

1104-4 (1981)

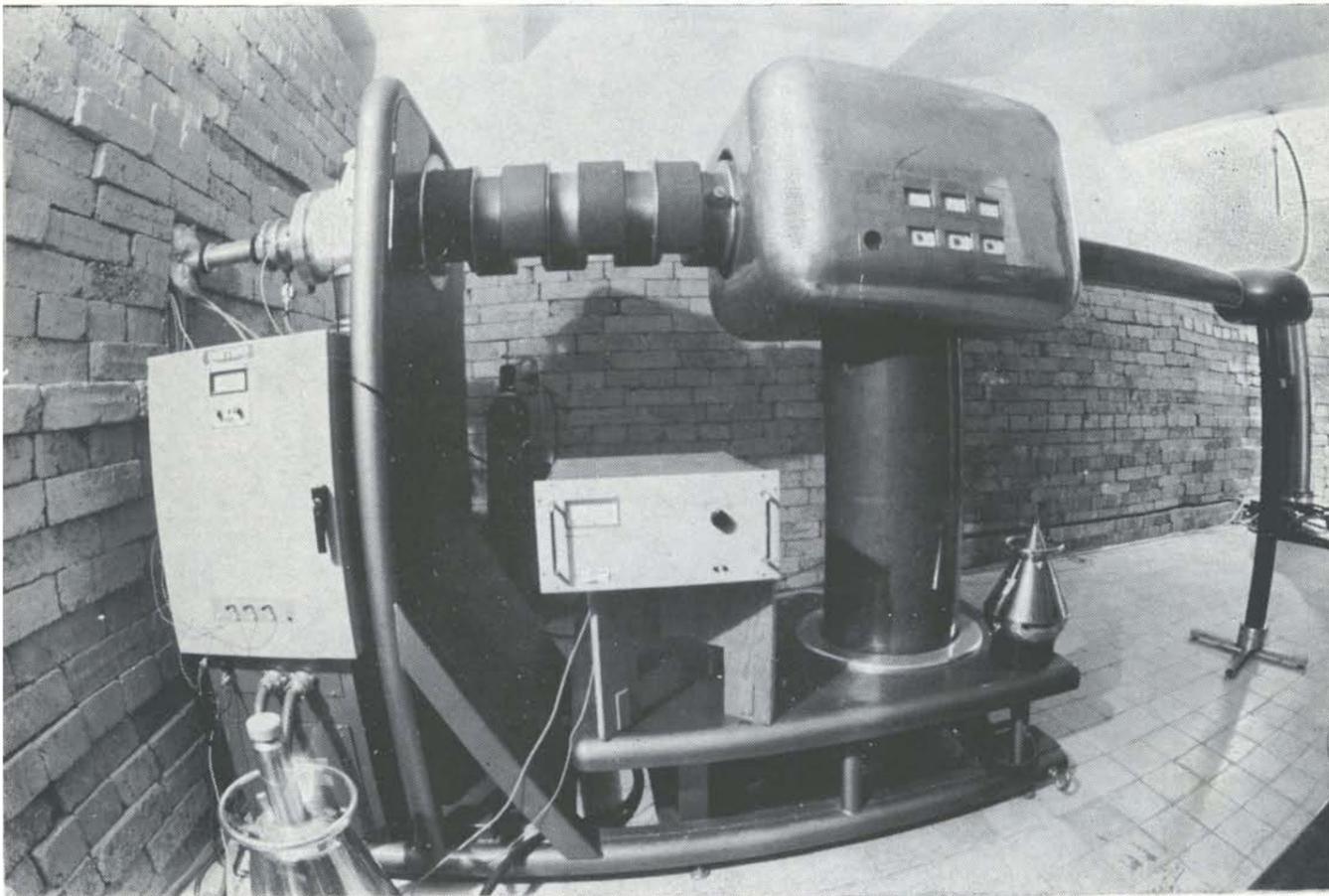
INDC(MOR)-1/G

UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DES SCIENCES DE RABAT

LABORATOIRE
DE
PHYSIQUE
NUCLEAIRE

NDS LIBRARY COPY

مختبر
الفيزياء
النووية



RAPPORT D'ACTIVITE

ANNEE 1981

NDS LIBRARY COPY

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° 4
ANNEE 1981

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

S O M M A I R E

Introduction	2
I. Personnel	5
II. Matériel	7
III. Budget	8
IV. Axes actuels de recherche	9
V. Travaux d'installation et de maintenance.....	31
VI. Résumés des travaux réalisés	32
a - Thèses d'Etat (T)	32
b - Diplômes de 3° cycle (D).....	34
c - Publications	42
VII. Colloques - Stages.....	44

INTRODUCTION

L'année 1981 a été la plus fertile en diplômes de 3^o cycle présentés, et ce, depuis que le Laboratoire existe. Cinq nouveaux diplômes sont venus s'ajouter à l'actif du Laboratoire, dont trois en Radiochimie, ce qui a permis la création du premier noyau de radiochimistes, à côté de l'équipe de Physique Nucléaire. Nous avons eu l'honneur d'organiser dans notre laboratoire, et ce, en collaboration avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, un Cours d'Electronique Nucléaire qui a duré 8 semaines et rassemblé vingt participants de différents pays d'Afrique et du Moyen Orient. Ce cours nous a permis de connaître plusieurs experts de l'A.I.E.A. spécialistes en la matière, mais aussi d'acquérir un matériel d'enseignement comme don de l'Agence.

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

La distribution spatiale et la spectrométrie des neutrons produits par notre accélérateur T 400 a fait l'objet d'une étude précise rendue nécessaire par le fait que le faisceau de deutons n'est pas analysé magnétiquement. Les conditions d'irradiation étant à présent mieux connues, les mesures de sections efficaces des réactions nucléaires induites par les neutrons 14 MeV sont plus sûres. C'est ainsi que différentes sections efficaces de réactions (n,p) sur les différents isotopes du Titane et du Fer ont été mesurées à différentes énergies autour de 14 MeV, et des tendances ont été trouvées.

La spectrométrie des Rayons X accompagnant certaines réactions nucléaires offre une autre alternative pour la mesure de sections efficaces. Des résultats comparés entre la spectrométrie X et la spectrométrie gamma ont été donnés dans le cas de l'Indium. Ce sujet est appelé à se développer au cours de 1982 grâce à l'Action Intégrée entre notre laboratoire et le Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux - Gradignan, qui est actuellement soumise à la Mission Culturelle Française.

Une direction nouvelle de recherche a été trouvée, celle des effets du rayonnement de 14 MeV sur la matière. Les composants opto-électroniques ont montré une grande sensibilité à ce rayonnement, ce qui laisse prévoir des applications intéressantes concernant la dosimétrie. Des feuilles minces de plastique Makrofol ont été irradiées sous différents angles aux neutrons de 14 MeV, et les trous observés, après attaque chimique, à l'aide du compteur à étincelles, ont montré, des distributions angulaires avec plusieurs maximums et minimums.

Dans le domaine de la Physique Nucléaire Appliquée, l'analyse par activation neutronique est poursuivie en Géologie pour le Titane dans les sables noirs, en Aérosologie pour le Silicium, en Numismatique pour les pièces d'or et d'argent Almohades et Romaines.

Dans un faisceau de neutrons, il existe toujours des protons de recul provenant des matériaux hydrogénéés autour de la cible. Ils ont été mis en évidence, et les applications de ce procédé sont en cours d'investigation.

La radiométrie des échantillons uranifères abordée en 1976-78 a été reprise en utilisant le détecteur Germanium pur de meilleure résolution que le Germanium-Lithium. Une mesure absolue du rapport d'équilibre Uranium/Radium a été trouvée qui n'utilise pas d'étalons mais seulement des données nucléaires.

En Radiochimie, les travaux abordés il y a trois ans ont abouti, et le laboratoire, maintenant plus étoffé, se prépare à étudier des sujets concernant l'extraction de l'Uranium à partir des phosphates marocains.

Tout ce travail ne va pas sans mal. Les structures de Recherche manquent dans le Pays. Les procédures administratives pour l'achat et la maintenance des instruments scientifiques sont extrêmement lourdes et inadaptées. Les techniciens manquent et n'ont pas de perspective de carrière à la Faculté. La Douane taxe lourdement l'achat et la maintenance d'un grand nombre d'instruments scientifiques. Les intermédiaires, représentants exclusifs de firmes de l'Etranger ont des marges bénéficiaires exorbitantes, et les procédures administratives inextricables, nous forcent à passer par eux pour éviter les

complications. Cela grève encore plus nos budgets déjà très minces. Les séjours dans les laboratoires étrangers, pourtant indispensables à la formation de nos jeunes scientifiques, restent difficiles à obtenir. Le chercheur marocain, s'il ne veut pas sombrer dans le sentiment de dévalorisation par rapport aux autres et par rapport à lui même, doit effectuer perpétuellement des acrobaties.

Prof. M. BERRADA

I. PERSONNEL

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

N O M	P R E N O M	SITUATION ADMINISTRATIVE
MM. AHRAM	Ahmed	Assistant (E.N.S. Takadoum)
AIT HADDOU	Assou	Maître-Assistant
BEN ABDALLAH	Hamid	Maître-Assistant
BENAZOUZ **	Mohamed Mortada	Etudiant de 3° cycle (1° année)
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	Assistant
CHOUAK	Abdelkader	Maître de Conférences
DAROUICH **	Mustapha	Etudiant de 3° cycle (1° année)
Mme EL HAMMAMI	Khadija	Professeur
MM. EL YAHYAOUI	Ahmed	Maître-Assistant
EDOUTRY **	M"hammed	Etudiant de 3° cycle (1° année)
ERRADI *	Lahoucine	Maître de Conférences
FAKHI**	Saïd	Maître-Assistant (Fac. Sc. Fès)
Mme HASSOUNI	Khadija	Maître-Assistant
MM. IBN NAJAH ***	Mohamed	Etudiant de 3° cycle (1° année)
MISDAQ	Moulay Ali	Maître-Assistant
MOUADILI	Ahmed	Etudiant de 3° cycle (3° cycle)
REGGOUG	Abderrahmane	Maître de Conférences
RIGAUD	François	Maître de Conférences Associé
SOUHNOUN***	Abdelhalim	Etudiant de 3° cycle (1° année)
VIENNOT	Michel	Assistant (Fac. de Médecine)

* En mission au C.E.N. Cadarache Oct. 78-81

** Ont quitté le laboratoire en septembre 1981

*** Ont été admis au laboratoire en Septembre 1981

Soit 26 personnes dont :

- 3 Professeurs (docteurs es Sciences)
- 2 Maîtres de conférences (docteurs es Sciences)
- 3 Maîtres de conférences (diplômés de 3° cycle) préparant une thèse de doctorat d'état.
- 7 Maîtres Assistants (diplômés de 3° cycle) dont 3 préparent une thèse d'Etat.
- 4 Assistants préparant un diplôme de 3° cycle
- 7 étudiants de 3° cycle.

b. Experts A.I.E.A. en 1981

Mr G. PAIC Physique Nucléaire

Mr J.M. PAULUS Radiochimie (Septembre 1981)

Soit 13 hommes x mois en 1981

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 5 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.
- Un dosimètre portatif à neutrons STUDEVIK
- Un dosimètre portatif pour β et γ BEFIC
- Compteur de traces à étincelles (jumping spark counter)

c. Laboratoire de Radiochimie

- Deux boîtes à gants
- Une étuve
- Une centrifugeuse
- Une presse hydraulique 25 tonnes
- Une balance au 1/100 mg
- Verrerie et produits chimiques.

IV. AXES DE RECHERCHE

1. Etude des réactions nucléaires

a. Fluence et spectrométrie des neutrons produits par l'accélérateur SAMES T 400 (A. CHIADLI, G. PAIC, M. VIENNOT)

Afin de mesurer les sections efficaces des réactions nucléaires induites par les neutrons de 14 MeV, il faut connaître avec précision les caractéristiques du flux de neutrons. Nous avons étudié la distribution spatiale et la spectrométrie du flux de neutrons de l'accélérateur SAMES T 400 du L.P.N.R. qui utilise un faisceau non analysé.

Pour le calcul précis de l'énergie des neutrons, la composition du faisceau de deutons ainsi que la distribution du tritium dans la cible est nécessaire. En supposant que le faisceau de deutons est composé uniquement d'ions atomiques D^+ et d'ions moléculaires D_2^+ , que le tritium est uniformément distribué dans une certaine région dans la cible, et moyennant la courbe de la fonction d'excitation de la réaction $T(d,n)\alpha$, la donnée des parcours des deutons et la courbe expérimentale de la figure obtenue avec une cible de $200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, on trouve que 94 % du faisceau de deutons est sous forme moléculaire et que le tritium se trouve dans la région 60 à $170 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

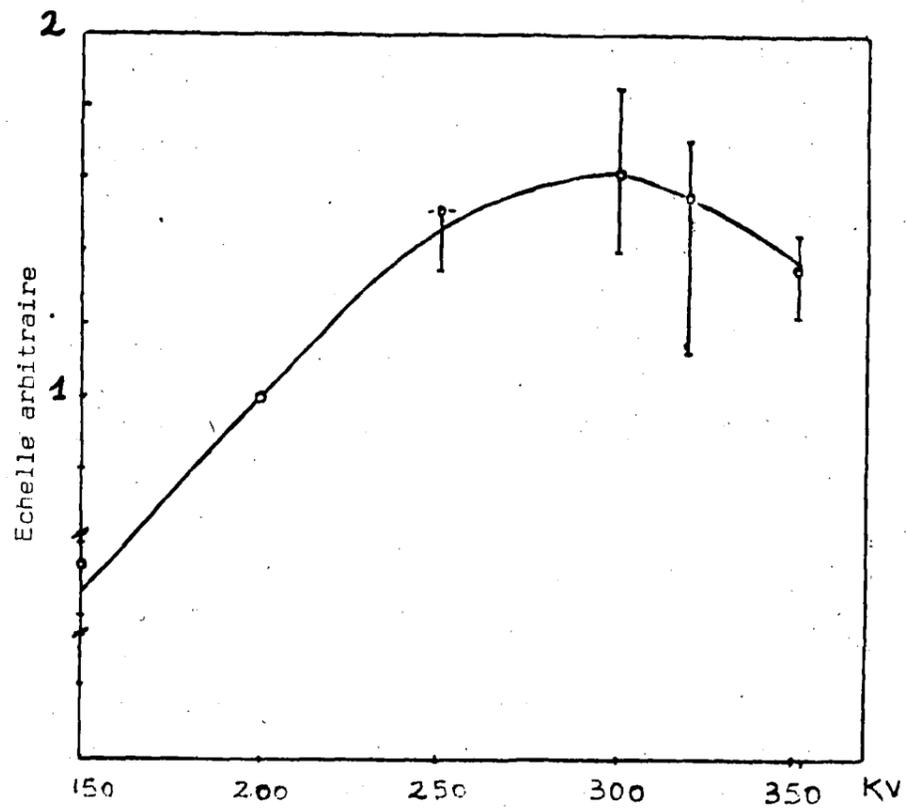
Le tableau I donne l'énergie des deux composantes du faisceau de neutrons ; ceux produits par les D^+ et ceux par les D_2^+ , pour différents angles et pour une THT = 300 KV, valeur à laquelle le flux est maximum et qui est la plus fréquemment utilisée dans le L.P.N.R. A cette THT, la composante due aux D^+ ne constitue que 2,2 % du flux de neutrons.

Pour confirmer expérimentalement les résultats obtenus, nous avons mesuré à $\theta = 0^\circ$ et à une THT = 300 KV, le rapport de la section efficace de la réaction $^{90}\text{Zr}(n, 2n) ^{89m}\text{Zr}$ à celle de la réaction $^{93}\text{Nb}(n, 2n) ^{92m}\text{Nb}$. Nous avons obtenu :

$$R = 1,94 \pm 0,05 \quad \text{ce qui correspond à}$$

$$E_n = 14,90 \pm 0,08 \text{ MeV.}$$

Enfin, à l'aide de la réaction $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ dont la section efficace est constante à $\pm 1\%$ [8] dans la région 13 - 15 MeV, nous avons déterminé la distribution spatiale du flux de neutrons autour de la cible. Entre la position $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 105^\circ$ le flux baisse de 30 %.



Rendement en neutrons de la cible en fonction de la THT, normalisé à THT = 200 KV.

$\theta(^{\circ})$	$E_1^{(1)}$	$E_2^{(1)}$	$E_n^{(1)} \pm \Delta E_n$	$E_1^{(2)}$	$E_2^{(2)}$	$E_n^{(2)} \pm \Delta E_n$
0	15,37	15,30	15,34 \pm 0,04	14,92	14,81	14,87 \pm 0,06
10	15,35	15,28	15,32 \pm 0,04	14,91	14,80	14,86 \pm 0,06
20	15,30	15,23	15,27 \pm 0,04	14,87	14,77	14,82 \pm 0,05
30	15,21	15,14	15,18 \pm 0,04	14,81	14,71	14,76 \pm 0,05
40	15,09	15,03	15,06 \pm 0,03	14,78	14,68	14,73 \pm 0,05
50	14,94	14,89	14,92 \pm 0,03	14,63	14,56	14,60 \pm 0,04
60	14,77	14,73	14,75 \pm 0,02	14,52	14,46	14,49 \pm 0,03
70	14,56	14,55	14,56 \pm 0,01	14,39	14,35	14,37 \pm 0,02
80	14,38	14,36	14,37 \pm 0,01	14,26	14,23	14,25 \pm 0,02
90	14,18	14,17	14,18 \pm 0,01	14,12	14,11	14,12 \pm 0,01
100	13,99	13,98	13,99 \pm 0,01	13,99	13,99	13,99 \pm 0,00
110	13,80	13,80	13,80 \pm 0,00	13,86	13,88	13,87 \pm 0,01
120	13,62	13,64	13,63 \pm 0,01	13,74	13,77	13,76 \pm 0,02
130	13,47	13,49	13,48 \pm 0,01	13,63	13,68	13,66 \pm 0,03

$E_1^{(j)}$ = Energie des neutrons produits par $D_{(j)}^+$ à la distance d_1
 en MeV ; $d_1 = 60 \mu\text{g}/\text{cm}^2$; $d_2 = 170 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

b. Mesure des sections efficaces des réactions nucléaires (n,p) sur les noyaux $Z = 22$ à 29 à des énergies de neutrons entre $13,5$ et 15 MeV (M. VIENNOT, A. CHIADLI, G. PAIC).

La connaissance des sections efficaces des réactions nucléaires (n,p) dans la zone d'énergie $14 - 15$ MeV présente un double intérêt :

- elle permet de tester la validité des modèles nucléaires, interprétant ces réactions nucléaires à cette énergie (modèle d'évaporation, modèle de prééquilibre);
- elle est utile dans le choix du matériau de l'enveloppe du cœur des futurs réacteurs à fission dans lesquels se produisent ces réactions entraînant des dommages pour le matériau.

Les sections efficaces sont déterminées par la méthode d'activation neutronique, utilisant la spectrométrie gamma. Les échantillons sont constitués de poudre métallique naturelle, pure ou sous forme d'oxyde. Le moniteur (oxyde d'Aluminium en général) est mélangé à l'échantillon. Les échantillons, disposés à différents angles par rapport à la direction du faisceau de deutons, sont irradiés par des neutrons d'énergie variant entre $13,5$ et 15 MeV ; ils sont ensuite analysés à l'aide d'une chaîne de comptage comprenant un détecteur Ge(Li) coaxial et un analyseur multi-canal (4000 canaux).

Les premiers résultats obtenus portent sur les réactions nucléaires $^{46, 47, 48, 50}\text{Ti}$ (n,p) $^{46, 47, 48, 50}\text{Sc}$ et $^{54, 56, 57}\text{Fe}$ (n,p) $^{54, 56, 57}\text{Mn}$ mesurées entre $13,5$ et 15 MeV de $0,2$ en $0,2$ MeV.

Réactions	E _n						
	13,75	13,92	14,11	14,31	14,49	14,76	14,86
$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$ + $^{47}\text{Ti}(n,np)^{46}\text{Sc}$	338	332	261	268	242	271	267
$^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$ + $^{48}\text{Ti}(n,np)^{47}\text{Sc}$	164	186	186	192	218	256	271
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ + $^{49}\text{Ti}(n,np)^{48}\text{Sc}$	49	53	54	53,4	55,2	57	57,4
$^{50}\text{Ti}(n,p)^{50}\text{Sc}$	7,0	7,0	7,5	8,0	8,2	11,5	11,7
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	344		(469)		311		220
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	117		117,8		111,2	110	107,5
$^{57}\text{Fe}(n,p)^{57}\text{Mn}$	47,2	47,4	55	63,5	78	73	54
Moniteur							
$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$	79,8	78	76,8	75,4	73,8	72	71,2
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	122,7		121,9		115	112,3	111,3

Mesures des sections efficaces (mb) des réactions nucléaires (n,p)
à diverses énergies E_n (MeV)

c. Mesure des sections efficaces relatives de quelques réactions induites sur l'Indium par les neutrons des 14,7 MeV, à l'aide de la spectrométrie gamma et X (A. REGGOUG, A. CHIADLI, G. PAIC).

Nous avons mesuré les spectres X et gamma après irradiation, sous cadmium, de In naturel avec les neutrons de 14,7 MeV.

Les spectres des raies X obtenus ne contiennent que les raies X caractéristiques du Cd et du Ni et rien d'autre.

A partir de la décroissance en temps de ces spectres nous avons identifié les réactions données au Tableau I.

Réactions	notation de σ	E_{γ} (KeV)	I_{γ}^* %	X (I_n)	$e_{K/\gamma}^*$	X (cd)	$\frac{EC(K)^{**}}{EC}$ %	EC. ** %	T
$^{115}_{In}(n,2n)^{114m}_{In}$	σ_1	190,29	15,64	oui	2,57	oui	87,6	3,3	49,51 j
$^{115}_{In}(n,n')^{115m}_{In}$	σ_2	336,23	45,28	oui	0,862	non			4,49 h
$^{113}_{In}(n,2n)^{112m}_{In}$	σ_3	115	12,66	oui	5,27	non			20,9 mn
$^{113}_{In}(n,2n)^{112}_{In}$	$\sigma_{3'}$			non		oui	86	34	14,4 mn
$^{113}_{In}(n,n')^{113m}_{In}$	σ_4	391,69	64,14	oui	0,448	non			99,5 mn
$^{115}_{In}(n,2n)^{114}_{In}$	$\sigma_{1'}$			non		oui	87,7	1,9	72 sec

Tableau I

Le rapport des sections efficaces obtenu pour les différentes réactions par la méthode des γ et des X de l'In et du Cd est présenté dans le tableau II.

Rapport des σ	γ	X(In)	X(Cd)
σ_1/σ_3	1,15	1,14	1,16
σ_2/σ_4	1,14	1,21	
σ_3/σ_3	0,85		0,82

Tableau II

Une bonne cohérence se dégage entre les 2 méthodes, ce qui indique que les intensités calculées et présentées dans le tableau I sont celles qu'il faut utiliser pour l'Indium.

* Les intensités γ et les rapports eK/γ ont été calculés à partir des tables récentes de conversion interne de F. Rösel et al, Atomic Data and Nuclear Data Tables 21, 91, 289 (1978).

** Les rapports $EC(K)/EC$ ont été calculés à partir des courbes de Lederer Shirley, Table of Isotopes, Seventh edition Wiley-Interscience 78.

d. Etude des reculs de noyaux radioactifs (A. AIT HADDOU)

Les noyaux radioactifs formés au cours de l'irradiation aux neutrons rapides subissent des reculs capables de les ejecter hors du matériau qui les contient (feuille métallique par exemple). Nous avons mis en évidence ce phénomène en recueillant les noyaux radioactifs sur des feuilles de plastique placées devant et derrière une feuille d'Aluminium et une feuille de Cuivre. La mesure de l'activité déposée sur les feuilles de plastique nous a permis d'estimer le rapport des nombres de noyaux éjectés vers l'avant et vers l'arrière. L'exploitation des résultats pour des applications éventuelles est cependant très délicate à cause de la complexité des spectres énergétiques des noyaux de recul et du manque de données en ce qui concerne les parcours des ions lourds divers dans divers matériaux. Cette étude garde ainsi un aspect plutôt qualitatif.

e. Ionisation des électrons K du cuivre par les rayonnements bêta + bêta - (A. REGGOUG, A. AIT HADDOU, G. PAIC, F. RIGAUD).

Il a été remarqué⁽¹⁾ qu'après irradiation, par les neutrons de 14 MeV, d'une feuille de cuivre d'épaisseur de 1,1 mm, le spectre des rayons X émis contient des raies du cuivre en plus des raies du Ni, attendues par le processus de capture électronique résultant des réactions (n,2n) sur le cuivre 63, et 65.

Nous avons refait l'expérience et sommes arrivés aux conclusions suivantes :

Dans le cas des réactions où des β sont également émis, il existe la possibilité d'émission des raies X caractéristiques par interaction des β avec les noyaux de la feuille irradiée.

Cet effet est d'autant plus important que le parcours des β est comparable à l'épaisseur de la feuille employée.

Pour le cas du cuivre, les parcours pour les β^+ et β^- émis par le ^{64}Cu ($T_{1/2} = 12,7$ h) sont de $\sim 0,4$ mm de cuivre.

Nous avons obtenu pour des feuilles de différentes épaisseurs le rapport R des aires du pic K_{α} du cuivre au pic K_{α} du nickel.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

épaisseur du Cu	0,01 mm	0,1 mm	0,6 mm
R	0,20	0,65	0,50

Les présentes mesures montrent qu'il est nécessaire de prendre en considération la contribution des émissions β lors des études de réactions nucléaires par l'intermédiaire de la détection des rayons X caractéristiques.

(1) Jersy JANCZYSZYN, Stanislaw KWIECINSKI, Rapport Int. 133/I,
Institute of Physics and Nuclear Techniques, KRAKOW 1978.

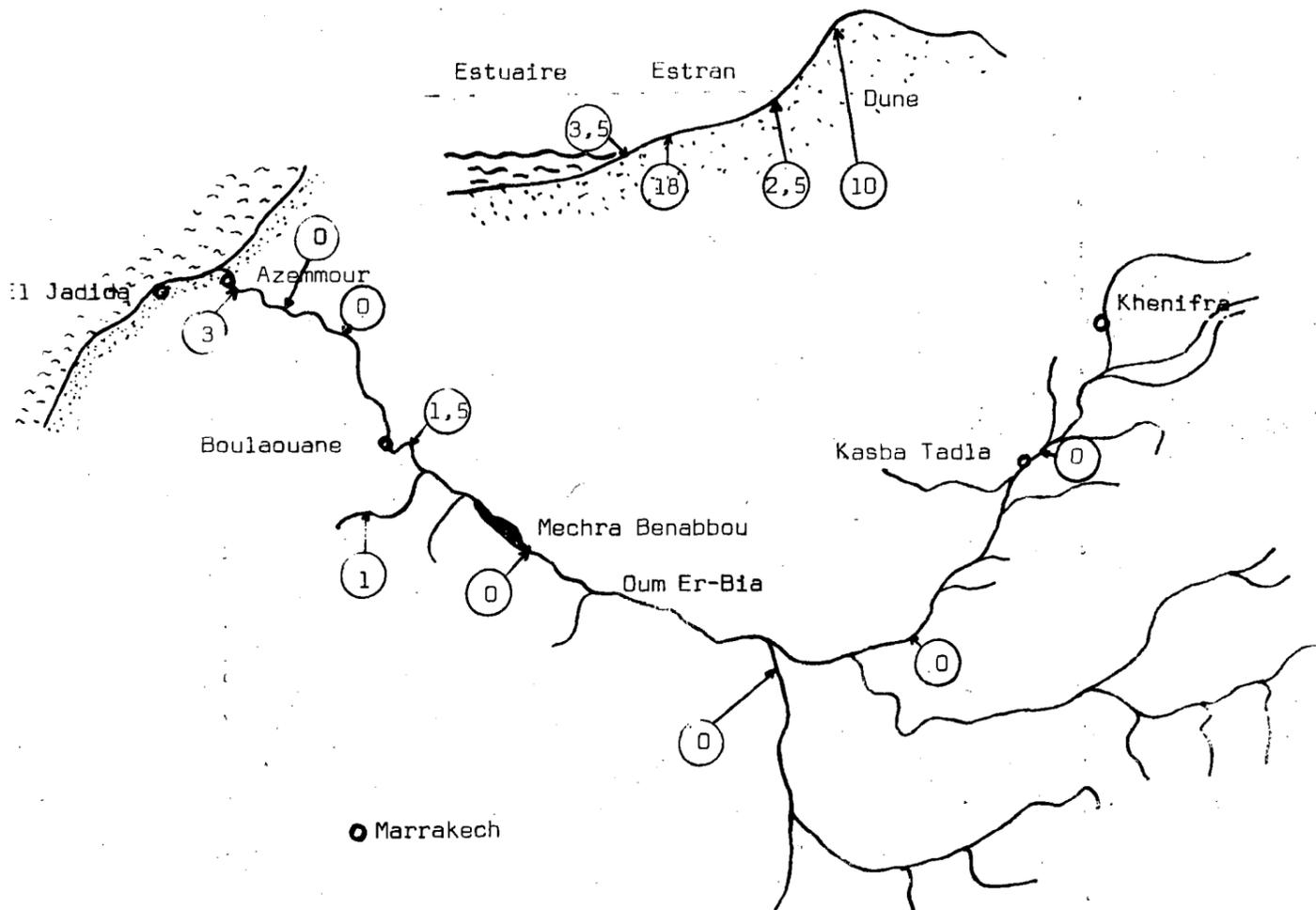
2. Analyse par activation.

- a. Dosage du Titane dans les sables noirs des embouchures des oueds marocains (A. CHAPUIS, A. AHRAM, F. RIGAUD) en collaboration avec le laboratoire de géochimie de la Faculté des Sciences.

L'existence de sables riches en minerais lourds susceptibles d'avoir une importance économique comme le Titane a été mise en évidence dès 1926 dans l'embouchure de la plupart des oueds marocains. Dans le but de déterminer l'origine de ces "sables noirs", d'étudier les processus physico-chimiques d'enrichissement et enfin d'évaluer les gisements potentiels, une méthode nucléaire de dosage du Titane a été mise au point.

Elle est basée sur les réactions $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$, $^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ induites par les neutrons de 14 MeV de l'accélérateur.

Une première campagne de mesure a été effectuée en 1981 sur les sédiments de l'Oum Er-Bia pour vérifier la fiabilité de la méthode. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :



① : Valeur normalisée de l'aire du pic de 987 keV du ^{48}Sc pour le prélèvement considéré

b. Etude des caractéristiques physico-chimiques de l'aérosol atmosphérique de la région de Rabat (A. CHAPUIS, A. MOUADILI, G. PAIC).

Dans cette étude qui intéresse aussi bien les médecins (médecine du travail) que les météorologistes, les géophysiciens, ou les physiciens de l'atmosphère nous avons choisi deux axes de travail

- étude de la nature et de la concentration,
- étude de la granulométrie moyenne.

1°/ Nature

Cette étude a démarré en 1980. Le principe en est simple : collection sur filtre, irradiation par des neutrons de 14 MeV puis analyse des raies γ . Nous avons centré notre étude sur le dosage du Silicium et de l'Aluminium qui sont représentatifs de l'aérosol atmosphérique. Deux points de prélèvement ont été choisis : l'un au niveau du sol, l'autre à + 12 m sur le toit de la Faculté. Les 90 prélèvements effectués donnent une répartition en bon accord avec celle d'autres auteurs comme le montre le tableau suivant :

auteurs	Masse totale $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Masse de Si $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zone de prélèvement
VAN-GRIEKEN 1973	14 - 200	0,81 - 14,6	urbain
CERCASOV 1979	-	0,5 - 11	urbain
RABAT 1981	26 - 230	0,5 - 14	urbain

Une étude complémentaire est en cours à Rabat et à Paris pour compléter par spectrométrie X la teneur de l'aérosol atmosphérique en d'autres éléments (Mg, Fe, Cu, ...).

2°/ Granulométrie

L'utilisation de batteries de diffusion de différents canaux nous a permis d'évaluer le rayon moyen de l'aérosol atmosphérique total ainsi que le rayon moyen du silicium et de l'aluminium atmosphérique.

	Aérosol total	Si	Al
Rayon moyen (μm)	$7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-2}$

Il semble que l'Aluminium soit en général constitué de particules légèrement plus fines que celles de Silicium. Cela pourrait s'expliquer par une origine ou une histoire différente de ces deux éléments.

- c. Analyse par activation aux neutrons de 14 MeV de monnaies anciennes. (F. RIGAUD, M. HERRADA, SOUHNOUN, M. VIENNOT) en collaboration avec le Musée d'Archéologie de Rabat (Mme J. HASSAR - BENSLIMANE).

La détermination quantitative des composants majeurs (or, argent, cuivre) d'une monnaie permet, outre sa classification, de retracer l'évolution économique de l'Etat qui l'a frappée.

En déterminant les composants présents à l'état de traces, il est possible de caractériser les métaux et d'établir des relations entre les monnaies, les ateliers de frappe et les mines.

Dans un travail préliminaire nous avons irradié des monnaies d'or Almohade datant du 12^e siècle et des monnaies d'argent d'origine romaine. Nous indiquons à titre d'exemple sur la figure 1 les principales réactions nucléaires induites par les neutrons rapides sur l'or et les énergies des rayonnements gamma caractéristiques.

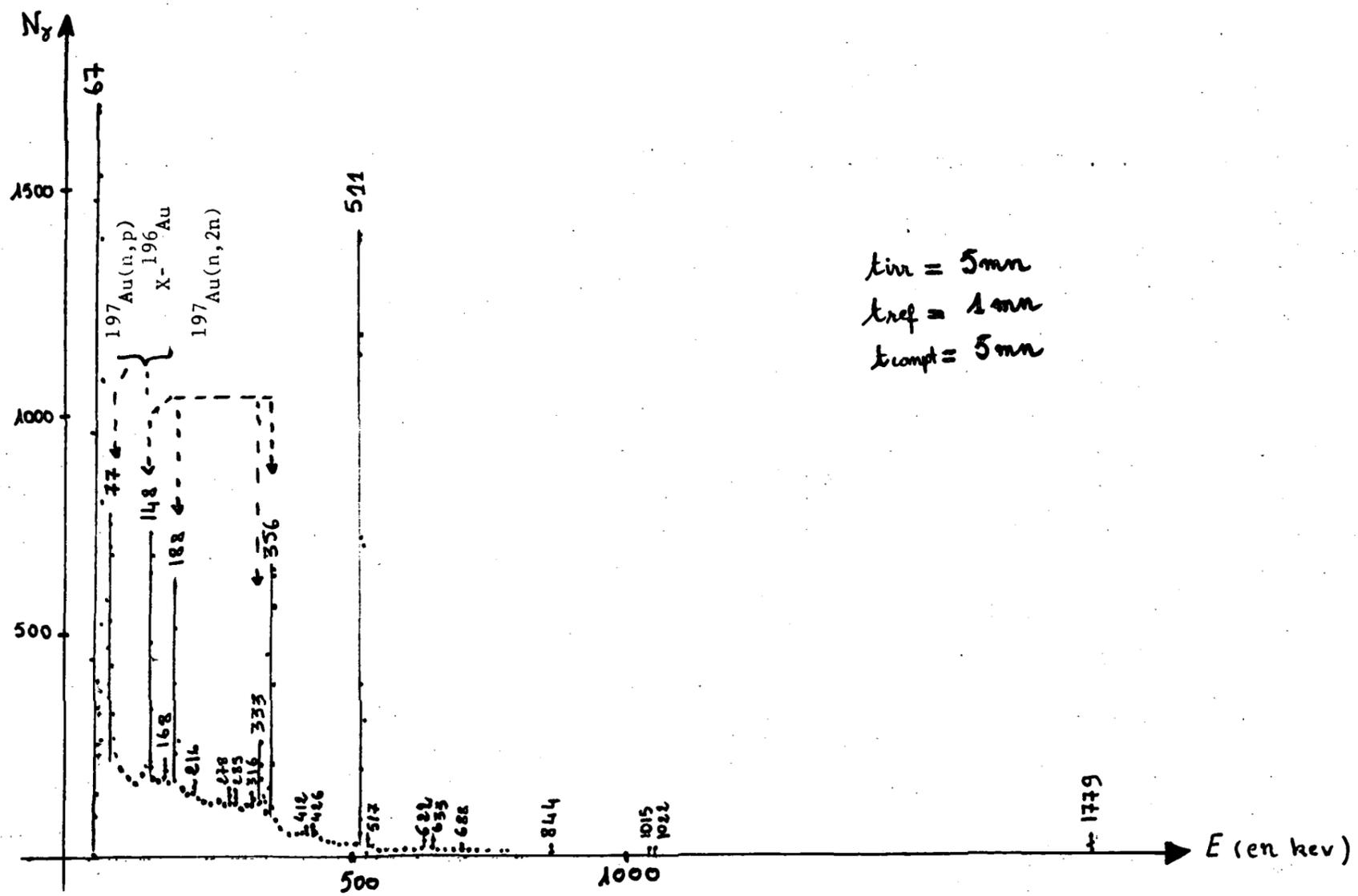


Fig.1 - Spectre en énergie des rayonnements gamma mesuré après irradiation d'une pièce d'or.

La teneur en or est déterminée à partir des raies gamma d'énergie 356 et 333 keV par comparaison avec le spectre d'un étalon irradié simultanément.

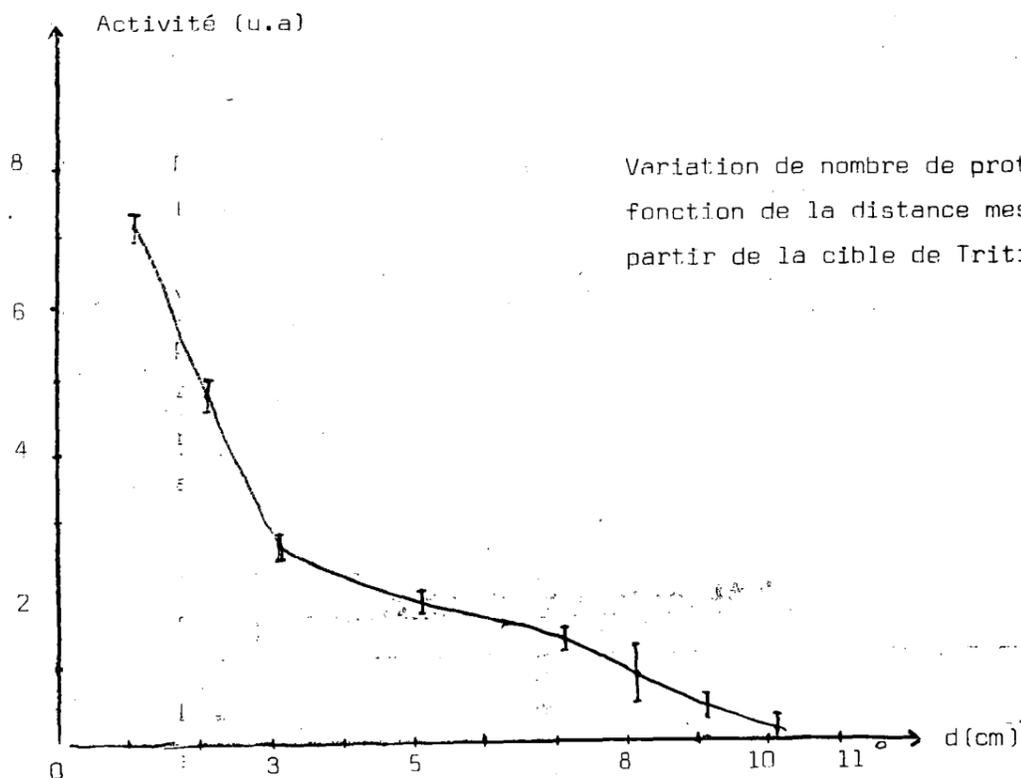
Ce travail est en cours. La recherche des conditions optimales d'irradiation et de mesure conduira à définir les limites de sensibilité de la méthode et les possibilités de détermination des composantes traces.

d. Détection des protons présents dans un faisceau de neutrons rapides (A. AHRAM, A. AIT HADDOU, M.A. MISDAQ, G. PAIC).

Nous avons appliqué la réaction $^{13}\text{C}(p,n)^{13}\text{N}$ à la mesure des protons présents dans un faisceau de neutrons. En effet ^{13}C est un des rares noyaux qui ne produit pas d'atomes radioactifs après interaction avec les neutrons. L'activité β^+ de ^{13}N est proportionnelle au nombre de protons dans le faisceau.

Nous avons irradié une pastille de ^{12}C de 2 cm de diamètre recouverte d'une couche de 1 mm de ^{13}C , à différentes distances du capot en plastique qui recouvre la cible de tritium de l'accélérateur. Le bruit de fond au cours de l'irradiation a été mesuré en plaçant un écran de graphite devant la pastille.

Les activités suivantes ont été enregistrées (voir courbe).



3. Effet du rayonnement neutronique sur la matière

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

L'utilisation toujours croissante des neutrons en médecine et dans d'autres domaines fait appel à des dosimètres de caractéristiques adéquates.

Nous avons étudié le comportement des caractéristiques de courant et d'émission de lumière de l'optocoupleur 4 N 26, quand il est irradié aux neutrons de 14 MeV. Cet optocoupleur consiste en une diode GaAs émettant dans l'infra-rouge, et un phototransistor en Si qui lui est adapté. Il a été irradié à des fluences variant de 10^{10} à 10^{12} n/cm². Le courant du collecteur du phototransistor a été mesuré après chaque irradiation pour un courant constant de la diode.

La dégradation de la luminosité des diodes à infra-rouge à un courant constant peut être exprimée par la relation (1).

$$(L_o/L)^{1/3} - 1 = \tau_o K_n \phi \quad (1)$$

où L_o et L sont respectivement les quantités de lumière émises avant et après irradiation à un courant fixe, ϕ est la fluence des neutrons, τ_o est le temps de vie des porteurs minoritaires avant l'irradiation et K_n est une constante de dégâts reliant la fluence et le temps de vie des porteurs minoritaires τ par la relation :

$$\tau^{-1} = \tau_o^{-1} + K_n \phi$$

Dans le cas de l'optocoupleur, nous avons modifié la relation (1) en l'écrivant sous la forme :

$$(I_{c_o}/I_c)^{1/3} - 1 = \tau_o K_n \phi \quad (2)$$

où I_{c_o} et I_c sont respectivement les courants du collecteur avant et après irradiation.

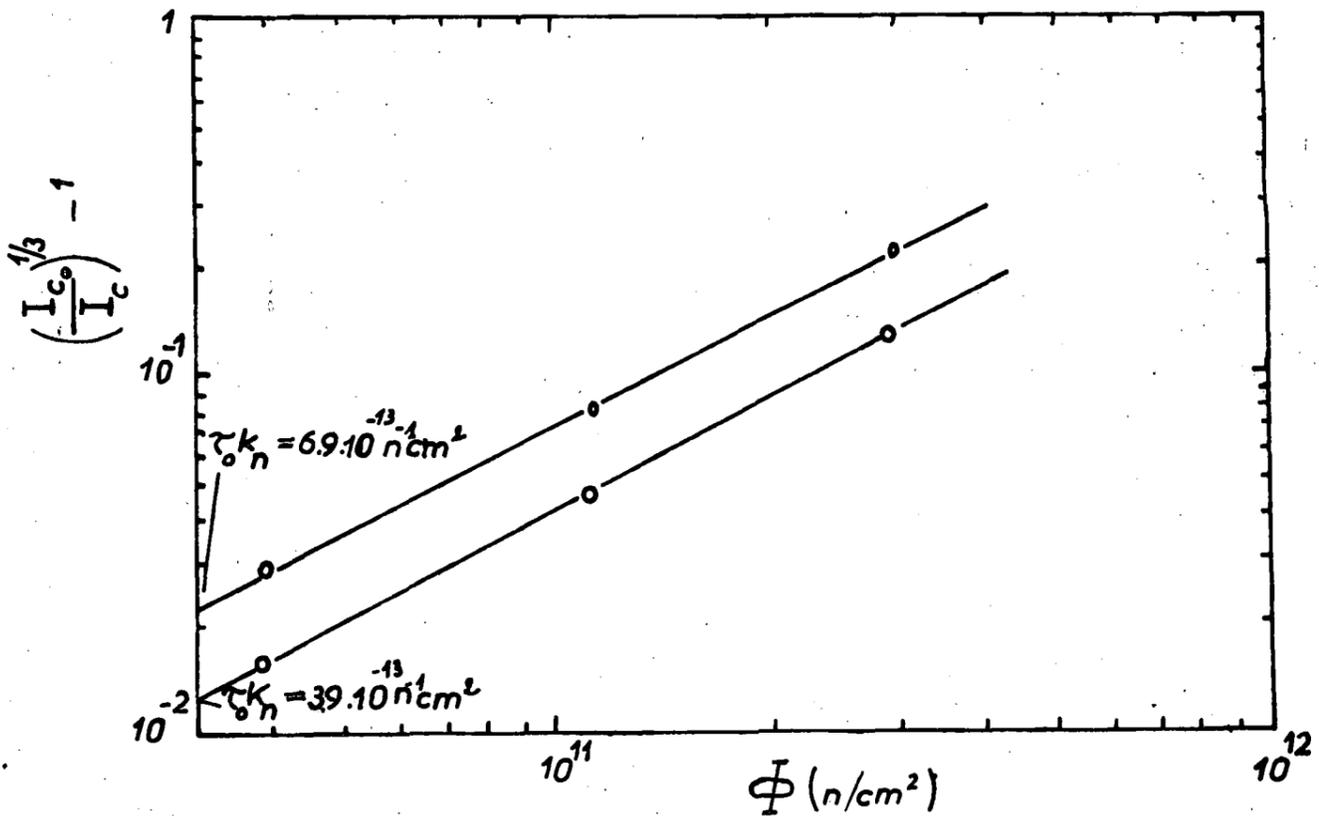
Les résultats obtenus utilisant la relation (2) sont illustrés par la figure suivante. Nos résultats concordent, en général,

avec ceux trouvés par d'autres auteurs⁽¹⁾ qui ont utilisé des neutrons de réacteurs.

Cependant, la valeur de $\tau = 8.10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ n}^{-1}$ que nous avons obtenue indique une sensibilité plus grande que celles reportées par Barnes⁽¹⁾ pour l'éventail des composants qu'il avait irradiés par les neutrons du réacteur.

La grande sensibilité de cet optocoupleur rend possible la mesure des doses des neutrons dans la région du Gy, région déjà intéressante pour les applications dosimétriques.

(1) C.F. Barnes J. app. Phys. 50 (1979) 5242.



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

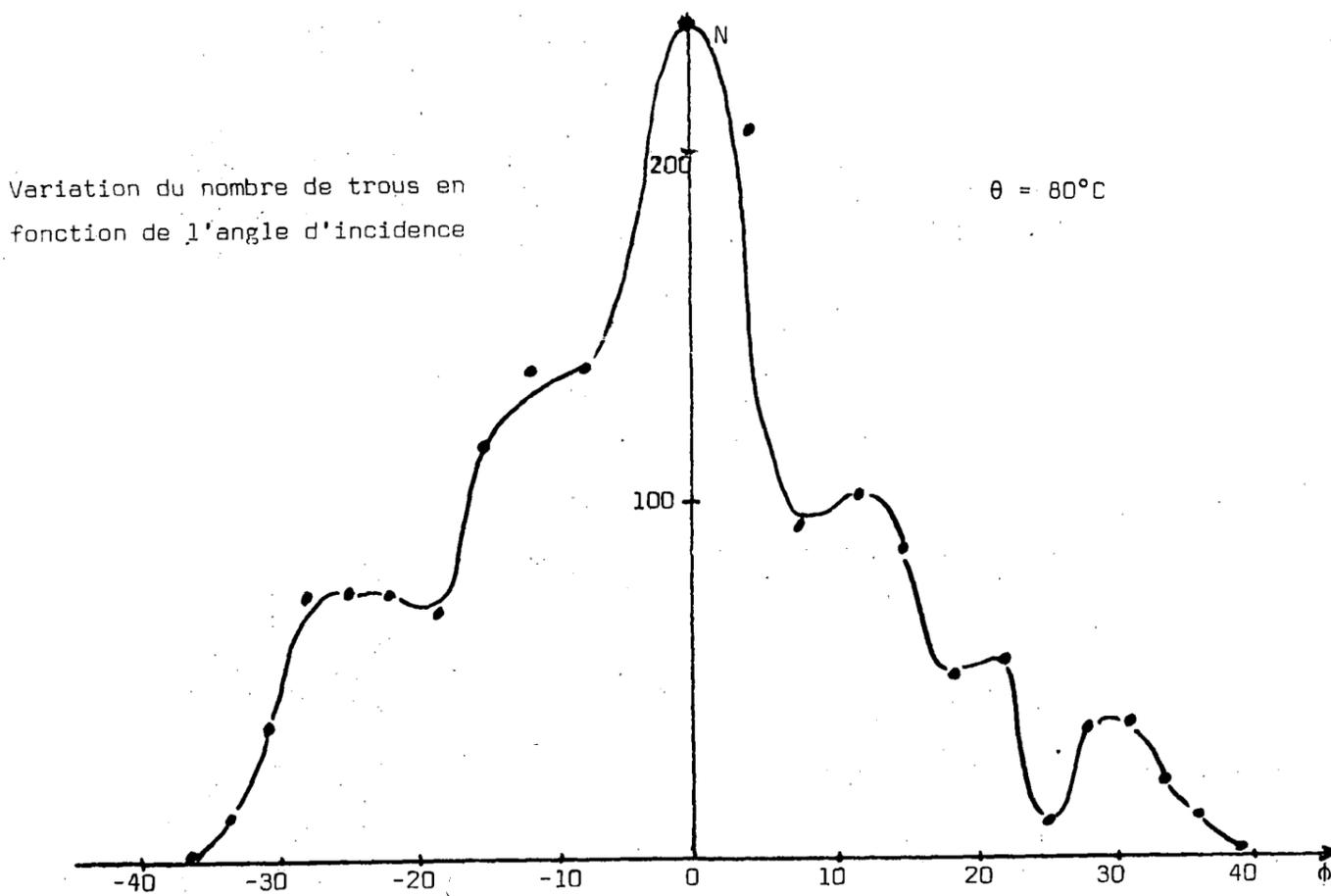
Des feuilles de plastique (Makrofol) de $12 \mu\text{m}$ d'épaisseur ont été irradiées aux neutrons de 14 MeV sous des angles d'incidence allant de 0° à 90° .

Après une attaque chimique dans la potasse (KOH) à 23 % et à une température de 80°C pendant 85 minutes les traces ont été comptées à l'aide d'un compteur à étincelles. Nous avons constaté que le nombre de trous présente des variations importantes en fonction de l'angle d'incidence, ainsi qu'en fonction de la température du bain d'attaque. Fig. 1 et 2.

A présent nous étudions la corrélation entre les distributions angulaires des trous observés et les paramètres suivants :

1°/ la distribution angulaire des réactions nucléaires des noyaux de recul possibles.

2°/ la perte d'énergie minimale pour la création d'un trou.



4. Mesures radiométriques d'échantillons uranifères

a. Taux d'émanation de ^{222}Rn dans des échantillons de phosphate (A. CHOUAK, G. PAIC, M. EDOUIRY).

L'étude des schémas de désintégration de l'U et de ses descendants montre que pratiquement tous les gammas énergétiques et intenses pouvant être détectés avec précision sont dûs à la radioactivité de deux radioéléments : ^{214}Pb et ^{214}Bi . Ces deux isotopes de courtes périodes (26,8 mn et 19,8 mn respectivement) sont des descendants d'un gaz rare, le ^{222}Rn , de période 3,824 jours. Ce dernier peut s'échapper plus ou moins facilement d'une roche, selon sa porosité, causant ainsi un déséquilibre radioactif permanent entre ses descendants, et les radioéléments qui le précèdent : U, ..., Ra. Il est donc nécessaire, pour toute méthode radiométrique de prospection de l'U, de mesurer le rapport d'équilibre U/Ra et le taux d'émanation du Rn de la roche.

Nous avons mesuré le taux d'échappement du radon en détectant la variation de l'intensité des raies gammas appartenant au ^{214}Pb et au ^{214}Bi pour des échantillons scellés dans des containers en verres hermétiques, empêchant l'échappement du radon.

Les mesures effectuées sur des échantillons de phosphates marocains ont montré que l'échappement du radon est négligeable < 1 % tandis que dans d'autres roches uranifères cet échappement peut être beaucoup plus important. Un tel degré d'échappement du Rn des échantillons de phosphates permet de réaliser le dosage de l'uranium sans attendre l'équilibre radioactif entre le Ra et le Rn, et sans sceller les échantillons, ce qui simplifie considérablement les mesures.

b. Mesure absolue du rapport Ra/U (G. PAIC, A. CHOUAK, M. EDOUIRY, A. PAIC, A. REGGOUG).

La résolution du détecteur de germanium hyperpure (~ 550 eV à 185 keV) permet de déconvoluer numériquement les deux raies gammas émis des minerais d'uranium, notamment la raie de 185,7 keV

appartenant à l'uranium 235 et la raie de 186,2 keV appartenant au radium. Si l'on suppose un rapport isotopique $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ constant, il est possible de déduire le rapport Ra/U en connaissant les rapports d'embranchement des gammas détectés.

Nous avons utilisé les intensités suivantes :

Emetteur	E(MeV)	I _γ (%)
^{226}Ra	186,2	3,25
^{235}U	185,7	54

L'intensité de la raie du radium a été modifiée par rapport à celle trouvée dans les tables d'isotopes de Lederer, 7^e édition, en utilisant des tables de conversion interne plus récentes⁽¹⁾

La présente méthode pourrait être spécialement intéressante car elle permet d'extraire le rapport Ra/U sans passer par l'intermédiaire d'étalons où la constitution de la matrice exige des corrections qui peuvent introduire des incertitudes dans les résultats.

La déconvolution du pic observé sur un analyseur de 4096 canaux a été faite en supposant que les deux pics gammas ont une forme gaussienne.

De nombreuses mesures ont été effectuées, notamment sur des échantillons de phosphates, où un déséquilibre Ra/U < 1 a été constaté pour les échantillons provenant de la surface du gisement.

(1) F. Rösel, H.M. Fries, K. Alder and H.C. Paule
Atomic Data and Nucl. Data Tables 21 (1978) 292.

5. Radiochimie (S. BOUHLASSA, A. BOURAJA, S. FAKHI, K. HASSOUNI).

L'activité du laboratoire de chimie nucléaire a été marquée cette année, d'une part, par l'aboutissement des travaux de recherches effectués en collaboration avec le laboratoire de Chimie Nucléaire de Strasbourg, et d'autre part par l'élaboration de nouveaux thèmes de recherche.

Les axes de recherches projetés sont :

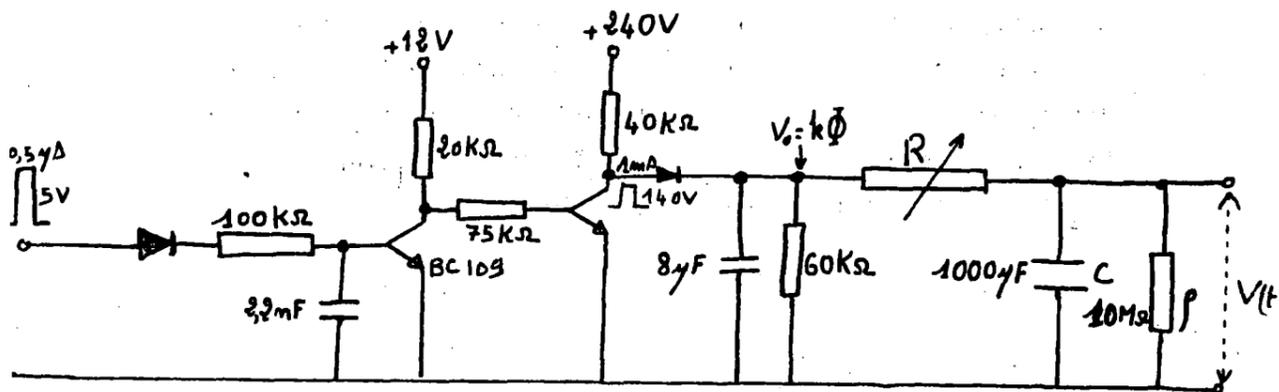
- L'étude des procédés de séparation et d'extraction des éléments 4f et 5f.
- L'application des techniques nucléaires à l'hydrogéologie et l'abord de phénomènes géochimiques.

6. Divers.

- a. Réalisation d'un simulateur électronique pour l'activation neutronique (A. AIT HADDOU).

La mesure des sections efficaces par activation neutronique est sujette aux fluctuations du flux de neutrons au cours du temps, qui affectent différemment l'élément de section efficace inconnue et l'élément de référence.

Nous avons réalisé un circuit électronique RC dont la constante de temps peut être ajustée sur la constante de désintégration de l'élément irradié. Il dispense de l'enregistrement de la variation du flux au cours du temps. Il est attaqué par les impulsions provenant d'un détecteur à scintillation pour neutrons, et délivre une tension proportionnelle à l'activité de l'élément irradié.



$$V(t) = V_0 \cdot \frac{\rho}{R + \rho} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\frac{R \rho}{R + \rho} C}\right) \right]$$

avec $R > 1 M\Omega$

ρ = impédance d'entrée du voltmètre.

b. Variation du pouvoir de reflexion neutronique de l'eau en fonction de sa teneur en chlore (M. DAROUICH, A. AIT HADDOU).

Le chlore a une section efficace d'absorption des neutrons thermiques considérables $\sigma = 43$ barns. Sa présence affecte considérablement les mesures de teneurs en substances hydrogénées effectuées à l'aide du dispositif d'analyse par reflexion neutronique (bitatron). Le pouvoir de reflexion des neutrons a été mesuré pour l'eau ayant différentes concentrations en chlore de 0 à 10 moles/l de NaCl. Sa diminution est linéaire quand la teneur en chlore augmente, avec un taux $\Delta(\rho\eta) / \Delta C = - 0,158$ par mole de NaCl.

L'eau pure a un pouvoir de réflexion $\rho\eta = 1,54$ (voir D.5).

c. Analyse de pièces de monnaie par fluorescence X (M. BENAZZOUZ, F. RIGAUD).

La fluorescence X par excitation radioisotopique a été appliquée pour l'analyse de l'or et de l'argent de pièces de monnaies d'origine Almohade et Romaine. La source excitatrice est ^{241}Am d'intensité $2,07 \cdot 10^6$ gamma par minute. Le rayonnement X de fluorescence est analysé à l'aide d'un détecteur Germanium pur. L'étude qualitative a montré que les pièces d'argent sont facilement analysées, les raies K_{α} (22,16 keV) et K_{β} (24,97 keV) sortant très nettement. Par contre, pour les pièces en or, les raies $L_{\alpha 1}$ (9,71 keV) et $L_{\beta 1}$ (11,44 keV) sont noyées dans le fond.

V. TRAVAUX D'INSTALLATION ET DE MAINTENANCE :

1. Accélérateur :

- Nombre d'heures de fonctionnement : 500 H.
- . Montage de la sonde tournante (A. REGGOUG, G. PAIC)
- . Installation des boutons poussoirs du pupitre de commande (A. REGGOUG)
- . Installation d'une alimentation H.T. pour la jauge Penning (A. REGGOUG)
- . Réparation du circuit H.F. de la source d'ions (A. REGGOUG, G. PAIC, A. AIT HADDOU)
- . Réparation de la télécommande du chauffage Gaz (A. REGGOUG)
- . Remplacement des ventilateurs de la source d'ions (A. REGGOUG, G. PAIC)
- . Remplacement des électrodes de la pompe ionique (A. REGGOUG, G. PAIC, M. BERRADA)
- . Remplacement de la source d'ions (A. REGGOUG, G. PAIC, A. CHIADLI)

2. Divers :

- . Montage d'interface dans la Télétype de l'analyseur Canberra - 80 (A. REGGOUG)
- . Réparation de l'analyseur Tracor 4096 canaux (J. HAMMER, A. REGGOUG)
- . Réparation du Traceur de courbe H.P. (J. HAMMER, A. REGGOUG)
- . Réparation de l'analyseur Tracor 1024 canaux (J. HAMMER, A. REGGOUG)
- . Réparation de l'alimentation du PDP 11 (A. REGGOUG, J. HAMMER)
- . Réparation du préamplificateur du bitatron (A. AIT HADDOU)

VI. RESUMES DES TRAVAUX REALISES

a) Thèses de doctorat d'Etat

1°/ MME K. SORDO - EL HAMMAMI (23/6/80) T1

Etude de la déviation du flux épithermique neutronique par rapport à la loi idéale en $1/E$. Application au calcul des intégrales de résonance.

Ce travail a été effectué à l'Institut des Sciences Nucléaires Gand (Prof. HOSTE) en collaboration avec F. de CORTE, L. MOENS, A. DE WISPELAERE).

L'étude de la fonction de distribution de l'énergie des neutrons épithermiques présente un intérêt particulier et important en physique nucléaire. Cette fonction a été jusqu'à présent mal connue. Il a donc été nécessaire de développer des méthodes théoriques et expérimentales pour déterminer la distribution exacte de l'énergie des neutrons épithermiques. Ces méthodes ont été appliquées au calcul des intégrales de résonance ; ces paramètres nucléaires sont employés dans l'analyse par activation neutronique utilisant la méthode des comparateurs. (Voir aussi P9).

2°/ Mr S. BOUHLASSA (09/6/81) T2

Complexes citriques et citrates de néodyme et d'americium.

Ce travail a été effectué à l'Université de Paris XI Orsay.

La nature des complexes citriques des terres rares et des actinides a déjà fait l'objet de quelques études en raison de la particularité des coordinats citrato utilisés en chimie préparative de ces éléments et en raison de leur intérêt biologique. Néanmoins les données restaient très incomplètes et contradictoires.

Dans ce travail le comportement du néodyme et de l'americium a été étudié en milieux aqueux citriques par deux méthodes : l'extraction par solvant à l'état de chelate des éléments à l'échelle des

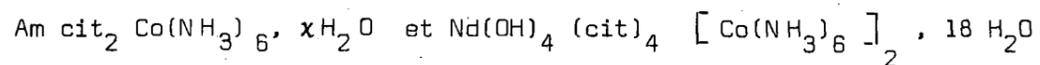
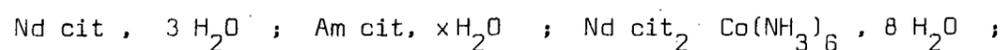
indicateurs (molarité $< 10^{-7}$ M) et la potentiométrie. Ainsi ont pu être explorés des domaines de pH et de concentrations en élément et en acide citrique jamais atteints :

$$10^{-7} \text{ M} < C_{\text{Nd}} < 10^{-1} \text{ M}, \quad 10^{-10} \text{ M} < C_{\text{Am}} < 2 \cdot 10^{-3} \text{ M}, \quad C_{\text{H}_3\text{cit}} < 3 \cdot 10^{-1} \text{ M},$$

$1 < \text{pH} < 13$. La nature et les constantes de formation des différents complexes ont été déterminées, et pour la première fois a été établie, par spectrométrie Raman et la technique des traceurs, de façon nette la véritable formule des complexes polymères de néodyme formés en milieu basique.

Il a été aussi démontré que la fonction alcool de l'acide citrique n'est point ionisée aux $\text{pH} < 13$.

Différents citrates solides ont été cristallisés dont certains pour la première fois :



Leurs caractéristiques spectroscopiques et cristallographiques ont été relevées et analysées.

L'effet néphélauxétique a été estimé aussi bien sur les complexes citriques que sur les citrates de ces éléments.

La structure des complexes en solution a été discutée à la lumière de l'analyse des transitions hypersensibles dans les différents complexes.

b) Diplômes de 3^o cycle

1^o/ A. CHOUAK (13/01/77) D1

Etude radiométrique d'échantillons uranifères et thorifères à l'aide d'un détecteur Ge(Li).

Une méthode basée sur la détection des rayonnements gamma naturels d'échantillons de roches, pour la détermination des teneurs en uranium et des rapports d'équilibre radioactifs U/eRa a été développée. Elle utilise les raies gamma de 63 keV, 185 keV et 1001 keV qui présentent l'avantage d'avoir une intensité indépendante de l'émanation du Radon. Une procédure expérimentale simple a été utilisée pour la correction de l'autoabsorption des rayonnements de faible énergie. Cette méthode a été appliquée à des échantillons marocains de teneurs comprises entre 0,02 % et 15 %. Les limites de détermination obtenues pour les raies de 63 keV et 1001 keV sont de 0,075 %, pour un niveau de confiance de 95 %, et une déviation standard de 10 %, avec des échantillons de 6 g et un temps de comptage de 1 heure. (Voir aussi P1).

2^o/ A. REGGOUG (14/4/1977) D2

Etude de la mesure du débit cardiaque par radiocardiographie sur un modèle physique.

La détermination du débit cardiaque de la radiocardiographie est une méthode souvent appliquée dans la pratique médicale. Bien que la théorie sur laquelle cette méthode est basée semble bien fondée, on a estimé qu'il serait souhaitable de contrôler son applicabilité en la comparant avec des mesures directes. La littérature ne donne que des comparaisons avec des méthodes de Fick, de dilution des colorants ou de thermodilution, dont le principe est le même. Dans cette étude, la détermination du débit a été exécutée sur un modèle physique du cœur, que nous avons réalisé au laboratoire de physique nucléaire, qui a permis la mesure directe du débit et la variation séparée de paramètres physiques ou géométriques qui entrent en jeu dans cette méthode. En conclusion, nous avons montré que l'erreur relative sur le débit cardiaque, et due aux paramètres physiques, est de 7 % dans un intervalle de confiance de 99 %.

3°/ M. LFERDE (1/6/79) D3

Utilisation des détecteurs solides de traces dans la prospection et le dosage de l'uranium.

Les détecteurs solides de traces trouvent des applications dans plusieurs domaines tels que la dosimétrie des neutrons, l'étude des réactions nucléaires....

Dans le domaine de l'analyse de l'uranium, le principe consiste à irradier l'échantillon en contact direct avec le détecteur solide de traces (D.S.T.) dans un champ de neutrons thermiques et de déterminer après développement chimique la densité des traces des fragments de fission de l'uranium. Cette dernière est proportionnelle à la teneur en uranium. On utilise la source de californium 252 de 300 μ g de Debrecen pour produire, le champ de neutrons thermiques. Certaines mesures ont été effectuées à l'aide de la mesure de 10 μ g de Rabat. Le choix du détecteur s'est porté sur le makrofol qui se présente sous la forme d'un film plastique d'épaisseur variable. Il constitue un excellent détecteur pour toutes les particules chargées dont la masse est supérieure à 4. Des échantillons ont été analysés et des teneurs allant de 600 p.p.m. à 17 % ont été trouvées. Les résultats de cette méthode sont en parfait accord avec ceux obtenus avec d'autres méthodes telles que la fluorescence X, l'analyse par activation par neutrons et la méthode radiométrique. La sensibilité de la méthode n'est limitée que par le flux de neutrons utilisé et la durée d'irradiation.

4°/ MME MOUTIA (1/6/79) D-4

Analyse par activation neutronique à l'aide d'une source de Californium 252 - Application au dosage de l'uranium.

L'analyse par activation par neutrons est utilisée pour la détermination des teneurs en uranium de différents échantillons à l'aide d'une source de 252 Cf de 10 μ g, entourée d'eau. La méthode consiste à irradier pendant 40 mn l'échantillon de 22 mm de diamètre et 6.5. mm d'épaisseur, dans un champs de neutrons thermiques et ensuite à mesurer l'intensité du rayonnement gamma de 74,6 keV émis par l'uranium 239, à la

suite de la réaction $^{238}\text{U}(n, \gamma) ^{239}\text{U}$ /section efficace d'activation de 2.7. barns et intégrale de résonance de 220 barns).

Un détecteur Ge-Li, auquel est associé une chaîne électronique de haute performance est utilisé.

Après soustraction de la radioactivité naturelle qui induit une fluorescence X sur le Pb et le Bi, correction de la perturbation du flux de neutrons, durant l'irradiation, et correction de l'autoabsorption pendant le comptage, une droite d'étalonnage est obtenue. Des teneurs en uranium comprises entre 17 % et la limite de 1 % sont déterminées avec une déviation standard inférieure à 10 %. La limite de détection quantitative est de 1600 ppm lorsqu'on pratique une seule irradiation. Voir aussi P5.

5°/ A. AIT HADDOU (30/6/79) D-5

Etude de la réflexion des neutrons thermiques et applications à la détermination des teneurs en substances hydrogénées.

La majeure partie de ce travail a été réalisée à l'Institut de Physique Expérimentale de Debrecen (Hongrie) et se décompose en deux parties.

a/ L'étude de la probabilité de réflexion des neutrons thermiques par certaines substances (paraffine, "Bonamid", fer, aluminium et Pb). Cette probabilité appelée Albedo, joue un rôle important dans le choix des réflecteurs des neutrons thermiques dans les réacteurs.

On utilise des feuilles d'Ag activées par les neutrons thermiques provenant d'une source Pu-Be et ralentis dans le "bonamid". L'activité des feuilles est détectée à l'aide d'un compteur Geiger-Müller.

b/ Application du ralentissement des neutrons rapides ou de la réflexion des neutrons thermiques à la détermination des teneurs en H ou de toute substance contenant H.

L'instrument utilisé est un "bitatron" (cylindre en bonamid contenant une

source Pu-Be, deux BF₃ et une chaîne de comptage). Cette installation a été utilisée pour doser la teneur en substances organiques de quelques échantillons de schistes bitumeux marocains.

6°/ A. NEJMAOUI (30/10/79) D-6.

Dosage de l'uranium dans les phosphates par spectrométrie X,

Dans le but d'étudier la répartition de l'uranium dans ses immenses réserves de phosphate, en vue de développer plus tard son énergie nucléaire le Maroc a inscrit par le biais de son Ministère d'Energie et des Mines, un vaste programme de recherche. Ainsi plus de 4000 échantillons seront prélevés et dosés au cours des deux années à venir.

A cet égard, trois méthodes d'analyse quantitative par spectrométrie X ont été mises au point et appliquées. L'une de ces trois méthodes tient compte de l'effet de matrice les deux autres sont indépendantes de cet effet.

Deux spectromètres, l'un dispersif en longueur d'onde, l'autre dispersif en énergie, ont été utilisés en parallèle. Après avoir choisi les conditions expérimentales optimales, environ 300 échantillons ont été dosés et comparés, donnant ainsi une teneur moyenne de 120 ppm. Voir aussi P6.

7°/ M.A. MISDAQ (25/5/80) D7

Etude de la cinétique de pénétration des éléments Cl, Na, K, Mg et P dans la cellule végétale par analyse par activation par neutrons de 14 MeV.

Les teneurs en K, Cl, P, Mg et Na dans des échantillons de betterave rouge ont été déterminées par A.A.N. 14 MeV. Les réactions interférentes se sont révélées négligeables dans cette matrice. Une comparaison avec la spectrométrie de flamme pour K et Na a montré un bon accord.

En raison du caractère non destructif de cette méthode, une cinétique d'absorption et d'exsorption de ces éléments a été étudiée sur le même échantillon

auquel on a fait subir plusieurs traitements chimiques. Le rôle régulateur du calcium dans les migrations de ces éléments à l'intérieur de la cellule végétale a été confirmé. La présence de Hg limite la pénétration de K et Cl et augmente l'exsorption de Na, P, Cl, K.
(Voir aussi P2 et P10).

8°/ A. BOUFRAQECH (01/7/81) D8

Etude de l'atténuation et de la dégradation en énergie des neutrons d'énergie primaire 14,8 MeV par différents matériaux.

L'évaluation des sections efficaces de déplacement pour des neutrons d'énergie voisine de 14 MeV a été faite pour le graphite, la paraffine, l'aluminium, le fer et le plomb. Ces mesures sont faites à l'aide d'un détecteur à seuil par l'intermédiaire de la réaction $^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$.

Les valeurs trouvées pour les différentes sections efficaces de déplacement sont les suivantes : Paraffine : $0,071 \pm 0,004 \text{ cm}^{-1}$
Graphite $0,061 \pm 0,002 \text{ cm}^{-1}$, Aluminium $0,064 \pm 0,002 \text{ cm}^{-1}$,
Fer $0,120 \pm 0,001 \text{ cm}^{-1}$, Plomb $0,087 \pm 0,001 \text{ cm}^{-1}$.

Elles trouvent leur application dans différents domaines, en particulier en A.A.N. et en radioprotection pour le calcul d'écran.

D'autre part, un ensemble de détecteurs à seuil :

$^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$; $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$; $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$;

$^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$; $^{64}\text{Zn}(n,2n)^{63}\text{Zn}$, a été choisi afin de pouvoir approcher la distribution énergétique des neutrons d'énergie primaire 14,8 MeV à l'intérieur de différents matériaux.

Des histogrammes de spectres ont été obtenus à des profondeurs allant de 5 cm à 21 cm.

9°/ H. BENABDELLAH (01/7/81) D9

Détermination de la température maxwellienne du spètre de

neutrons de fission du ^{252}Cf par la méthode d'activation.

Nous avons appliqué la méthode d'activation pour remonter à la forme du spectre des neutrons de fission de la source de ^{252}Cf . A cet effet nous avons mesuré les sections efficaces moyennes d'un certain nombre de réactions, énumérées ci-dessous avec entre parenthèses, les valeurs des sections efficaces mesurées en millibarns :

$^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$ (196 \pm 8) , $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116\text{m}}\text{In}$ (115,6 \pm 5) ,
 $^{113}\text{In}(n,n')^{113\text{m}}\text{In}$ (168 \pm 9) , $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{197}\text{Au}$ (78 \pm 3) ,
 $^{111}\text{Cd}(n,n')^{111\text{m}}\text{Cd}$ + $^{110}\text{Cd}(n,\gamma)^{111\text{m}}\text{Cd}$ (110,6 \pm 4) , $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$
(4,7 \pm 0,37) , $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ (36,2 \pm 1,5) , $^{68}\text{Zn}(n,\gamma)^{69\text{m}}\text{Zn}$ (1,85 \pm 0,12) ,
 $^{138}\text{Ba}(n,\gamma)^{139}\text{Ba}$ (1,3 \pm 0,26) , $^{135}\text{Ba}(n,n')^{135\text{m}}\text{Ba}$ + $^{134}\text{Ba}(n,\gamma)^{135\text{m}}\text{Ba}$
(180,9 \pm 11) , $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ (95 \pm 4,5) , $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ (1,09 \pm 0,069) ,
 $^{87}\text{Sr}(n,n')^{87\text{m}}\text{Sr}$ + $^{86}\text{Sr}(n,\gamma)^{87\text{m}}\text{Sr}$.

10°/ A. EL YAHYAOUI ET TORRESI (14/9/81) 010

Préparation de sources radioactives d'iode 128 et d'iode 126 d'activités spécifiques élevées par effet Szilard-Chalmers sur iodure d'éthyle.

L'irradiation de IC_2H_5 par des neutrons thermiques provoque la formation du radionucléide $^{127}\text{I}(n,\gamma)^{128}\text{I}$.

Sous l'effet des neutrons rapides de 14 MeV, les réactions $^{127}\text{I}(n,\gamma)$ et $^{127}\text{I}(n,2n)$ conduisent à la synthèse de ^{128}I et ^{126}I . Par suite de l'effet Szilard-Chalmers, une fraction des atomes ^{128}I et ^{126}I se stabilisent sous une forme chimique séparable de la solution mère de IC_2H_5 soit par extraction par solvant soit par électrolyse (rapport LPNR 1980). Cet effet offre la possibilité de préparer des sources de ^{128}I et ^{126}I d'activité spécifique nettement supérieure à celle de l'échantillon irradié.

Les expériences que nous avons faites ont prouvé que la répartition de l'iode radioactif inorganique parmi les formes I_2 et IH ,

résultant de l'irradiation neutronique de IC_2H_5 dépend des concentrations relatives des espèces I_2 et IH radioactives ou non, présentes dans le milieu irradié. Les facteurs d'enrichissement les plus élevés (de l'ordre de 1900) étaient obtenus par électrolyse des solutions de IC_2H_5 ayant des concentrations en iode ou en acide iodhydrique voisines de 10^{-4} mole/l.

Les résultats obtenus sont très semblables pour les deux isotopes de l'iode produits par la réaction (n,γ) et $(n,2n)$ ce qui exclut l'existence de l'effet isotopique et montre que les conséquences chimiques des transformations nucléaires sont indépendantes du processus d'activation.

De même, nos résultats expérimentaux montrent que l'iode minéral radioactif séparable par électrolyse se stabilise presque exclusivement sous forme anionique et non sous forme cationique comme le laissent supposer les données trouvées dans la littérature.

11°/ S. FAKHI (14/9/81) D11

Dosage du Tritium dans les eaux continentales du Maroc.

Le tritium émetteur de rayonnement β^- mou est un excellent traceur radioactif pour l'analyse de certains phénomènes hydrologiques, météorologiques et océanographiques. Il se présente sous la forme moléculaire (HT , T_2 , HTO et T_2O) à des teneurs généralement faibles, de l'échelle des indicateurs inaccessibles par les méthodes classiques de Chimie. Son dosage nécessite donc l'élaboration d'une méthode radiochimique fiable d'analyse. Ce travail a consisté en l'élaboration et la mise en œuvre de cette méthode, basée sur la concentration par électrolyse des échantillons aqueux et la détermination de leur radioactivité à l'aide d'un scintillateur liquide. Des activités spécifiques de l'ordre de quelques centaines de picocuries par litre ont été mesurées dans les eaux. Cette activité dépend de leurs saisons de prélèvement ainsi que de leur nature souterraine ou en surface. L'âge de certaines eaux souterraines a été calculé par comparaison avec la teneur des eaux de surface. Une méthode de contrôle de l'activité en tritium de l'atmosphère de la salle de l'accélérateur du L.P.N.P. a été mise au point.

12°/ Mme K. HASSOUNI (14/9/81) D12)

Application des méthodes nucléaires au dosage du phosphore.

L'analyse par activation aux neutrons rapides (accélérateur SAMES T 400 du L.P.N.R.) et aux neutrons thermiques (réacteur Argonaut 100 KW du C.E.N. Strasbourg) a été utilisée pour le dosage du phosphore dans les eaux. A l'aide de l'accélérateur, la réaction utilisée $^{31}\text{P}(n,\alpha)^{28}\text{Al}$ présente une interférence absolue en présence du silicium $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$. Le dosage est possible sans séparation chimique lorsque les masses de silicium et de phosphore sont dans un rapport $m_{\text{Si}}/m_{\text{P}} < 3$. Dans ce cas, on soustrait la contribution de Si à l'aide de la réaction $^{29}\text{Si}(n,p)^{29}\text{Al}$. La limite de sensibilité est de 40 μg .

A l'aide du réacteur nucléaire, la réaction utilisée est $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$, qui présente une interférence absolue en présence du Chlore et du soufre : $^{35}\text{Cl}(n,\alpha)^{32}\text{P}$ et $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$. Le dosage est possible sans séparation chimique lorsque $m_{\text{Cl}}/m_{\text{P}} < 660$ et $m_{\text{S}}/m_{\text{P}} < 550$. Dans ce cas, les contributions de Cl et S sont soustraites à l'aide des réactions $^{37}\text{Cl}(n,2n)^{38}\text{Cl}$ et $^{36}\text{S}(n,2n)^{37}\text{S}$. Dans le cas contraire, une séparation préalable à l'irradiation sur résine anionique des ions Cl^- et SO_4^{2-} est nécessaire. Cette séparation permet de doser P avec une sensibilité de l'ordre du microgramme malgré la présence de Cl et S en quantité 1000 fois plus importante.

b/ 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 (1981) 163. 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(1981) 167. 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 (1981) 173. Voir aussi D-4.
- 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 (1981) 209 . Voir aussi D.6.
- 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 (1981).
- . 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 montre 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. M. NEJMAOUI, A. CHAPUIS, J. TYS :

Study of uranium contents in the Gantour phosphate field à paraître dans J. Radioanal Chm. (1981).

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 -détermination 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 celled 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 T.400 à la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V, rapport interne du LPNR.

VII. COLLOQUES - STAGES

- 1 - Un cours inter-régional sur l'électronique nucléaire organisé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique et le gouvernement marocain a eu lieu au laboratoire de Physique Nucléaire de Rabat du 17 Août au 9 Octobre 1981. Il a groupé 19 participants (stagiaires) de différents pays africains et arabes : Algérie, Gabon, Jordanie, Madagascar, Mali, Sénégal, Zaïre et Maroc.

Le cours était destiné à des techniciens supérieurs et à des ingénieurs et des scientifiques débutants qui s'occupent d'instrumentation nucléaire et connexe. Il comprenait des conférences et des travaux pratiques portant sur les ensembles de mesure utilisés dans la détection des rayonnements nucléaires.

L'aspect pratique de l'entretien et la maintenance de l'instrumentation électronique était particulièrement visé.

Le L.P.N.R. a organisé pour les participants des visites à Meknès et Marrakech.

- . Directeur du cours : M. BERRADA
- . Conférenciers et assistants de travaux pratiques : J. De Pooter, J. Hammer, M. Lamproye, J. Lauwers, D.F. Manfredi, G. Paic, A. Reggoug, P.H. Vuister.

- 2 - Le L.P.N.R. a présenté cinq communications aux journées de la Géologie Marocaine que se sont tenues du 21 au 23 Mai 1981 à RABAT.

1. Les techniques nucléaires au service de la géologie (M. BERRADA).
2. Mesure du rapport U/Ra dans les minerais uranifères à l'aide des raies gamma de U 235 et Ra 126 voisines de 186 keV (G. PAIC, M. EDDOUIRY, A. CHOUAK, A. REGGOUG).
3. Application de la réflexion neutronique à la détermination des substances hydrogénées dans les roches (J. AIT HADDOU, M. BERRADA, J. CSIKAI).
4. Mesure du taux d'émanation du radon dans les phosphates. Application au dosage de l'Uranium (A. CHOUAK, G. PAIC, M. EDDOUIRY).
5. Mesure de la teneur en tritium des eaux continentales du Maroc (S. FAKHI, J.M. PAULUS, A. CHAPUIS, M. BERRADA).
6. Dosage du titane par A.A.N. rapide des sables noirs de l'Oum ER Rabia (A. CHAPUIS, F. DUPLANTIER, F. RIGAUD J. JEJERA DE LEONE, A. AHRAM)

Ces rapports seront publiés dans un numéro prochain de la Revue Mines, Géologie et Energie.

La frappe de ce rapport a été réalisée par M^{elle} Z. BAITOUR.