

ATTENTION MICROFICHE USER

REPLACEMENT OF TEMPORARY MICROFICHE:

The INIS Clearinghouse is supplying temporary microfiche when the original document is found to contain any irregularity. The irregularity may be:

- missing or illegible pages/figures
- wrong pagination
- poor overall printing quality, etc.

A microfiche of an imperfect document is marked with a special symbol (black dot) on the left of the title and a new document is requested from the supplying centre.

This microfiche is produced from the new document
or from replacements given by the supplying centre.
If for this report, you have received a temporary
microfiche (with a black dot), please replace the
old one by this new copy.

INIS Clearinghouse
IAEA
P.O.Box 100
A-1400, Vienna, Austria

10/15

FR 7802565

10/15

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

T.M.

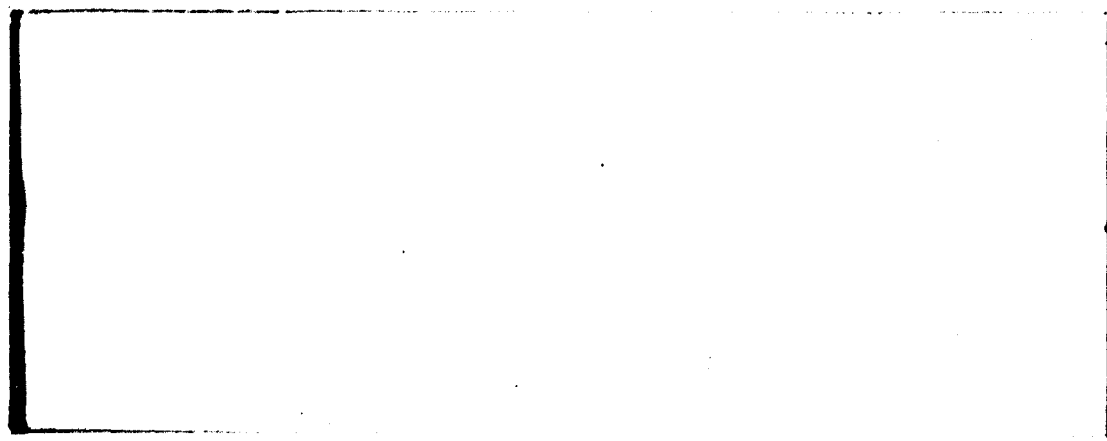
Ad 15

Centre d'Études Nucléaires de Saclay

DIVISION DE CHIMIE

DÉPARTEMENT DE RECHERCHE ET ANALYSE

SERVICE D'ANALYSE ET D'ÉTUDES EN CHIMIE NUCLÉAIRE ET ISOTOPIQUE



DRA/SAECNI/77-649/513/JP/DT
Le 22 Décembre 1977.

Laboratoire d'Analyse par
Réactions Nucléaires

SUR LA DETERMINATION DU CARBONE OU DE L'AZOTE
DANS LE ZIRCONIUM PAR ACTIVATION PHOTONIQUE OU
PROTONIQUE. COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS
PAR CES METHODES ET D'AUTRES PROCEDES ANALYTIQUES *

J. PETIT, J. GOSSET et Ch. ENGELMANN

Journées métallurgiques d'automne. Paris, France
18-20 octobre 1977

CEA-CONF--4233

et de Service :


R. DARRAS

RESUME

Le carbone et l'azote sont déterminés au moyen des réactions nucléaires suivantes :



Les performances théoriquement offertes par cette méthode, ainsi que l'importance relative des principales interférences, sont considérées.

Le procédé développé pour séparer le carbone-11 du zirconium est décrit. Son efficacité est évaluée d'une manière particulièrement originale.

Les teneurs en carbone et azote sont mesurées dans des échantillons de zirconium distribués par le Bureau Communautaire de Référence, dans le cadre des circuits de comparaisons inter-laboratoires organisés sous son égide.

Les résultats obtenus sont confrontés aux valeurs fournies par plusieurs autres laboratoires ayant mis en oeuvre des techniques analytiques très diverses.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION

II. PRINCIPE DES METHODES

III. LIMITES DE DETECTION REALISABLES ET IMPORTANCE RELATIVE DES PRINCIPALES INTERFERENCES D'ORIGINE NUCLEAIRE

III.1. Limites de détection théoriques

III.2. Importance relative des principales interférences.

IV. ETALONNAGE

IV.1. Dosage du carbone par activation aux photons γ

IV.2. Dosage de l'azote par activation aux protons

V. METHODE DE SEPARATION CHIMIQUE DU CARBONE-11

V.1. Description sommaire du procédé

V.2. Détermination de l'efficacité

VI. APPLICATIONS

VI.1. Résultats

VII. CONCLUSION

SUR LA DETERMINATION DU CARBONE OU DE L'AZOTE DANS LE ZIRCONIUM
PAR ACTIVATION PHOTONIQUE OU PROTONIQUE. COMPARAISON DES
RESULTATS OBTENUS PAR CES METHODES ET D'AUTRES PROCEDES ANALYTIQUES

J. PETIT, J. GOSSET et Ch. ENGELMANN

I. INTRODUCTION

La présence de carbone et d'azote dans le zirconium et ses alliages a une grande influence sur leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques, notamment sur leur résistance à la corrosion, leur limite élastique et leur allongement [1] [2].

Aussi, des spécifications très strictes concernant ces impuretés sont-elles imposées aux producteurs de ce métal ; d'où l'obligation de contrôles permanents au cours de son élaboration.

Le dosage du carbone est généralement basé sur une combustion sous oxygène et la mesure du gaz carbonique formé. Celui de l'azote peut être réalisé par les méthodes suivantes :

- Kjeldahl ;
- Fusion sous vide ;
- Fusion réductrice ou carburante ;
- Fusion alcaline sous hydrogène.

Pour contrôler et étalonner régulièrement les méthodes de dosages routinières, les industriels souhaitent avoir à leur disposition des échantillons de référence. L'élaboration de tels étalons est la vocation d'organismes comme le Bureau Communautaire de Référence.

La présente étude a été réalisée, en partie, dans le cadre de notre participation aux actions de cet organisme.

L'analyse par activation aux photons gamma ou aux particules chargées présente de nombreux avantages sur les méthodes classiques : en particulier, une très grande sensibilité, la possibilité de s'affranchir totalement des blancs d'origine chimique, mais aussi la particularité d'accéder à la connaissance du rendement vrai de la séparation chimique utilisée pour le dosage, par un choix judicieux des réactions nucléaires.

II. PRINCIPE DES METHODES

Les réactions nucléaires utilisées :



sont mises en oeuvre depuis de nombreuses années, tant pour le dosage du carbone [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] que celui de l'azote [7] [9] [10] [11], dans des métaux ou des semi-conducteurs.

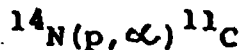
Ces réactions nucléaires conduisent au même radioisotope le carbone-11, émetteur β^+ , de période de décroissance égale à 20,3 minutes. De ce fait, une seule et même séparation chimique convient pour les deux dosages. Cette dernière s'avère absolument nécessaire, compte tenu de l'activation du zirconium par les photons γ et les protons.

Le dosage du carbone repose en effet sur l'irradiation de l'échantillon par les photons de freinage produits à l'aide d'un accélérateur linéaire d'électrons. L'activité en carbone-11 induite dans l'échantillon par la réaction nucléaire :



est mesurée après séparation chimique. Elle est directement proportionnelle à la teneur en carbone dans la prise d'essai traitée.

Pour la détermination de l'azote, l'échantillon est irradié sous un vide de 10^{-5} à 10^{-6} Torr par un faisceau de protons issus d'un cyclotron. De la même manière, le carbone-11 produit par la réaction nucléaire :



est isolé chimiquement et son activité, proportionnelle à la teneur en azote dans l'échantillon, est mesurée.

III. LIMITES DE DETECTION REALISABLES ET IMPORTANCE RELATIVE DES PRINCIPALES INTERFERENCES D'ORIGINE NUCLEAIRE

III.1. Limites de détection théoriques

Elles sont consignées dans les tableaux I et II respectivement pour le carbone et l'azote.

Ces valeurs représentent les teneurs minimales dosables par les moyens d'activation considérés et pour les conditions d'irradiation indiquées, en l'absence d'interférences.

III.2. Importance relative des principales interférences

Dans les deux cas, il peut exister des interférences dues à des réactions nucléaires compétitives sur d'autres éléments légers notamment. Les plus importantes, ainsi que leurs énergies seuils, sont rassemblées dans le tableau III.

Leurs importances relatives sont consignées dans les tableaux IV et V.

IV. ETALONNAGE

IV.1. Dosage du carbone par activation aux photons γ

Compte tenu de la pénétration de ce rayonnement dans les milieux matériels, il est possible d'irradier simultanément l'échantillon et un étalon. Aussi, on place devant et derrière l'échantillon des disques en graphite de même diamètre (figure 1a).

Les activités en carbone-11 induites dans ces deux moniteurs (directement mesurables) et dans la prise d'essai (déterminée à l'issue de la séparation chimique) sont proportionnelles aux quantités de carbone qu'ils contiennent ; leur comparaison conduit à la teneur recherchée (pour tenir compte de l'absorption éventuelle des photons γ dans l'échantillon, on effectue ce calcul à partir de la valeur moyenne des activités des deux disques en graphite).

IV.2. Dosage de l'azote par activation aux protons

Etant donné la faible pénétration des protons dans la matière, la méthode précédente n'est pas transposable. On compare l'activité en carbone-11 de l'échantillon avec celle d'un étalon d'azote (nitrure d'aluminium) irradié de la même manière. Les flux de protons sont contrôlés à partir de l'activité induite dans les moniteurs minces placés devant l'échantillon et l'étalon (figure 1b).

V. METHODE DE SEPARATION CHIMIQUE DU CARBONE-11

V.1. Description sommaire du procédé

Plusieurs méthodes de fusion oxydante ou de combustion ont été testées; seule la technique décrite ci-dessous a donné entière satisfaction.

Il s'agit d'une combustion sous courant d'oxygène en présence de granulés de tungstène. Ce métal, par sa combustion très exothermique, assure sa propre fusion ($T_f = 3410^\circ\text{C}$). Le bain ainsi obtenu facilite l'oxydation complète du zirconium, et cela d'une manière non explosive. Par ailleurs, pour bénéficier d'un effet entraîneur chimique, de l'acier à 1,2 % de carbone est ajouté aux granulés précités.

Le schéma de l'appareillage utilisé à cet effet apparaît sur la figure 2. Le creuset de combustion est en silice vitreuse et alumine. Le chauffage est assuré par induction à l'aide d'un générateur HF de 15 kW (fréquence d'oscillation réglable entre 3 et 9 MHz).

Les gaz issus du mélange réactionnel, entraînés par le courant d'oxygène (débit : 4 l par minute) passent successivement par :

- un four à oxyde de cuivre ($\theta = 350^\circ\text{C}$) pour oxyder CO en CO_2 ;
- une colonne de réactif de Schütze (I_2O_5 dispersé sur du silicagel), dans laquelle les dernières traces éventuelles de CO sont oxydées en CO_2 ;

- un piège contenant de l'ascarite (amiante sodé) sur lequel le dioxyde de carbone est retenu par chimisorption (formation de carbonate de sodium).

A l'issue de la séparation chimique, l'activité de ce dernier est mesurée : on en déduit la quantité de carbone-11 extraite de l'échantillon, proportionnelle à sa teneur en carbone ou en azote selon le moyen d'activation mis en oeuvre (sous réserve naturellement, que l'influence des réactions nucléaires compétitives signalées soit négligeable).

Les quantités de zirconium traitées étaient toutes voisines de 300 mg. Outre ces échantillons, les creusets recevaient 6 g de granulés de tungstène et 200 mg de copeaux d'acier.

Les combustions n'excédaient pas 3 minutes et étaient suivies d'un balayage de même durée.

V.2. Détermination de l'efficacité

Le rendement du procédé a été établi d'une manière particulièrement originale.

A cet effet, on a irradié du zirconium par des hélions-3 de 7 MeV. L'activation de la matrice, compte tenu de l'existence de la barrière coulombienne s'opposant à la pénétration de ces particules dans les noyaux de zirconium, est pratiquement négligeable. En revanche, le carbone contenu dans ce dernier s'active intensément par la réaction nucléaire :



conduisant à la formation de carbone-11, détectable directement au retour de l'irradiation.

A l'issue de cette première mesure "non destructive", la séparation chimique est entreprise. L'activité du carbone-11, extrait et piégé sous forme de gaz carbonique sur l'ascarite, est déterminée ; d'où deux valeurs dont le quotient donne le rendement vrai du procédé mis en oeuvre.

On a ainsi vérifié que l'efficacité de la méthode considérée est pratiquement de 100 %. Plus précisément, 18 essais réalisés ont donné les résultats suivants :

$$\bar{p} = 99,5 \%$$

$$\sigma^2 = 4,4 \%$$

$$\text{soit } \bar{p} = 99,5 \pm 2,2 \%$$

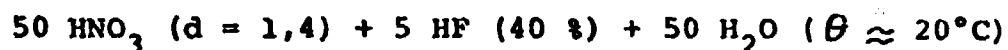
pour une limite de confiance à 95 %.

VI. APPLICATIONS

Ces méthodes ont été appliquées aux dosages du carbone et de l'azote dans des disques de zirconium ($\phi = 15$ mm; épaisseur = 1mm) distribués par le Bureau Communautaire de Référence (CCE-Bruxelles) en vue de comparaisons interlaboratoires ayant pour objectif, l'élaboration d'un matériau de référence à teneurs certifiées en ces deux impuretés légères.

$$* \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n - 1}}$$

Tous les échantillons ont fait l'objet, avant et après activation, de 3 décapages chimiques successifs suivis de rinçages à l'eau. A cet effet, on a utilisé le mélange proposé par QUAGLIA et coll. [12], dont la composition est la suivante :



Les épaisseurs enlevées sont comprises entre 30 et 50 μm par face.

Pour le dosage du carbone, ils ont été irradiés (pendant 10 minutes chacun) aux photons γ de freinage produits par un faisceau d'électrons de 35 MeV et d'intensité moyenne 70 μA (épaisseur de la cible de conversion en platine : 6 mm ; distance cible échantillon : 5 mm).

Pour les déterminations d'azote, ils ont été activés pendant 10 minutes par un faisceau de protons d'énergie 14,6 MeV et d'intensité 1 μA . Le parcours de ces particules dans le zirconium est voisin de 0,73 mm. La profondeur concernée par l'analyse est du même ordre de grandeur (0,70 mm).

VI.1. Résultats

Les teneurs en carbone ou azote déterminées par les divers procédés mis en oeuvre à l'occasion du circuit de comparaisons interlaboratoires organisé sous l'égide du BCR sont consignées dans les tableaux VI et VII.

Ces résultats laissent apparaître un accord relativement satisfaisant entre les concentrations en carbone et en azote mesurée à l'aide des diverses méthodes utilisées.

Il est fort probable que le recoupement des valeurs serait moins bon pour des teneurs en carbone et azote voisines de 1 $\mu\text{g.g}^{-1}$; en effet, à ces concentrations, et a fortiori en-deçà, l'influence

des blancs d'appareillage et des pollutions superficielles, inévitables dans les méthodes non-nucléaires, entraînerait inéluctablement des divergences.

VII. CONCLUSION

L'emploi de la réaction nucléaire :



a permis de montrer que le procédé de séparation chimique du carbone-11 reposant sur la combustion du zirconium dans un courant d'oxygène en présence d'un bain de tungstène est efficace et sûr ; son rendement, déterminé dans des conditions similaires à celles des dosages, est voisin de 100 %.

Cette méthode s'avère ainsi particulièrement intéressante pour doser d'une manière très fiable le carbone et l'azote* dans ce métal par les réactions nucléaires :



En outre, elle autorise la détermination du bore par les réactions nucléaires :



conduisant comme les précédentes à la formation de carbone-11.

On a ainsi pu établir que la teneur en cet élément dans la variété de zirconium mise à notre disposition par le BCR est de $0,023 \mu\text{g.g}^{-1}$.

* sous réserve que l'interférence du bore soit négligeable.

Les comparaisons interlaboratoires fonctionnant sous l'égide de l'organisme précité montrent que les méthodes nucléaires d'une part, et les techniques conventionnelles (combustion, fusion carburante sous gaz inerte, fusion sous vide) d'autre part, conduisent à des résultats pratiquement identiques pour les niveaux de teneurs en carbone ($63 \mu\text{g.g}^{-1}$) et en azote ($34 \mu\text{g.g}^{-1}$) considérés.

Cependant, il convient de signaler que les méthodes d'activation décrites sont utilisables d'une manière aussi sûre pour déterminer dans le zirconium des teneurs en azote et en carbone (voire en bore) très inférieures aux précédentes. Elles possèdent, en effet, l'avantage dominant de s'affranchir des blancs d'origine chimique dont l'influence perturbatrice limite irrémédiablement les performances des méthodes non-nucléaires.

Il va de soi que les moyens nécessaires pour appliquer les méthodes d'activation présentement mises en oeuvre sont relativement lourds ; néanmoins, elles offrent des possibilités tout à fait remarquables et uniques dès lors qu'ils s'agit d'examiner des matériaux contenant de faibles teneurs en éléments légers, notamment dans le but de calibrer des échantillons de référence fort précieux pour tester des équipements industriels moins sophistiqués.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée en partie par le Bureau Communautaire de Référence (CCE-Bruxelles) que nous remercions, d'une part pour son aide, d'autre part de nous permettre la publication des résultats présentés aux circuits de comparaisons interlaboratoires organisés sous son égide.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ph. ALBERT
Le dosage de l'azote dans les métaux réfractaires. Son importance technologique et économique.
Cahier d'information du Bureau Eurisotop (C.C.E.) 90
Série : Monographie-34 (1974).
- [2] G.L. MILLER, Ed.
Metallurgy of the Rarer Metals. Vol. II, Zirconium.
Butterworth, London, (1954).
- [3] Ch. ENGELMANN
Dosage de l'oxygène, du carbone, de l'azote, et quelques autres impuretés dans le Be, Ca, Na, et B par activation aux photons gamma.
Radiochemical Methods of Analysis. Vol. I, (1965), p. 341-35
Ed. AIEA, Vienne (Autriche).
- [4] Ch. ENGELMANN
Utilisation des photons gamma et des particules chargées pour le dosage de très faibles traces de B, C, N₂, O₂.
Bull. Soc. Chim. Fr., n° 7, (1967), p. 2 316 - 2 320.
- [5] G. REVEL
Dosage du carbone dans quelques métaux purs par irradiation dans les photons gamma.
J. Radioanal. Chem. Vol. 3, n° 5-6, (1969), p. 421-429.
- [6] M. FEDOROFF, C. LOOS-NESKOVIC, G. REVEL
Determination of carbon in chromium by photon activation.
Radiochem. Radioanal. Lett. Vol. 22, n° 4, (1975), p. 283-288

[7]

Ch. ENGELMANN, J. GOSSET, C. GRUMET

Analyse par activation aux photons gamma et aux particules chargées. Application à la détermination du carbone, de l'azote et de l'oxygène dans des métaux non-ferreux et des matériaux semi-conducteurs.

J. Radioanal. Chem. Vol. 28, n° 1-2, (1975), p. 185-199.

[8]

J.S. HISLOP, T.W. SANDERS, T.J. WEBBER, D.R. WILLIAMS

The determination of carbon in nickel by high energy gamma photon activation.

AERE-R-8182 (1975).

[9]

Ch. ENGELMANN

Contribution à l'étude de l'analyse par activation au moyen de particules chargées et de photons gamma.

Rapport CEA-R-4072 (1970).

[10]

P.N. KUIN

The determination of nitrogen and boron in silicon-carbide by means of proton activation analysis.

EUR. 3896 d.f.e. Bruxelles, (1968), p. 31-44.

[11]

T. NOZAKI, Y. YATSURUGI, N. AKIYAMA

Charged particle activation analysis for carbon, nitrogen and oxygen in semiconductor silicon.

J. Radioanal. Chem. Vol. 4, n° 1, (1970), p. 87-98.

[12]

L. QUAGLIA, G. WEBER, D. DAVID, J. VAN AUDENHOVE, J. PAUWE

Traitements de surface des métaux non ferreux dans l'analyse des gaz.

Bureau Eurisotop (CCE).

Rapport n° 90 (1976).

TABLEAU I

Limites de détection théoriques du carbone, par la réaction nucléaire



pour une durée d'irradiation de 20 minutes, une intensité moyenne du faisceau d'électrons primaires de 100 μA et un échantillon de 1g

Energie maximale des photons γ de freinage (MeV)	Limite de détection ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
25	1
30	0,14
35	0,05
40	0,025

TABLEAU II

Limites de détection théoriques de l'azote, par la réaction nucléaire :



pour une durée d'irradiation de 20 minutes, par un faisceau d'intensité 10 μA .

Energie des protons incidents (MeV)	Limite de détection * ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
5	0,15
7,5	$0,6 \cdot 10^{-3}$
10	$0,25 \cdot 10^{-3}$
12,5	$0,15 \cdot 10^{-3}$
15	$0,08 \cdot 10^{-3}$

* On suppose que l'épaisseur de l'échantillon est supérieure au parcours des particules incidentes.

TABLEAU III

Réactions nucléaires pouvant conduire à des interférences lors
des dosages du carbone et de l'azote, par les réactions nucléaires :



Elément considéré	Réaction nucléaire utilisée pour son dosage	Energie seuil (MeV)	Principales réactions nucléaires compétitives	Energie seuil (MeV)
Carbone	$^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$	18,7	$^{14}\text{N}(\gamma, t)^{11}\text{C}$	22,7
			$^{16}\text{O}(\gamma, \alpha n)^{11}\text{C}$	26
Azote	$^{14}\text{N}(p, \alpha)^{11}\text{C}$	3,1	$^{11}\text{B}(p, n)^{11}\text{C}$	3

TABLEAU IV

Teneurs apparentes en carbone lors de son dosage par la réaction nucléaire :



dues à la présence dans l'échantillon analysé d'une concentration en azote ou oxygène de $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Energie du faisceau incident (MeV)	Teneur apparente due à l'activation de l'azote par la réaction nucléaire : $^{14}\text{N}(\gamma, t)^{11}\text{C}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Teneur apparente due à l'activation de l'oxygène par la réaction nucléaire : $^{16}\text{O}(\gamma, \alpha n)^{11}\text{C}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
30	0,018	0,001
35	0,026	0,0023
40	0,031	0,005

TABLEAU V

Teneurs en bore entraînant une erreur positive de 10 % lors du dosage de l'azote supposé à une concentration de $1 \mu\text{g.g}^{-1}$ dans le zirconium.

Energie des protons utilisés (MeV)	Teneur en bore correspondante ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
5	$0,15 \cdot 10^{-3}$
7,5	$40 \cdot 10^{-3}$
10	$54 \cdot 10^{-3}$
12,5	$58 \cdot 10^{-3}$
15	$62 \cdot 10^{-3}$

TABEAU VI

Résultats de la comparaison interlaboratoire BCR relative au dosage du carbone dans le zirconium.

Méthode mise en oeuvre	Nombre de laboratoires participants	Nombre de déterminations réalisées	Teneur moyenne correspondante ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ecart-type* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Combustion (1)	9	160	63	**
Activation aux deutons (2)	1	6	64	1,5
Activation aux hélions-3 (3)	1	8	60	5
Activation aux photons γ (4)	1	28	63	12

(1) Mesure du CO_2 par coulométrie, absorption infrarouge ou conductivité électrique.

(2) Dosage non-destructif à l'aide de la réaction nucléaire $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$.

(3) Dosage non-destructif à l'aide de la réaction nucléaire $^{12}\text{C}(\text{}^3\text{He},\alpha)^{11}\text{C}$.

(4) Nos résultats

$$* \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

** Les valeurs individuelles sont comprises entre 57 et 75 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

TABLEAU VII

Résultats de la comparaison interlaboratoire BCR relative au dosage de l'azote
dans le zirconium

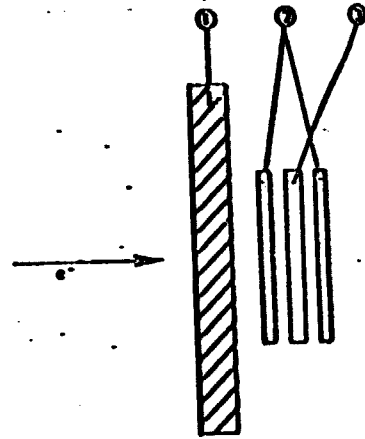
Méthode mise en oeuvre	Nombre de laboratoires participants	Nombre de déterminations réalisées	Teneur moyenne correspondante ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ecart-type ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Fusion carburante sous gaz inerte à 2000°C - bain Pt	1	36	31	2
Fusion carburante sous gaz inerte à 2400°C - bain Pt	5	44	34	3
Fusion sous vide à 2200°C - bain Pd	1	16	30	2
Kjeldahl	1	10	32	1
Activation aux deutons $^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$	1	13	31	4
Activation aux protons (1) $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$	1	13	34	1

(1) Nos résultats.

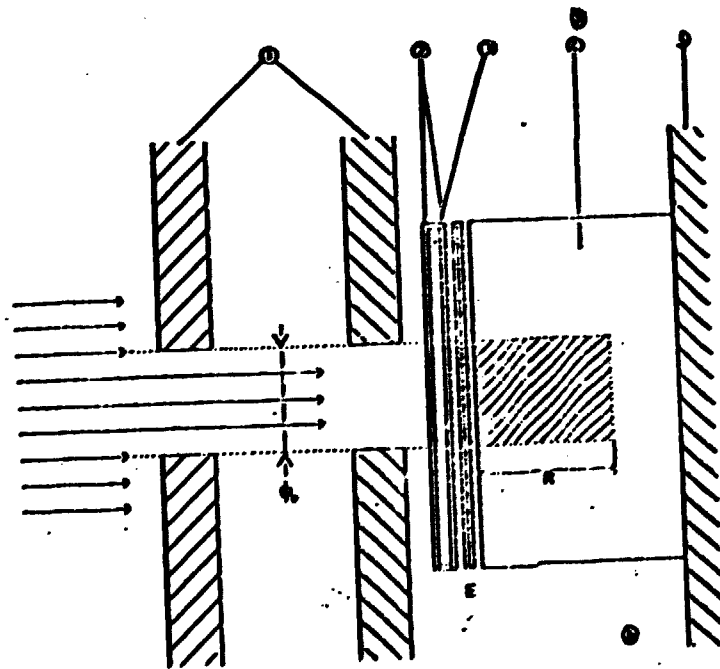
LEGENDES DES FIGURES

Figures n°

- 1
- a- Position des étalons en graphite de part et d'autre de l'échantillon analysé, derrière la cible de conversion, lors de la détermination du carbone par activation aux photons γ .
- b- Disposition relative des diaphragmes limitant l'aire d'irradiation, du moniteur de flux, des écrans absorbants en aluminium permettant de réduire l'énergie des particules incidentes, et du matériau analysé (son épaisseur est supposée plus grande que le parcours R des projectiles) lors du dosage de l'azote par activation aux protons.
- 2
- Schéma descriptif de l'appareillage utilisé pour séparer le carbone-11 dans le zirconium par combustion.



- 1 Cible de conversion en Pt
- 2 Etalons
- 3 Echantillon



- 1 Diaphragmes
- 2 Feuilles Al
- 3 Moniteur
- 4 Echantillon
- 5 Plaque de cuivre percées par une circulation d'air
- E Ecran absorbant
- R Parcours des protons dans la cible

Figure 1

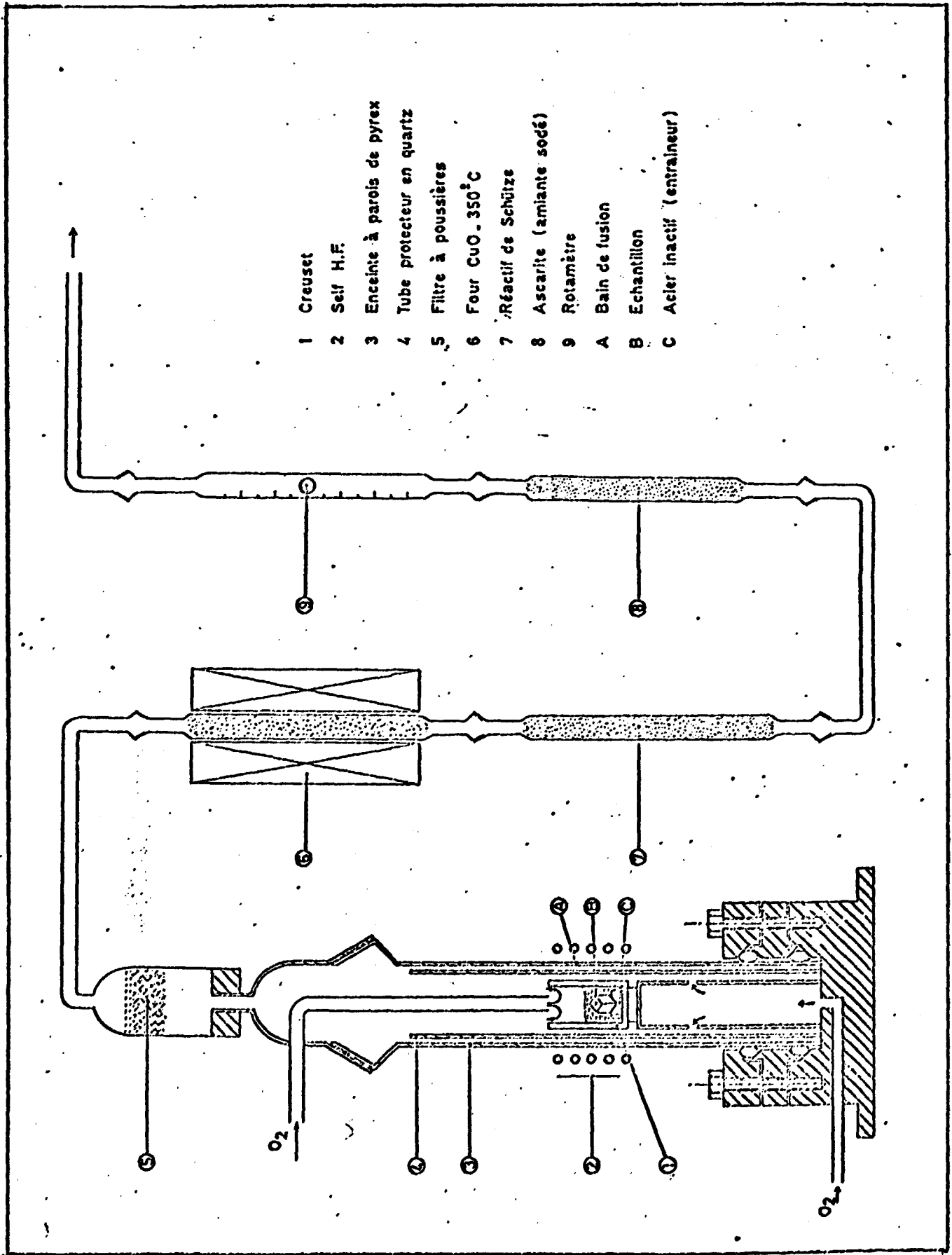


Figure 2