

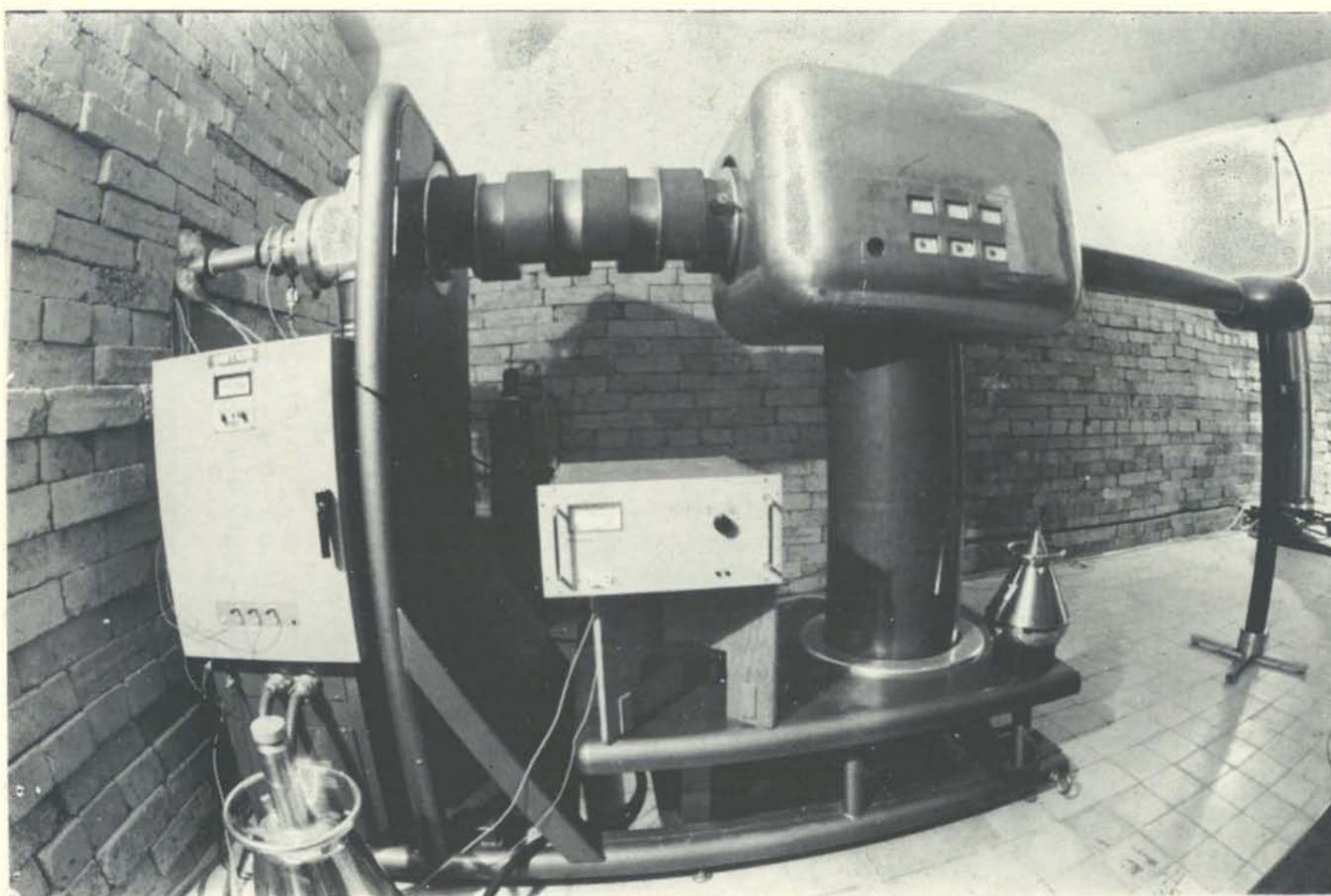
1435

UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DES SCIENCES DE RABAT

INDC(MOR)-2/GI
INT(85)-3

LABORATOIRE
DE
PHYSIQUE
NUCLEAIRE

مختبر
الفيزياء
النوية



RAPPORT D'ACTIVITE

ANNEE 1982

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

Tél. : 718-34 (35) poste 233, 220
Télex : 326-26 M

RAPPORT D'ACTIVITE DU LABORATOIRE
DE PHYSIQUE NUCLEAIRE

N° 5
ANNEE 1982

La photographie 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	5
II. Matériel	7
III. Budget	9
IV. Axes actuels de recherche	10
V. Travaux d'installation et de maintenance	31
VI. Résumés des travaux réalisés	34
a - Thèse d'Etat (T)	34
b - Diplômes de 3° cycle (D)	35
c - Publications	37
VII. Colloques - stages - visites	40

INTRODUCTION

L'année 1982 a été fertile en travaux publiés ou acceptés pour publication. C'est ainsi que trois articles ont paru dans trois journaux internationaux, le Journal de Recherche atmosphérique (P14) ; l'International Journal of Applied Radiations and Isotopes (P15), et le Journal of Radioanalytical Chemistry (P16). Trois autres ont été acceptés et communiqués à la Conférence Nuclear Data for Science and Technology qui s'est tenue à Anvers (Belgique) du 6 au 10 Septembre 1982, et enfin un autre sera incessamment publié à Nuclear Instruments and Methods. Deux diplômes de 3^o cycle ont été présentés, celui de A. MOUADILI (D13) et celui de A. CHIADLI (D14). C'est une preuve de la maturité croissante du laboratoire. L'équipe a été renforcée par l'arrivée de L. ERRADI, spécialiste de la Physique des Réacteurs, qui nous revient après avoir présenté sa thèse de doctorat d'état en France (T3). Avec la Physique Nucléaire, l'Instrumentation, la Radiochimie et la Physique des Réacteurs, le potentiel scientifique du laboratoire a atteint un niveau susceptible de lui permettre des réalisations appréciables dans le domaine des Sciences et Techniques Nucléaires.

Malgré l'absence d'infrastructure technique à la Faculté des Sciences, les enseignants chercheurs ont aussi rempli des fonctions de techniciens, et ont pu maintenir en état de marche l'accélérateur, la machine à azote liquide, ainsi que l'instrumentation électronique des mesures. C'est un succès non négligeable à mettre à leur actif.

Les axes de recherche groupent des sujets de Physique Nucléaire fondamentale, de Physique Nucléaire appliquée, et de Radiochimie.

La mesure des sections efficaces de réactions nucléaires induites par neutrons de 14 MeV, se fait par activation suivie de spectrométrie gamma à l'aide de détecteurs Ge-Li. Les problèmes expérimentaux posés par ces mesures sont en gros maîtrisés (VI-D14). Certains sont en cours d'étude (IV-1b). Plusieurs réactions (n, p) sur Ti, Cr, Fe, Ni, et Zn ont été étudiées, ainsi que des réactions

(n,2n) sur Nb et Zr. On a commencé à utiliser la spectrométrie X à l'aide d'un détecteur Germanium hyperpur. Les difficultés de cette méthode ont été analysées (IV-1f-1g) et l'on se propose de remonter au rapport σ_m/σ_g des sections efficaces conduisant à l'état isomérique et au fondamental du noyau résiduel de la réaction. L'ensemble de ces mesures, concerne les données nucléaires, et devra se poursuivre par un travail d'interprétation théorique.

Les neutrons de 14 MeV projettent dans des échantillons à base de Carbone, d'hydrogène et d'oxygène des protons qui réagissent sur le carbone et l'oxygène produisant des réactions secondaires que l'on étudie. C'est un deuxième axe de recherches qui s'étendra à d'autres éléments légers.

L'utilisation des détecteurs solides de traces dans un faisceau de neutrons rapides est à présent mieux maîtrisée et les conditions de développement des films mieux connues.

En Physique Nucléaire appliquée, des méthodes routinières d'analyse radiométrique de l'Uranium dans les phosphates marocains, ainsi que du rapport d'équilibre U/Ra sont développées. Des essais ont été aussi réalisés avec le charbon de Jerada. La collaboration avec le BRPM et le Ministère des Mines se développe. L'analyse par activation neutronique de Au, Ag et Cu dans les pièces de monnaies anciennes, notamment islamiques, se poursuit en collaboration avec le Musée Archéologique de Rabat.

Enfin les études aérosologiques, utilisant l'activation neutronique (14 MeV) pour la détermination de Si et Al ont abouti à la présentation du diplôme de A. MOUADILI, (D13 et P 14). Ces travaux ne vont pas sans mal car ils nécessitent un engagement résolu de la part de nos partenaires, qui fait souvent défaut malheureusement.

Le groupe de Radiochimie étudie les possibilités d'extraction de certaines terres rares, de l'uranium, du thorium et du radium par de nouveaux ligands organiques synthétisés localement, et des efforts sont faits pour la récupération de ces éléments à partir des phosphates marocains.

Le L.P.N.R., pour se développer, a besoin d'ouvertures sur les institutions et organismes tant nationaux qu'internationaux. Il a continué à bénéficier en 1982 du programme ordinaire de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, et a signé avec l'Agence un contrat de recherches d'un an, à partir d'octobre 82, dans le cadre du programme de recherche coordonnée "Mesure et Analyse des données nucléaires relatives aux neutrons de 14 MeV nécessaires à la Technologie des réacteurs de fission et de fusion.

Il a aussi entamé, à partir d'octobre 82, et pour une durée de 3 ans une Action Intégrée, financée par les services de coopération française, avec le Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan intitulée "Mesure par spectrométrie X et gamma des sections efficaces des réactions induites par les neutrons de 14 MeV sur les noyaux moyens et lourds".

Sur le plan national, un accord est intervenu avec le Bureau de Recherches et de participation Minières (B.R.P.M.) pour l'analyse radiométrique d'Uranium dans certains échantillons géologiques et ceci dans le cadre de la prospection de ce minerai par le B.R.P.M.

En persévérant dans son action, et pourvu que la recherche Scientifique Nationale se dote des structures indispensables qui lui font défaut, nul doute que le laboratoire de Physique Nucléaire de Rabat, ne remplisse son rôle au profit de l'Université, de l'Economie Nationale, et de la Communauté Scientifique Internationale.

Professeur M. BERRADA
Responsable du L.P.N.R.

I. PERSONNEL

a. Personnel enseignant-chercheur et étudiants de 3° cycle

N O M	P R E N O M	SITUATION ADMINISTRATIVE
MM. AIT HADDOU	Assou	Maître-Assistant
BERRADA	Mohamed Ben Thami	Professeur responsable du L.P.N.R.
BERRADA	Mohamed Ali	Etudiant 3° cycle (1° année)
BOUFRAQECH	Ahmed	Maître-Assistant
BOUHLASSA	Sadati	Professeur
BOURAJA	Abdelkader	Assistant
CHAPUIS	Alain	Maître de Conférences associé
CHIADLI	Abdellatif	Maître-Assistant
CHOUAK	Abdelkader	Maître de Conférences
EL YAHYAOUI	Ahmed	Maître-Assistant
ERRADI	Lahoucine	Professeur
IBN MAJAH	Mohamed	Etudiant de 3° cycle (1°année)
MOUADILI	Ahmed	Etudiant de 3° cycle (3°année)
REGGOUG	Abderrahmane	Maître de Conférences
RIGAUD	François	Maître de Conférences associé
SOUHNOUN	Abelhalim	Etudiant de 3° cycle (1°année)
VIENNOT	Michel	Assistant (Fac. de Médecine)
DELBARE	Thierry	Maître de Conférences E.N.S. Takaddoum.

* Ont quitté le laboratoire en Juillet 82.

Soit 18 personnes dont :

3 professeurs (docteurs es sciences)

- 3 Maîtres de Conférences (docteurs ès Sciences)
- 2 Maîtres de Conférences (diplômés de 3° cycle) préparant une thèse de doctorat d'Etat.
- 4 Maîtres Assistants (diplômés de 3° cycle) dont 3 préparent une thèse d'Etat.
- 2 Assistants préparant un diplôme de 3° cycle.
- 4 étudiants de 3° cycle.

b. Experts A.I.E.A. en 1982

Mr G. PAIC' Physique Nucléaire (Janvier 82 à Juin 82)
soit 6 mois d'expert .

II. MATERIEL

a. Moyens d'irradiation

- Accélérateur SAMES 400 KV (T 400) générateur de neutrons de 14 Mev.
ions pouvant être accélérés : p, d, α , ions lourds ...,
ions effectivement accélérés : deutons.
- Un dispositif d'irradiation avec une source de californium 252 de 4 μ 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 gamma germanium ORTEC ϕ 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 TN 11 couplé avec un miniordinateur PDP 11/05.
- 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", Telédyne.

c. 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 l'année 1982, le budget s'élevait à :

- 1°) - Ministère de l'Education Nationale :
 - . Fonctionnement 100.000 DH

- 2°) - A.I.E.A. :
 - . Experts 6 mois
 - . Aide au fonctionnement 30.000 DH
 - . Contrat de recherche n°3311/RB qui débute le 15 Octobre 82, "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 qui débute en Octobre 82. "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.

Sont prévus pour 82-83 :

- 2 missions
- 3 séjours d'étude de 1 mois
- Equipement : 60.000 FF
- Aide du fonctionnement : 25.000 FF

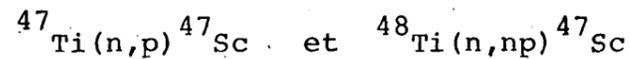
IV. AXES DE RECHERCHE

1. Etude des réactions nucléaires

- a. *Mesure des sections efficaces des réactions nucléaires (n,p) et (n,np) sur les éléments métalliques légers entre 13,77 et 14,83 MeV (M. VIENNOT, G. PAIC', A. AIT HADDOU, A. CHIADLI).*

L'étude des réactions nucléaires induites par des neutrons de 14-15 MeV sur des éléments métalliques légers avec émission d'un proton, a abouti à la mesure des réactions nucléaires (n,p) et (n,np) ; (tableau 1, page 11).

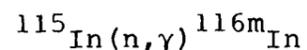
L'utilisation des éléments naturels entraîne des réactions d'interférence entre des isotopes voisins comme par exemple :



qu'il n'est pas toujours possible de séparer ; l'utilisation d'isotopes purs ou enrichis devient dans ce cas indispensable

- b. *Mise en évidence de l'effet des cascades γ sur le taux de comptage (A. AIT HADDOU, G. PAIC')*

Pour mesurer le flux des neutrons thermiques et épithermiques au voisinage de la cible de tritium du générateur de neutrons, la réaction suivante a été utilisée :



Le flux a été déterminé à partir de chacune des raies γ de ${}^{116\text{m}}\text{In}$. Le comptage a été effectué contre le détecteur Ge(Li). L'écart entre les valeurs obtenues atteint plus de 30% alors que les erreurs ne dépassent pas 5%. Ces écarts s'expliquent par la présence des coïncidences vraies des γ en cascade. En effet, le nombre de cascades dans le cas de ${}^{116\text{m}}\text{In}$ peut atteindre 5. Cet effet est amplifié par la courte distance source-détecteur. Si γ_1 et γ_2 sont en cascade, le facteur de correction pour γ_1 est $|1 - \epsilon_T^{(2)}|$ où $\epsilon_T^{(2)}$ est l'efficacité totale de γ_2 . Une étude plus approfondie du problème et d'autres corrections est en cours.

Reac. Nucl.	E_n (MeV)	13,77	13,93	14,11	14,30	14,47	14,73	14,83
$^{46}\text{Ti}(n,p)$ ^{46}Sc		310 ± 33	297 ± 38	310 ± 33	306 ± 37	242 ± 33	306 ± 34	275 ± 39
$^{48}\text{Ti}(n,p)$ ^{48}Sc		51 ± 3	53 ± 3	55 ± 3	53 ± 3	55 ± 3	61 ± 3	56 ± 3
$^{48}\text{Ti}(n,np)$ ^{47}Sc		3,5 ± 0,5	5,2 ± 0,7	5,7 ± 0,8	6,1 ± 0,9	8,4 ± 1,8	13,2 ± 1,8	13,0 ± 1,8
$^{50}\text{Ti}(n,p)$ ^{50}Sc		8,4 ± 0,7	8,6 ± 0,8	10,3 ± 0,9	9,8 ± 0,9	9,8 ± 0,9	11,7 ± 1,0	12,6 ± 1,1
$^{52}\text{Cr}(n,p)$ ^{52}V		93 ± 3		90 ± 3		91 ± 3		91 ± 3
$^{53}\text{Cr}(n,p)$ ^{53}V		53 ± 4		50 ± 4		47 ± 4		50 ± 4
$^{54}\text{Mn}(n,p)$ ^{54}Mn		411 ± 26		433 ± 26		366 ± 24	346 ± 22	314 ± 20
$^{56}\text{Fe}(n,p)$ ^{56}Mn		109 ± 7	127 ± 8	109 ± 7	119 ± 7	109 ± 7	104 ± 6	105 ± 6
$^{57}\text{Fe}(n,p)$ ^{57}Mn		96 ± 8	96 ± 8	90 ± 8	93 ± 8	83 ± 7	89 ± 8	92 ± 8
$^{58}\text{Ni}(n,p)$ ^{58}Co		238 ± 12	229 ± 12	239 ± 12	261 ± 13	237 ± 12	222 ± 11	178 ± 11
$^{58}\text{Ni}(n,p)$ ^{58}Co		379 ± 13	354 ± 13	333 ± 12	328 ± 12	306 ± 11	269 ± 10	266 ± 10
$^{58}\text{Ni}(h,np)$ ^{57}Co		529 ± 17	523 ± 14	541 ± 15	611 ± 18	613 ± 18	580 ± 17	577 ± 17
$^{60}\text{Ni}(n,p)$ ^{60}Co		40 ± 4		33 ± 3		39 ± 4	29 ± 3	28 ± 3
$^{62}\text{Ni}(n,p)$ ^{62}Co		14 ± 2		14 ± 2		17 ± 2	18 ± 2	19 ± 2
$^{62}\text{Ni}(n,p)$ ^{62}Co		20 ± 2		17 ± 2		20 ± 2	16 ± 2	22 ± 2
$^{64}\text{Zn}(n,p)$ ^{64}Cu		175 ± 59	153 ± 52	153 ± 52	134 ± 46	154 ± 53	139 ± 47	125 ± 42
$^{66}\text{Zn}(n,p)$ ^{66}Cu		69 ± 9		63 ± 8		74 ± 9	75 ± 9	55 ± 7
$^{67}\text{Zn}(n,p)$ ^{67}Cu		94 ± 9	86 ± 8	90 ± 9	107 ± 10	100 ± 10	117 ± 15	114 ± 14
$^{68}\text{Zn}(n,p)$ ^{68}Cu		2,0 ± 0,2		1,6 ± 0,1		2,0 ± 0,2	1,3 ± 0,1	2,2 ± 0,2
$^{68}\text{Zn}(n,p)$ ^{68}Cu		15,2 ± 1,1		13,1 ± 0,9		21,9 ± 1,5	22,5 ± 1,6	16,8 ± 1,2

Tableau 1 : Sections efficaces (mb) en fonction de l'énergie des neutrons.

c. Mesure des sections efficaces (n,2n) sur le Nickel, le Cobalt et le Molybdène à 14-15 MeV (A. BOUFRAQECH, L. ERRADI, M. VIENNOT, A. CHOUAK).

1- Dans le cadre du projet inter-régional de mesures des constantes neutroniques proposé par l'AIEA et auquel participe le laboratoire, nous mesurons les sections efficaces des réactions suivantes : $^{58}\text{Ni}(n,2n)^{57}\text{Ni}$, $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ et $^{94}\text{Mo}(n,2n)^{93}\text{Mo}$ pour les neutrons de 14 MeV par la méthode d'activation suivie par la spectrométrie gamma. Pour la 1ère réaction la mesure a été réalisée et le résultat obtenu est tout à fait conforme aux valeurs publiées dans la littérature. Pour la 2ème réaction un essai avec de l'oxyde de Cobalt en poudre est en cours ; cette mesure sera reprise avec des feuilles de cobalt dès qu'elle seront disponibles. Quant à la dernière réaction elle exige l'emploi d'un isotope enrichi du fait de la réaction de capture (n, γ) sur l'isotope 92 qui interfère avec la réaction étudiée.

2- Nous avons effectué une étude pour déterminer l'efficacité photoélectrique du détecteur Ge-Li coaxial vertical que nous utilisons pour nos mesures de sections efficaces ; ainsi nous avons ajusté les valeurs expérimentales obtenues à l'aide de sources étalons, sur les formes analytiques suivantes :

$$\text{Lnc} = a(\ln E)^2 + b(\ln E) + c \quad \text{pour } E < 400 \text{ keV}$$

et $\text{lnc} = a(\ln E) + b \quad \text{pour } E > 400 \text{ keV}$

Ces ajustements conduisent à des précisions de l'ordre de quelques pourcents (<2%). Pour améliorer davantage la précision, nous avons écrit un programme d'ajustement par moindres carrés en utilisant la formule la plus recommandée dans la littérature

$$\epsilon = \frac{a_1}{E} a_2 + a_3 \exp(-a_4 E) + a_5 \exp(-a_6 E)$$

Certains problèmes numériques (liés à la non convergence des itérations) ne sont pas encore maîtrisés et les résultats obtenus ne sont pas encore satisfaisants.

Ce problème est en cours d'examen avec l'aide du programme d'optimisation non linéaire que nous venons de recevoir.

d. Fonction d'excitation de la réaction $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$ dans la région 13,9 à 14,8 MeV (A. CHIADLI, G. PAIC').

Les sections efficaces sont déterminées par la méthode d'activation, utilisant la spectrométrie γ et un détecteur Ge-Li. Elles sont mesurées relativement à la réaction $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ (comparateur) dont la fonction d'excitation est connue maintenant à moins de 1% dans la région 13,5 - 15MeV.

Des feuilles minces de Nb sont mises chacune en sandwich entre 2 feuilles minces d'Al et sont irradiées à différents angles par rapport à la direction du faisceau de deutons. Les raies 934,5 et 1368,5 keV provenant de ^{92m}Nb et ^{24}Na respectivement sont exploitées. Nos résultats sont regroupés dans le tableau suivant, avec en 3^e colonne les valeurs prises pour le comparateur.

E_n (MeV)	σ (mb)	$\sigma_{\text{comp.}}$ (mb)
13,9	488 ± 31	123
14,3	497 ± 33	120
14,5	509 ± 34	116,1
14,6	496 ± 32	114,5
14,8	472 ± 30	112,3

e. Mesure de la section efficace de la réaction $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89m+g}\text{Zr}$ à 13,9 et 14,8 MeV (A. CHIADLI, G. PAIC').

La réaction $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89m+g}\text{Zr}$ possède certaines caractéristiques qui la rendent adéquate à la spectrométrie des neutrons de 14 MeV. En effet :

- Elle a un seuil de 12,07 MeV à partir duquel la section efficace augmente rapidement jusqu'à environ 16 MeV,

où elle commence à plafonner atteignant un maximum aux alentours de 20 MeV*. Son seuil élevé permet de discriminer la contribution des neutrons d'énergie dégradée. La variation rapide et monotone de sa fonction d'excitation dans la région 13 à 15 MeV la rend très sensible à la variation de l'énergie des neutrons.

- Sa section efficace, relativement élevée, permet d'atteindre une bonne statistique de comptage même quand le flux de neutrons est assez faible.

- Le produit de cette réaction a une période convenable ($T_{1/2} = 78,4$ h) et un schéma de désintégration simple.

- L'isotope ^{90}Zr constitue 51,5% du zirconium naturel et peut être aussi obtenu avec une pureté de 99,9%. De plus le zirconium naturel est très disponible sous forme de feuilles.

La section efficace a été mesurée dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus :

E_n	σ (mb)
$14,8 \pm 0,3$	889 ± 57
$14,1 \pm 0,1$	663 ± 54

f. *Utilisation de la spectrométrie X dans la mesure des rapports isomériques des réactions (n,2n) à $E_n = 14,7$ MeV (A. REGGUG, G. PAIC', M. BERRADA)*

Dans les mesures de sections efficaces des réactions (n,2n) induites par les neutrons de 14 MeV à l'aide de la spectrométrie X (P.17) les problèmes principaux sont :

- Détermination de l'efficacité du détecteur HPGe pour les faibles distances détecteur-échantillon.

* V.E Lewis and K. Zieba, Nucl. Inst. Meth. 174(1980) 141-144.

- Identification de la réaction d'intérêt, qui demande une étude de décroissance précise du spectre X de l'échantillon irradié. Etude qui devient imprécise lorsque le nombre de constantes de décroissance dépasse trois.
- Détermination de l'auto-absorption de l'échantillon étudié.
- Correction de perte de comptage due aux transitions en cascade, spécialement pour les faibles distances détecteur-échantillon.
- Détermination de l'auto-excitation ou ionisation de l'échantillon par les gamma de faibles énergies ou les particules β^\pm respectivement.
- Incertitudes sur les données nucléaires, trop importantes parfois.
- L'utilisation d'un comparateur implique les mêmes problèmes ci-dessus.

Tous ces problèmes induisent une erreur importante sur la section efficace. Cependant, au cours de nos travaux dans ce domaine, nous avons remarqué que l'application de la spectrométrie X dans les mesures des rapports isomériques de certaines réactions (n,2n) peut être réalisée sans faire intervenir les problèmes cités (excepté le 2). Ces réactions sont celles dont les produits (m) et (g) se désintègrent suivant le schéma (1). Le tableau (1) donne quelques réactions possibles (page 17).

En effet, dans ce genre d'application, si on considère uniquement le pic K-X dû à (EC + β^\pm) ou celui dû à la conversion interne qui suit les β^- , l'aire de ce pic à la $i^{\text{ème}}$ mesure de décroissance peut être écrit sous la forme :

$$A_i = X_m (1 - e^{-\lambda_m \Delta t_i}) e^{-\lambda_m t_i} + X_g (1 - e^{-\lambda_g \Delta t_i}) e^{-\lambda_g t_i} \quad (1)$$

$$\text{où } X_m = K \frac{\lambda_g}{\lambda_g - \lambda_m} N_{o_m}, \quad X_g = K N_{o_g} - K \frac{\lambda_m}{\lambda_g - \lambda_m} N_{o_m} \quad (2)$$

avec $K = \epsilon f I_x$

- Où ϵ : efficacité du détecteur pour la raie K-X considérée
 f : facteur d'auto-absorption de la raie K-X considérée dans l'échantillon.
 I_x : intensité de la raie K-X considérée, induite par le mode de désintégration correspondant.
 λ_m, λ_g : constantes de décroissances des produits (m) et (g) respectivement.
 No_m, No_g : nombre de noyaux des produits (m) et (g) formé à la fin de l'irradiation.
 $t_i, \Delta t_i$: début et durée de la $i^{\text{ème}}$ mesure.
 X_m, X_g : constantes calculables par la méthode d'optimisation linéaire.

Si on remplace No_m et No_g de l'équation (2) par leurs valeurs à la fin de l'irradiation, la forme finale de l'équation donnant la valeur du rapport isomérique est :

$$\frac{\sigma_g}{\sigma_m} = \frac{\lambda_m}{\lambda_g - \lambda_m} \left[\frac{(1 - e^{-\lambda_m t_{ir}})}{(1 - e^{-\lambda_g t_{ir}})} \cdot \frac{\lambda_g^2}{\lambda_m^2} \cdot \frac{X_g}{X_m} + 1 \right] \quad (3)$$

où t_{ir} : durée de l'irradiation.

D'un autre côté, il faut remarquer que cette formule reste aussi valable dans la méthode utilisant une raie gamma du produit (g).

Un autre type de schéma se prête aux mesures de σ_m/σ_g par cette méthode (schéma 2). C'est le cas des réactions indiquées dans la table 2. Dans ce cas

$$\sigma_m/\sigma_g = \frac{\lambda_m}{\lambda_g} \frac{I_{xg}}{I_{xm}} \frac{(1 - e^{-\lambda_g t_{ir}})}{(1 - e^{-\lambda_m t_{ir}})} \frac{X_m}{X_g} \quad \text{avec}$$

$$\frac{X_m}{X_g} = \frac{I_{Xm} No_m}{I_{Xg} No_g}$$

X_m et X_g sont extraits de l'ajustement de l'expérience avec l'équation (1) ;

I_{Xm} et I_{Xg} représentent les intensités absolues de la raie KX caractéristique de l'élément Z-1 ou Z+1 émise respectivement par les isomères m et g.

Table 1 :

N°	Isotope	Isot. Abun (%)	(n,2n) produc.	T _{1/2}	σ (mb) (1)	desintegration mode & Intensity (%) (2)	Remarks
1	⁵⁹ Co	100	^{58m} Co ^{58g} Co	9,2 h 70,8 d	402 ± 41 720 ± 50	IT(100) EC(85), β ⁺ (15)	(n,p) does not disturb
2	¹⁶⁵ Ho	100	^{164m} Ho ^{164g} Ho	37mn 29mn	1211 ± 180 831 ± 123	IT(100) EC(58), β ⁻ (42)	σ _m /σ _g can be measured two times: by KX-Dy and KX-Er.
3	¹⁹⁷ Au	100	^{196m2} Au ^{196g} Au	9,7 h 6,2 d	150 ± 20 1990 ± 150	IT(100) EC(93), β ⁻ (7)	^{196m1} Au(8,1s) can be ignored
4	¹⁵³ Eu	52,2	^{152m2} Eu ^{152m1} Eu	1,6 h 9,3 h	72 ± 6 433 ± 39	IT(100) β ⁻ (76), EC(24)	^{152g} Eu(13Y) can be ignored
5	⁸⁵ Rb	72,2	^{84m} Rb ^{84g} Rb	20,5mn 32,9 d	505 ± 34 1093 ± 105	IT(100) EC(75), β ⁺ (22), β ⁻ (3)	
6	¹⁹² Os	41	^{191m} Os ^{191g} Os	13,1 h 15,4 d	1067 ± 318 1993 ± 200	IT(100) β ⁻ (100)	β ⁻ goes to *Ir with large ek/γ
7	¹¹⁰ Pd	11,8	^{109m} Pd ^{109g} Pd	4,7mn 13,4 h	510 ± 35 1884 ± 136	IT(100) β ⁻ (100)	β ⁻ goes to *Ag with large ek/γ
8	¹³⁶ Xe	8,9	^{135m} Xe ^{135g} Xe	15,7mn 9,1 h	750 ± 50 772 ± 80	IT(>99,9) β ⁻ (100)	β ⁻ goes to *Cs with large ek/γ
9	¹³⁴ Xe	10,5	^{133m} Xe ^{133g} Xe	2,2 d 15,4 d	665 ± 80 805 ± 90	IT(100) β ⁻ (100)	β ⁻ goes to *Cs with large ek/γ
10	¹¹³ In	4,3	^{112m} In ^{112g} In	21 mn 14,4 mn	1317 ± 200 316 ± 40	IT(100) β ⁻ (44) EC(34) β ⁺ (22)	β ⁻ goes to Sn(gs) σ _m /σ _g can be measured only by KX-Cd.

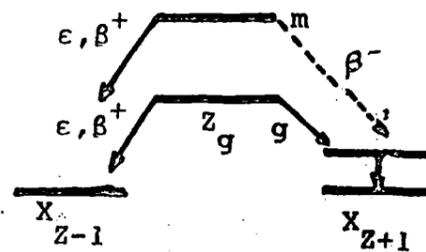
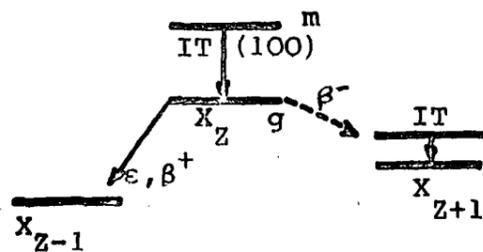


Table 2 :

n°	Isotope	Abon	(n,2n)	T _{1/2}	σ (mb) ⁽¹⁾	Desintegration mode & Intensity (%) ⁽²⁾
11	¹⁰⁷ Ag	51,8	^{106m} Ag ^{106g} Ag	8,5d 24mn	600 [±] 80 870 [±] 100	EC (100) β ⁺ (59), EC (41)
12	¹²¹ Sb	57,3	^{120m} Sb ^{120g} Sb	5,8d 16mn	427 [±] 20 1080 [±] 80	EC (100) EC (56), β ⁺ (44)

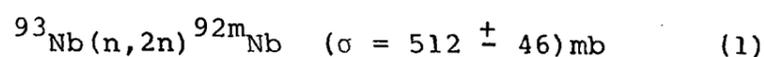
Références : (1) S.M. Qaim, handbook of spectrometry, VIII, CRC Press Inc. Boca Raton Florida 81.

(2) C.M. Lederer, table of Isotopes, seventh edition, wiley Interscience 78.

g. Effet d'auto-excitation par fluorescence dans les mesures de sections efficaces à l'aide de la spectrometrie X (A. REGGOLU, G. PAIC').

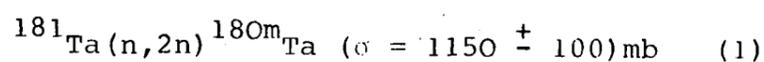
Au cours des mesures préliminaires faites pour cerner les difficultés qui accompagnent l'utilisation des raies X dans la mesure des sections efficaces, nous avons mesurés les spectres X, après irradiation avec les neutrons de 14 MeV, d'un échantillon du Nb naturel de pureté 99,9%.

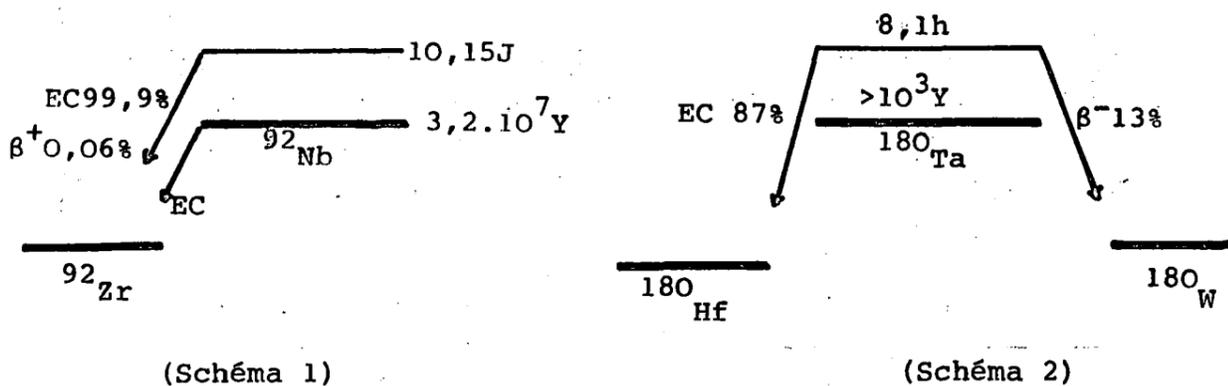
Le spectre des X ne devrait contenir que les KX-Zr (T_{1/2} = 10 jours) induits par le ^{92m}Nb (voir schéma 1) produit par la réaction



Mais les spectres X obtenus ont montré en plus, des KX-Nb (T_{1/2} = 8 heures) et des KX-Hf (T_{1/2} = 8 heures).

Les KX-Hf ne pouvaient être dues qu'à la désintégration du ^{180m}Ta produit par la réaction :





La présence du Ta dans l'échantillon du Nb, a pu être expliquée par le fait que ces deux éléments appartiennent à la même colonne dans le tableau de Mendeleef, et par là difficilement séparables. Et vue la section efficace, assez élevée du Ta, il était normal que cette dernière réaction ait lieu même si la teneur en Ta était très faible dans l'échantillon:

Les KX-Nb observés dans les spectres sont donc dus principalement à l'excitation par fluorescence de l'échantillon du Nb par les KX-Hf dont l'énergie ~ 60 keV, car la contribution de l'ionisation par β^- du ^{180m}Ta est négligeable à cause de leur faible intensité et énergie ($\sim 0,6$ MeV).

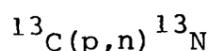
En conclusion, il est nécessaire de prendre en considération, en plus de la contribution des désintégrations β , (P17) celles des raies γ de faibles énergies lors des études des réactions nucléaires par l'intermédiaire de la détection des raies X caractéristiques de l'échantillon irradié.

Références :

- (1) : S.M. Qaim, 14 MeV neutron activation cross-sections, Handbook of spectrometry, volume III, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida 1981.

- h. Etude des réactions secondaires par particules chargées induites par neutrons de 14 MeV (A. AIT HADDOU, M. BERRADA, G. CSIKAI*, G. PAIC')

L'irradiation des produits à base de carbone et d'hydrogène montre la présence d'une activité β^+ parasite de 10 mn de période. L'origine de cette activité est attribuée à ^{13}N qui provient de la réaction :



les protons proviennent de la diffusion élastique des neutrons rapides sur l'hydrogène.

Une étude similaire a été faite sur l'eau pour mettre en évidence la réaction $^{26}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$.

Nous avons lancé une étude quantitative systématique de plusieurs réactions par particules chargées sur les noyaux légers.

* Directeur de l'Institut de Physique Expérimentale Debrecen, Hongrie.

Ont été acceptées pour publication dans la Conférence Nuclear Data for Science and Technology qui s'est tenue à Anvers (Belgique) du 6 au 10 septembre 1982, les communications suivantes relatives à cet axe de recherche :

- la. Excitation functions of (n,p) reactions in the region 13.75 to 15 MeV for Ti, Fe and Ni isotopes, M. VIENNOT, A. AIT HADDOU, A. CHIADLI; G. PAIC'.
- ld. Measurement of the cross section ratios for the reactions $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89\text{m}+g}\text{Zr}$ by $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$; $^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$ by $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ for the purpose of neutron spectrometry around 14 MeV; A. CHIADLI, A. AIT HADDOU, M. VIENNOT, G. PAIC'.
- lf. Measurement of reaction cross section ratios of some neutron reactions using gamma X ray spectrometry, A. REGGOUG, G. PAIC', and A. CHIADLI.

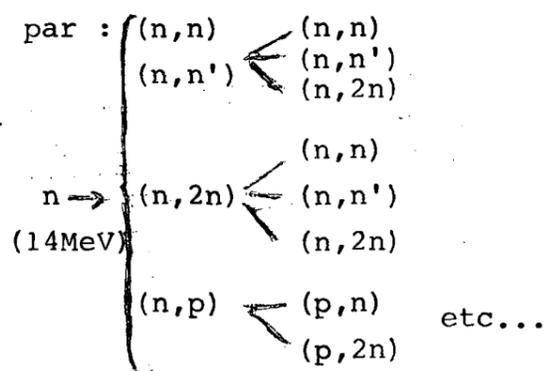
Voir aussi ld le diplôme de 3^o cycle de A. CHIADLI, D14.

2. Effet du rayonnement neutronique sur la matière

a. Spectre de neutrons dans un matériau (A. BOUFRAQUECH).

On se propose de déterminer le spectre de neutrons dans un matériau en un point quelconque. Pour cela, on va considérer toutes les réactions primaires ou secondaires qui peuvent générer des neutrons.

D'une manière schématique ceci peut être représenté



Les neutrons produits ont des distributions énergétiques différentes.

Dans le spectre final on trouve des neutrons primaires, des neutrons secondaires et des neutrons de 3^{ème} génération etc, dont il faut déterminer les spectres. Le spectre final est la somme de toutes les distributions énergétiques pondérée par des coefficients qui dépendent des dimensions du milieu et de sa nature. La détermination de ces coefficients va se faire à l'aide de détecteurs à seuil.

La résolution de l'équation de transport permettra d'interpréter les résultats

A été soumis pour publication de l'article
 Removal cross sections for 14.8 MeV neutrons ;
 A. BOUFRAQUECH; G. PETO, and J. CSIKAI voir aussi D8.

b. Effet des neutrons de 14 MeV sur les feuilles de Makrofol
 (A. AIT HADDOU , G. PAIC')

Des feuilles de Makrofol de 12 µm d'épaisseur sont irradiées avec des neutrons de 14 MeV sous des angles d'incidence allant de 0 à 90° (Fig. 1).

Les noyaux de recul (carbone et oxygène) laissent des trous dans la feuille. Après traitement chimique dans KOH (28%) à 80°C, le nombre de trous est compté à l'aide d'un compteur à étincelles.

A cause de la faible énergie des noyaux de recul (quelques MeV), il a fallu changer les paramètres du traitement chimique plusieurs fois pour obtenir une bonne reproductibilité des résultats. Parmi ces paramètres figurent la température du bain, la durée du traitement et la surface des feuilles irradiées. Des résultats préliminaires ont été publiés dans le rapport d'activité 1981. Les résultats définitifs sont représentés dans la figure 2. Le nombre de trous est normalisé au carré de la distance R à la cible de tritium.

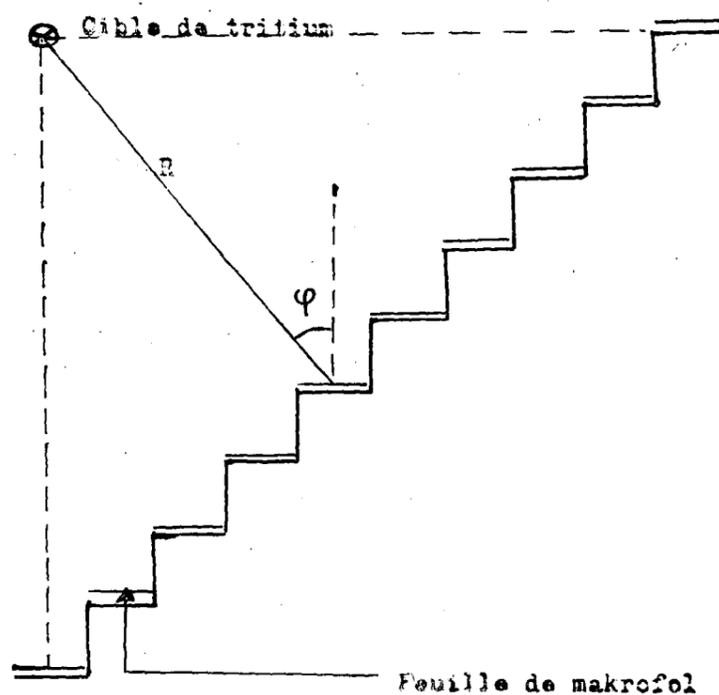


Fig. 1 Dispositif d'irradiation

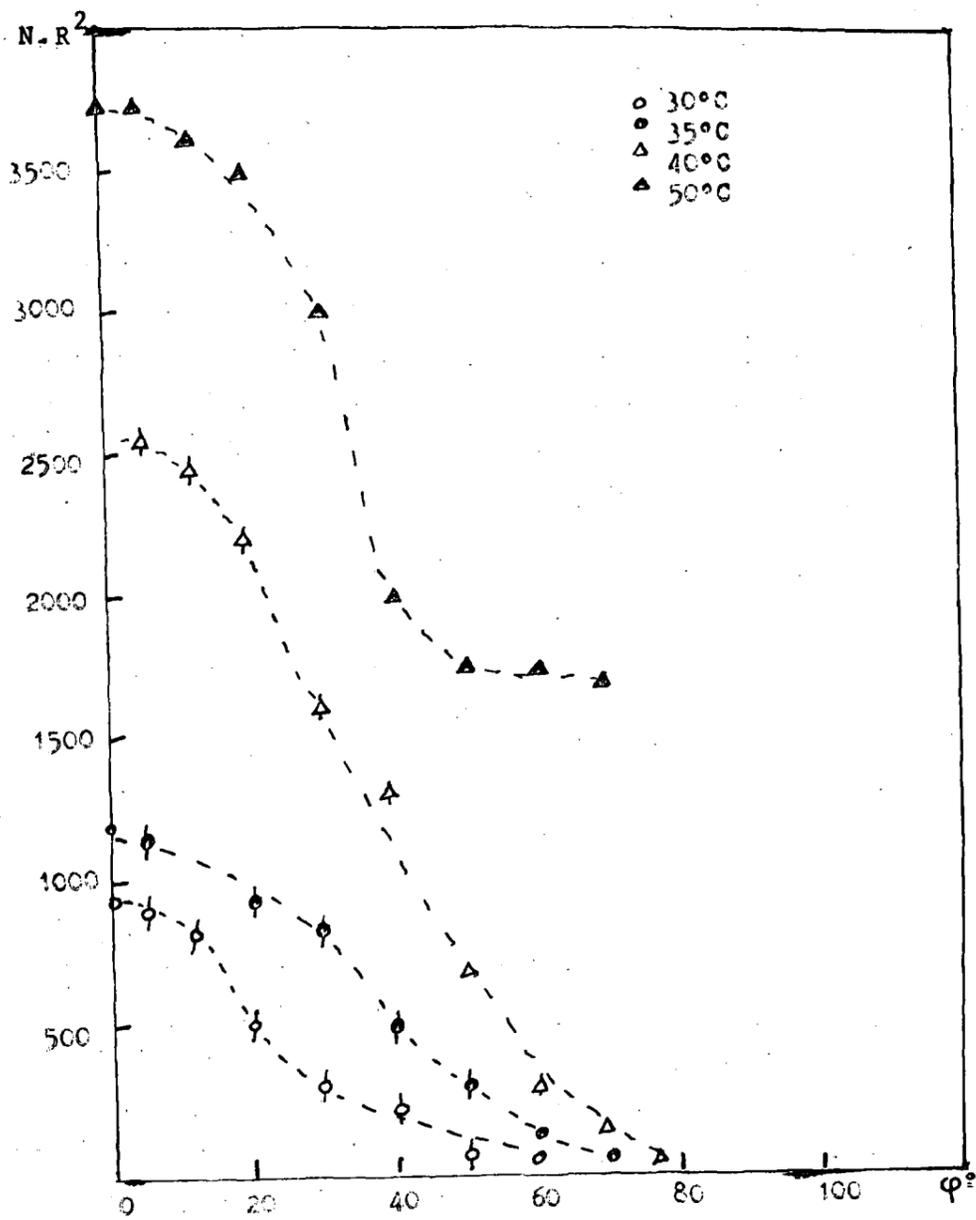


Fig. 2 Nombre de trous en fonction de l'angle d'incidence des neutrons de 14 MeV.

c. Effet des neutrons de 14 MeV sur les composants optoélectroniques (A. REGGOU, A. CHIADLI, J. HAMMER, G. PAIC').

Ce travail, mentionné dans le rapport d'activité 1981 a donné lieu à un article qui a été accepté pour publication dans Nuclear Instruments and Methods : Radiation effects of 14 MeV neutrons on GaAs IRed's and optocouplers ; G. PAIC', A. REGGOU, J. HAMMER, and A. CHIADLI.

3. Physique Nucléaire Appliquée.

a. *Analyse par activation neutronique de monnaies anciennes* (F. RIGAUD, A. SOUHNOUN, M. VIENNOT, M. BERRADA)

Dans le cadre de l'étude de monnaies d'or, d'origine almohade entreprise par Mme J. HASSAR-BENSLIMANE et Mr. TOURI des Services du Musée d'Archéologie de Rabat, et en collaboration avec ces services, nous avons mis au point deux méthodes d'analyse par activation neutronique de pièces de monnaie.

Ces analyses sont non destructives en raison de la grande valeur des pièces étudiées. Elles ont pour but la détermination du titre en or des pièces et leur caractérisation par la connaissance (qualitative et quantitative) d'autres composants éventuels (Ag, Cu,...)

Notre étude préliminaire porte sur un lot de 10 pièces d'or.

Dans la première méthode, chaque pièce est irradiée à l'aide de la source de Californium 252 du laboratoire. La teneur en or est ensuite déterminée à partir de la mesure de l'activité de la raie gamma de 412 keV induite par l'irradiation par réaction (n,γ) . Les teneurs mesurées varient entre 87 et 100% suivant les pièces. La faible activité de cette source ne nous permet pas de mettre en évidence la présence de constituants autres que l'or.

La deuxième méthode utilise les neutrons de 14 MeV produits par l'accélérateur du laboratoire comme source d'irradiation. Cette méthode est plus performante que la précédente. Les premiers résultats mettent en évidence en plus de l'or, la présence d'argent dans les pièces étudiées, les activités mesurées provenant des réactions $(n,2n)$

A été soumis pour publication dans le bulletin d'Archéologie Marocaine (1982) l'article suivant :

Détermination de la teneur en or de monnaies almohades par activation neutronique à l'aide d'une source de ^{252}Cf ;
F. RIGAUD, A. SOUHNOUN, M. VIENNOT, M. BERRADA, J. HASSAR-BENSLIMANE et A. TOURI.

b. *Analyse radiométrique d'échantillons de phosphate marocain*
(M. BERRADA, A. CHIADLI, M. IBN MAJAH)

L'utilisation de la spectrométrie gamma à l'aide d'un détecteur Ge-Li pour la détermination des teneurs uranifères d'échantillons géologiques (P1) ne peut constituer une méthode de routine pour les phosphates marocains à l'état brut, en raison des temps de comptage trop longs (plus de 24 heures par échantillon de teneur moyenne d'une centaine de p.p.m en U). Un détecteur INa puits 3" x 3" avec un puits de diamètre 1" est en cours d'utilisation, qui a ramené la durée de comptage à environ 1 heure. Certains échantillons ayant un déséquilibre U/Ra très prononcé en faveur de U ont été mis en évidence par examen du spectre gamma très fourni dans la région des basses énergies (inférieure à 250 keV).

c. *Uranium dans le charbon de Jerada* (Th. DELBAR)

Nous avons étudié un échantillon de charbon provenant de Jerada, en enregistrant son activité γ au Ge(Li). L'étude comparative d'étalons U et Th et du bruit de fond ambiant a montré que seules les raies de 92 et 186 keV étaient exploitables, vu la très faible teneur en uranium de ce charbon.

La source principale d'incertitude vient de la géométrie de l'échantillon. Néanmoins, les valeurs obtenues par les deux raies sont très consistantes et montrent, dès lors, que ^{238}U et ^{226}Ra sont en équilibre (pas de lessivage) dans ce charbon.

Le même échantillon sera étudié prochainement au scintillateur puits NaI et subira la même analyse que les phosphates étudiés dans notre laboratoire. Nous pourrons ainsi juger de la cohérence des deux méthodes fort différentes.

d. Uranium dans les eaux (A. AIT HADDOU, M. IBN MAJAH)

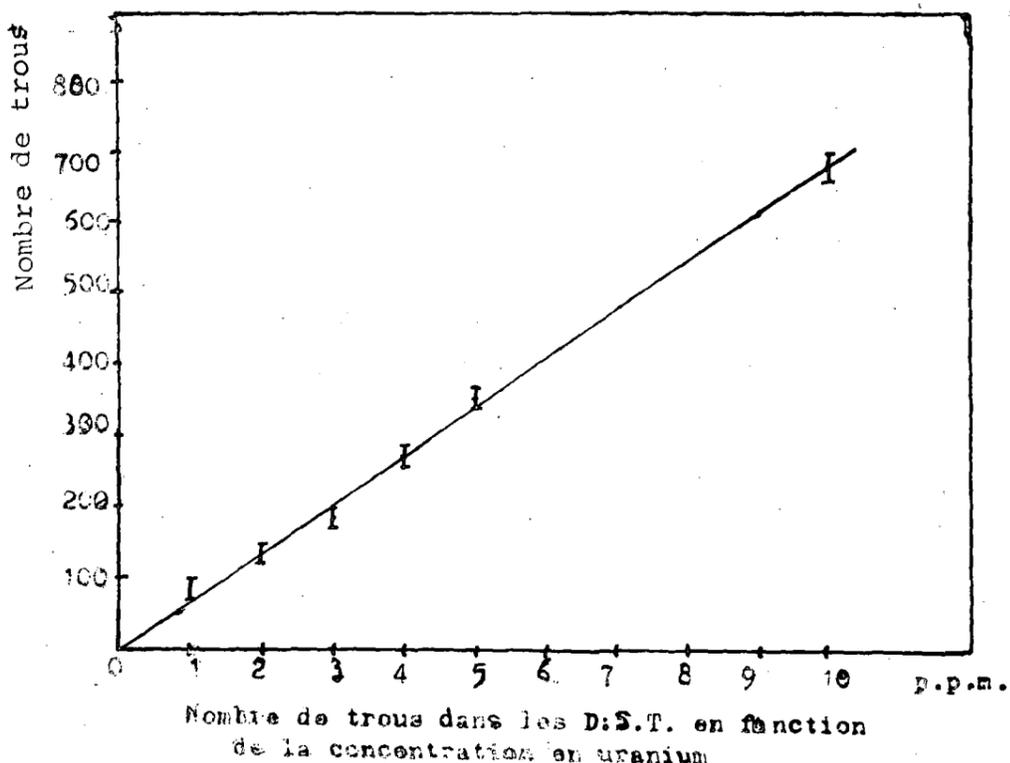
On s'est proposé de développer une méthode de détection de matières fissiles dans les eaux, en utilisant les neutrons de 14 MeV. C'est une méthode se basant sur l'utilisation de détecteurs solides de traces, qui sont des feuilles de makrofol KG d'épaisseur 12 μm et de diamètre 1,2cm environ.

On dépose une goutte de solution uranifère sur le plastique et on laisse sécher. On obtient alors un dépôt d'uranium sur la feuille. L'ensemble est irradié avec des neutrons de 14 MeV. L'uranium fissionne en donnant, entre autres, deux fragments de fission qui se partagent 80% de la chaleur de la réaction, soit 160 MeV environ.

Avec cette énergie, les fragments de fission ont la possibilité de laisser un trou dans la feuille où le parcours maximal est de l'ordre de 20 μm .

Ces trous peuvent être agrandis par un traitement chimique qui consiste à attaquer ces feuilles avec de la potasse (à 28%) à 60°C et pendant 60 minutes. Les traces peuvent être comptées avec un compteur à étincelles. Le nombre de traces comptées est alors proportionnel à la concentration en uranium dans la solution. (voir figure ci-dessous).

A l'aide de cette méthode, on peut mesurer des teneurs d'uranium dans les eaux allant jusqu'à une centaine de p.p.m.



e: *Caractéristiques physico-chimiques de l'aérosol atmosphérique*
(A. CHAPUIS, A. MOUADILI).

Les travaux entrepris ces deux dernières années (P17) ont abouti à la présentation du diplôme de 3^e cycle de A. MOUADILI (voir D13) et à la publication P14.

4. Radiochimie

a. *Extraction du Gd par des heterocycles azotés à partir de milieu non complexant* (A. BOURAJA, S. BOUHLASSA).

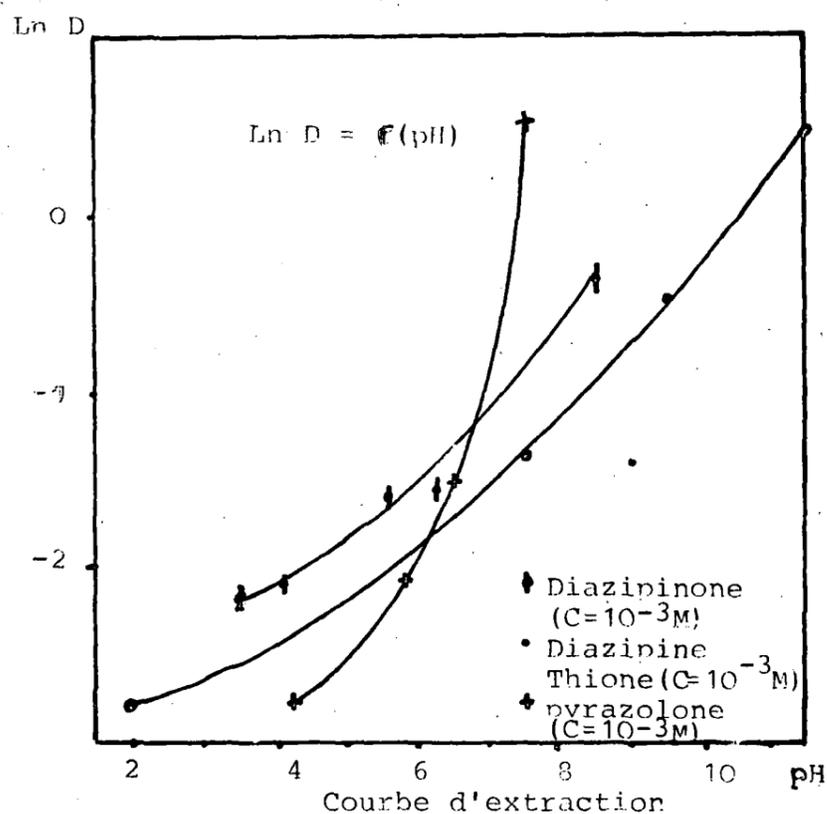
L'examen de l'extraction du gadolinium en fonction du pH par la diazipine, la pyrazolone et la diazipine Thione montre la très faible basicité de ces ligands.

L'extraction très faible de l'élément en milieu acide devient en revanche importante en milieu basique.

L'étude des résultats expérimentaux obtenus exclue clairement le mécanisme d'extraction par échange de cations.

Le pKa de la diazipine a été déterminé par la technique de partage, il est de 6,8.

Les figures suivantes donnent une allure des courbes d'extraction obtenues (voir courbes).



b. Extraction de Eu par les mélanges diazipinones tenoyltrifluoroacetone (S. BOUHLASSA, A. BOURAJA).

L'extraction de l'Eu par les mélanges diazipinone

- Tenoyltrifluoroacetone à partir des milieux aqueux perchlorique de force ionique constante $\mu = 0,1$ a été étudiée en fonction des différents paramètres expérimentaux : pH, composition des mélanges extractants . Les tableaux suivants donnent un aperçu des résultats expérimentaux obtenus. Un effet synergétique positif important a été ainsi mis en évidence dans toute la gamme de pH étudiée : $2 < \text{pH} < 6$.

Extractant	PH	% E Pourcent. d'extract.
T.T.A ($5 \cdot 10^{-3}$ M)	5	0,5
T.T.A ($5 \cdot 10^{-3}$ M) + Diazipinones	PH	% E
DZp = 0,1 (10^{-3} M)	5	18
DZp = 0,1 ($5 \cdot 10^{-2}$ M)	5	59
DZp = 0,1 ($5 \cdot 10^{-3}$ M)	5	70
DZp = 0,1 ($5 \cdot 10^{-4}$ M)	5	82

T.T.A ($5 \cdot 10^{-3}$) +pyz = 0 pyrazolone	PH	% E
pyz = 0 (10^{-3} M)	5	5
pyz = 0 ($5 \cdot 10^{-3}$ M)	5	15
pyz = 0 (10^{-2} M)	5	38
pyz = 0 ($5 \cdot 10^{-2}$ M)	5	65

c. *Extraction du Gadolinium et du Cuivre en milieu ammoniacal par le mélange : la diazidine thione et le thenoyl-trifluoroacetone (Z. LOUMARI , S. BOUHLASSA).*

L'extraction du GdIII et du Cu II en milieu ammoniacal a été étudiée par un mélange synergetique thenoyl-trifluoroacetone et une diazidine-thione.

Un effet synergetique positif important a été mis en évidence, et des rendements d'extraction supérieures à 96% ont été obtenus en lère extraction.

La réextraction est opérée par simples lavages répétés à l'eau de la phase organique, juste après séparation.

Une étude physico-chimique de la diazidine-thione a conduit aux valeurs de son PK_A ($2,3 \pm 0,1$) et de sa constante de distribution entre la phase organique et la phase aqueuse, et $Kd = 10 ; 350$ et 80 en milieux acide, neutre et basique respectivement.

L'extraction semble s'expliquer par un mécanisme de formation de paires d'ions.

5. Divers.

a. *Programme d'optimisation linéaire (A. REGGOUNG)*

Ce programme d'optimisation, écrit en langage BASIC sur un microordinateur TRS 80, a été élaboré au sein du L.P.N.R. pour décomposer la décroissance complexe d'une région d'intérêt ROI dans un spectre X ou γ .

Décroissance dont les périodes sont connues.

Les données à fournir à ce programme sont les suivantes:

t_0 : date de la fin d'irradiation

N : nombre de mesures (fixé à $N < 20$)

$A_i(t_{ri}, t_{ci})$: aire de la ROI à la $i^{\text{ème}}$ mesure, $1 < i < N$.

t_{ri} : refroidissement par rapport à t_0 , relatif à la $i^{\text{ème}}$ mesure.

t_{ci} : durée de comptage de la $i^{\text{ème}}$ mesure.

ΔA_i : incertitude expérimentale sur chaque $A_i(t_{ri}, t_{ci})$

E : nombre de périodes coexistantes (fixé à $E < 5$)

T_j : $j^{\text{ième}}$ période avec $1 < j < 5$.

Ce programme procède par ajustage de ces N mesures avec l'équation (1) :

$$A_i(t_{ri}, t_{ci}) = \sum_{j=1}^N X_j (1 - e^{-\lambda_j t_{ri}}) e^{-\lambda_j t_{ci}} \quad (1)$$

et permet de donner les résultats suivants :

X_j : constante, qui peut être reliée au nombre No_j , de noyaux radioactifs de période j , formé à t_0 .

X_j , dans le cas d'une décroissance et alimentation peut être reliée aux nombres No_j et $No_{j'}$, de noyaux de périodes j et j' des produits participant à cette décroissance et alimentation

ΔX_j : incertitude expérimentale sur X_j déterminée.

Coef.cov($X_j X_k$): coefficient de covariance entre les constantes X_j et X_k (avec $1 \leq j \leq E$ et $1 \leq k \leq E$)

Coef.cor($X_j X_k$): coefficient de corrélation entre X_j et X_k .

A noter, que ce programme peut servir, moyennant quelques changements à l'ajustage avec d'autres équations intéressantes d'utilité générale.

Réf. 1- A. Checroun, programmation des microordinateurs
Dudot 1980.

2- Statistique appliquée à l'exploitation des mesures
Tome I et II Masson 1978.

3- Méthodes numériques dans les problèmes d'extremum.
B. Pchénitchny et al Edition Moscou 1977.

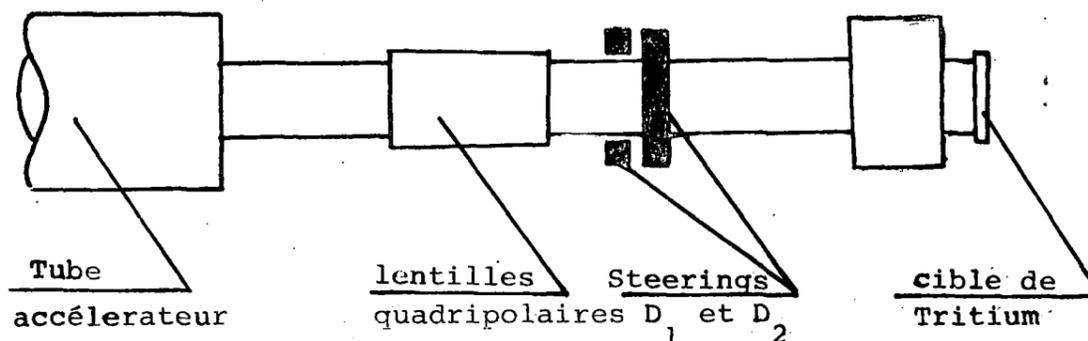
V. TRAVAUX D'INSTALLATION ET DE MAINTENANCE

1. Optique du faisceau (Th. DELBAR, A. AIT HADDOU)

Jusqu'à présent, l'optique du faisceau de deutons était réglée uniquement par des lentilles quadripolaires (Q). Celles-ci focalisaient le faisceau sur la cible de tritium et permettaient de déplacer, dans une certaine mesure, l'impact des deutons.

Pour pouvoir balayer toute la cible de tritium et rendre aux quadripôles leur rôle de focalisation, nous avons construit et installé deux dipôles magnétiques (steerings D1 et D2) croisés, en aval des lentilles quadripolaires.

Les essais ont montré que le faisceau peut se déplacer d'un bout à l'autre de la cible de tritium, tout en restant focalisé. Le flux de neutrons, sur une cible usagée, a plus que doublé. Ce dispositif permettra donc une utilisation plus rentable des cibles de tritium.



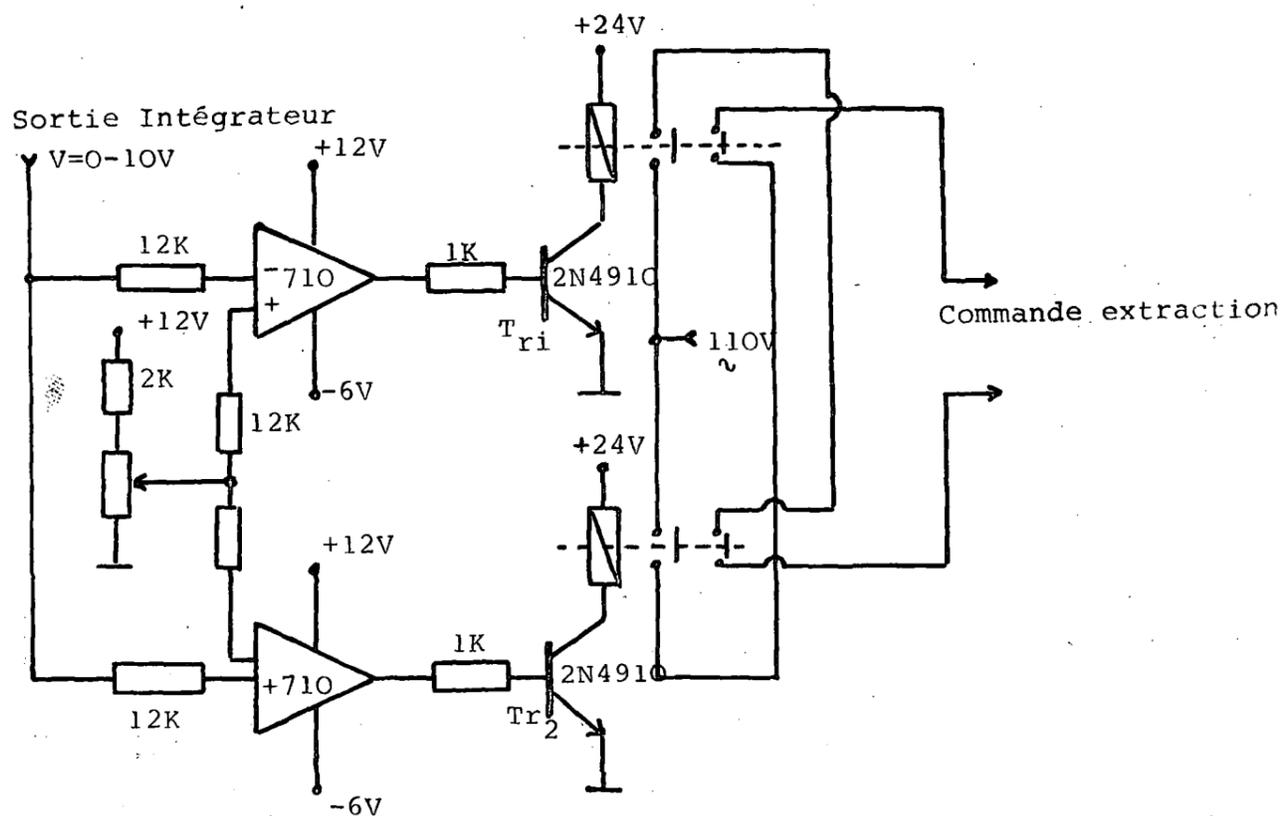
2. Réalisation d'un circuit électronique pour la stabilisation du flux de neutrons (A. REGGOUG).

Il est toujours préférable de travailler avec un flux de neutrons constant au cours de l'irradiation, dans les mesures des sections efficaces par activation neutronique.

Comme l'extraction est le paramètre principal qui gouverne l'intensité du faisceau de deutons et par là le flux de neutrons, nous avons réalisé un circuit de contre-action entre la sortie du système de l'enregistrement de la variation du flux de neutrons et la commande de l'extraction de notre accélérateur.

Le principe de ce circuit est simple, il est basé sur la comparaison de la tension délivrée par l'intégrateur, associé au détecteur à scintillation pour neutrons, et une tension de référence ajustable par l'opérateur.

Si le résultat de cette comparaison n'est pas nul, la commande de l'extraction est actionnée à l'aide du Tr_1 ou Tr_2 pour ramener et garder ce résultat toujours nul.



Cependant, en pratique, la variation du flux obtenue à l'aide de ce circuit n'est pas strictement constante mais présente une oscillation sinusoïdale autour d'une valeur moyenne. Fait que nous pensons améliorer dans le futur.

3. Maintenance

a. Accélérateur (A. AIT HADDOU, M. REGGOUG).

Nombre d'heures de fonctionnement : 1000 h

b. Machine à azote liquide. (M. BERRADA, H. HANDANE).

Nombre d'heures de fonctionnement : 8500 h

remplacement du regenerateur et du refroidisseur.

VI. RESUMES DES TRAVAUX REALISEES

a) *Thèse de doctorat d'Etat.*

T1 et T2 : voir rapport d'activité 1981.

3°) M. L. ERRADI (23/02/82) T3

Etude des effets de température dans les réseaux caractéristiques des réacteurs nucléaires moderés à l'eau ordinaire.

Ce travail a été effectué au Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache et présenté à l'Université de Paris XI (Orsay)

Les expériences CREOLE réalisées dans le réacteur expérimental EOLE implanté au Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache (mesures continues du coefficient de température entre 20°C et 300°C pour des réseaux UO₂ et UO₂-PuO₂, mesures intégrales par équivalence avec l'effet du bore dans le modérateur et mesures des effets de densité d'eau par l'intermédiaire de surgaines en aluminium) nous ont permis d'obtenir une information expérimentale complète et très intéressante sur les effets de température dans les réseaux des réacteurs à eau ordinaire.

Pour interpréter ces expériences avec précision, un schéma de calcul très élaboré, utilisant la théorie du transport et la bibliothèque des sections efficaces du code APOLLO a été mis au point.

Les résultats d'interprétation de l'ensemble des expériences, montrent que l'écart expérience-calcul dépend fortement du domaine de température et du type de réseau considéré. On montre par ailleurs que l'erreur est en grande partie liée aux effets de spectre thermique.

Une étude de sensibilité du coefficient de température aux différents paramètres neutroniques de la cellule a montré que seules les formes des sections efficaces thermiques de ²³⁵U et ²³⁸U ont un poids et des marges d'incertitude suffisants pour pouvoir être à l'origine de l'écart expérience-calcul mis en évidence par l'interprétation des expériences.

Au lieu d'ajuster arbitrairement les données incriminées de façon à corriger l'erreur sur le coefficient de température, nous avons défini une procédure de modifications physiques des sections efficaces fondée sur la prise en compte des données nucléaires de base : paramètres de résonance et lois statistiques associées. La mise en œuvre de cette procédure nous conduit à proposer des nouveaux jeux de sections efficaces thermiques pour ^{235}U et ^{238}U , compatibles avec les marges d'incertitude associées aux jeux actuels et avec certaines données expérimentales.

Voir aussi les publications suivantes :

- Control rods experiments in Marius HTR critical facility and Zephyr neutron transport calculations, Proc. of the topical meeting on advances in reactor physics ANS, 9-12 Avril 1978 (Gatlinburg)
- Temperature coefficient and Doppler effect measurement Proc. of the topical meeting on advances in reactor physics and shielding, ANS, Sept 1980 (Sun Valley)
- A paraître dans un prochain rapport du Commissariat à l'Energie Atomique C.E.A France : Etude des effets de température dans les réseaux caractéristiques des réacteurs nucléaires de la filière à eau ordinaire.

b) Diplômes de 3^o cycle :

D1 à D12 : voir rapport d'activité 1981.

13) A. MOUADILI (21/6/82) D13

Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques de l'aérosol atmosphérique.

L'analyse par activation aux neutrons de 14 MeV nous a permis de déterminer la concentration en Aluminium et silicium de la matière particulaire en suspension à Rabat. Les réactions utilisées sont $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$ (1779 keV) et $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ (844 keV). La concentration en silicium varie de 0 à $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ en atmosphère libre et présente une valeur moyenne de $3,5\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentration moyenne de l'air ambiant en aluminium est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et varie de 0 à $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En associant la technique de l'activation neutronique à celle des batteries de diffusion, la concentration globale de la matière particulaire a été déterminée. La valeur moyenne de la concentration totale est $78,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et présente une variation de 20 à $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Une méthode d'évaluation de la contribution en phosphore (en présence d'Aluminium et de silicium) a été mise au point. Nous avons vérifié que cette contribution est négligeable dans les conditions expérimentales de nos mesures. Grâce aux batteries de diffusion, et à la technique de l'activation, nous avons trouvé et comparé les rayons moyens apparents de l'aérosol atmosphérique total, du silicium et de l'aluminium. On n'observe pas de différence notable entre leurs tailles moyennes (1 à $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$) ce qui est un argument pour le choix de Si et Al comme traceurs d'origine terrestre.

14) A. CHIADLI (3/7/82) D14.

Fluence et spectrométrie des neutrons de 14 MeV. Application à la fonction d'excitation de la réaction $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$.

Le but de ce travail était de mesurer les différents paramètres du générateur de neutrons du L.P.N.R. susceptibles d'être importants dans un programme de mesures des sections efficaces des réactions nucléaires.

Moyennant un ajustement avec la courbe expérimentale $D = f(\text{THT})$, D étant le débit de neutrons, nous avons déterminé la proportion du faisceau moléculaire D_2^+ , le profil du tritium dans la cible Ti-T et le rapport atomique tritium/Titane.

Dans le cas d'un faisceau non analysé magnétiquement comme, celui du L.P.N.R., ceci se traduit par la présence de deux groupes de neutrons. Nous avons calculé leurs énergies et leurs proportions respectives. L'écart d'énergie qui en résulte est important au voisinage de $\theta = 0^\circ$ (pour une THT = 300 kV, $E_n^{(1)} - E_n^{(2)} = 0,49 \text{ MeV}$ et négligeable aux alentours de $\theta = 98^\circ$ (à $\theta = 105^\circ$, THT = 300KV, $E_n^{(1)} - E_n^{(2)} = 0,04 \text{ MeV}$).

La mesure par activation du rapport des sections efficaces des réactions $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89m+g}\text{Zr}$ et $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$, nous a permis de déterminer l'énergie moyenne des neutrons à $\theta = 0^\circ$ pour une THT = 300 KV. Un excellent accord avec la valeur calculée a été obtenu.

La distribution spatiale des neutrons autour de la cible a été déterminée expérimentalement à l'aide de la réaction $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$. L'entourage de la cible rend le flux anisotrope et une baisse de 30% entre $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 105^\circ$ a été observée.

Enfin, nous avons mesuré la section efficace de la réaction $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ à différentes énergies entre 13,77 et 14,83 MeV relativement à la réaction $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$. Dans cet intervalle, cette section efficace est constante à 8,3% près, de telle sorte que l'étalement de l'énergie des neutrons, causé par la présence des deux groupes de neutrons, ne nous a pas permis de déceler son éventuelle variation

Les résultats de la réaction $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ sont donnés dans le tableau suivant :

E_n	14,8	14,7	14,5	14,3	14,1	13,9	13,8
(MeV)							
σ (mb)	108^{+6}	109^{+6}	108^{+6}	116^{+7}	109^{+6}	124^{+8}	109^{+7}

c) Publications.

- P.1. 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 Energie 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 symé-
trique de la teneur en Ca ; ce fait, confirmé par une
analyse classique peut s'expliquer par une modifica-
tion du type de sédimentation.
- P.8. Faculté des Sciences de Rabat. Résumés de communica-
tions du Séminaire sur les Techniques Nucléaires et
leurs 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 absorption and exsorption of K, Cl, Na, P and Mg in the red beet celles 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 Sûreté 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 Marocco (1936 - 1978), J. Radioanal. Chem, 73 (1983) 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).

VII. COLLOQUES - STAGES - VISITES.

1. Le L.P.N.R. a présenté 3 communications à la Conférence Nuclear Data for Science and Technology qui s'est tenue à Anvers (Belgique) du 6 au 10 septembre 1982 :

- Excitation functions of (n,p) reactions in the region 13.75 to 15 MeV for Ti, Fe and Ni isotopes ; M. VIENNOT, A. AIT HADDOU, A. CHIADLI, and G. PAIC'.

- Measurement of reaction cross section ratios of some neutron reactions using γ and X ray spectrometry
A. REGGOUG, G. PAIC', A. CHIADLI.

- Measurement of the cross sections 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 $^{27}\text{Al}(n,2n)^{27}\text{Mg}$ and $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ by $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ for the purpose of neutron spectrometry around 14 MeV ;
A. CHIADLI, A. AIT HADDOU, M. VIENNOT, and G. PAIC'.

2. Différents stages ont été effectués :

- A. BOUFRAQECH a bénéficié d'une bourse A.I.E.A. pour suivre le cours interregional sur la prévention des risques dans l'utilisation des rayonnements et des installations nucléaires - Saclay du 24-5-82 au 25-6-82.

- A. ERRABAA a bénéficié d'une bourse de l'A.I.E.A. pour un stage de 12 mois à partir du 1/9/82 à l'Atelier de Mécanique du Professeur Macq Université de Louvain-Belgique.

- A. CHOUAK a bénéficié d'une allocation A.I.E.A. pour participer au Training Tour on Research reactors organisé par l'A.I.E.A. du 3 Mai au 3 Juin 1982 en Autriche, Hongrie, Tchécoslovaquie, R.D.A. et U.R.S.S.

- A. AIT HADDOU a bénéficié d'une allocation A.I.E.A. pour participer à un cours sur l'utilisation des générateurs de neutrons, organisé par l'A.I.E.A. à Debrecen (Hongrie) du 7 Juin au 9 Juillet 1982.

- A. MOUADILI, a bénéficié d'une bourse A.I.E.A. pour un stage de 3 mois à partir de Janvier 82 au laboratoire du Prof. Renaud VIE Le SAGE Université Paris 7.

- A. REGGOUG a bénéficié d'une bourse Coopération Française - Action Intégrée - pour un stage de 1 mois à partir du 1.6.82 au Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan (Pr. CHEMIN et ROTURIER) et au Centre Nucléaire de Bruyères le Chatel. Mesures des sections efficaces par spectrométrie X et gamma et probabilité d'ionisation de la couche K de ^{86}Sr et ^{87}Sr par les protons de 7 MeV.

- M. VIENNOT a bénéficié d'un voyage en Belgique grâce à la Mission Universitaire Française pour assister à la Conférence d'Anvers Nuclear Data for Science and Technology (6 - 10 Septembre).

. Visites

- Pr. J. ROTURIER (Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan) a effectué grâce à l'Action Intégrée 1982 coopération Française un séjour au L.P.N.R. du 23 au 27 Novembre 1982 spectrométrie X et mécanismes d'interactions nucléaires.

- Pr. R. GUILLAUMONT (Institut de Physique Nucléaire Orsay) a effectué grâce à une mission de la coopération française un séjour au L.P.N.R. du 1 au 8 Nov. 82. Nouvelles tendances de la Radiochimie.