
- Réactions $(n,2n)$; (n,α) , (n,p) par spectrometrie gamma	7
- Réactions $(n,2n)$; (n,n') par spectrométrie X	13
- Réactions secondaires induites par particules chargées	17
- Fission	21
2. Neutronique	22
3. Physique nucléaire appliquée	25
4. Radiochimie	28
5. Codes de calcul	30
6. Techniques expérimentales diverses.	32
V. Travaux d'installation et de maintenance :	36
VI. Résumés des travaux publiés :	37
1. Diplomes de 3° cycle (D)	37
2. Publications (P)	37
VII. Relations extérieures :	41
1. A.I.E.A.	41
2. Coopération française	41
3. Organismes marocains	42
4. Colloques et stages.	42

I N T R O D U C T I O N

Au cours des années 1983 et 1984, le Laboratoire de Physique Nucléaire de Rabat (L.P.N.R.) a eu une intense activité d'enseignement et de recherche qui a été couronnée par la présentation d'une thèse de 3^e cycle et la publication de 8 articles dans des journaux internationaux et dans les comptes rendus de deux conférences internationales. En plus de ces succès scientifiques, le personnel enseignant-chercheur du Laboratoire a fait preuve d'une maîtrise technique totale des instruments et appareils qu'il utilise et dont le fonctionnement requiert un niveau technologique élevé : accélérateur de particules, instrumentation électronique de mesures, détecteurs, miniordinateurs, liquefacteur etc ...

Il a maintenu ses excellentes relations avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique en obtenant deux contrats de recherche pour la mesure de sections efficaces des réactions nucléaires induites par neutrons de 14 MeV et utilisées dans la technologie des réacteurs à fission (présents) et à fusion (futurs). Il a pu obtenir grâce à la Coopération Française une Action Intégrée avec comme partenaire le Centre d'Etudes Nucléaire de Bordeaux-Gradignan.

Les relations intérieures ne sont pas pour autant négligées, puisqu'il a été en relation de travail avec le Ministère de l'Energie et des Mines (radioactivité des phosphates marocains) et avec le Musée de l'Archéologie (analyse de pièces d'or antiques).

Les axes de recherche introduits depuis l'installation de l'Accélérateur ont été développés. Il s'agit des aspects fondamentaux et appliqués de l'Activation Neutronique induite par les neutrons de 14 MeV. Mesures de sections efficaces de réactions $(n,2n)$, (n,p) , (n,n') (n,α) - en utilisant la spectrométrie gamma et la spectrométrie X - Etude des réactions secondaires induites par particules chargées de recul - Analyse non destructive de certains éléments comme l'or, l'argent et le Cuivre dans les monnaies anciennes - D'autres axes sont en cours de développement : l'Utilisation et la réalisation de certains codes de calcul pour interpréter les résultats expérimentaux en terme de mécanismes de réactions nucléaires - La Physique des Réacteurs avec l'étude de problèmes de Neutronique - La Radiochimie avec les moyens d'extraction de l'Uranium et de certaines terres rares en milieu phosphorique.

Un autre axe vient d'être introduit : la Fission Nucléaire en collaboration avec le C.E.N.B.G.

Cette activité scientifique et technique prouve la vitalité du groupe, et son adaptation aux conditions de travail locales. Nul doute qu'il constitue au Maroc un ensemble humain opérationnel capable de développer les Sciences et Techniques Nucléaires à l'échelle Nationale.

Professeur M. BERRADA

Responsable du L.P.N.R.

I. PERSONNEL

a. Personnel enseignant-chercheur et étudiant de 3° cycle (au 31/12/84)

N O M	PRENOM	SITUATION ADMINISTRATIVE
MM. ACHOUR	Mustapha	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (2 ^{ième} année)
AIT HADDOU	Assou	Maitre-assistant
BERRADA	Med. Ben Thami	Professeur responsable du L.P.N.R.
BOUFRAQECH	Ahmed	Maitre-assistant
BOUHLASSA	Sadati	Professeur
Mme CHERKAOUI EL MOURSLI	Rajâa	Maitre-assistante
MM. CHETAINE	Abdelwahab	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (2 ^{ième} année)
CHIADLI	Abdellatif	Maitre-assistant
CHOUAK	Abdelkader	Maitre de conférences
CHOUKRI	Abdelmajid	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (2 ^{ième} année)
EL BARDOUNI	Tarek	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (2 ^{ième} année)
EL MAGHRAOUI	Mohamed	" " " "
EL YAHYAOUI	Ahmed	Maitre-assistant
EMBARCH	Khalid	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (1 ^{ère} année)
ERRADI	Lahoucine	Professeur
IBN MAJAH	Mohamed	Assistant (ENS Takaddoum Rabat)
KAROUBANI	Khalid	Etudiant de 3 ^{ième} cycle (1 ^{ère} année)
Mlle KHARCHAF	Amina	Etudiante de 3 ^{ième} cycle (2 ^{ème} année)
MM. REGGOUG	Abderrahmane	Maitre de conférences
SOUHNOUN	Abdelhalim	Assistant (ENS Casablanca)
VIENNOT	Michel	Assistant (Fac. de Médecine, Rabat)

Soit 21 personnes dont :

3 professeurs (docteurs es sciences)

2 maitres de conférences (diplomes de 3^{ième} cycle) dont 1 prépare une thèse d'état.

5 Maitres assistants (diplomes de 3^{ième} cycle), dont 4 préparent une thèse d'état.

3 assistants (dont un docteur de 3^{ième} cycle)

8 étudiants de 3° cycle.

II. MATERIEL

a. Moyens d'irradiation :

- Accélérateur SAMES 400KV (T 400) générateur de neutrons de 14 MeV, ions pouvant être accélérés : p, d, ^4He , ions lourds ..., ions effectivement accélérés : deutons.
- Un dispositif d'irradiation avec une source de californium 252 de 4 g.
- Une source d'américium-beryllium de 5 curies.
- Plusieurs sources étalons.
- Dispositif d'analyse des teneurs en substances hydrogénées par réflexion neutronique (bitatron).

b. Moyens de détection :

- 1 détecteur gamma germanium-lithium ORTEC vertical 2,5 keV, 10%.
- 1 détecteur gamma germanium-lithium CANBERRA horizontal 2 keV, 10%.
- 1 détecteur X/ hyperpur germanium ORTEC $\phi = 16$ mm et e = 7 mm.
- 3 détecteurs à iodure de sodium de 3 pouces x 3 pouces.
- Plusieurs détecteurs à barrière de surface.
- Un analyseur à 4096 canaux TRACOR
- Un analyseur 1024 canaux TRACOR
- Un analyseur 1024 canaux CANBERRA série 30
- Un analyseur 4096 canaux CANBERRA série 80
- Plusieurs chaînes électroniques : préamplificateurs, amplificateurs, sélecteurs d'amplitudes et échelles de comptage ORTEC et CANBERRA.
- Un dosimètre portatif à neutrons STUDEVIK
- Un dosimètre portatif pour β et γ BEFIC
- Compteur de traces à étincelles (jumping spark counter)
- Un scintillateur INa "3 x 3", puits 1" x 2" ; Teledyne.

c. Moyens de calcul :

- Commodore 8296, lecteur de cassette, imprimante 8023 P langage basic (version 4)32K (avec possibilité d'extension de mémoire jusqu'à 67K).
- Digital "Professional 350", imprimante LA50, 18K pour le basic (possibilité d'extension de mémoire pour langage Fortran ou Pascal).

d. Laboratoire de radiochimie :

- Deux boîtes à gants
- Une étuve
- Une centrifugeuse
- Une presse hydraulique 25 tonnes Spex.

- Une balance au 1/100 mg Mettler
- Verrerie et produits chimiques
- Un photomètre ELVI 675.

III. BUDGET

Les ressources financières du Laboratoire de Physique Nucléaire, au titre de la recherche, proviennent du Ministère de l'Education Nationale d'une part, et de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique et de la Coopération Culturelle Française d'autre part,

Pour les années 1983-84, le budget s'élevait :

- 1) - Ministère de l'Education Nationale :
 - . Fonctionnement 50.000 DH (chaque année)
- 2) - A.I.E.A. :
 - . Programme ordinaire (1983-84) : US dollars 5000
 - . Contrat de recherche n° R1/RB qui débute le 15 Octobre 84, "Mesure et Analyse des données nucléaires relatives aux neutrons de 14 MeV et nécessaires à la technologie des réacteurs de fission et de fusion..." US dollars 4000.
- 3) Coopération Culturelle Française :
 - . Action Intégrée n°2, 1° et 2° année "Mesure par spectrométrie X et gamma des sections efficaces des réactions nucléaires induites par les neutrons de 14 MeV sur les noyaux moyens et lourds," avec le Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan.
 - 2 missions (chaque année)
 - 3 séjours d'étude de 1 mois (chaque année)
 - Equipement : 60.000 FF (1983) (livré)
40.000 FF (1984) (non encore livré)
 - Aide du fonctionnement : 25.000 FF (chaque année)
- 4) Divers :
 - Analyses d'échantillons de phosphate
 - Ministère des Mines et de la Géologie 4000 DH

IV. AXES DE RECHERCHE

1. Activation neutronique et Mesure des sections efficaces.

a. Reactions $(n,2n)$, (n,α) , (n,p) par spectrométrie gamma

- Etude des principales sources d'erreur en spectrométrie gamma
Application à la mesure de sections efficaces (M. IBN MAJAH,
A. AIT HADDOU)

Pour la quasi-totalité des applications en Physique Nucléaire, la mesure fait appel à des comptages. L'une des principales applications est la mesure de sections efficaces totale et différentielle.

Le but de ce travail est la mise au point de méthodes de correction pour différents effets pouvant affecter les comptages en spectrométrie γ , et possibilité de chevauchement d'impulsions (effet d'empilement), possibilité de détection de deux rayonnements électromagnétiques en coïncidence (effet de somme), perte de comptage due au système d'analyse et de mémorisation (temps mort).

Comme application à ce travail, nous avons mesuré des sections efficaces de réactions induites par des neutrons de 14 MeV, dont les périodes de désintégration relativement longues exigent des comptages à courtes distances du détecteur et donc la correction de la perte par effet de temps mort, d'empilement et éventuellement de somme. Les résultats sont montrés dans les 2 tableaux de la page suivante.

- Mesures de sections efficaces sur le tantale, l'argent, le nickel, le cobalt et l'indium (M. ACHOUR, A. AIT HADDOU, M. BERRADA, A. BOUFRAQECH, A. CHIADLI, A. CHOUAK, A. REGGOUG, M. VIENNOT).

Des mesures de sections efficaces des réactions nucléaires (n,p) , $(n,2n)$, $(n,np)+ (n,pn)$ et (n,α) sur le noyau lourd ^{181}Ta avec des neutrons de 14,7 MeV environ ont été effectuées, en raison de la dispersion des valeurs trouvées en littérature et de l'intérêt théorique (la contribution due au modèle de prééquilibre n'est plus négligeable devant la contribution du modèle statistique comme les noyaux lourds). Le noyau ^{181}Ta a une abondance isotopique de 99,98% ce qui limite les réactions parasites sur l'autre isotope stable.

Réactions	En MeV	Moniteur	Raie γ KeV utili sée.	σ_{mes} mb	Facteur de correction	σ_{corr} mb	Littérature
$^{56}\text{Mn}(n,2n)$ $T_{1/2} = 312 \text{ j}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	835	742 ± 30		742 ± 30	850 ± 60 à 14,9
$^{41}\text{K}(n,p)^{41}\text{Ar}$ $T_{1/2} = 1,83 \text{ h}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	1294	$49,7 \pm 1,6$		$49,7 \pm 1,6$	48 ± 10 à 14,9
		$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$	1294	$45,7 \pm 0,8$		$45,7 \pm 0,8$	50 ± 5 à 14,1
$^{41}\text{K}(n,\alpha)^{38}\text{Cl}$ $T_{1/2} = 37,3 \text{ mn}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	1642	$27,6 \pm 1,8$	1,06	$29,4 \pm 1,8$	31 ± 5 à 14,9
		$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$	1642	$25,9 \pm 1,5$	1,06	$27,5 \pm 1,5$	35 ± 8 à 14,5
$^{52}\text{Cr}(n,2n)$ $T_{1/2} = 27,7 \text{ j}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	320	379 ± 26		379 ± 26	358 ± 25 à 14,9
		$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$	320	359 ± 22		359 ± 22	278 ± 20 à 14,1
$^{92}\text{Mo}(n,2n)^{m-g}$ $m = 65 \text{ s}$ $g = 15,48 \text{ mn}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	$511(\beta^+)$	296 ± 9		$\sigma_g + 0,5\sigma_m =$ 296 ± 9	200 à 14,5
$^{121}\text{Sb}(n,2n)$ $T_{1/2} = 15,8 \text{ mn}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{65}\text{Cu}(n,2n)$	$511(\beta^+)$	1016 ± 50		1016 ± 50	998 ± 83 à 14,7 1014 ± 96 à 14,8
		$^{65}\text{Cu}(n,2n)$	197	485 ± 51	1,30	630 ± 51	695 ± 64 à 14,8
$^{121}\text{Sb}(n,2n)$ $T_{1/2} = 5,76 \text{ j}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{65}\text{Cu}(n,2n)$	1023	477 ± 42	1,36	650 ± 42	591 ± 37 à 14,8
			1171	481 ± 40	1,37	659 ± 40	
$^{52}\text{Cr}(n,p)^{52}\text{V}$ $T_{1/2} = 3,76 \text{ mn}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	1434	$82,7 \pm 2,4$		$82,7 \pm 2,4$	96 ± 10 à 14,9
		$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$	1434	76 ± 2		76 ± 2	94 ± 10 à 14,5

Réactions (n,2n), (n, α), (n,p) par spectrométrie gamma (M. Ibn Majah, A. Ait Haddou)

Réactions	En MeV	Moniteur	raies γ utilisées KeV	σ_{mes} mb	F corr pour la raie	σ_{corr} mb	σ Littérature mb
$^{89}\text{Y}(n,2n)^{88}\text{Y}$ $T_{1/2} = 108 \text{ j}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	1836 898	812 ± 32 839 ± 33	1,08 1,06	879 ± 35 892 ± 36	930 ± 84 à 14,5 MeV
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ $T_{1/2} = 2,57 \text{ h}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	847 1811	110 ± 3 100 ± 4	1,02 1,08	112 ± 3 108 ± 4	103 ± 6
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ $T_{1/2} = 43,7 \text{ h}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$	175 933,5 1037 1312	$62,6 \pm 3,5$ $61,3 \pm 1,6$ $60,6 \pm 1,6$ $59,7 \pm 1,6$	1,23 1,16 1,16 1,17	$76,9 \pm 3,5$ $71,1 \pm 1,6$ $70,5 \pm 1,6$ $69,8 \pm 1,6$	$71,7 \pm 2,6$
$^{50}\text{Cr}(n,2n)$ $T_{1/2} = 41,9 \text{ mn}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n,p)$ $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	90 90	$29,3 \pm 1,9$ $29,2 \pm 1,8$	- 0,93	$29,3 \pm 1,9$ $27,2 \pm 1,8$	28 ± 3 à 14,9 MeV $10 \pm 1,5$ à 14,1 MeV
$^{94}\text{Mo}(n,2n)$ $T_{1/2} = 6,9 \text{ h}$	14,1 $14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ F = 1,07 $^{65}\text{Cu}(n,2n)$	263 678 1477 263 678 1477	$2,48 \pm 0,27$ $1,97 \pm 0,04$ $2,06 \pm 0,4$ $7,26 \pm 0,80$ $62 \pm 0,7$ $5,8 \pm 0,7$	1,16 1,24 1,28 1,16 1,24 1,28	$2,9 \pm 0,3$ $2,5 \pm 0,4$ $2,7 \pm 0,4$ $8,4 \pm 0,8$ $7,7 \pm 0,7$ $7,4 \pm 0,7$	3 ± 1 à 14,1 MeV
$^{197}\text{Au}(n,2n)^{196m}\text{Au}$ $T_{1/2} = 9,7 \text{ h}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	148 188 285	145 ± 6 135 ± 9 137 ± 14	1,09 1,06 1	152 ± 6 140 ± 9 137 ± 14	147 ± 10 à 14,9 MeV 143 ± 10 à 14,5 MeV 134 ± 10 à 14,5 MeV
$^{197}\text{Au}(n,2n)^{190g}\text{Au}$ $T_{1/2} = 6,2 \text{ j}$	$14,7 \pm 0,3$	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	356	—	—	1939 ± 60	

TABLE 2

Quelques résultats préliminaires ont été obtenus en utilisant un détecteur Ge(Li) ou un détecteur Ge pur.

Réactions	E_n (MeV)	Dét.	σ (mb)	σ (Litt.)
$^{181}\text{Ta}(n,2n)^{180\text{m}}\text{Ta}$	$14,1 \pm 0,1$	Ge(Li)	1135 ± 30	1096 ± 88
	$14,7 \pm 0,4$	Ge(Li)	1130 ± 30	Ge(Li) (1970) 1307 ± 40
		Ge	1304 ± 39	Ge(Li) (1980)
$^{181}\text{Ta}(n,p)^{181}\text{Hf}$	$14,1 \pm 0,1$		$3,1 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,3$
	$14,7 \pm 0,4$		$2,9 \pm 0,2$	

D'autre part, les sections efficaces des réactions $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{m,g}}\text{Ag}$ ont été mesurées pour spectrométrie gamma, la méthode et les résultats ont fait l'objet d'un article paru dans la revue "Atomki" (voir publication P.23).

E_n (MeV)	σ_m (mb)	σ_g (mb)	σ_m / σ_g	Moniteur
14,65	604 ± 48	901 ± 88	$0,670 \pm 0,038$	$^{63}\text{Cu}(n,2n)$; 603mb

Enfin, des échantillons de nickel ou de cobalt (feuilles pures ou oxydes) ont été placés à 10cm de la cible de tritium de façon à obtenir plusieurs énergies en neutrons et avec une bonne résolution en énergie (0,15 MeV environ).

Les mesures des sections efficaces (n,2n) effectuées sur le nickel et (n,p),(n,2n) et (n, α) effectuées sur le cobalt sont groupées dans le tableau suivant :

Ces résultats ont fait l'objet d'une communication au Meeting de GAUSSIG (21-25 Novembre 1983) pour des neutrons de 14 MeV.

Les résultats obtenus pour la section efficace (n,2n) sur le nickel sont en conformité avec les résultats récents de CSIKAI et al (Conférence d'Anvers, Septembre 1982) et les évaluations (cf. rapport INDC (AUS) - 9/L Jun. 1983, PAVLI, A. et WINCKLER, G.) dans la région en énergie disponible.

Réactions	Energie des neutrons (MeV)			
	13,8	14,1	14,4	14,8
$^{58}\text{Ni}(n,2n)^{57}\text{Ni}$	$13,6 \pm 0,4$	$20,2 \pm 0,6$		$31,0 \pm 0,9$
$^{59}\text{Co}(n,2n)^{58\text{m}}\text{Co}$	277 ± 14	387 ± 20	531 ± 27	532 ± 27
$^{59}\text{Co}(n,2n)^{58\text{g}}\text{Co}$	559 ± 17	690 ± 21	793 ± 26	877 ± 26
$^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$	$46,9 \pm 1,6$	$44,1 \pm 1,6$	$44,0 \pm 1,4$	$43,3 \pm 1,5$
$^{59}\text{Co}(n,\alpha)^{56}\text{Mn}$	$25,0 \pm 0,8$	$29,6 \pm 0,9$	$30,0 \pm 0,9$	$28,4 \pm 0,9$

Les sections efficaces (n,2n) obtenues sur le cobalt sont en accord avec la croissance de la section efficace observée dans cette région en énergie, mais il n'existe pas d'autres résultats récents et les résultats expérimentaux existants sont très dispersés.

Les sections efficaces (n,p) obtenues sur le cobalt sont en désaccord avec les résultats expérimentaux (voir figure) mais en bon accord avec l'évaluation de ARTHUR et al (LA-UR 80 - 1327).

Par contre les sections efficaces (n, α) obtenues sur le cobalt sont en assez bon accord avec les résultats expérimentaux (voir figure) et semblent indiquer un maximum de la fonction d'excitation plus élevé que celui donné pour l'évaluation de ARTHUR et al.

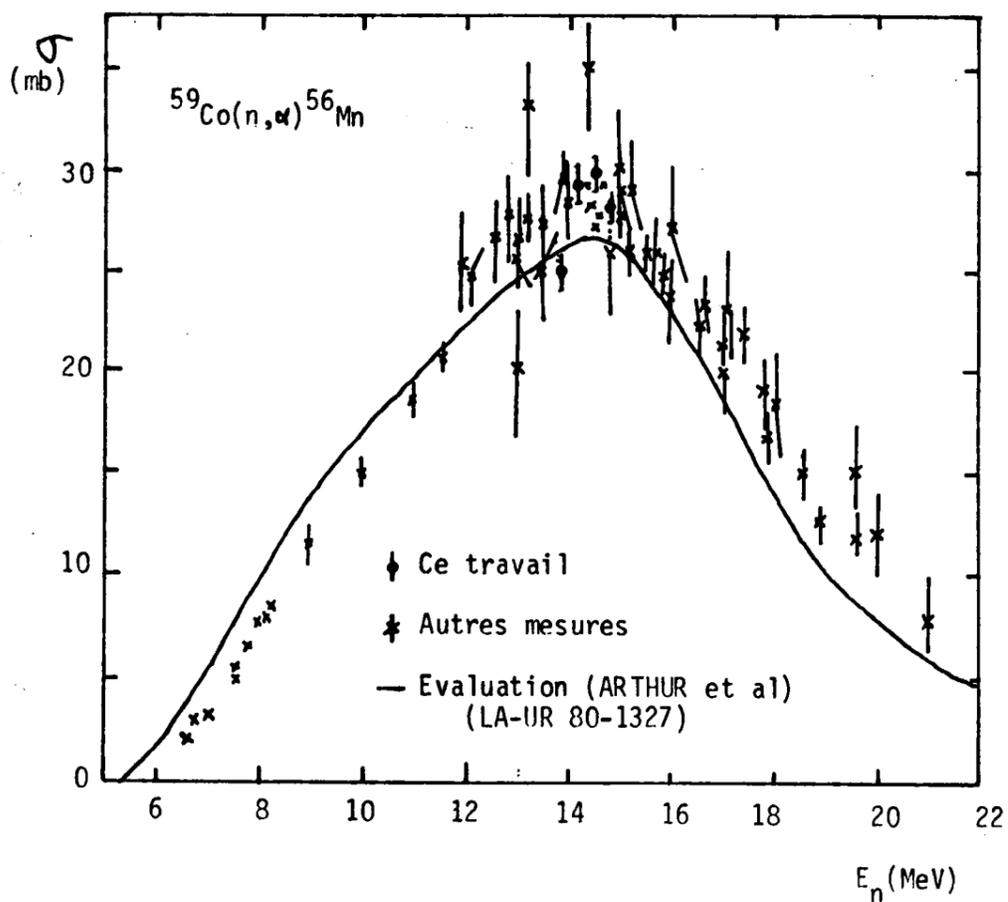
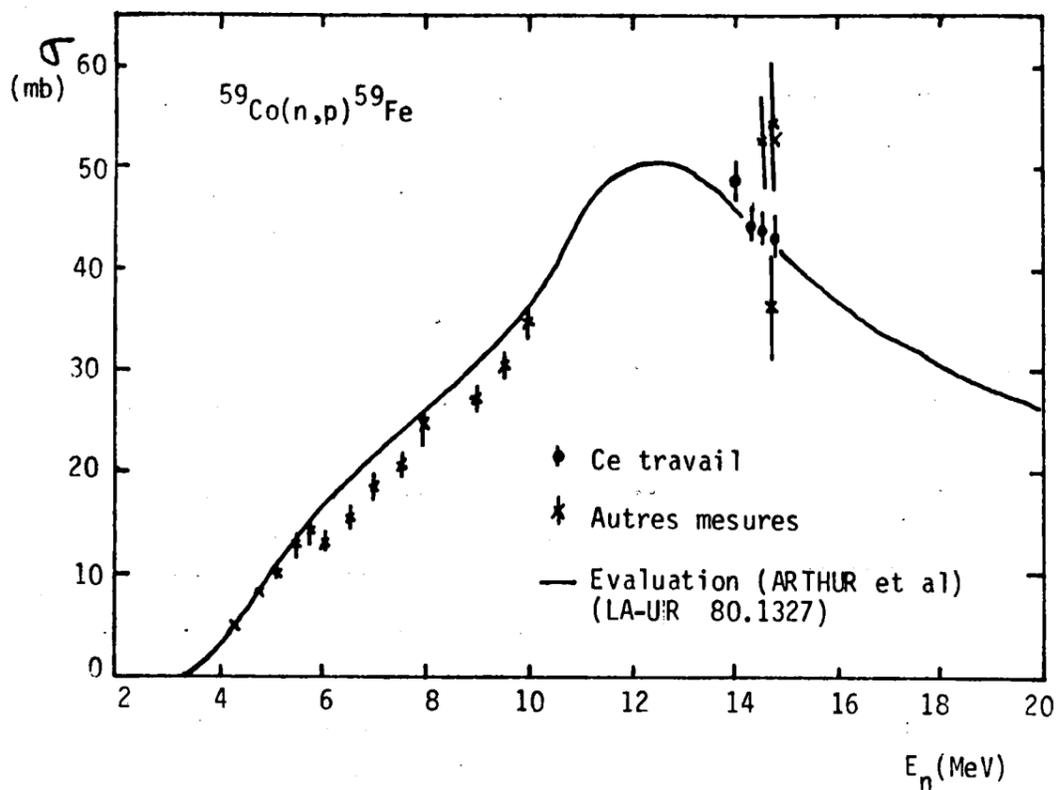


Figure : Sections efficaces (n,p) et (n, α) sur le noyau ^{59}Co mesurées et évaluées.

b. Réactions (n,2n) et (n,n') par spectrométrie X (A. REGGOUS, M. BERRADA, M. EL MAGHRAOUI) :

Dans ce travail, nous mettons en évidence la possibilité d'étudier les réactions nucléaires à l'aide de la détection des rayons X produits par les noyaux résiduels des réactions induites par les neutrons rapides.

Nous avons développé les méthodes de dépouillement des spectres et de décroissance permettant d'identifier avec une bonne précision les contributions multiples aux taux de production de rayons X.

La méthode développée est tout particulièrement adéquate pour la mesure de réactions n'aboutissant qu'aux produits se désintégrant par émissions X. De même dans le cas où l'émission γ et X sont présentes il est possible de comparer les résultats des deux mesures et ainsi éliminer les erreurs dues aux incertitudes des rapports d'embranchement, ou de conversion interne.

Dans certains cas nous avons réussi à augmenter la précision des données spectroscopiques, notamment l'énergie de la raie γ de 77.40 ± 0.02 keV émise avec une très faible intensité par le noyau résiduel ^{113m}Sn , et la mise en évidence de l'absence d'émission de la raie γ de 20 KeV à partir du noyau ^{123m}Sb .

Utilisant la méthode en question, nous avons mesuré un certain nombre de sections efficaces de réactions (n,2n) et (n,n'), voir tableau 1.

Trois réactions parmi elles à savoir $^{114}\text{Sn}(n,2n)^{113m}\text{Sn}$, $^{191}\text{Ir}(n,2n)^{190m1}\text{Ir}$, $^{193}\text{Ir}(n,2n)^{192m1}\text{Ir}$ n'ont jusqu'ici jamais été rapportées dans la littérature.

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus ont été comparés aux prévisions d'un modèle théorique. Nous avons utilisé pour cela le Code Empire qui permet de faire des calculs dans le cadre du modèle tenant compte de l'émission de nucléons avant et après l'équilibre statique.

A partir du tableau 2, indiquant les résultats de cette comparaison, nous avons pu conclure que dans le cas où les données concernant les niveaux du noyau résiduel sont suffisamment connues, les résultats expérimentaux et théoriques sont en excellent accord, spécialement quand il s'agit de la section efficace totale. Toutefois dans le cas des rapports isomériques des sections efficaces de quelques réactions, on trouve des désaccords.

Reactions	Target	E _n (MeV)	Technique & detector	X Rays	Absolute Intens. (%)	Measured ratio	Uncertainties (%)			Results	
							Stat.	n.dat	Tot. Nber meas		
¹⁰⁷ Ag(n,2n) ^{106m} Ag(8.46d)	enriched ¹⁰⁷ Ag	14.7 ± 0.3	X, HPGe	K _α Pd	58.3 ± 1.8	σ _m /σ _g	0.9	6.6	6.7	1	0.676 ± 0.045
¹⁰⁷ Ag(n,2n) ^{106g} Ag(24min)	powder				24.0 ± 1.4						
¹⁹⁷ Au(n,2n) ^{196m} Au(9.7 h)				AuK _{α2}	22.3 ± 1.9						
and	nat. foil	14.7 ± 0.3	X, HPGe	+		σ _m /σ _g	1.2	10.9	11	1	0.081 ± 0.009
¹⁹⁷ Au(n,2n) ^{196g} Au(6.2 d)				PtK _{α1}	37.3 ± 1.4						
				PtK _{α2}	not needed	σ _m /σ _g	14	0	14	1	0.064 ± 0.010
(1) ¹¹⁵ In(n,2n) ^{114m} In(49.5d)	nat. foil	14.7 ± 0.3	X, HPGe	InK _α	28.08 ± 1.13	σ ₁ /σ ₃	0.7	5.9	6	1	1.16 ± 0.07
(2) ¹¹⁵ In(n,n') ^{115m} In(4.49h)	" "			InK _α	27.27 ± .93	σ ₂ /σ ₃	0.6	5.2	5.3	1	0.0641 ± .0037
(3) ¹¹³ In(n,2n) ^{112m} In(20.9m)	" "			InK _α	46.62 ± 1.84						
(4) ¹¹³ In(n,n') ^{113m} In(99.5m)	" "			InK _α	20.08 ± .66	σ ₄ /σ ₃	20	3.3	20	1	0.05 ± 0.01
(1) ¹¹⁵ In(n,2n) ^{114m} In(49.5d)	" "			CdK _α	2.01 ± .14	σ ₁ /σ ₃	1.8	7.5	8	1	1.12 ± 0.09
(3) ¹¹³ In(n,2n) ^{112g} In(14.4m)	" "			CdK _α	20.27 ± .61	σ ₃ /σ ₃	21	—	21	1	0.23 ± 0.05
(1) ¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m2} Ir(3.1h)	nat. IrO	14.7 ± .3	X, HPGe	K _{α2} Os	23.82 ± .48	$\frac{\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1}{\sigma_1}$	0.8	5.4	5.5	1	11.53 ± .63
(2) ¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m1} Ir(1.2h)											
(3) ¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190g} Ir(1.8d)				K _{α2} Os	26.1 ± 1.3						
(4) ¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192m} Ir(1.4m)						$\frac{\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1}{\sigma_4 + \sigma_5}$	3	7.3	8.3	1	0.96 ± 0.08

TABLEAU 1 : Réactions (n,2n) et (n,n') mesurées par spectrométrie X

Reactions	Target	E _n (MeV)	Techni & detect.	X Rays	Absolute Intensi. (%)	Measured ratio	Uncertainties (%)				Results
							Sta	n.dat	Tot.	Nber meas.	
(5) ¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192g} Ir(73.8d)				K _α Pt	4.65 ± .23						
(2) ¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m1} Ir(1.2h)	nat. IrO	14.7 ± .3	X, HPGe	L _α Ir	14.16 ± .28	σ ₂ /σ ₄	4	2.7	5.4	1	0.74 ± 0.04
(4) ¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192m1} Ir(1.4m)				L _α Ir	8.26 ± .17						
(2) ¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m1} Ir(1.2h)	nat. IrO	14.7 ± .3	X, HPGe	L _β Ir	5.62 ± .11	σ ₂ /σ ₄	6	3	7.5	1	0.67 ± 0.05
(4) ¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192m1} Ir(1.4m)				L _β Ir	13.21 ± .26						
(1) ¹¹⁴ Sn(n,2n) ^{113m} Sn(21.4m)	nat. foil	14.7 ± .3	X, HPGe	K _α Sn	36.4 ± 1.8	σ ₁ /σ ₂	8	7	10.7	1	0.73 ± 0.08
(2) ¹¹² Sn(n,2n) ¹¹¹ Sn(35.3m)			X, HPGe	K _α In	41.8 ± 2.1						
(3) ¹²⁴ Sn(n,2n) ^{123m} Sn(40.08 min)				K _α Sb	8.78 ± 0.44	σ ₁ /σ ₃	7.8	7.3	10.6	1	1.46 ± 0.15
(1) ¹²¹ Sb(n,2n) ^{120A} Sb(16min)	nat. pow.	14.7 ± .3	X, HPGe	K _α Sn	34.7 ± 0.7						
(2) ¹²¹ Sb(n,2n) ^{120B} Sb(5.8d)	Sb ₂ O ₃			K _α Sn	78.9 ± 1.6	σ ₁ /σ ₂	1	3	3.2	1	1.94 ± 0.06
(3) ¹²³ Sb(n,2n) ^{122m} (4.2min)				K _α Sb	61.8 ± 1.3						
(1) ¹²¹ Sb(n,2n) ^{120A} Sb(16min)	nat. pow.	14.7 ± .3	X, HPGe	K _β Sn	7.63 ± 0.15	σ ₁ /σ ₂	3.7	3	4.8	1	1.89 ± 0.09
(2) ¹²¹ Sb(n,2n) ^{120B} Sb(5.8d)	Sb ₂ O ₃			K _β Sn	17.36 ± 0.35						

TABLEAU 1 : Réactions (n,2n) et (n,n') mesurées par spectrométrie X

Not.	Réactions	J ⁿ	Résultats expérimentaux	Résultats théoriques	Remarques (voir détails au § IV.3)
(m)	¹⁰⁷ Ag(n,2n) ^{106m} Ag	: 6 ⁺	$\sigma_m/\sigma_g = 0.676 \pm 0.045$	$\sigma_m/\sigma_g = 0.86$	-Accord satisf. 10 niveaux introduits
(g)	¹⁰⁷ Ag(n,2n) ^{106g} Ag	: 1 ⁺	$\sigma_m/\sigma_g = 0.67 \pm 0.038$	$\sigma_m/\sigma_g = 2.02$	-Désaccord: seuls m et g introduits.
(1)	¹¹⁵ In(n,n') ^{114m} In	: 5 ⁺	$\sigma_1/\sigma_3 = 1.16 \pm 0.07$	$\sigma_1^{(mb)} = 1540 \pm 110$; $\sigma_1^{(mb)} = 1247; 1224$	-Accord: seuls m et g introduits : 10 niv
(2)	¹¹⁵ In(n,n') ^{115m} In	: 0.5 ⁻	$\sigma_2/\sigma_3 = 0.064 \pm 0.003$	$\sigma_2 = 85 \pm 6$; $\sigma_2 = 98 ; 89$	-Accord: 4 niveaux certains: 10 niveaux
(3)	¹¹³ In(n,2n) ^{112m} In	: 4 ⁺		$\sigma_3 = 1330 \pm 48$; $\sigma_3 = 1108$	-Accord satisf.
(3')	¹¹³ In(n,2n) ^{112g} In	: 1 ⁺	$\sigma_3/\sigma_3 = 0.23 \pm 0.05$	$\sigma_3 = 306 \pm 67$; $\sigma_3 = 303$	-T. bon accord
(4)	¹¹³ In(n,n') ^{113m} In	: 0.5 ⁻	$\sigma_4/\sigma_3 = 0.05 \pm 0.01$	$\sigma_4 = 67 \pm 13$; $\sigma_4 = 100$	-léger désaccord
(1)	¹²¹ Sb(n,2n) ^{120a} Sb	: 1 ⁺	$\sigma_1/\sigma_2 = 1.94 \pm 0.06$	$\sigma_1/\sigma_2 = 1.93$	-très bon accord : tableau (IV.2)
(2)	¹²¹ Sb(n,2n) ^{120b} Sb	: 8 ⁻	$\sigma_1/\sigma_2 = 1.89 \pm 0.09$		
(3)	¹²³ Sb(n,2n) ^{122m} Sb	: (8 ⁻)	$\sigma_3/\sigma_1 = 0.58 \pm 0.03$ $\sigma_3/\sigma_1 = 0.54 \pm 0.04$	$\sigma_3/\sigma_1 = 0.31$	-Désaccord (tableau IV.3)
(m)	¹⁹⁷ Au(n,2n) ^{196m} Au	: 12 ⁻	$\sigma_m/\sigma_g = 0.081 \pm 0.009$	$\sigma_m/\sigma_g = 0.038$	-désaccord total
(g)	¹⁹⁷ Au(n,2n) ^{196m1+g} Au	: 5 ⁺	$\sigma_m/\sigma_g = 0.064 \pm 0.01$		voir détail tableau (IV.4)
(1)	¹¹⁴ Sn(n,2n) ^{113m} Sn	: 3.5 ⁺	$\sigma_1/\sigma_2 = 0.73 \pm 0.08$	$\sigma_1 = 878 \pm 77$; $\sigma_1 = 912; 890$	-Très bon accord, :
(2)	¹¹² Sn(n,2n) ¹¹¹ Sn	: 3.5 ⁺		$\sigma_2 = 1275 \pm 100$; $\sigma_2 = 637, 901$ $\sigma_{n,n'} = 1150, 887$	-Désaccord particul. -Très bon accord : (tableau IV.6)
(3)	¹²⁴ Sn(n,2n) ^{123m} Sn	: (1.5 ⁺)	$\sigma_1/\sigma_3 = 1.46 \pm 0.15$	$\sigma_3 = 562 \pm 21$; $\sigma_3 = 611, 583$ litter.	
(1)	¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m2} Ir	: (11)	$\sigma_2/\sigma_4 = 0.74 \pm 0.04$	$\sigma_2/\sigma_4 = 3.2$; $\sigma_1 = 186$	-Désaccord da le cas de (§IV.3)
(2)	¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190m} Ir	: (7)	$\sigma_2/\sigma_4 = 0.67 \pm 0.05$	$\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1/\sigma_2 = 800$; $\sigma_3 = 973$	-Bon accord
(3)	¹⁹¹ Ir(n,2n) ^{190g} Ir	: (4)	$\frac{\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1}{\sigma_1} = 11.53 \pm 0.63$	$= 9.58$; $\sigma_4 = 251$; $\sigma_4 = 191$	σ_{3tot}/σ_1 et $\sigma_{3tot}/\sigma_{5tot}$
(4)	¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192m1} Ir	: 1(+)		$\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1/\sigma_5 = 1209$	
(5)	¹⁹³ Ir(n,2n) ^{192g} Ir	: 4(-)	$\frac{\sigma_3 + \sigma_2 + 0.05\sigma_1}{\sigma_4 + \sigma_5} = 0.96 \pm 0.08$	$\sigma_4 + \sigma_5 = 1.22$; $\sigma_5 = 1061$	

TABLEAU 2 : Comparaison des résultats expérimentaux et des prédictions du Code Empire.

Ceux-là peuvent être interprétés d'une manière simple comme dans le cas de $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{m}}\text{Ag}$. Dans d'autres cas ils peuvent être imputés à l'insuffisance d'information sur les spins et parités des niveaux qui entrent en jeu dans les calculs, comme dans les cas des réactions :

$^{197}\text{Au}(n,2n)^{196\text{m}_2,\text{m}_1,\text{g}}$, $^{191}\text{Ir}(n,2n)^{190\text{m}_2,\text{m}_1,\text{g}}$ et $^{193}\text{Ir}(n,2n)^{192\text{m}_2,\text{m}_1,\text{g}}_{\text{Ir}}$,
ou imputés à l'imprécision des énergies de liaison des nucléons entrant en jeu, exemple des réactions sur ^{112}Sn .

- c. Etude de réactions secondaires induites par particules chargées de recul sur des noyaux légers au cours de l'irradiation par des neutrons de 14 MeV. (A. AIT HADDOU, M. BERRADA).

Irradiés par des neutrons de 14 MeV, les noyaux légers ($Z < 8$) aboutissent à des produits stables ou de très courtes périodes. Seul l'azote aboutit à un radioisotope de 10mn de période par l'intermédiaire de la réaction : $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$. Pour les autres, il ne peut donc y avoir aucune radioactivité quelques minutes après la fin de l'irradiation. Ceci est vrai si nous ne tenons compte que de l'interaction avec les neutrons rapides.

Expérimentalement, il y a souvent apparition d'un ou plusieurs radioisotopes, tous émetteurs β^+ et de plusieurs minutes de période :

$^{13}\text{N}(T_{1/2}=10\text{mn})$, $^{17}\text{F}(T_{1/2}=64,5\text{s})$, $^{11}\text{C}(T_{1/2}=20,4\text{mn})$, $^{18}\text{F}(T_{1/2}=109,7\text{mn})$

L'origine de ces radioisotopes s'explique par le double processus suivant :

- le neutron de 14MeV interagit avec un noyau du milieu irradié et donne naissance à une particule chargée de quelques MeV : proton, deutéron, triton, alpha.

- La particule chargée en question interagit avec un autre noyau du milieu pour donner naissance à l'un des radioisotopes cités en haut. C'est cette deuxième interaction qu'on appelle réaction secondaire. Comme exemple de réaction secondaire, nous citons deux cas qui ont été à l'origine de cette étude :

- Irradiation de l'eau (H_2O).

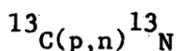
Dans ce cas, il y a d'abord diffusion élastique sur l'hydrogène, ce qui produit un proton d'énergie allant de zéro à 14 MeV. C'est le proton de recul. Ce proton peut à son tour interagir avec l'oxygène

16 par la réaction $\longrightarrow ^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}(\beta^+)$
il y a aussi possibilité d'avoir $\longrightarrow ^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}(\beta^+)$.

- Irradiation d'hydrocarbures (C_xH_y)

Là aussi, c'est encore un proton de recul qui réagit avec le carbone 13

pour donner le radioisotope ^{13}N :



Dans un premier temps, nous avons procédé à l'identification des radioisotopes présents dans divers échantillons à l'aide des γ d'annihilation et de la courbe de décroissance radioactive. Par la suite, une quarantaine d'échantillons ont été irradiés et quantitativement analysés.

A partir de ces mesures nous avons déduit :

- 1) le rendement de chacune des réactions secondaires en nombre de noyaux radioactifs par gramme d'échantillon et par neutron/cm².
- 2) La section efficace moyenne de la réaction secondaire dans le spectre de particules chargées de recul.
- 3) Les variations du rapport en nombre, de deux espèces de noyaux radioactifs en fonction du rapport des noyaux cibles qui leur ont donné naissance. Ceci a été appliqué à la mesure de la pureté isotopique d'une eau lourde à l'aide des réactions secondaires : $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$ et $^{16}\text{O}(d,n)^{17}\text{F}$.

La dernière étape de ce travail consiste à comparer les résultats expérimentaux aux calculs directs à partir des données nucléaires existantes.

Formule de base :

Si on irradie un composé chimique de formule AxBy et si la réaction primaire a lieu sur A et la réaction secondaire a lieu sur B, le rendement théorique de la réaction secondaire s'écrit :

$$R = a.b. \frac{x.y}{M^2} \cdot \mathcal{N}^2 \cdot \sigma_1 \cdot \int_{E_{\text{seuil}}}^{E_{\text{max}}} \frac{\sigma_2(E) \cdot \int_E^{E_{\text{max}}} \varphi(E') \cdot dE'}{S(E)} \cdot dE$$

- a, b sont les abondances isotopiques de la cible primaire et de la cible secondaire.
- x et y sont les coefficients stœchiométriques.
- M est la masse molaire.
- \mathcal{N} est le nombre d'Avogadro.
- σ_1 est la section efficace de la réaction primaire à 14,7 MeV.
- $\sigma_2(E)$ est la fonction d'excitation de la réaction secondaire.
- $\varphi(E')$ est le spectre de particule chargées : $\int_0^{E_{\text{max}}} \varphi(E') dE' = 1$
- E_{max} est l'énergie maximum des particules chargées.
- E_{seuil} est l'énergie seuil de la réaction secondaire.
- S(E) est le pouvoir d'arrêt des particules chargées en MeV/(g/cm²)

La section efficace moyenne de la réaction secondaire relative au spectre des particules chargées et donnée par :

$$\langle \sigma_2 \rangle = \frac{\int_{E_{\text{seuil}}}^{E_{\text{max}}} \frac{\sigma_2(E)P(E)}{S(E)} dE}{\int_0^{E_{\text{max}}} \frac{P(E)}{S(E)} dE} \quad \text{ou} \quad P(E) = \int_E^{E_{\text{max}}} \varphi(E') dE'$$

Le tableau suivant contient les résultats des mesures de rendements pour un certain nombre de composés et mélanges :

Composé ou mélange (Formule)	Réactions primaires	Réactions secondaires	Rendement x 10 ⁷ (incertitude %) g ⁻¹ (n/cm ²)
Hexane (C ₆ H ₁₄)	protons de recul	¹³ C(p,n) ¹³ N	1,78 (4,5%)
Heptane (C ₇ H ₁₆)	" "	" "	1,67 (4,5%)
Octane (C ₈ H ₁₈)	" "	" "	1,62 (4,5%)
Paraffine (C ₃₀ H ₆₂)	" "	" "	2,06 (4%)
Paraffine + ¹³ C (abondance du ¹³ C=6,02%)	" "	" "	10,68 (3,5%)
Benzène (C ₆ H ₆)	" "	" "	1,41 (5%)
Toluène (C ₇ H ₈)	" "	" "	1,51 (4,5%)
Xylène (C ₈ H ₁₀)	" "	" "	1,57 (4,5%)
Naphtalène (C ₁₀ H ₈)	" "	" "	1,18 (4,5%)
Naphtalène + ¹³ C (0,5g)(abondance du ¹³ C=5,512%)	" "	" "	5,71 (4%)
Eau (H ₂ O)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	17,24 (4,5%) 0,474 (5%)
2 litres d'eau ramenés à 17 ml par évaporation	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	17,31 (4,5%) 0,536 (5%)
Amyl-acétate (C ₇ H ₁₄ O ₂)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N + ¹³ C(p,n) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	5,90 (4,5%) 0,121 (6%)
Acide acétique (CH ₃ COOH)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N + ¹³ C(p,n) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	7,03 (4,5%) 0,158 (5,5%)
diéthylxalate (C ₆ H ₁₀ O ₄)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N + ¹³ C(p,n) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	6,68 (4,5%) 0,161 (5%)

Composé ou mélange (formule)	Réactions primaires	Réactions secondaires	Rendements x 10 ⁷ (incertitude %) $\frac{g^{-1}}{(h/cm^2)}$
Alcool ethylique (C ₂ H ₅ OH)	protons de recul	¹⁶ O(p,α) ¹³ N+ ¹³ C(p,n) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	9,32 (4,5%) 0,179 (5,5%)
Butanol (C ₄ H ₉ OH)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N+ ¹³ C(p,n) ¹³ N ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	6,83 (4,5%) 0,138 (6%)
Phénol (C ₆ H ₅ OH)	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N+ ¹³ C(p,n) ¹³ N	3,00 (4%)
Plexiglas (C ₅ H ₈ O ₂) _n	" "	¹⁶ O(p,α) ¹³ N+ ¹³ C(p,n) ¹³ N	5,70 (4,5%)
Eau lourde (D ₂ O, 99,7%)	-deutons de recul - D(n,2n)p	- ¹⁶ O(d,n) ¹⁷ F - ¹⁶ O(p,α) ¹³ N - ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	- 67,82 (4,5%) 1,23 (5%) 0,130 (7%)
9,167g de paraffine+ 0,934g de bore naturel	-protons de recul - ¹⁰ B(n,d)...	- ¹³ C(p,n) ¹³ N+ - ¹² C(d,n) ¹³ N - ¹¹ B(p,n) ¹¹ C	2,75 (7,5%) 19,3 (3,5%)
8,936g de paraffine+ 0,9895g de bore natu- rel	mêmes réac- tions	mêmes réac- tions ¹³ N ¹¹ C	2,58 (7%) 8,46 (3,5%)
10,54g de naphthalène+ 1g de Bore naturel	mêmes réac- tions	mêmes réac- tions ¹³ N ¹¹ C	2,58 (7%) 8,46 (3,5%)
10,45g de naphthalène +1g de Bore naturel	mêmes réac- tions	mêmes réac- tions ¹³ N ¹¹ C	1,81 (6,3%) 8,08 (3,5%)
LiOH (naturel)	-protons de recul - ⁷ Li(n,n'α)T	¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F ¹⁶ O(p,α) ¹³ N	8,07 (5%) 4,95 (5%)
⁷ LiOH	mêmes réac- tions	mêmes réac- tions ¹⁸ F ¹³ N	7,63 (5,2%) 5,32 (4,7%)
⁷ LiOH 1H ₂ O	mêmes réact.	mêmes réac. ¹⁸ F ¹³ N	4,96 (6%) 4,96 (5%)
Li ₂ CO ₃ (naturel)	⁷ Li(n,n'α)T ⁶ Li(n,d)... ⁷ Li(n,d)...	¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F ¹² C(d,n) ¹³ N	4,93 (6,1%) 0,94 (7,5%)

Composé ou mélange (formule)	Réactions primaires	Réactions secondaires	Rendement x 10 ⁷ g ⁻¹ /(n/cm ²) (incertitude)
⁷ Li ₂ CO ₃	- ⁷ Li(n,n' α)T	¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F	5,06 (6%)
	- ⁷ Li(n,d)	¹² C(d,n) ¹³ N	0,76 (8%)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	- ¹⁴ N(n,2n) ¹³ N		608,4 (4,5%)
	-protons de recul	¹⁴ N(p, α) ¹¹ C	13,63 (6%)
(C ₂ H ₅) ₂ NH	- ¹⁴ N(n,2n) ¹³ N		282,7 (4,5%)
	-protons de recul	¹⁴ N(p, α) ¹¹ C	15,6 (5%)
2OD ₂ O + 3CH ₃ COOH	-deutons de recul	¹⁶ O(d,n) ¹⁷ F	46,91 (5,7%)
	-protons de recul	¹⁶ O(p, α) ¹³ N ¹² C(d,n) ¹³ N	8,02 (4,5%)
Acide borique	-protons de recul	¹⁶ O(p, α) ¹³ N	6,3 (5%)
(H ₃ BO ₃) scellé	- ¹⁰ B(n,T)...	¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	0,435 (18%)
		¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F	
		¹¹ B(p,n) ¹¹ C	14,14 (4,5%)
Acide borique enri- chi en ¹⁰ B (ab ¹⁰ B = 44,5%)	-protons de recul ¹⁰ B(n,T)...	¹⁶ O(p, α) ¹³ N	8,53 (4,5%)
		¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F ¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F	2,35 (4,5%)
		¹¹ B(p,n) ¹¹ C	11,860 (4,2%)
H ₂ B ₄ O ₇	-protons de recul ¹⁰ B(n,T)...	¹⁶ O(p, α) ¹³ N	1,68 (6%)
		¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F ¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F	6,10 (4,5%)
		¹¹ B(p,n) ¹¹ C	7,14 (7%)
Na ₂ B ₄ O ₇ (10H ₂ O)	-protons de recul ¹⁰ B(n,T)	¹⁶ O(p, α) ¹³ N	6,4 (5,5%)
		¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F ¹⁶ O(T,n) ¹⁸ F	0,48 (7%)
		¹¹ B(p,n) ¹¹ C	12,55 (4,5%)

d. Mesure des rendements des fragments de fission de l'Uranium par des neutrons de 14 MeV (K. EMBARCH, A. CHOUAK, M. VIENNOT).

Les fragments de fission sont détectés par la méthode d'activation neutronique. Une étude préliminaire a été effectuée sur un échantillon d'uranium naturel ; la détection des rayonnements gamma des

fragments de fission à l'aide d'un détecteur Ge(Li) a permis de mesurer les rendements suivants :

fragments de fission	Rendements mesurés (%)	Valeurs données par la littérature (%)
Sr - 92	4,05	3,56 - 4,19 - 4,0
Zr - 97	6,75	5,01
I - 131	4,24	3,75 - 4,33 - 4,1
Te - 131	1,08	—
Te - 132	4,45	4,42
Ce - 143	4,6	3,05 - 3,76 - 3,8

2. Neutronique:

a. Termes de corrélation angulaire dans le coefficient de diffusion (A. KHARCHAF, L. ERRADI, P. BENOIST°).

Soit un réseau plan infini formé de cellules répétitives. Chaque cellule est composée de N milieux différents. Le problème est traité en théorie multigroupe. Le coefficient de diffusion dans la direction parallèle ou dans la direction perpendiculaire aux plans frontières peut, dans l'hypothèse d'un laplacien faible, s'exprimer au moyen de "probabilités de transport", qui sont des probabilités de collision d'un type particulier. Ces probabilités se composent de probabilités de première collision (terme principal) et de probabilités relatives aux neutrons ayant subi ℓ collisions (termes de corrélation angulaire). Si le choc est isotrope, les termes de corrélation angulaire s'annulent identiquement pour le coefficient de diffusion parallèle, mais non pour le coefficient de diffusion perpendiculaire.

Ce travail consiste à déterminer la contribution des termes de corrélation angulaire dans ce dernier cas.

Une extension possible du travail est d'effectuer le calcul dans l'hypothèse d'une loi de choc linéairement anisotrope. Dans ce cas, les termes de corrélation angulaire ne s'annulent pas dans la direction parallèle. On a même des raisons de penser qu'en géométrie plane, ils peuvent jouer un rôle très important et augmenter notablement l'anisotropie du choc : D_{11}/D

° Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay (France).

b. Mise au point d'un schéma de calcul de sections efficaces effectives dans le domaine des résonances (O.K. BOUHLAL^{*}, L. ERRADI et M.RIBON^{**})

Le problème de l'autoprotection des résonances est d'une importance capitale dans le calcul des réacteurs nucléaires. Les méthodes actuellement utilisées font appel à un certain nombre d'approximations et conduisent dans certains cas à des erreurs non négligeables. Le but de ce travail est de mettre au point un schéma de calcul de sections efficaces effectives qui évite certaines approximations précédemment utilisées.

Les méthodes de calcul actuellement utilisées notamment au CEA, font appel aux approximations suivantes :

- milieu homogène
- présence d'un seul isotope résonant
- résonances étroites.

Il s'agit de développer des formalismes plus rigoureux permettant de s'affranchir de ces approximations, en particulier des deux dernières. Les études sont orientées selon deux directions correspondant aux deux grandes classes de méthodes actuellement utilisées :

- la méthode d'équivalence : formalisme de Livolant-Jean Pierre.
- la méthode des sous groupes ou de tables de probabilités.

c. Paramètres de diffusion pour des milieux non modérateur (A. BOUFRAQECH, M.K. DEDE^{***})

Ce travail a été effectué lors d'un séjour d'études à Debrecen-Hongrie (Institut de Physique Expérimentale).

Son but principal est la détermination des sections efficaces macroscopiques d'absorption et de transport (Σ_a , Σ_{tr}) pour des échantillons géologiques.

La connaissance de ces deux paramètres est importante lors de la détermination de l'hydrogène contenu dans les formations géologiques et autres matrices par réflexion et absorption des neutrons, car toutes ces méthodes sont basées sur la mesure du flux thermique provenant du volume du matériau à étudier, entourant une source de neutrons rapides.

L'interprétation sûre des données mesurées nécessite des informations sur les paramètres de diffusion thermiques de la matrice formée de matériaux non modérateurs. Ces paramètres généralement ne peuvent être calculés à partir des données sur les sections

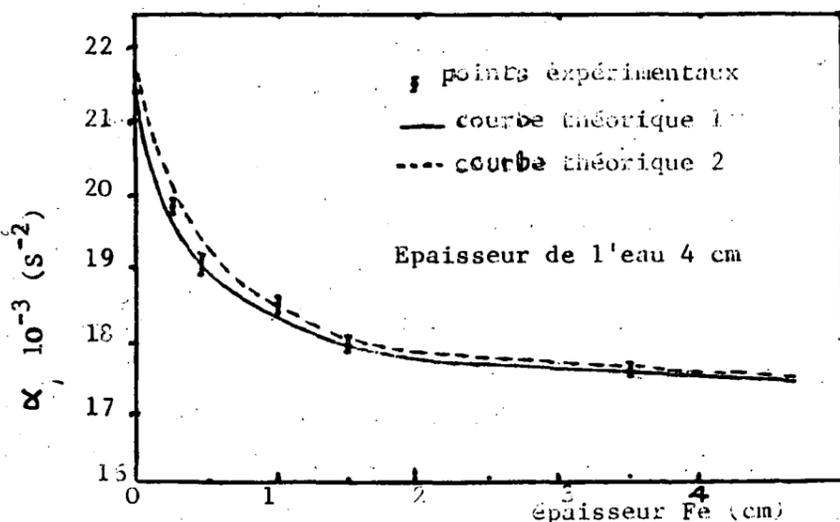
* Ecole Nationale des Industries Minérales Rabat

** Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

*** Institut de Physique Expérimentale de Debrecen (Hongrie).

efficaces, à cause de l'existence possible d'éléments traces ayant des sections efficaces d'absorption thermiques extrêmement élevées, et de l'hydrogène lié dans l'eau de cristallisation. Pour cela il est nécessaire de développer une méthode rapide et sûre pour la mesure de ces paramètres.

Une méthode classique, c'est la méthode pulsée mais elle était applicable seulement aux matériaux modérateurs. Nous avons essayé d'étendre cette méthode aux matériaux non modérateurs. Le principe de la méthode consiste à injecter dans un milieu modérateur placé en sandwich dans le matériau à étudier, une impulsion de neutrons rapides et de suivre après thermalisation dans le modérateur, sa décroissance au cours du temps. Des expériences ont été faites avec le fer et l'oxyde de Silicium pur ; les résultats obtenus concordent assez bien avec les calculs basés sur la théorie de la diffusion, comme le montre la figure suivante sur laquelle sont représentés les résultats expérimentaux et théoriques



Le coefficient de relaxation α exprime la dépendance du flux thermique du temps $\Phi(\vec{r}, t) = \Phi(\vec{r}) e^{-\alpha t}$ et $\alpha = \bar{v} D B^2 + \bar{v} \bar{\Sigma} a$, B^2 étant le laplacien géométrique, D le coefficient de diffusion directement lié à la section de transport, \bar{v} étant la vitesse moyenne des neutrons thermiques.

La première courbe théorique est basée sur le calcul de l'albedo, la seconde est basée sur la continuité du courant.

La première courbe théorique est basée sur le calcul de l'albedo, la seconde est basée sur la continuité du courant.

La deuxième étape de ce travail est déjà entamée, elle consiste à déterminer la température neutronique dans le sandwich modérateur-reflecteur en utilisant la théorie de transport (approximation P_L).

La suite du travail expérimental sera la détermination des paramètres de diffusion pour l'oxyde de silicium empoisonné avec des absorbants tel que le bore ou le cadmium.

3. Physique Nucléaire Appliquée

a. Analyse par activation neutronique de monnaies anciennes. (A. SOUHNOUN, A. AIT HADDOU, M. BERRADA, M. VIENNOT, F. RIGAUD^o)

L'utilisation de l'analyse par activation neutronique dans l'Archéologie et en particulier en Numismatique pour l'analyse des pièces de monnaie d'or répond à plusieurs nécessités. Le principal avantage est que l'analyse est non destructive, ensuite il est possible d'élaborer des méthodes rapides et précises. Dans ce but une méthode non destructive, précise et assez rapide (2 heures environ pour 1 pièce) a été mise au point. Sachant que la plupart des monnaies d'or contiennent comme éléments majeurs l'or, l'argent et le cuivre, la détermination des teneurs en argent et en cuivre permet par différence avec la masse totale de la pièce (on néglige la masse des éléments traces) la détermination de la teneur en or avec une bonne précision (1%). On produit avec les neutrons de 14 MeV les radioisotopes de l'argent et du cuivre par réaction $(n,2n)$, puis l'étude de la décroissance de la raie 511KeV (provenant des β^+ de ^{106}Ag et ^{64}Cu) permet de remonter aux teneurs de l'Ag et du Cu en comparant à des étalons bien connus.

Deux lots de pièces de monnaies d'or des dynasties Almoravides, Almohade et Hafside nous ont été donnés pour analyse par le Musée d'Archéologie de Rabat, et un lot de pièces de monnaies d'or de la dynastie des Almoravides du Cabinet des Médailles de Paris, a été analysé par nos soins en utilisant l'activation protonique auprès du cyclotron du Centre Ernest Babelon (Orléans, Dr. J.N. BARRONDON).

Une communication concernant ce travail a été présentée (voir publication P.22) au 1er Symposium International "Archéologie Africaine et Sciences de la Nature Appliquée de l'Archéologie" qui s'est déroulé à Bordeaux du 26 au 30 Septembre 1983.

^o Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux - Gradignan

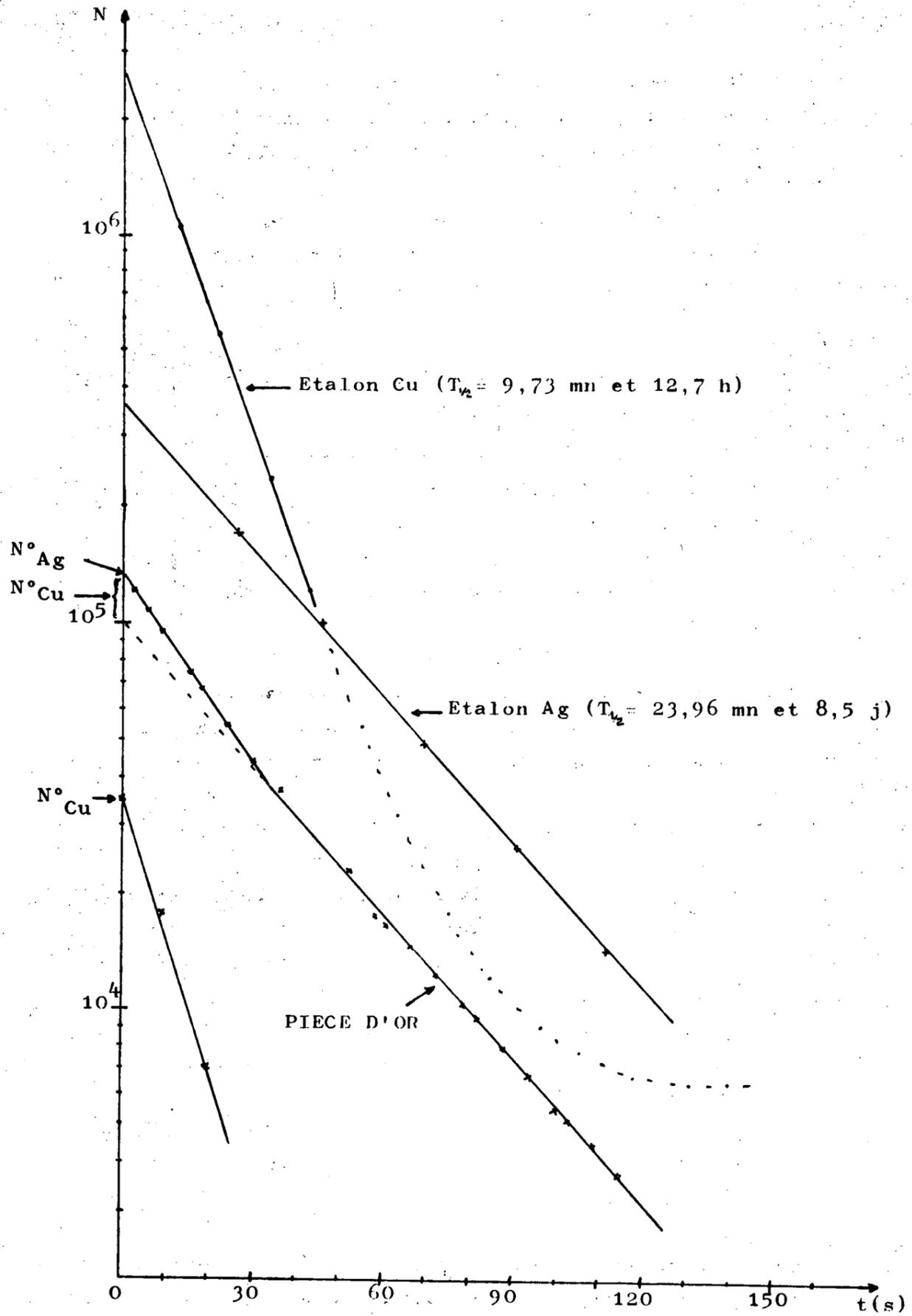


Figure : Courbe de décroissance du rayonnement β^+ d'annihilation en fonction du temps d'une pièce d'or et des étalons argent et cuivre.

Auteurs : F. RIGAUD, A. SOUHNOUN, M. VIENNOT et M. BERRADA
Laboratoire de Physique Nucléaire de La Faculté
des Sciences de Rabat et
J. Hassan BENSLIMANE et A. TOURI, Service de
l'Archéologie.

b. Analyse de la radioactivité naturelle des phosphates par spectrométrie gamma (A. CHOUKRI, M. BERRADA)

Le but de ce travail est de déterminer les teneurs en uranium (U) et en radium (Ra). Ce qui nous permet de calculer les rapports de déséquilibre (U/Ra), et les taux d'émanation du radon (T(%)). La méthode radiométrique utilisée, est basée sur la détection, par un scintillateur puits (NaI), des rayonnements, émis par les différents éléments de la chaîne de décroissance de l'Uranium. Cette analyse consiste à partager le spectre obtenu en 3 régions :

- la 1^{ère} région (50 à 270 KeV) attribuée essentiellement à l'uranium et ses descendants immédiats.
- La 2^{ème} région (270 à 2450 KeV) attribuée au radium et ses descendants (Rn-222, Pb-214, Bi-214, ...)
- La 3^{ème} région attribuée au thorium qui se trouve en quantité très faible dans les phosphates marocains.

Les équations donnant les taux de comptage dans les deux premières régions sont :

$$s_1/t = ma_1g_1 (\alpha U + \beta Ra)$$

$$s_2/t = ma_2g_2 (\gamma U + \delta Ra)$$

α , β , γ et δ sont les paramètres donnant la contribution de l'uranium et du radium dans les 2 régions et qui sont évalués à partir des mesures faites sur les échantillons étalons.

La géométrie de l'échantillon et l'effet de matrice font introduire les 2 facteurs de correction (g) et (a) que nous avons pu évaluer expérimentalement. Un programme de calcul écrit en basic, nous permet de trouver les différents résultats avec leurs incertitudes.

L'émanation du radon est un facteur très important, et les résultats obtenus pour 60 échantillons de phosphates différents, montrent que les taux d'émanation varient de 6% à 25%.

Les causes de la variation de ces valeurs, et les facteurs influençant l'émanation du radon, font l'objet d'un sujet de recherche en cours dans notre laboratoire.

4. Radiochimie.

- a. Etude théorique du milieu phosphorique et comportement en milieu phosphorique de l'Uranyl. (A. EL YAHYAOUI, S. BOUHLASSA, L. BRILLARD^o, M. HUSSONNOIS^o, R. GUILLAUMONT^o)

La nécessaire connaissance du comportement de H_3PO_4 en solution nous a conduit à examiner les différents équilibres de dissociation et de dimerisation susceptibles d'avoir lieu dans les différentes conditions expérimentales.

Un modèle mathématique simple décrivant le milieu en fonction de la concentration analytique de H_3PO_4 a été élaboré. Le traitement informatique est en cours de mise au point.

Ce modèle permet de déterminer les concentrations des différentes espèces en solution, à différentes forces ioniques et différentes concentrations analytiques de H_3PO_4 (CH_3PO_4) ainsi que les pH de ces différentes solutions.

Les calculs qui ont été conduits montrent que :

- les espèces ioniques qui prédominent en solution H_3PO_4 sont principalement H^+ , $H_2PO_4^-$ et $(H_2PO_4^-)_2$ lorsque $CH_3PO_4 = 3M$ et H^+ , $H_5P_2O_8^-$ lorsque $CH_3PO_4 = 6M$

- La force ionique du milieu H_3PO_4 concentré est faible .

L'étude de la complexation de l'uranium en milieu phosphorique a été conduite par extraction par solvant de l'uranium à l'échelle des indicateurs, en mettant à profit les techniques radiochimiques.

Un protocole de préparation de sources α sans matière à partir des solutions phosphoriques, très complexantes, a été mis au point.

Les résultats obtenus confirment le mécanisme d'extraction de l'uranium par le HDEHP et conduisent à la constante de formation du complexe neutre extrait. L'exploitation théorique des données du partage de UO_2^{2+} entre les phases aqueuses renfermant des concentrations variables de H_3PO_4 et la phase organique a permis de déterminer la nature des complexes formés et leur constante de formation.

- b. Extraction de Gd(III) à partir de milieux acides perchloriques (Z. OMARI^o, S. BOUHLASSA)

L'étude de l'extraction du gadolinium à partir des milieux acides perchloriques de force ionique voisine de 0,2 par le mélange diazépine thione-HDEHP a mis en évidence un effet synergétique non négligeable, dû à l'hétérocycle, dans un domaine restreint de pH : $0,9 < pH < 1,5$.

^o Institut de Physique Nucléaire, Orsay-France.

^{oo} ingénieur Ecole Mohammadia d'Ingénieurs (Rabat) préparant son mémoire de fin d'études.

L'étude physico-chimique complète du mécanisme d'extraction est en cours. L'examen de la dissociation (ou ionisation) du ligand a déjà conduit au pK_{a1} de ce dernier.

c. Coprécipitation de l'euporium avec le phosphogypse (S. FAKHI, S. BOUHLASSA).

L'examen de la coprecipitation de l'euporium avec le calcium a été suivi par la technique des traceurs radioactifs dans des milieux renfermant H_2SO_4 et le phosphate acide de sodium. Les données obtenues ne suivent pas une des lois simples de la coprecipitation, néanmoins le comportement général de la terre dans ces milieux a été dégagé. De plus l'étude a mis en évidence la lenteur des équilibres de coprecipitations mis en jeu.

d. Coprécipitation des Lanthanides avec le gypse (F. SELHAMEN et S. BOUHLASSA).

La distribution de Gd(III) entre une phase aqueuse de force ionique constante et le gypse a été étudiée, en utilisant ^{153}Gd comme traceur radioactif.

Les équilibres de partage ne suivent pas les lois qui régissent les phénomènes de syncristallisation et n'obéissent pas non plus aux lois simples d'adsorption.

Les effets de concentrations des espèces en solution (SO_4^{2-} et Ca^{2+} , H^+) ont été examinés.

e. Coprécipitation des Lanthanides avec les phosphates de Calcium et de Baryum (S. BOUHLASSA)

Un ensemble d'études portant sur la distribution de Gd(III), Tb(III) et Eu(III) entre une phase aqueuse et le phosphate acide de Ca et Ba ont été conduites pour des concentrations analytique de Ca ou Ba à la terre rare, variables.

Les précipités obtenus sont généralement amorphes et renferment la majeure partie de la terre rare.

La coprecipitation des terres rares avec le Ca ou Ba sous forme de phosphate semble suivre la loi de Langmuir. En outre les effets dus aux concentrations des différentes espèces en solutions (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Ln^{3+} , H^+ et anions phosphoriques) ont été examinées.

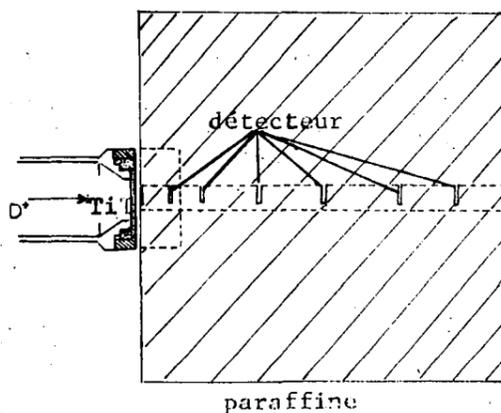
5. Codes de calcul

a. Methodes de Monté-Carlo pour la spectrométrie des neutrons

(A. CHETAINE, A. AIT HADDOU).

La connaissance du spectre de neutrons dans un milieu est d'une grande importance pour de nombreuses application de la physique nucléaire ; estimations des dégats causés par les radiations, choix des blindages en radioprotection, calcul des doses en cas d'accident, estimation de la production du tritium pour les réacteurs à fusion etc ..., et pour résoudre ce problème, un code de calcul basé sur la méthode de Monté-Carlo est en train d'être élaboré.

Pour la mise au point du programme nous avons choisi une géométrie cylindrique autour d'une source de neutrons de 14 MeV et de la paraffine comme milieu modérateur. Un ajustement de spectre à l'aide des détecteurs à seuil est prévu en cas d'insuffisance de données.



Géométrie d'irradiation utilisée dans le Code de Monté-Carlo.

b. Codes SAND II et CRYSTALL-BALL (K. KAROUANI et L. ERRADI)

La méthode repose sur l'utilisation de la technique des détecteurs à seuil qui consiste à irradier un certain nombre de feuilles détectrices dans le spectre à mesurer. Les activités de ces feuilles sont ensuite exploitées à l'aide des programmes SAND II et CRYSTALL-BALL qui permettent d'en extraire le spectre de neutrons inconnu, moyennant la donnée des fonctions d'excitation des différentes réactions d'activation utilisées et d'un spectre d'initialisation.

c. Codes de neutronique (L. ERRADI)

Dans le cadre de ses relations avec la banque de données de l'AEN le laboratoire a reçu un ensemble de programmes de neutronique qui permettent le calcul de la partie neutronique d'un projet de réacteur nucléaire du type à eau sous pression. Ses programmes sont en cours d'adaptation à la machine IBM 4331 de l'ENIM. Cet ensemble comprend notamment :

- WIMS D4 : programme de calcul du spectre dans une cellule de base, il permet d'obtenir les sections efficaces multigroupes utilisées dans les calculs de réacteur en théorie de la diffusion.
- DIXY - 2: programme de calcul de réacteur par la théorie de la diffusion multigroupe en géométrie à 2 dimensions.
- TRITON : programme de calcul de réacteur par la théorie de la diffusion en géométrie à 3 dimensions.
- SPARK : programme de résolution de l'équation de la diffusion multigroupe dépendant du temps, dans une géométrie à une, deux ou 3 dimensions.

d. Code Empire (A. REGGOUG)

Le Code Empire a été adapté et installé dans l'ordinateur IBM de l'Ecole Nationale de l'Industrie Minérale. Son test a été fait avec succès sur les cas des cibles ^{107}Ag , ^{93}Nb , ^{112}Sn . D'autres réactions (n,2n) ont été étudiées notamment sur les cibles : ^{197}Au , ^{59}Co .

e. SCAT 2 et STAPRE (R. CHERKAOUI, A. CHOUAK, M. BERRADA, L. ERRADI, A. REGGOUG, T. EL BARDOUNI, M. VIENNOT)

A cet effet nous avons adapté et testé les programmes SCAT 2 et STAPRE. Le premier permet de calculer les coefficients de transmission à l'aide du modèle optique à potentiel sphérique. Ces coefficients sont ensuite utilisés par le programme STAPRE basé sur la théorie statistique avec la prise en compte du prééquilibre. Ces deux programmes (SCAT 2, STAPRE) sont actuellement opérationnels pour les réactions (n,2n) ; (n,p) ; (n, α) Nous nous donnons comme objectif de comparer les différents codes disponibles du laboratoire et d'entreprendre des études de qualification des modèles théoriques utilisés dans ces programmes, moyennant l'interprétation de résultats expérimentaux, en particulier les mesures des sections efficaces des réactions induites par les neutrons de 14 MeV réalisées dans le laboratoire.

6. Techniques expérimentales diverses.

a. Efficacité d'un détecteur Ge(Li) et lissage des résultats expérimentaux (A. KHARCHAF et L. ERRADI)

Des mesures précises de l'efficacité du détecteur Ge(Li) vertical ont été réalisées en utilisant deux jeux de sources gamma étalons fournis par l'AIEA et le CEA. Ces mesures ont d'abord été effectuées pour des distances source-détecteur de 5, 10 et 15cm, pour éviter les erreurs dues au temps mort et aux cascades. Les valeurs expérimentales obtenues sont ensuite lissées par des fonctions empiriques recommandées par différents auteurs. Ce lissage a été réalisé par le programme FATAL basé sur la méthode des moindres carrés non linéaire. Les résultats obtenus confirment que la fonction :

$$\xi(E) = \left(\frac{a_1}{E}\right)^{a_2} + a_3 \exp(-a_4 E) + a_5 \exp(-a_6 E)$$

permet de lisser les valeurs expérimentales avec une précision inférieure à 1% pour des énergies supérieures à 120 KeV. D'autres fonctions plus simples ont également été testées, elles conduisent à des précisions de l'ordre de 2 à 3%.

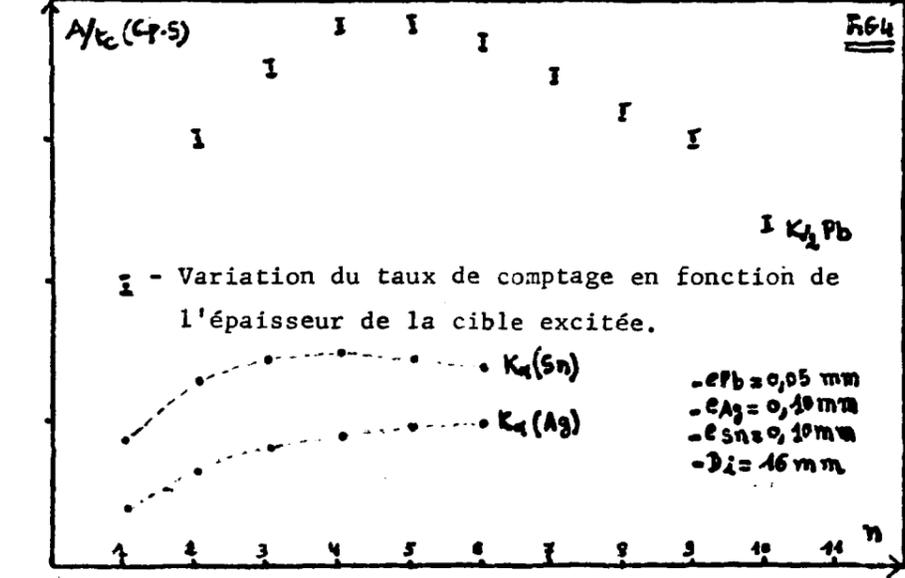
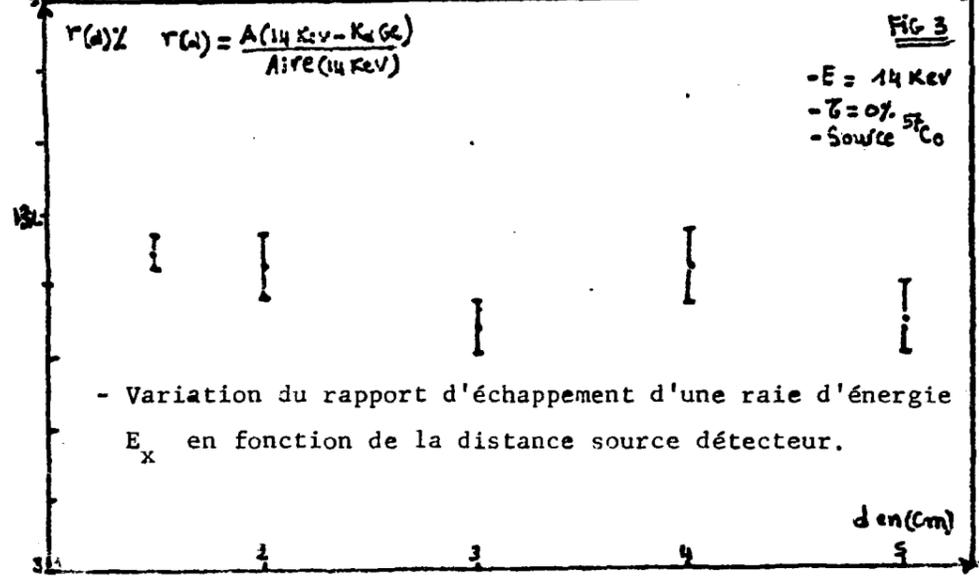
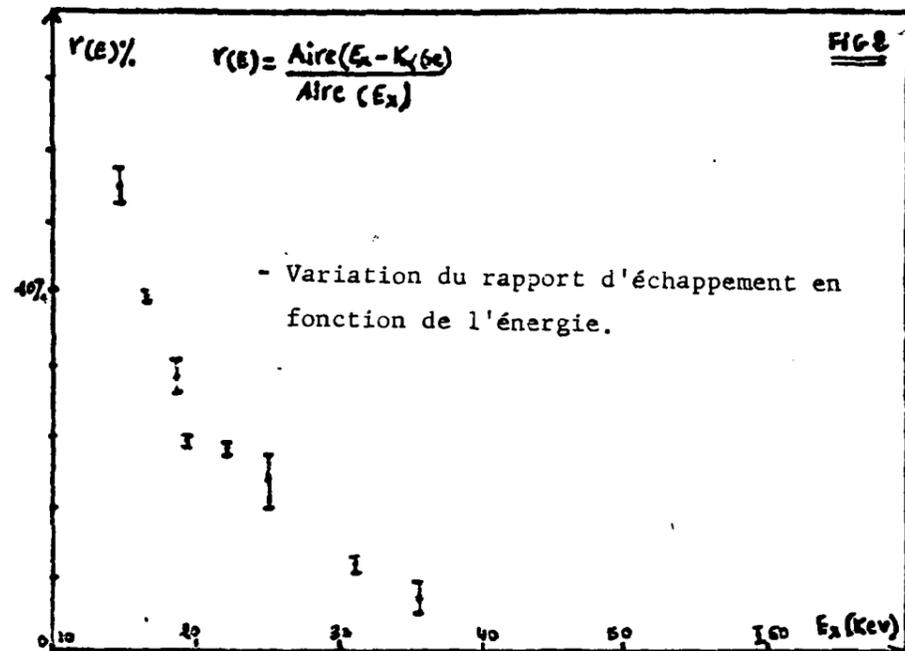
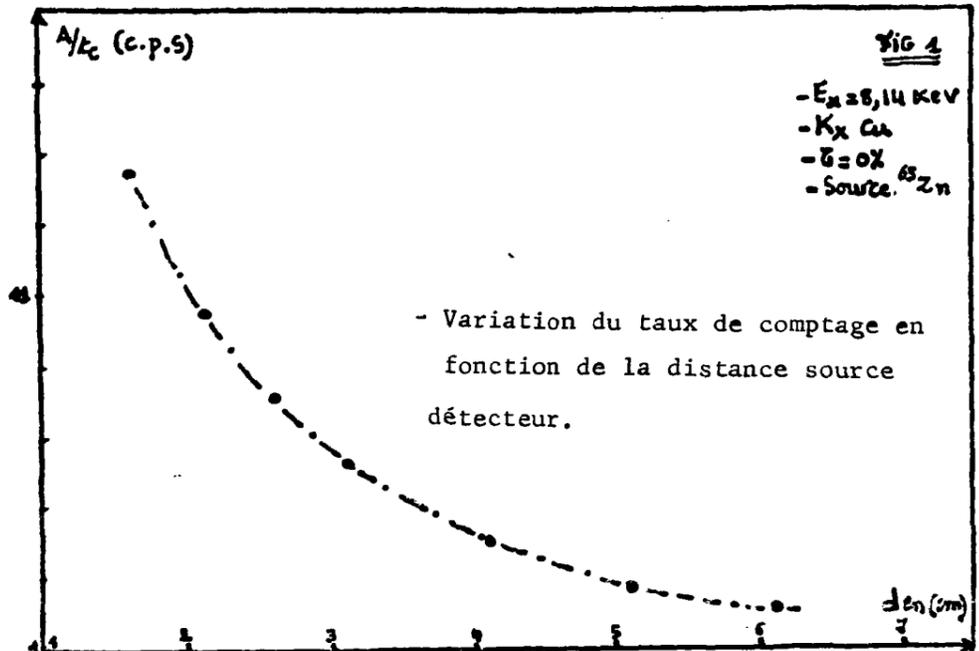
Etant donné que la plupart des mesures réalisées avec le détecteur Ge(Li) au laboratoire se font contre le détecteur, il est donc nécessaire de disposer d'une courbe d'efficacité lissée pour cette position. Cette courbe a été obtenue à l'aide de quelques sources ne présentant pas de problèmes de temps mort et de cascades et en utilisant le fait que les courbes d'efficacité sont pratiquement parallèles dans le domaine d'énergie considéré.

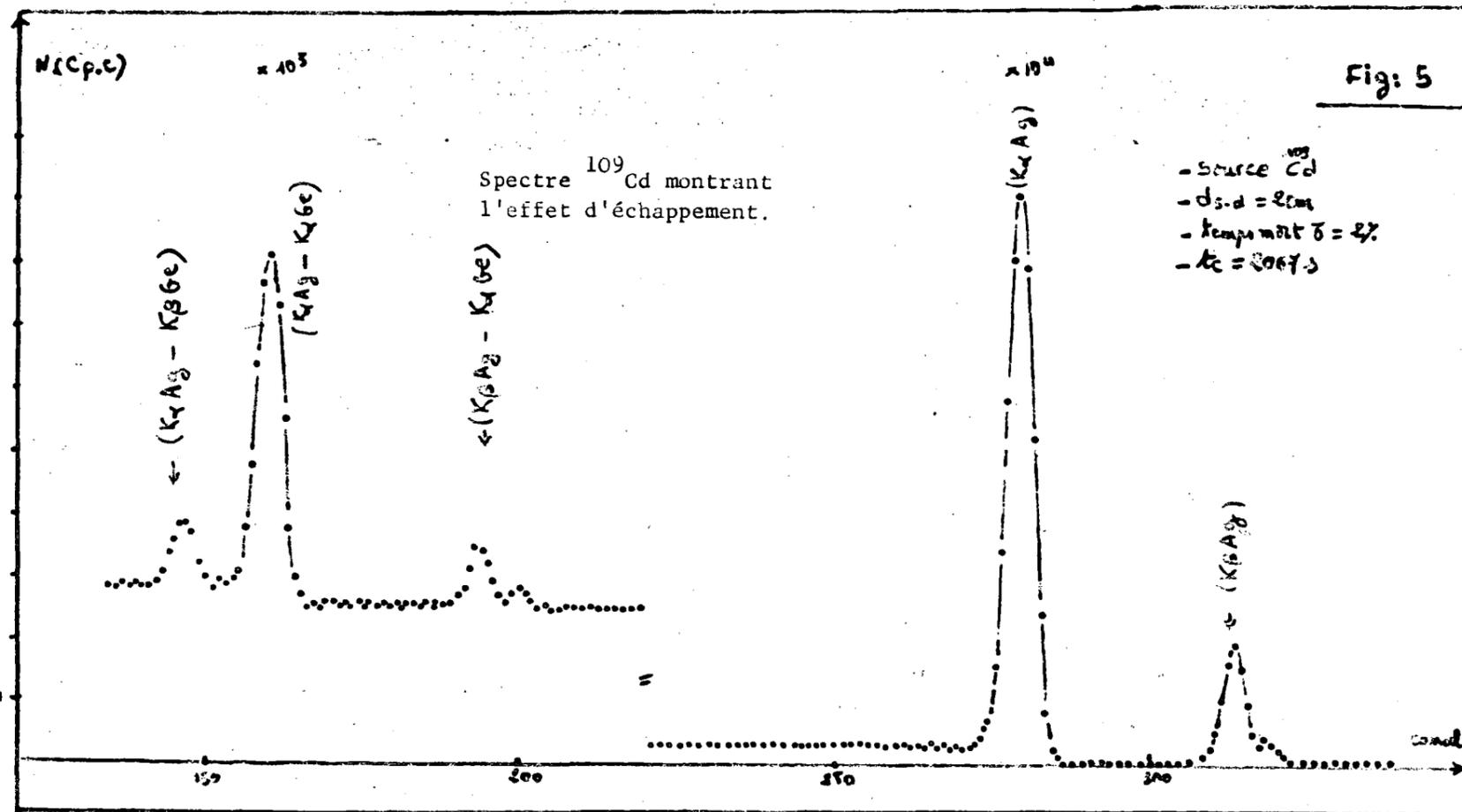
b. Efficacité du détecteur HPGe pour les rayonnements X (M. EL MAGHRAOUI, et A. REGGOUG)

- Ce travail entre dans le cadre de la détermination de l'efficacité du Ge pur ; volume actif 7mm x 200mm².

- 1) Effet de la géométrie de comptage :

En utilisant un dispositif gradué qui permet de fixer la distance source détecteur, l'étude de l'évolution de l'aire du pic photoélectrique d'une raie EX en fonction de cette distance montre que l'efficacité est bonne contre le détecteur mais change beaucoup à la moindre variation de distance (varie en $1/d^2$): voir fig.1.





- 2) Effet d'échappement des X du Ge :

. Au cours de la détection un photon incident éjecte un électron par effet photoélectrique ceci est suivi de l'émission des raies X caractéristiques du Ge ; ces dernières peuvent s'échapper du volume actif en induisant une perte de comptage sous le pic photoélectrique de la raie qui a donné naissance à ces X ;

on observe sur le spectre en plus de la raie incidente (Ex), des pics d'échappement à l'énergie $(Ex - K_{\alpha}Ge)$, $(Ex - K_{\beta}Ge)$ et même aussi $(Ex - L_{\alpha}Ge)$ si le détecteur arrive à résoudre (Ex) de $(Ex - K_{\alpha}Ge)$. Le pic le plus intense est $(Ex - K_{\alpha}Ge)$ à cause de la grande intensité des raies K_{α}

- Le rapport de l'aire du pic $(Ex - K_{\alpha}Ge)$ à la raie Ex décroît lorsque l'énergie Ex croît (fig.2) illustre cet effet.

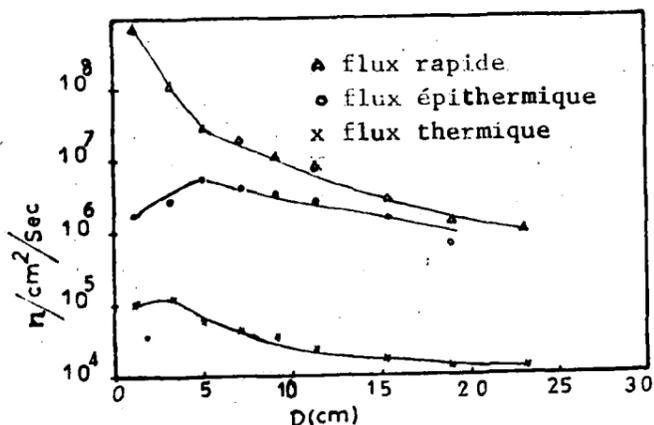
- la variation de ce rapport pour la même énergie en fonction de la distance source-détecteur semble être constante (à des taux de comptage n'induisant pas de temps mort) (fig. 3).

c. Thermalisation des neutrons de 14 MeV (A. CHATAINE et A. AIT HADDOU)

Pour élargir la gamme des applications du générateur de neutrons de 14 MeV, nous avons procédé à la thermalisation de ces neutrons à l'aide d'un cylindre en paraffine de 30 x 30cm autour de la cible tritiée. Le flux de neutrons thermiques obtenu (Fig.1) est suffisamment élevé pour permettre de nombreuses applications :

- L'activation aux neutrons thermiques est un moyen complémentaire de l'activation aux neutrons rapides surtout en cas de faible sensibilité pour ces derniers.

- La réaction secondaire $^{16}O(T,n)^{18}F$ a été étudiée à l'aide des tritons produits par la réaction primaire $^6Li(n,\alpha)T$ en neutrons thermiques dans le composé Li_2CO_3 .



Variation du flux rapide (Δ), épithermique (\circ) et thermique (\times) en fonction de la distance dans un cylindre de paraffine de 30 x 30 cm.

V. TRAVAUX DE MAINTENANCE

- . Analyse Canberra Série 80 (A. REGGOUG, MEGHRAOUI, CHIADLI)
Remplacement du circuit intégré (CPU 8080A) dans l'un des deux processus principaux du Canberra 80. Cela après 3 ans de fonctionnement normal de ce dernier.
- . Machine azote liquide PLN106 (M. BERRADA et H. HAMDANE).
Remplacement de l'admission et de l'évacuation de l'eau de refroidissement de la machine.
- . Accélérateur SAMES T400
multiples intervention pour l'établissement du vide dans l'accélérateur et le tube prolongateur (A. AIT HADDOU).

VI. RESUMES DES TRAVAUX PUBLIES

1. Diplômes de 3° cycle.

D1 à D14 : voir rapports d'activité 1980 - 1981 - 1982.

15) M. VIENNOT (10 Octobre 1984) D15

" Mesure de sections efficaces des réactions (n,p) et (n,np) sur quelques noyaux de la région de masse $A = 46$ à 68 des neutrons d'environ 14 MeV".

Ce diplôme a été soutenu à l'Université Paris XI-Orsay. Le travail expérimental a été réalisé au L.P.N.R et a permis l'obtention du titre de docteur de 3° cycle en Physique Nucléaire.

RESUME :

Cette thèse concerne la mesure des sections efficaces des réactions nucléaires (n,p) et (n,np) sur des noyaux de la région de masse $A = 46$ à 68 pour des neutrons d'environ 14 MeV produits par la réaction $T(d,n)$.

Les sections efficaces sont mesurées par la méthode d'activation neutronique, le flux de neutrons étant déterminé par l'intermédiaire d'une réaction nucléaire sur un noyau de section efficace bien connue.

L'énergie des neutrons incidents est déterminée expérimentalement et par le calcul ; une chaîne de spectrométrie gamma (détecteur Ge(Li)) permet de déterminer l'intensité des rayonnements gamma émis au cours de la désexcitation des noyaux instables produits pendant l'irradiation.

Les résultats des sections efficaces concernent les isotopes des noyaux légers (titane, chrome, fer, nickel, zinc) ; ils sont discutés en fonction des valeurs expérimentales existantes et des valeurs obtenues par des modèles nucléaires entre 0 et 20 MeV.

MOTS CLES : section efficace, réactions nucléaires (n,p) et (n,np), activation neutronique, neutrons 14 MeV, spectrométrie gamma, détecteur Ge(Li), isotopes noyaux légers.

2. Publications :

P.I. A. CHOUAK, P. VUISTER, G. PAIC, M. BERRADA, J. CSIKAI
Determination of U and Ra in rocks samples by gamma spectrometric method, J. Radioanal. Chem. 45(1978) 445-451. Voir aussi D1.

- P.2. M. BERRADA, M.A. MISDAQ, P. THALOUARN
Determination of potassium in beet by 14 MeV neutron activation analysis, J. Radioanal Chem, 54(1-2)(1979) 361-366. Voir aussi D7.
- P.3. M. LFERDE, A. BADISSY, M. BERRADA, R. BOUCHTA, A. CHAPUIS, J. CSIKAI.
Prospection de l'uranium à l'aide des détecteurs solides de traces "Mines, Géologie, Energie 46(1979) 169-171. Voir aussi D3.
- P.4. M. LFERDE, M. BERRADA, A. CHAPUIS, J. CSIKAI, G. PETO, M. VARNAGY.
Utilisation de détecteurs solides de traces (D.S.T) pour le dosage des minerais fissiles, Mines, Géologie et Energie 46(1979) 172-177. Voir aussi D3.
- P.5. Z. MOUTIA, M. BERRADA, A. CHAPUIS, J. CSIKAI, Z. DESZO.
Dosage de l'uranium par activation neutronique à l'aide d'une source de californium 252, Mines, Géologie et Energie 46(1979) 178-182. Voir aussi D4.
- P.6. A. NEJMAOUI, F. KAUPKA, M. BERRADA, J. TYS.
Dosage de l'uranium dans les phosphates marocains par spectrométrie X, Mines, Géologie et Energies 46(1979) 183-191. Voir aussi D6.
- P.7. C. CARRUESCO, A. CHAPUIS, G. PETO
L'analyse par activation neutronique comme méthode simple d'étude des sédiments subactuels laguno-marins, Mines, Géologie et Energie 46(1979) 101-108.
- Une méthode simple et rapide a été mise au point pour étudier les sédiments d'une lagune située dans le S.W. du Maroc. 50 échantillons ont été analysés après irradiation par des neutrons de 14 MeV. Les courbes de variation de certains pics caractéristiques permettent de définir 3 catégories reproductibles. L'étude des concentrations en Si et Ca a montré une diminution de la teneur en Si du sommet à la base des "carottes" contrebalancée par une augmentation symétrique de la teneur en Ca ; ce fait, confirmé par une analyse classique peut s'expliquer par une modification du type de sédimentation.

- P.8. Faculté des Sciences de Rabat. Résumés de communications du Séminaire sur les techniques nucléaires et leur utilisations au Maroc, 22-26 Nov. 1973, Rabat.
- P.9. F. DE CORTE, L. MOENS, K. SORDO-EL HAMMAMI, A. SIMONTIS, J. HOSTE.
Modification and generalisation of some methods to improve the accuracy of α -determination in the $(1/E)^{1+\alpha}$ epithermal neutron spectrum, J. Radioanal. Chem, 52 n°2 (1979) 305-316.
- P.10. M. BERRADA, M.A. MISDAQ, P. THALOUARN
Study of the kinetics of K, Cl, Na, P and Mg in the red beet cells by 14 MeV neutron activation analysis, J. Rad. Chem, 62(1-2) (1981) 103.
- P.11. J. CSIKAI et A.K. CHOUAK
Determination of (n,2p) and (n,t) cross section for ^{141}Pr at 14,7 MeV, Radiochimica, Acta 26(1979) 135.
- P.12. Faculté des Sciences de Rabat. Rapport d'Analyse de Sécurité préliminaire pour le Réacteur Triga Mark I (Nov. 1980).
- P.13. M. BERRADA, J.M. PAULUS
Rapport sur l'implantation de l'accélérateur T400 à la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V, rapport interne du LPNR.
- P.14. A. CHAPUIS, A. MOUADILI
Dosage du Silicium atmosphérique par analyse par activation neutronique, J. Rech. Atmos, 16(1982) n°3, 261-269. Voir aussi D13.
- P.15. G. PAIC', A. REGGOUG, A. PAIC', A. CHOUAK
Absolute measurement of the Ra/U ratio in uranium ores using a hyperpure germanium detector, Int.J. Appl. Radiat. Isot. 33, (1982), 1389-1392.
- P.16. M. BERRADA
The radioanalytical bibliography of Morocco (1936-1978), J. Radioanal. Chem, 73 (1982) 149-150.
- P.17. Laboratoire de Physique Nucléaire de Rabat.
Rapport d'activité 1981 reproduit par l'International Nuclear Data Committee (A.I.E.A) sous le n° INDC (MOR-1/G).

- P.18. M. VIENNOT, A. AIT HADDOU, A. CHIADLI and G. PAIC'
Excitation functions of (n,p) reactions in the region 13.75 to 15 MeV for Ti, Fe, and Ni isotopes, Nuclear Data for Science and Technology, Conference Anvers (Sept.82) 406-408 (1983) K.H. Böckhoff (ed).
- P.19. A. CHIADLI, A. AIT HADDOU, M. VIENNOT and G. PAIC'
Measurement of the cross section ratios for the reactions $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89m+g}\text{Zr}$ by $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$; $^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$ by $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ and $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ by $^{27}\text{Al}(n,p)^{17}\text{Mg}$ for the purpose of neutron spectrometry around 14 MeV, Nuclear Data for Science and Technology. Conference Anvers (sept 82) 404-405 (1983) K.H. Böckhoff (ed).
- P.20. A. REGGOUG, A. PAIC' and A. CHIADLI
Measurement of reaction cross-section ratios of some neutron reactions using gamma and X ray spectrometry, Nuclear Data for Science and Technology, Conference Anvers (sept 82) 873-874 (1983) K.H. Böckhoff (ed).
- P.21. G. PAIC', A. REGGOUG, J. HAMMER and A. CHIADLI
Radiation effects of 14 MeV neutrons on GaAs Ireds and optocouplers, Nucl. Inst. and Meth. 205(1983) 335-339.
- P.22. F. RIGAUD, A. SOUHNOUN, M. VIENNOT, M. BERRADA, J. HASSAR BENSLIMANE and A. TOURI.
Determination des teneurs en or, argent et cuivre de monnaies musulmanes anciennes par activation aux neutrons de 14 MeV (Maroc), Archéologie Africaine et Sciences de la Nature appliquée à l'Archéologie, Bordeaux 26-30 Septembre 1983.
- P.23. M. BERRADA, A. REGGOUG, A. AIT HADDOU and M. VIENNOT
Isomeric ratio and cross section measurements for reaction $^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106m,g}\text{Ag}$ by X ray and gamma detection at a neutron energy of 14.65 MeV, ATOMKI report A/4 (1984) HU ISSN 0231-3693.
- P.24. A. BOUFRAQECH, G. PETO and J. CSIKAI
Removal cross sections for 14.8 MeV neutrons, Acta Physica Hungarica 55(1-4) 303-310 (1984).
- P.25. A. REGGOUG, G. PAIC', A. AIT HADDOU, A. CHIADLI, M. VIENNOT and M. BERRADA.
Utilization of X ray spectrometry for cross section ratio measurements of 14 MeV neutron reaction, Nuclear Instr. and Meth. in Phys. Research 227 (1984) 249-256.

VII. RELATIONS EXTERIEURES

1. A.I.E.A.

Le L.P.N.R. a bénéficié en 1983 d'un contrat de recherches avec l'A.I.E.A. (n° 3311/RB) dans le cadre du projet C.R.P. Measurement and Analysis of 14 MeV neutron nuclear data needed for fission and fusion reactor technology. Ce contrat, d'une valeur de 4000 dollars US nous a permis de faire des mesures de sections efficaces de diverses réactions nucléaires induites par neutrons de 14 MeV en utilisant la spectrométrie gamma et la spectrométrie X. Il a donné lieu à 2 rapports à l'Agence, et à une communication effectuée par M. BERRADA, à la réunion organisée par l'Agence à Gaussig (République Démocratique d'Allemagne) du 21 au 25 Novembre 1983, qui groupait les différents laboratoires participant au projet : Autriche - R.D.A - Pologne - Tchécoslovaquie - Pakistan - Maroc - R.F.A. - U.S.A - Yougoslavie.

Il a également bénéficié en 1984 d'une reconduction de ce contrat pour la même somme, soit 4000 dollars US. (3311/R1/RB).

Le L.P.N.R. a bénéficié aussi du programme ordinaire d'assistance technique de l'Agence en 1983 et en 1984 MOR 1/005 et MOR 1/006.

Ces programmes ont permis l'acquisition de modules électroniques divers et d'un mini-ordinateur professionnel - PC - 350.

2. Coopération Française ;

Le L.P.N.R. a pu obtenir une action intégrée intitulée Mesure par spectrométrie X et gamma des sections efficaces de réactions nucléaires induites par les neutrons de 14 MeV sur les noyaux moyens et lourds (A.I. n°2) avec comme établissement partenaire le Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux- Gradignan.

Dans le cadre de cette action, 2 missions ont pu être effectuées.

Mrs Roturier et Dalmas, quatre séjours d'étude de 1 mois au C.E.N.B.G. ont pu être réalisés : Mr. A Reggoug (1), A. Chiadli (2), A. Souhnoun (1) ainsi qu'une visite de Mr. M. Berrada (15 jours). Enfin un matériel électronique français d'une valeur de 60.000 FF a été acquis.

D'autre part, le Laboratoire de Radiochimie a établi une collaboration sur un ensemble de thèmes de recherches, avec le laboratoire de Radiochimie de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay. Cette action est soutenue par le CNRS français et le CNCPRST marocain dans le cadre de la convention liant les deux organismes.

3. Organismes marocains :

Le L.P.N.R. a effectué diverses analyses de phosphates marocains pour le compte du Service des Combustibles Solides du Ministère de l'Energie et des Mines. Ces analyses avaient pour objet la détermination des teneurs en Uranium et des rapports d'équilibre U/Ra (Mrs Jeanmaire et Idir).

Le L.P.N.R. a effectué diverses analyses de pièces de monnaie ancienne, provenant du Musée d'Archéologie de Rabat (Mme Benslimane et Mr. Touri). Les monnaies d'or provenaient des dynasties Almoravide, Almohade et Hafside. Les teneurs en Or, Cuivre et Argent ont pu être déterminés.

4. Colloques - Stages - Missions :

1. S. BOUHLASSA. Séjour d'études à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (France) 1-30 Juin 83. Invitation de I.P.N. Orsay.
2. A. REGGOUG. Cours 8^e Collège d'été de Nathiagali sur la Physique et les besoins contemporains - Islamabad (Pakistan) 23 Juillet 11 Aout 1983 - allocation IFSTAD.
3. L. ERRADI. Cours Interregional sur la Physique Neutronique, Institut de Physique Nucléaire Tachkent (U.R.S.S). 4-30 Sept, 83 A.I.E.A.
4. A. BOURAJA. Séjour d'études à l'I.P.N. Orsay (France) - Laboratoire de Radiochimie - 1 Sept-30 Nov 83. CNR/CNRS.
5. M. VIENNOT. Conférence Internationale de Physique Nucléaire. Florence (Italie) - 29 Août-3 Sept. 83 - fonds personnels.
6. A. AIT HADDOU. Mission au Laboratoire de Physique Nucléaire - Faculté des Sciences de Antananarivo (Madagascar) Sept 83 - A.I.E.A.
7. M. BERRADA. Meeting sur la Mesure et l'Analyse des données nucléaires concernant les neutrons de 14 MeV - Gaussig (R.D.A) 21-25 Nov.83 A.I.E.A.
8. A. CHIADLI. Séjour d'études - Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan (France) 5-31 Dec. 83, Action Intégrée - Coopération Française.

9. M. BERRADA. Workshop sur les codes concernant les modèles de réactions nucléaires - Trieste (Italie), 16 Janvier - 3 Fev. 84
I.C.T.P./A.I.E.A.
10. A. AIT HADDOU. Symposium sur la terminologie en Arabe de la Physique Nucléaire. Baghdad (Iraq) 2-6 Fevrier 84 - Union des physiciens arabes.
11. A. CHIADLI. Séjour d'études - Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan - 21 Mai-7 Juillet 84. Action Intégrée, Coopération Française.
12. A. REGGOUG. Stage à l'Institut d'ETUDES Nucléaires de Varsovie (Pologne), Utilisation du Code Empire - 5 Avril - 5 Juillet 84
A.I.E.A.
13. M. BERRADA. Séjour d'études, Centre d'Etudes Nucléaires Bordeaux Gradignan (France) 28 Mai-9 Juin 84 - Action Intégrée - Coopération Française.
14. S. BOUHLASSA. Séjour d'études I.P.N. Orsay (France) 1-30 Mai 84
CNR/CNRS.
15. R. GUILLAUMONT. Mission au L.P.N.R. (Rabat) 11-19 Juillet 84
CNR/CNRS.
16. A. CHETAINE. Cours d'Instrumentation électronique nucléaire Izmir (Turquie) 16 Juillet-7 Septembre 84, A.I.E.A.
17. S. BOUHLASSA. Séjour d'études I.P.N. Orsay (France)
1-30 Sept. 84 - Invitation de l'I.P.N. Orsay.
18. A. EL YAHYAOUI. Séjour d'études I.P.N Orsay (France)
1 Sept-30 Oct. 84 - CNR/CNRS;
19. M. BOUFRAQECH. Stage à l'I.P.E. Debrecen (Hongrie) 16 Sept 84
au 27 Fev. 85 , A.I.E.A.