

CEA-R 3384 - FALCONI Nicole, RADICELLA Renato

UNE METHODE DE PRODUCTION D'EUROPIUM 155 SANS
ENTRAINEUR AU NIVEAU DU CURIE

Sommaire. - L'obtention de sources ponctuelles de haute activité d'euporium-155 est intéressante tant pour des usages médicaux qu'industriels. Nous avons cherché le moyen de préparer en une seule fois, une solution d'un curie d'euporium-155 sans entraîneur présentant un extrait sec inférieur à 5 mg par curie.

En se basant sur des travaux de Bouissières et Davis, d'Onstott, et de Takekoshi et coll., nous avons mis au point une méthode permettant de séparer l'euporium-155 de sa cible de samarium enrichi en ^{154}Sm par une électrolyse sur cathode de mercure suivie d'une purification sur résine échangeuse d'ions. Les rendements chimiques de séparation

./.

CEA-R 3384 - FALCONI Nicole, RADICELLA Renato

PREPARATION OF 1 Ci OF EUROPIUM 155 WITHOUT
CARRIER

Summary. - High activity "point" sources of Eu-155 are used for medical and industrial applications. For this purpose we have studied a method of obtaining 1 Ci of carrier free Eu-155, with a solid residue smaller than 5 mg per Ci.

In order to separate the Eu-155 from several grams of a Sm-154 enriched target we propose a procedure which is based on the work of Bouissières and David, Onstott, and Takekoshi et al.

The separation is carried out by electrolysis on a mercury cathode followed by purification on ion exchange resin.

The yields of the europium separation and target recovery

de l'euporium et de récupération de la cible de samarium enrichi sont respectivement de 80 pour cent et 90 pour cent. La durée de l'opération est de 3 jours.

1968

22 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

are 80 per cent and 90 per cent respectively.

The time required for the procedure is three days.

1968

22 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

3.4

UNE METHODE DE PRODUCTION D'EUROPIUM 155
SANS ENTRAINEUR AU NIVEAU DU CURIE

par

Nicole FALCONI, Renato RADICELLA

DIRECTION DES MATERIAUX

ET COMBUSTIBLES NUCLEAIRES

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Rapport CEA - R - 3384

1968

Ba

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

C.E.N. - SACLAY B.P. n°2, 91 - GIF-sur-YVETTE - France

A partir de 1968, les rapports CEA sont classés selon les catégories qui figurent dans le plan de classification ci-dessous et peuvent être obtenus soit en collections complètes, soit en collections partielles d'après ces catégories.

Ceux de nos correspondants qui reçoivent systématiquement nos rapports à titre d'échange, et qui sont intéressés par cette diffusion sélective, sont priés de se reporter à la lettre circulaire CENS/DOC/67/4690 du 20 décembre 1967 que nous leur avons adressée, et qui précise les conditions de diffusion.

A cette occasion nous rappelons que les rapports CEA sont également vendus au numéro par la Direction de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, Paris 7e.

PLAN DE CLASSIFICATION

- | | |
|--|--|
| <p>1. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES ISOTOPES ET DES RAYONNEMENTS</p> | <p>8. PHYSIQUE</p> |
| | <p>8.1 Accélérateurs</p> |
| | <p>8.2 Electricité, électronique, détection des rayonnements</p> |
| | <p>8.3 Physique des plasmas</p> |
| | <p>8.4 Physique des états condensés de la matière</p> |
| | <p>8.5 Physique corpusculaire à haute énergie</p> |
| | <p>8.6 Physique nucléaire</p> |
| | <p>8.7 Electronique quantique, lasers</p> |
| <p>2. BIOLOGIE ET MEDECINE</p> | |
| <p>2.1 Biologie générale</p> | |
| <p>2.2 Indicateurs nucléaires en biologie</p> | |
| <p>2.3 Médecine du travail</p> | |
| <p>2.4 Radiobiologie et Radioagronomie</p> | |
| <p>2.5 Utilisation des techniques nucléaires en médecine</p> | |
| <p>3. CHIMIE</p> | <p>9. PHYSIQUE THEORIQUE ET MATHEMATIQUES</p> |
| <p>3.1 Chimie générale</p> | |
| <p>3.2 Chimie analytique</p> | |
| <p>3.3 Procédés de séparation</p> | |
| <p>3.4 Radiochimie</p> | <p>10. PROTECTION ET CONTROLE DES RAYONNEMENTS. TRAITEMENT DES EFFLUENTS</p> |
| <p>4. ETUDES DU DOMAINE DE L'ESPACE</p> | <p>10.1 Protection sanitaire</p> |
| | <p>10.2 Contrôle des rayonnements</p> |
| | <p>10.3 Traitement des effluents</p> |
| <p>5. GEOPHYSIQUE, GEOLOGIE, MINERALOGIE ET METEOROLOGIE</p> | <p>11. SEPARATION DES ISOTOPES</p> |
| <p>6. METAUX, CERAMIQUES ET AUTRES MATERIAUX</p> | <p>12. TECHNIQUES</p> |
| <p>6.1 Fabrication, propriétés et structure des matériaux</p> | <p>12.1 Mécanique des fluides - Techniques du vide</p> |
| <p>6.2 Effets des rayonnements sur les matériaux</p> | <p>12.2 Techniques des températures extrêmes</p> |
| <p>6.3 Corrosion</p> | <p>12.3 Mécanique et outillage</p> |
| <p>7. NEUTRONIQUE, PHYSIQUE ET TECHNOLOGIE DES REACTEURS</p> | <p>13. UTILISATION ET DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE ATOMIQUE</p> |
| <p>7.1 Neutronique et physique des réacteurs</p> | <p>13.1 Centres d'études nucléaires, laboratoires et usines</p> |
| <p>7.2 Refroidissement, protection, contrôle et sécurité</p> | <p>13.2 Etudes économiques, programme</p> |
| <p>7.3 Matériaux de structure et éléments classiques des réacteurs</p> | <p>13.3 Divers (documentation, administration, législation, etc...)</p> |

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.

- Rapport CEA-R 3384 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Département des Radioéléments
Service de Préparation des Radioéléments

UNE METHODE DE PRODUCTION D'EUROPIUM 155 SANS ENTRAINEUR AU NIVEAU DU CURIE

par

Nicole FALCONI, Renato RADICELLA ²⁾

2) Comisión Nacional de Energía Atómica - Buenos-Aires

- Janvier 1968 -



I - INTRODUCTION

II - CONDITIONS D'IRRADIATION

III- CHOIX DE LA METHODE CHIMIQUE

IV - PARTIE EXPERIMENTALE

1° Amalgamation

2° Purification par échange d'ions

V - CONCLUSION



UNE METHODE DE PRODUCTION D'EUROPIUM 155 SANS ENTRAINEUR AU NIVEAU DU CURIE

I - INTRODUCTION

Les sources de rayonnement γ de basse énergie ont des applications de plus en plus nombreuses tant dans le domaine médical, pour la radiothérapie interstitielle des tumeurs et pour la radiographie, que dans le domaine industriel pour l'analyse non destructive de pièces légères.

Parmi les isotopes qui émettent des rayons γ de faible énergie, l'Europium 155 présente plusieurs avantages.

Son schéma de désintégration (1) (fig.1) indique seulement des énergies γ inférieures à 146 keV parmi lesquelles les plus importantes sont celles de 86,5 keV et 105,3 keV par leur abondance et leur faible taux de conversion.

On observe également les rayons X caractéristiques du ^{155}Gd dont les rapports d'abondance avec les rayonnements γ de 86,5 keV sont :

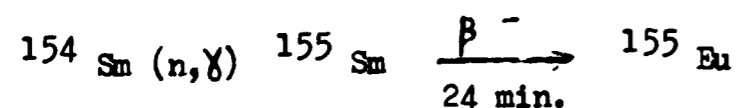
$$(X_L) / (\gamma_{86,5}) = 0,32 \text{ et } (X_K) / (\gamma_{86,5}) = 0,98.$$

De plus, la période de 1,81 an de ^{155}Eu permet l'utilisation des sources pendant un temps relativement long.

Le présent travail a pour but de déterminer une méthode permettant de séparer 1 curie de ^{155}Eu sans entraîneur et avec un extrait sec inférieur à 5 mg par curie, de façon à fabriquer des sources quasi-ponctuelles.

II - CONDITIONS D'IRRADIATION

La réaction nucléaire de formation de ^{155}Eu est :



Section efficace de capture : 5,5 barns.

On pourrait, à première vue, espérer produire de grandes activités d'Europium sans irradier de grosses quantités de Samarium, mais une réaction secondaire $^{155}\text{Eu} (n, \gamma) \text{ } ^{156}\text{Eu}$ transforme pendant l'irradiation une partie considérable de ^{155}Eu en ^{156}Eu , car la section efficace de capture de ^{155}Eu est très grande : 14.000 barns. Le résultat de cette réaction est de diminuer le rendement de production de ^{155}Eu et de former en plus ^{156}Eu de 15 jours de période qui reste comme impureté dans le produit final.

D'autre part, l'abondance de ^{154}Sm dans le Samarium naturel est de 22,71 % et on trouve également les isotopes de masses 144, 147, 148, 149, 150, 152. Parmi eux-ci l'isotope ^{149}Sm d'abondance isotopique 13,83 % a une section efficace de capture de 40.800 barns, ce qui produit une autoabsorption très importante de neutrons dans la cible de Samarium naturel. Ceci, joint aux considérations précédentes sur la formation de ^{156}Eu rend nécessaire l'utilisation de Samarium enrichi en ^{154}Sm pour diminuer de façon acceptable la quantité de samarium à irradier.

Les quantités de ^{155}Eu et ^{156}Eu formées par irradiation de $^{154}\text{Sm}_2\text{O}_3$ enrichi à 99,2 % en provenance d'Oak-Ridge, ont été calculées (2) (fig.2).

Après 60 jours d'irradiation, à un flux de $5.10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec.}$, on obtient l'activité maximale en ^{155}Eu : elle est de 0,41 Ci par gramme de Sm_2O_3 enrichi.

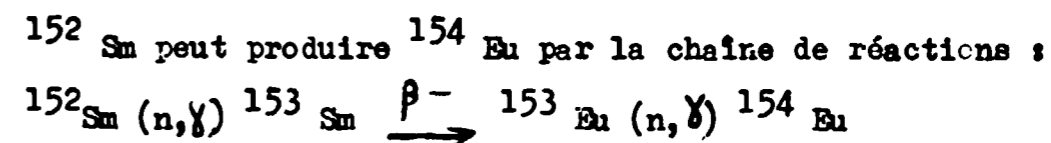
On obtient également 24 Ci de ^{156}Eu .

Ceci oblige à attendre un temps relativement long avant d'utiliser ^{155}Eu .

Nous avons choisi 20 jours comme temps d'irradiation. Dans ces conditions, nous obtenons 0,3 Ci de ^{155}Eu (1,8 ans) et 7 Ci de ^{156}Eu (15 j).

La différence de période nous permet de faire la séparation après deux mois de refroidissement sans être obligés d'utiliser une protection excessive et en même temps de récupérer et de réirradier la cible. Il sera nécessaire, une fois la séparation faite, de laisser décroître encore au moins 4 mois avant d'utiliser la source (voir fig. 3).

Le samarium enrichi contient 0,21 % de ^{149}Sm et 0,38 % de ^{152}Sm . Les autres isotopes sont en quantités trop petites et leurs sections efficaces trop faibles pour donner lieu à des activités notables.



Cependant, l'activité de ce dernier est négligeable pour une irradiation de 20 jours [2].

Le facteur de perturbation totale du flux a été estimé d'après l'approximation de Nisle [3] à 0,95 pour l'irradiation de 1 g. de Sm_2O_3 enrichi dans le container standard (type Siloé). Pour maintenir ce facteur dans des limites raisonnables, il sera donc nécessaire d'irradier la cible par fractions de 1 g.

Sur la base de nos calculs et dans les conditions que nous nous sommes imposées, nous trouvons qu'il faut irradier une quantité de Sm_2O_3 comprise entre 5 et 10 g. pour avoir des activités utilisables en ^{155}Eu , de l'ordre de 1 à 2 Ci.

Cette quantité de cible rend particulièrement délicate la séparation chimique.

III - CHOIX DE LA METHODE CHIMIQUE

La séparation de l'euporium à partir de Sm_2O_3 a été étudiée en particulier par Takekoshi et coll. [4]. Ils fixent les terres rares sur résine échangeuse d'ions cationique et ils éluent au moyen d'a hydroxyisobutyrate d'ammonium.

Cette méthode permet d'obtenir l'euporium pratiquement sans samarium, mais elle est peu pratique pour des quantités de Sm_2O_3 supérieures à 500 mg. Cet inconvénient se retrouve dans la plupart des méthodes décrites dans la littérature.

L'extraction par amalgamation des terres rares ayant un état divalent stable est bien connue et a été employée par divers auteurs dont récemment : Bubernak et coll. [5], Malan et Münzel [6] et Bouissières et coll. [7], pour séparer l'euporium de petites quantités des autres terres rares.

Onstott [8], David et Bouissières [9] ont étudié la formation des amalgames des mêmes éléments par électrolyse sur cathode de mercure en milieu citrate de lithium.

Sur la base des résultats obtenus par les derniers auteurs cités, nous avons mis au point une méthode qui, par amalgamation de ^{155}Eu sur cathode de mercure, permet de séparer ^{155}Eu de quantités de Sm_2O_3 de l'ordre de 10 g.

Mais si cette séparation s'effectue très bien, avec un rendement supérieur à 90 %, il reste quand même dans l'euporium une quantité non négligeable de samarium qui rend impossible la fabrication

de sources ponctuelles.

Il faut alors purifier cette solution en utilisant une technique différente. La méthode de Takekoshi et coll. [4] permet d'obtenir ce résultat.

IV - PARTIE EXPERIMENTALE

- 1° Amalgamation

Nous avons fait deux séries d'essais :

- a) d'abord avec 10 g d'oxyde de samarium naturel auquel nous avons ajouté un traceur ^{155}Eu .
- b) et ensuite sur de l'oxyde de samarium enrichi (100 mg) irradié dans les conditions précédemment décrites.

Dans les deux cas, l'oxyde de samarium a été dissous dans HCl, amené à sec, puis repris par une solution de citrate de sodium ou de lithium.

Au cours d'expériences préliminaires, nous avons essayé sans grand succès, l'amalgamation de l'europlum en présence de samarium par action de l'amalgame de lithium (amalgame à 0,027 % de Li) ³⁾ sur une solution citrique de terres rares en milieu citrate de sodium sous courant d'hydrogène.

-
- 3) Cet amalgame peut être préparé, soit par dissolution directe du lithium dans du mercure ou mieux par électrolyse d'une solution de citrate de lithium sur cathode de mercure.

Les conditions opératoires étaient les suivantes :

$$\frac{\text{vol. sol}}{\text{vol. amalgame}} = 10$$

concentration du samarium..... : 0,04 M à 0,16 M
concentration du citrate de sodium..... : 0,07 M à 0,56 M
pH initiaux..... : 7 et 8,2

La proportion d'europlum amalgamé était comprise entre 60 et 75 % pour un temps de contact variant de 50 à 90 min. Au-delà de ce temps, nous avons observé, avec une rapide augmentation du pH, une augmentation progressive de l'activité en solution et nous sommes arrivés à une désamalgamation complète de l'europlum au bout de 2h 40 environ.

Le rendement de 70 % ne nous a pas paru suffisant, de plus, il était très difficile d'apprécier le moment précis où commençait la désamalgamation. Nous avons donc été amenés à entreprendre une autre série d'essais.

Nous avons obtenu de meilleurs résultats en utilisant une solution 1 M de citrate de lithium au lieu de citrate de sodium :

Conditions expérimentales :

$$\frac{\text{vol. sol}}{\text{vol. amalgame}} = 6$$

pH initial : 8,5
courant d'azote.

Nous avons alors obtenu une amalgamation à plus de 90 % de l'europlum au bout de 4 heures. La courbe de disparition de l'europlum dans la solution citrique est pratiquement exponentielle et elle a une "période" de 60 minutes. Nous n'avons observé aucune désamalgamation jusqu'à 5 heures de contact.

Cette méthode semblait correcte, mais il restait à vérifier si le même résultat pouvait être obtenu par électrolyse directe de la solution citrique de terres rares : ce qui permettrait de supprimer une étape : celle de la préparation de l'amalgame de lithium.

A cette fin, nous avons utilisé la cellule d'électrolyse schématisée fig. 4. Dans cette cellule, la cathode de mercure est reliée à la source de courant par un contact de platine et l'anode est constituée par un fil de platine qui plonge dans la solution à électrolyser, de sorte que l'intensité du courant soit toujours voisine de 300 mA.

Dans tous les cas, la différence de potentiel est de 9 volts.

D'autre part, au moyen d'un tube capillaire, nous faisons passer un courant d'azote à travers le mercure et la solution pendant toute la durée de l'opération.

Pour toutes les expériences d'électrolyse qui ont été faites à la température ambiante, le milieu était 1 M en citrate de Li et le pH initial de 8,5. La concentration en samarium a varié au cours de la série d'expériences de 0,1 M à 0,3 M.

Pour un rapport $\frac{V}{S}$ (volume de la solution/surface de la cathode de mercure) d'environ 1 cm, la période d'amalgamation est de 8 minutes approximativement, donnant une amalgamation supérieure à 95 % au bout de 40 minutes.

Pour un rapport $\frac{V}{S}$ supérieur, nous avons observé, comme nous pouvions le prévoir, une augmentation de la période d'amalgamation. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Bouissières et David dans leur étude de l'amalgamation des terres rares.

En fin d'électrolyse, nous avons séparé les deux phases. Dans la phase citrique contenant le samarium, nous avons précipité celui-ci avec l'acide oxalique. Nous avons ainsi récupéré la cible de départ.

La phase amalgame après lavage à l'eau a été décomposée par une solution chlorhydrique. L'europlum se retrouve dans cette solution sous forme de chlorure et il était important de connaître la quantité de samarium ayant subi l'amalgamation.

Les dosages ont été faits par spectrographie d'émission. 4) (Dans quelques cas nous avons confirmé les résultats obtenus en utilisant le ^{155}Sm comme traceur). Les résultats ont donné une quantité de samarium amalgamée comprise entre 2 et 5 % de la quantité initiale (ce qui donnerait dans ces conditions, une période d'amalgamation supérieure à 15 heures pour le samarium). Cette quantité de samarium bien que faible, est tout de même gênante pour le but que nous nous sommes fixé. Nous avons pensé purifier l'europlum en effectuant une seconde électrolyse. Pour cela, nous avons amené à sec la solution chlorhydrique d'europlum 155 renfermant le samarium et nous avons repris le résidu par du citrate de lithium I M.

Comme précédemment, nous avons électrolysé cette solution sur cathode de mercure et nous avons alors observé que 20 à 50 % du samarium s'amalgame en même temps que l'europlum au bout de 60 minutes.

Ce dernier résultat, en accord avec la période d'amalgamation observée par Bouissières et David lors de l'électrolyse de solutions de samarium, dans les mêmes conditions, montre que les périodes d'amalgamation du samarium sont très différentes lorsque la concentration de l'élément en solution varie dans de grandes limites : rappelons qu'elle varie de 10g à 0,2g entre la première et la seconde électrolyse. Ceci écarte l'éventualité d'une seconde électrolyse pour purifier la solution d'europlum 155 .

4) Nous tenons à exprimer ici nos remerciements à M. Gérard du Service de Chimie (S.E.A.) qui s'est chargé de ce travail.

- 2° Purification par échange d'ions.

Au cours d'essais préliminaires, nous avons constaté que la méthode par échange d'ions permet de séparer quantitativement le samarium et l'euprasiolite. Cependant, cette méthode qui est parfaite lorsqu'il s'agit de quantités de samarium de l'ordre de 100 à 500 mg, devient pratiquement inapplicable dans le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire pour 10 g d'oxyde de samarium.

Nous venons de voir que par électrolyse nous pouvons éliminer 95 à 98 % du samarium. Ceci nous ramène, pour la purification, dans les conditions idéales d'application de la méthode par échange d'ions.

La méthode par séparation sur résine Dowex 50 avec élution au citrate ou au lactate avait abouti à des résultats très peu satisfaisants [10]. Nous avons alors essayé la méthode proposée par Takekoshi et coll. [4].

Nous sommes partis de 500 mg de Sm_2O_3 que nous avons dissous dans la quantité minimum de HCl 6N. Ensuite, nous avons dilué de manière à obtenir une solution légèrement acide ($\sim 0,1 - 0,2 N$). Nous avons fait passer la solution ainsi obtenue à travers une colonne de résine Dowex 50 x 8 100-200 mesh sous forme NH_4^+ dont les dimensions sont les suivantes :

diamètre : 11 mm
hauteur : 450 mm

5) Comme lors de l'étude de l'électrolyse, nous avons fait nos essais d'abord sur Sm_2O_3 naturel inactif auquel nous avons ajouté ^{155}Eu sans entraînement, puis ensuite nous avons travaillé sur Sm_2O_3 enrichi irradié (activité traitée : 40 mCi de ^{155}Eu).

L'europlum et le samarium se fixent au sommet de la colonne. Pour éluer l'europlum, nous avons utilisé une solution ainsi constituée :

0,5 (HB 6) 77,5 % en volume
(NH₄B 6 bis) 22,5 % en volume

de pH 3,5

L'europlum commence à passer environ au 500ème ml d'éluant et l'élution est totale avec les 200 ml suivants.

L'analyse de la solution par spectrométrie d'émission a donné une quantité de samarium inférieure à 1 µg par ml de solution (limite de sensibilité de la méthode pour le samarium).

Cependant, l'europlum ainsi obtenu dans le milieu HB - NH₄B était difficilement utilisable sous cette forme ; de plus, la solution était très diluée. Ainsi nous avons cherché à l'amener sous une forme minérale tout en le concentrant. Pour cela, nous avons acidifié la solution (HB - NH₄B) 0,5 M contenant ¹⁵⁵Eu, en ajoutant la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour transformer NH₄B en HB. Puis, nous avons fait passer cette solution à travers la colonne suivante :

{ Résine Dowex 50 x 8, 100-200 mesh - forme NH₄⁺
{ Diamètre :..... 8 mm
{ Hauteur :..... 100 mm

L'europlum ¹⁵⁵s'est fixé au sommet de la colonne. Nous l'avons élué avec de l'acide chlorhydrique 4N : environ 80 ml.

Pour simplifier, nous désignons par :

- 6) HB : acide hydroxyisobutyrique.

-6bis)NH₄B : sel d'ammonium de l'acide hydroxyisobutyrique.

Nous avons concentré cette solution par évaporation et nous l'avons ramenée à 10 ml. La quantité totale de samarium qui a été retrouvée dans la solution finale est de l'ordre de 50 µg, chiffre tout à fait acceptable.

Il nous a été possible de récupérer le samarium fixé sur la première colonne en l'éluant avec une solution de :



Nous avons suivi cette élution par précipitation de l'oxalate de samarium au sein de la solution citrique. La récupération s'est faite en 200 ml environ de solution. Nous avons mélangé cette solution avec celle récupérée après l'électrolyse. Nous avons précipité l'oxalate de samarium. Celui-ci peut être calciné en $\text{Sm}_2 \text{O}_3$. Le bilan final de récupération de la cible de départ est de : 90 %.

V - CONCLUSION

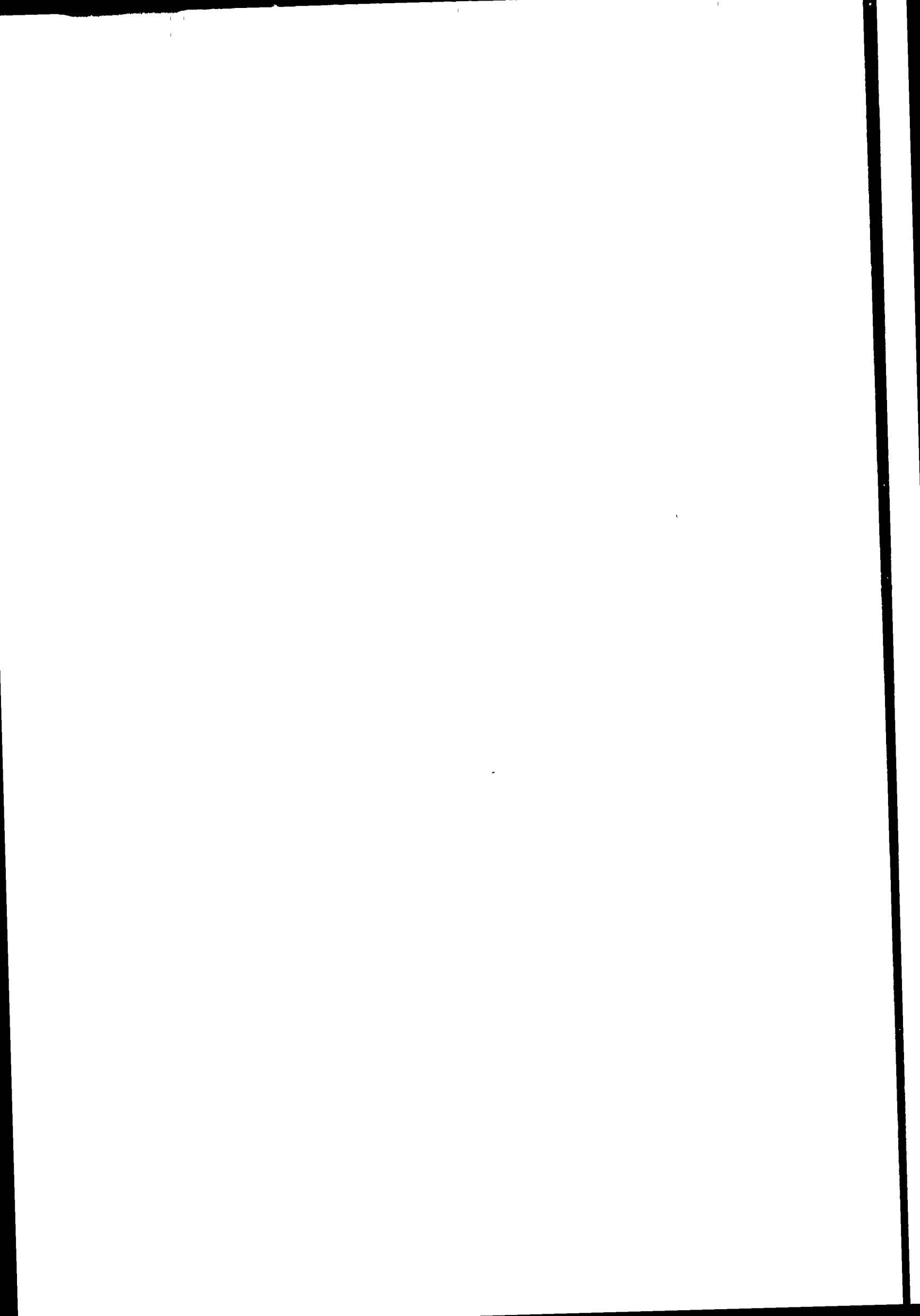
Les expériences décrites ci-dessus permettent d'adopter avec des résultats satisfaisants le processus suivant pour la préparation de l'euporium 155.

- Dissoudre la cible irradiée dans l'acide chlorhydrique.
- Reprendre l'extrait sec par une solution de citrate de lithium I M.
- Electrolyser sur cathode de mercure sous courant d'azote.
- Récupérer la cible dans la solution d'électrolyse.
- Attaquer l'amalgame par de l'acide chlorhydrique pour extraire l'euporium.
- Faire passer la solution sur une colonne de résine Dowex 50 x 8 100-200 mesh - forme NH_4^+ .
- Eluer l'euporium avec un mélange de HB (77,5 %) et NH_4B (22,5 %).
- Acidifier l'éluant euporium avec de l'acide chlorhydrique et faire passer la solution sur une autre colonne de résine Dowex 50 x 8 - 100-200 mesh - forme NH_4^+ .
- Eluer l'euporium avec de l'acide chlorhydrique 4N.
- Après évaporation à sec et reprise avec de l'eau distillée, on obtient une solution chlorhydrique de $^{133}\text{Eu Cl}_3$ sans entraîneur.

Manuscrit reçu le 29 septembre 1967

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Nuclear data sheets, NAS-NRC.
- [2] BOUTELLER E.
Irradiation de Sm_2O_3 enrichi en Sm-154 (résultats non publiés).
CEA - DR/PR
- [3] NISLE R.G.
Nucleonis 1960, 14, 3, 85
- [4] TAKEKOSHI E. et al.
J. Phys. Soc. Japan, 1964, 19, 587-605
- [5] BUBERNAK J. et al.
Anal. Chem. 1965, 37, 1574-1576
- [6] MALAN H.P. et MINZEL H.
Radiochim. Acta, 1966, 5, 20-23
- [7] BOUSSIÈRES G. et al.
Bull. Soc. Chim. France, 1961, 1028-1030
- [8] CNSTOTT E.I.
J. Am. Chem. Soc. 1955, 77, 2129-2132
- [9] BOUSSIÈRES G. et DAVID F.
Bull. Soc. Chim. France, 1965, 1001-1007
- [10] VALADE J.
Essais de séparation samarium-europium (résultats non publiés).
CEA - DR/PR
-



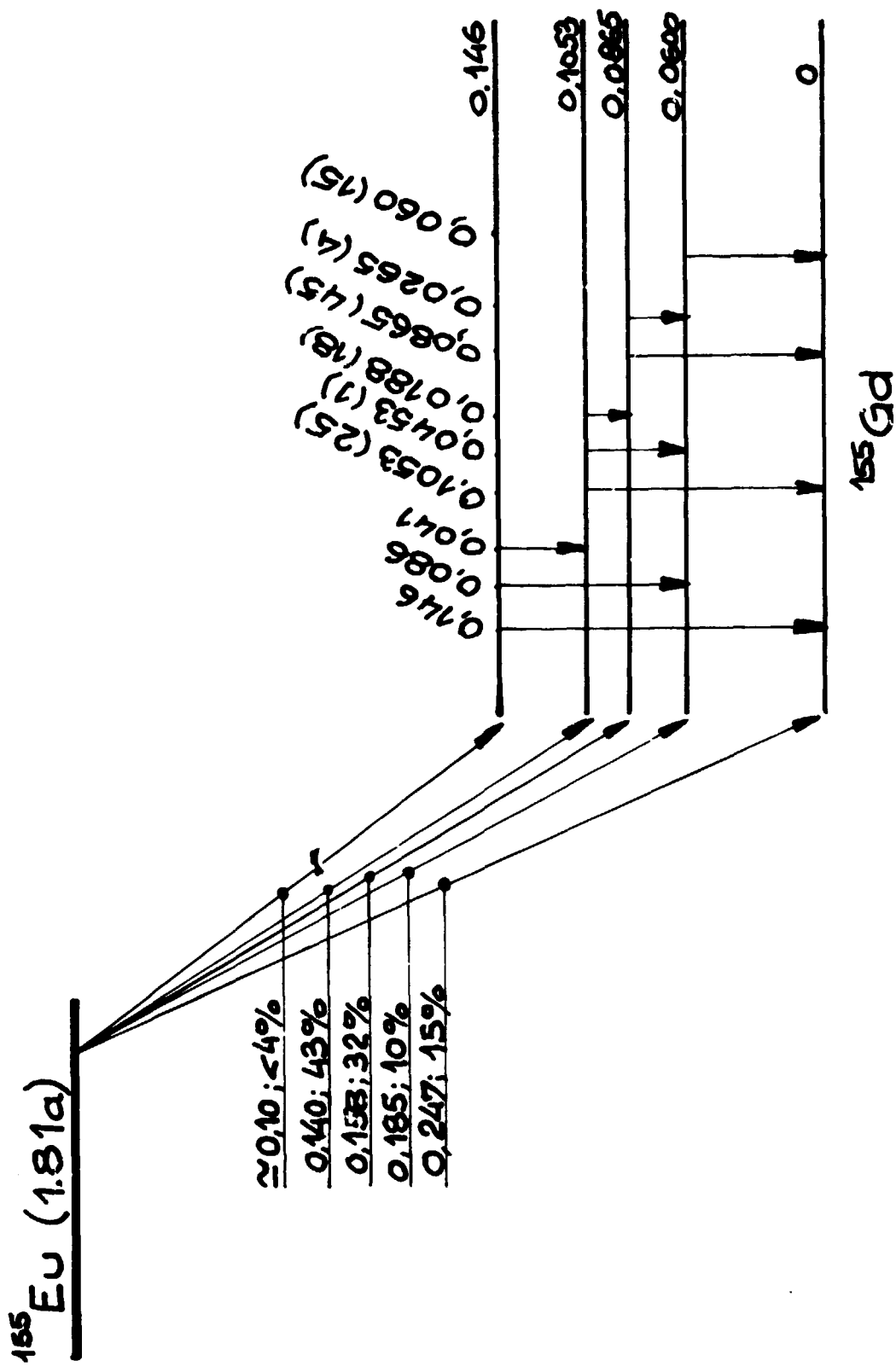


Fig. 1

Schéma de désintégration de ^{155}Eu

Quantité de Radio-éléments
par gramme de Sm_2O_3 en Curies

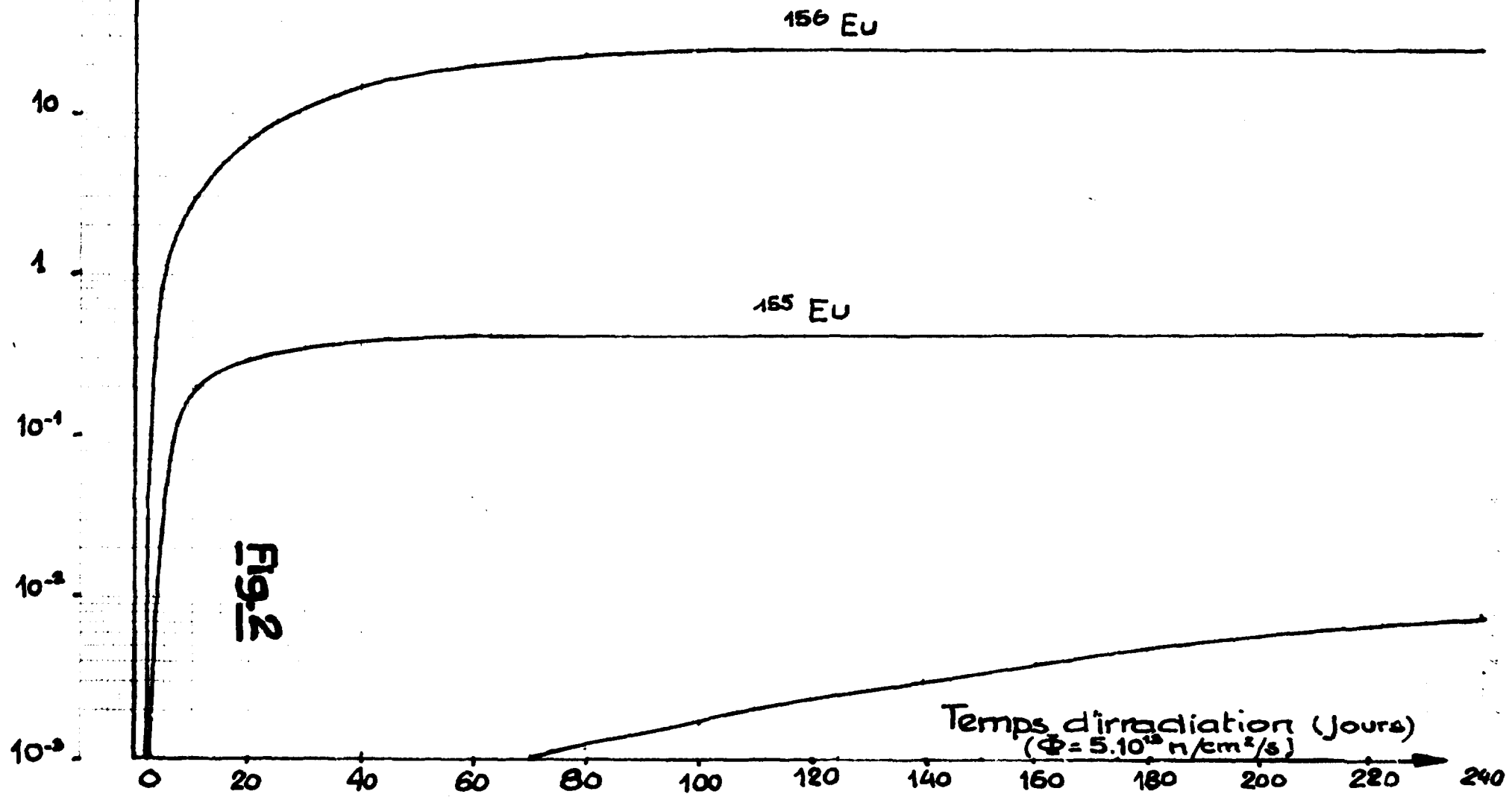
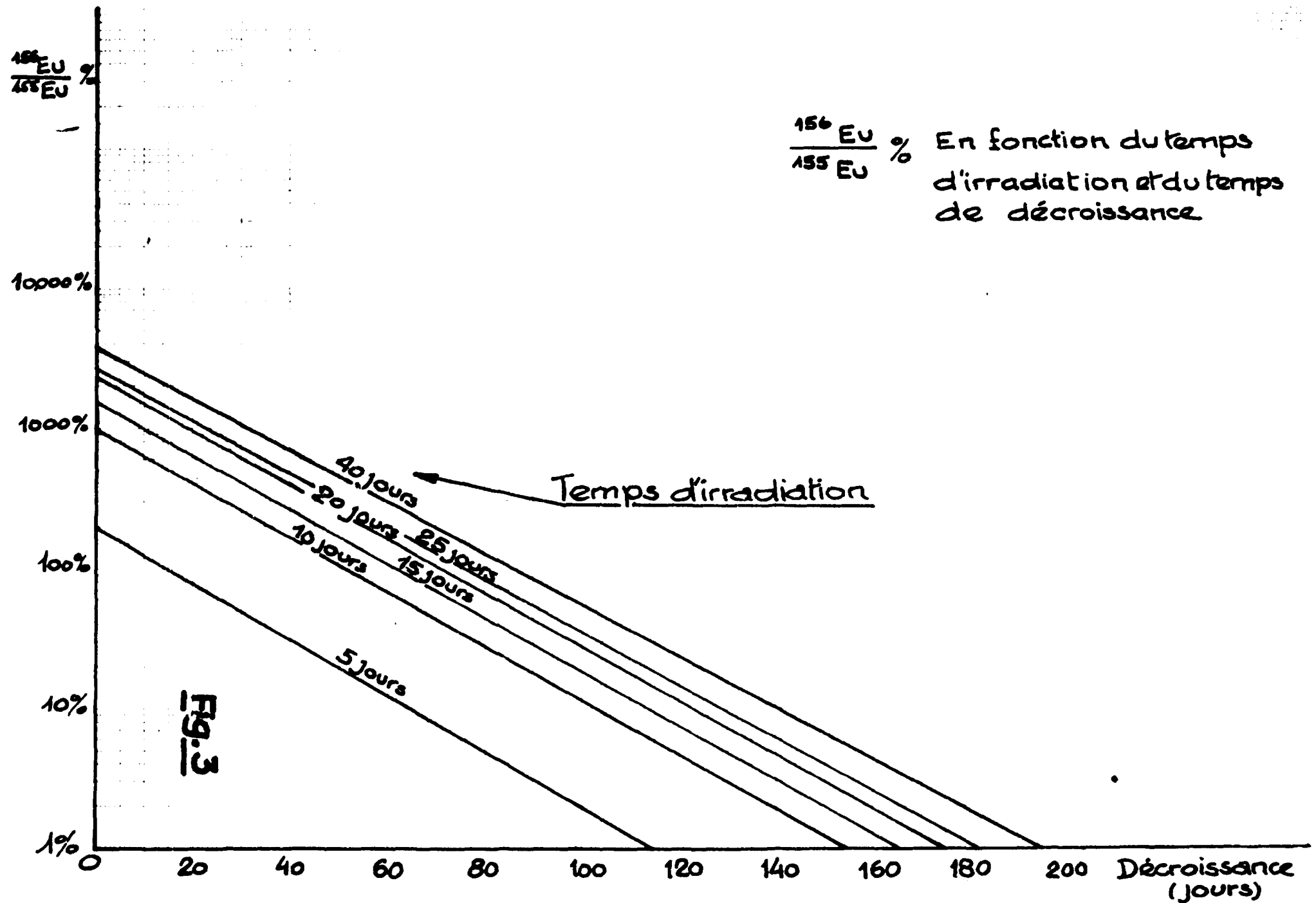
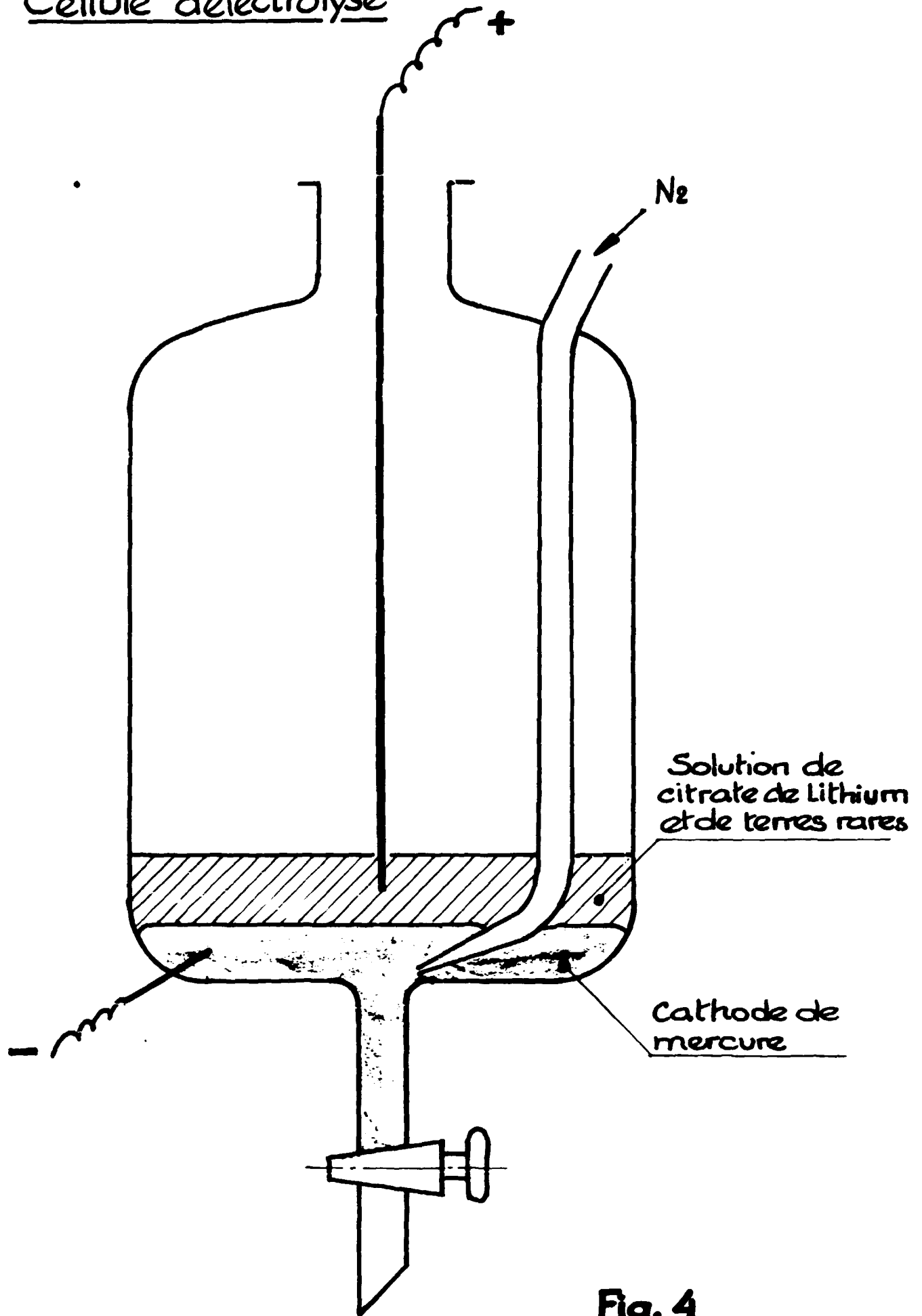


Fig. 2

Temps d'irradiation (Jours)
($\Phi = 5.10^{18} \text{ n/cm}^2/\text{s}$)



Cellule d'électrolyse



FIN