

ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DES EAUX DE LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE PAR SPECTROMÉTRIE GAMMA *IN SITU*

par Roger CHESSELET et Daniel NORDEMANN

RÉSUMÉ

La spectrométrie gamma appliquée *in situ* est une méthode directe de détection et de dosage de noyaux radioactifs émetteurs gamma d'origine naturelle ou artificielle contenus dans l'eau de mer.

Les conditions de mise en œuvre sont décrites à propos des expériences effectuées à partir du navire océanographique « Calypso » en juillet 1961 et août 1962.

Les performances de l'installation sont connues : le rendement pour un émetteur gamma uniformément réparti dans le milieu infini entourant le détecteur est de 32 coups par heure par picocurie par litre (pour la détection photo-électrique du potassium 40); la sensibilité a été évaluée récemment à 2 picocuries par litre.

Les spectres gamma obtenus au cours de ces campagnes sont analysés.

Les concentrations de l'eau de mer en zirconium 95 — niobium 95 ont été mesurées en différents points : des valeurs comprises entre 2 pCi/l et 8 pCi/l ont été obtenues entre 100 m et 0 m de profondeur d'immersion du détecteur. Les taux de retombées en zirconium 95 — niobium 95 étendus au bassin méditerranéen, d'après des mesures effectuées sur les retombées collectées d'octobre 1961 à juillet 1962, sont en accord avec ces concentrations.

ABSTRACT

In situ γ spectrometry is a method of the direct detection and counting of natural or artificial γ emitter nuclei in sea-water.

Applications of the method during experiments made on board the O.V. "Calypso", in the Mediterranean Sea (July 1961 and August 1962) are discussed.

The performances of the equipment are known : the counting rate for a γ emitter uniformly distributed in an infinite medium surrounding the detector, is the 32 counts per hour/ μ curie per liter (photoelectric detection of potassium 40). Sensitivity has been recently estimated at 2 μ curie/liter.

The γ spectra obtained during these cruises are analysed : concentrations in sea-water zirconium 95 — niobium 95 have been measured during different oceanographic stations : values between 2 μ Ci/l and 8 μ Ci/l have been found from 100 meters to 0 meter for depth of detector location.

Fall-out zirconium 95 — niobium 95 for the Mediterranean basin, measured from fall-out samples from October 1961 to July 1962 is in complete agreement with these concentration in sea-water.

INTRODUCTION

- I — Mesures effectuées en juillet 1961, mouvement propre des sondes, rendements de détection et sensibilité.
- II — Mesures effectuées en août 1962, des concentrations de l'eau de mer en zirconium 95 — niobium 95, émetteurs radioactifs artificiels des retombées atmosphériques.

Conclusion.

Bibliographie.

La nécessité de connaître les lois qui régissent la répartition des émetteurs radioactifs naturels dans la mer et la contamination de celle-ci due au développement des techniques nucléaires, conduit à la mise au point de méthodes propres à effectuer des mesures nombreuses de la radioactivité de la mer.

En outre, le développement des méthodes de détection nucléaire apporte des moyens d'investigation nouveaux et puissants dans le domaine des études océanographiques; identification des masses d'eau, mesure de leur « âge »; étude du métabolisme de nombreux éléments dans les plantes et les animaux marins, etc.

La spectrométrie gamma directe de l'eau de mer, c'est-à-dire sans traitement préalable de l'échantillon (tel que concentration, extraction, etc.) permet de détecter et de doser les principaux nuclides radioactifs présents dans l'eau de mer. En effet, une partie importante d'entre eux sont émetteurs de rayonnement gamma (CHESSELET R., GRJEBINE T., LAMBERT G., NORDEMANN D., 1961) et la spectrométrie gamma permet de caractériser chaque émetteur gamma par un ou plusieurs « pics photoélectriques » répartis dans un « spectre gamma ».

On sait que la connaissance des rendements de détection et des mouvements propres des détecteurs en fait une méthode quantitative de dosage des isotopes radioactifs, fondée sur l'évaluation de l'aire de chaque pic photoélectrique, proportionnelle à l'activité spécifique de chaque émetteur placé au voisinage de détecteur. Cette méthode est d'un usage courant en laboratoire (SIEGBHAN K., 1955, CROUTHAMEL C., 1960, JULLOT C., 1960) et est appliquée en général aux mesures d'activités des sources compactes ou ponctuelles.

L'application de cette méthode à la détection d'émetteurs uniformément répartis en volume dans un milieu ambiant quelconque entourant le détecteur est possible (DOMINGO V. et NORDEMANN D., 1961) et conduit à la détection *in situ* des nuclides émetteurs gamma de l'eau de mer : il suffit de plonger dans celle-ci une sonde contenant la partie détectrice du spectromètre gamma.

Une première série de mesures par spectrométrie gamma *in situ* avait été réalisée en août 1960, dans l'Océan Atlantique, au large des côtes bretonnes et espagnoles, au moyen d'un appareillage simple. L'utilisation d'appareils plus complexes et plus précis, et une connaissance plus poussée des lois physiques régissant les phénomènes de détection ont permis d'effectuer, en mai 1961, une campagne expérimentale à bord du navire océanographique « Thalassa » (CHESSELET R. et NORDEMANN D. 1962).

Dans le but de préciser certains points (mouvement propre des sondes, identification des émetteurs détectés), une seconde campagne de mesures de spectrométrie gamma a été effectuée en juillet 1961, à bord du N.O. « Calypso », au cours d'une mission de géologie sous-marine effectuée en Méditerranée occidentale par le Professeur J. BURCART.

Une troisième campagne a été effectuée en août 1962, toujours en Méditerranée occidentale à bord du N.O. « Calypso », dans des conditions comparables à la précédente. La reprise des essais nucléaires dans l'atmosphère en septembre 1961 et la connaissance des retombées radioactives dans cette région ont permis d'envisager puis de réaliser la détection directe *in situ* de certains nuclides radioactifs artificiels, présents dans l'eau de mer et provenant des retombées.

I. — Mesures effectuées en juillet 1961. Mouvement propre des sondes. Rendements de détection et sensibilités.

Un des principaux buts visés consistait à comparer la radioactivité gamma des eaux de la Manche à celles de la Méditerranée occidentale.

En effet, les teneurs en éléments radioactifs de ces deux bassins sont, a priori, différentes : salinité plus élevée en Méditerranée, conduisant à une richesse plus grande en potassium-40, régimes de retombées d'origine atmosphérique différents, apports d'origine industrielle également différents.

Il convenait donc d'envisager selon l'état de reproductibilité des spectres, l'évaluation de la sensibilité de la méthode et éventuellement l'exploitation des différences constatées.

Au cours de cette première campagne en Méditerranée occidentale, nous avons utilisé la même sonde que lors de la campagne effectuée dans la Manche à bord du N.O. « Thalassa » en mai 1961 (sonde équipée d'un cristal détecteur d'iodure de sodium activé au thallium de 10 cm × 8 cm).

Un spectre gamma *in situ* a été effectué, sensiblement à mi-chemin entre Nice et la Corse, par 42° 29' N et 6° 41' 8 E à une profondeur de mesure de — 50 m, par mer calme et vent nul, le navire ayant été mis en dérive.

On a pu observer l'allure très comparable des deux spectres gamma représentés sur la figure 1.

Lorsque l'on compare les spectres ainsi obtenus, il convient de remarquer en premier lieu que le taux de comptage dans le pic photoélectrique du potassium-40 (à 1,46 MeV) du spectre des eaux méditerranéennes est sensiblement plus important que le taux de comptage correspondant dans les eaux de la Manche.

La connaissance du rendement de détection photoélectrique (1) en milieu homogène émetteur absorbant et infini (CHESSELET R., COLLIAUX R., LAMBERT G., NORDEMANN D., 1962) permet à partir d'une mesure de spectrographie gamma de calculer la teneur en potassium des eaux analysées. Cette teneur étant aisément connue par d'autres méthodes d'analyse, les données acquises sur les détections *in situ* peuvent être ainsi contrôlées avec précision.

Étalonnage pour le potassium-40.

La valeur du rendement de l'installation, pour le comptage du potassium-40 (CHESSELET R., GRJEBINE T., LAMBERT G. et NORDEMANN D., 1962) est 32 coups par heure par picocurie par litre. Ceci représente, pour des teneurs habituelles en potassium-40 dans l'eau de mer (HARVEY H.W., 1949, SVERDRUP H.U., JOHNSON M.W. et FLEMING R.H., 1946) des taux de comptage tels que l'erreur commise dans la mesure est de l'ordre de 10 pour 100 pour une mesure d'une heure et de 8 pour 100, 5 pour 100 et 4 pour 100 respectivement pour des mesures de 2, 4 et 8 heures.

Teneur en potassium-40 dans la Manche et dans la Méditerranée.

D'après les valeurs numériques correspondant aux spectres présentés et les taux de comptage respectifs dans le pic photoélectrique du potassium-40 à 1,46 MeV, dont la largeur est sensiblement égale à 100 keV, soit trois canaux du sélecteur d'amplitude utilisé — on a pu déduire les teneurs en potassium (tabl. 1).

(1) C'est-à-dire le rapport du taux de comptage représentant le pic photoélectrique considéré (exprimé par exemple en impulsions, par heure, ou coups par heure, cph) au nombre de désintégrations par unité de temps et par unité de volume du milieu (entourant le détecteur) et exprimé par exemple en désintégrations par heure et par litre dph/l ou en picocurie par litre pCi/l, sachant que 1 pCi = 3,7 · 10⁻² dps = 133 dph.

En supposant le rapport isotopique potassium-40/potassium constant dans les différentes eaux, on voit que, dans les eaux méditerranéennes, la concentration en potassium est sensiblement de 5 pour 100 supérieure à celle des eaux de la Manche. Ceci ne peut être pris que comme une confirmation de faits connus et non comme une mesure précise, qui, nous l'avons vu, n'était pas réalisable avec les temps de mesures utilisés.

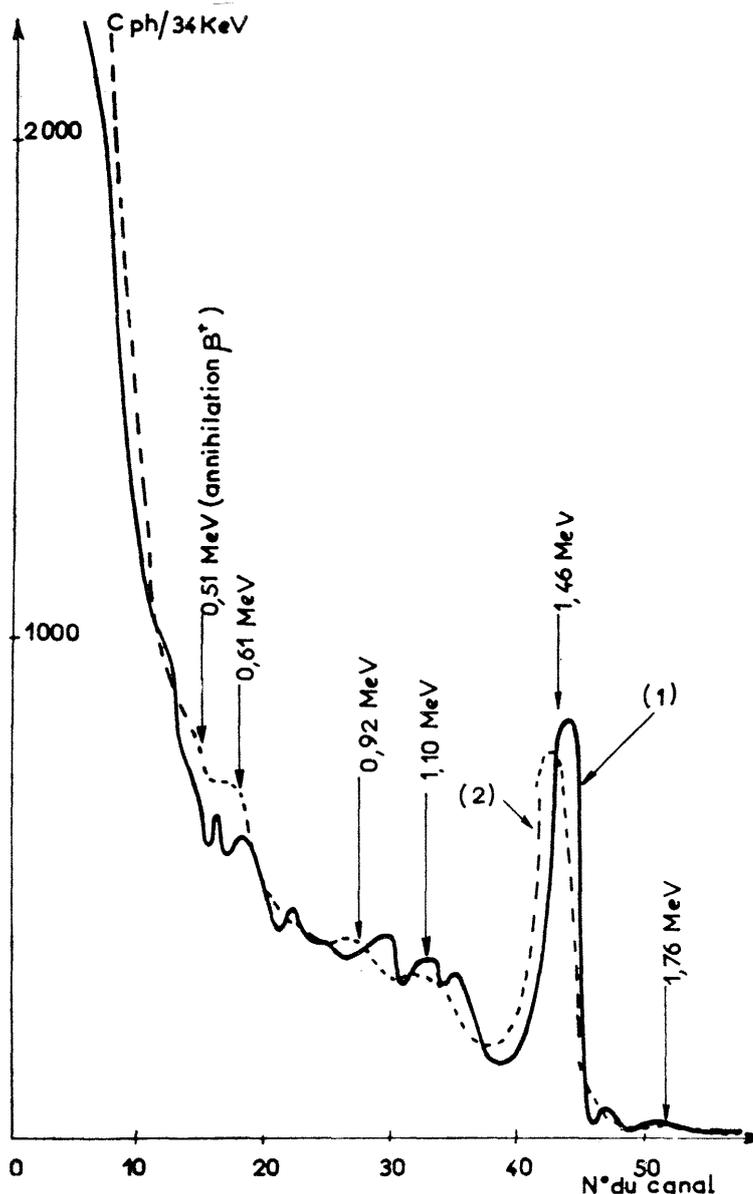


FIG. 1. — Spectres γ d'eau de mer in situ (1) Méditerranée entre Nice et la Corse (« Calypso » - juillet 1961); (2) côtes de Bretagne (« Thalassa » - mai 1961). Durée de mesure 1 heure; cristal NaI (Tl) quartz et silice, 10 cm \times 8 cm; sélecteur S.A.M. 60, S.A.I.P.; largeur du canal 34 KeV; résolution 8 p. 100 (pour K^{40}).

Par ailleurs, les différents spectres présentent tous une tendance à la présence d'autres pics aux énergies suivantes : 0,61 MeV, 0,91 MeV, 1,08 MeV, 1,15 MeV, 1,75 MeV et 2 MeV. Malgré la faible hauteur relative de ces pics, ils permettent néanmoins de supposer que l'instal-

lation est proche de la limite de détection pour un ou plusieurs autres émetteurs. Ces pics peuvent actuellement être attribués au bismuth-214 (radium C), descendant du radium et du radon, présents, d'une part dans le verre du photomultiplicateur (contribution au mouvement propre) et d'autre part dans la mer. Les parts respectives de ces deux contributions ont pu être évaluées (la contribution de l'eau de mer ne représente que 10 pour 100 de la contribution totale).

Lieu de mesure	Taux de comptage potassium-40* (cph)	Activité potassium-40 (pCi/l)	Teneur en potassium (mg/l)
Méditerranée	2 045	35,6	398
Manche	1 995	34,0	380

* y compris le bruit de fond du détecteur.

TABEAU I

En juillet 1961, d'après les spectres obtenus, il n'était pas possible d'attribuer aux émetteurs gamma d'origine artificielle (zirconium-95 — niobium-95, ruthénium-106 — rhodium-106 césium-137, cérium-144 — praséodyme-144, ...) une part décelable de la radioactivité totale observée. Ceci était valable avant la reprise des tests nucléaires atmosphériques en septembre 1961.

II. — Mesures effectuées en août 1962 des concentrations de l'eau de mer en zirconium-95, niobium-95, émetteurs radioactifs artificiels des retombées atmosphériques.

Au mois d'août 1962, onze mois après la reprise des tests nucléaires dans l'atmosphère, l'importance des retombées d'origine atmosphérique et la mise au point de la méthode qui vient d'être décrite ont permis d'envisager une étude sur le comportement de quelques émetteurs à vie moyenne, conduisant ainsi au début de l'analyse du bilan général des produits retombés et présents dans l'eau de mer.

Lors d'une courte campagne à bord du N.O. « Calypso », en Méditerranée occidentale, nous avons effectué différentes mesures de spectrométrie gamma *in situ* de l'eau de mer. Elles visaient d'une part à contrôler les performances de l'installation et d'autre part à appliquer, le cas échéant, les premiers résultats obtenus à l'évaluation du bilan général pour un ou deux produits de fission.

D'après l'étude du pic photoélectrique commun (0,76 MeV), les concentrations suivantes en zirconium-95 et niobium-95 ont pu être observées, à 70 milles nautiques dans le nord-est de Minorque, à 120 milles nautiques de la côte française (41°5 N 6°3 E) (tabl. 2).

Profondeur (en m)	Zr 95 + Nb 95	Remarques
— 10	2,0 pCi/l ± 2 pCi/l	limite de détection
— 50	1,9 » ± 2 »	»
— 50	1,7 » ± 2 »	»
— 100	1,2 » ± 2 »	»

TABEAU 2

Profondeur (en m)	Zr 95 + Nb 95
— 0	7,9 pCi/l ± 2 pCil
— 10	5,6 pCi/l ± 2 pCil
— 20	6,4 pCi/l ± 2 pCil
— 30	7,1 pCi/l ± 2 pCil

TABEAU 3

Par ailleurs, une série de spectres ont été obtenus à l'extrémité sud de la baie des Anges, face à l'embouchure du Var, à 3,5 milles nautiques de la côtes (tabl. 3).

En dépit de la grande imprécision relative, il est possible de tirer argument de l'excellente reproductibilité des spectres obtenus, heure par heure, pour considérer comme valables les résultats ci-dessus, et dans tous les cas, pouvoir admettre la présence de zirconium-95 — niobium-95.

Quand on considère les concentrations des eaux de mer en produits ayant pour origine un apport atmosphérique, il est nécessaire de tenir compte d'une différence d'identité entre les eaux dites de surface et les eaux profondes. En effet, malgré l'homogénéité globale du milieu océanique, il convient de considérer deux volumes distincts qui partagent la masse des eaux en une « troposphère océanique » et en une « stratosphère océanique », la frontière entre ces masses d'eaux étant formée par une couche de transition ou thermocline qui « constitue, avant tout, une barrière contre tous les processus turbulents » (DEFANT A., 1961, REVELLE R. *et al.*, 1956). La couche supérieure est directement intéressée par les phénomènes qui ont lieu à la surface de la mer, elle est homogène en salinité et en température alors que, sous le thermocline, l'on rencontre des stratifications durables, la température décroissant lentement avec l'augmentation de la profondeur.

Dans la plupart des cas, on s'accorde pour prendre un modèle simplifié tenant compte de ces deux volumes distincts. La profondeur moyenne où se trouve la limite entre les deux volumes est environ de — 100 m pour l'ensemble des mers (DEFANT A., 1962) ceci étant valable, en moyenne, pour la Méditerranée (ALIVERTI G., 1959).

En dépit de la simplification extrême que le modèle des deux volumes distincts introduit et qu'il faut garder présente à l'esprit, il est justifié dans bien des cas de prendre cette profondeur de 100 m comme profondeur de mélange, pour un laps de temps court et pour des produits arrivant à la surface sous forme de retombées d'origine atmosphérique (GOLDBERG E.D., 1962).

Au moyen de ces considérations sur la répartition homogène observée dans la couche des eaux située au-dessus du thermocline, dont la profondeur est en moyenne estimée à — 100 m, il est possible d'évaluer à partir de la concentration moyenne de 2 pCi/l, rencontrée dans la mer, la totalité de l'injection jusqu'en juillet 1962 en zirconium-95 — niobium-95 d'origine atmosphérique : la valeur ainsi obtenue est de l'ordre de 200 mCi/km².

Dans le but de confronter cette valeur avec celles des concentrations effectivement mesurées pour les retombées en zirconium-95 — niobium-95, nous avons alors mesuré au moyen d'un ensemble de spectrométrie gamma à très haute sensibilité, les zirconium-95 — niobium-95 accumulés dans les collecteurs de retombées atmosphériques (réseau C.R.A.P.A.L.) (JEHANNON C. *et al.* 1958, GRJEBINE T., LAMBERT G. 1961), pendant une année pour les stations du bassin méditerranéen.

Ces mesures, intégrant les retombées jusqu'en juillet 1962 ont donné les concentrations portées au tableau 4.

Station	Zr 95 + Nb 95 (insoluble et soluble)
Marignane	206 mCi/km ²
Monaco	218 mCi/km ²
Ajaccio	115 mCi/km ²
Nice	195 mCi/km ²
Alger	198 mCi/km ²

TABLEAU 4

Il y a donc un accord certain entre les valeurs des injections en zirconium-95 — niobium-95 mesurées directement sur les collecteurs de retombées atmosphériques et celle que l'on peut déduire des concentrations en zirconium-95 — niobium-95 de l'eau de mer, mesurées *in situ* et confrontées avec les hypothèses couramment admises en océanographie.

Par ailleurs, afin de connaître le rôle éventuel d'un vecteur constitué par de la matière organique ou inorganique, ayant absorbé ou adsorbé les zirconium-95 — niobium-95 et capable de transgresser la barrière du thermocline, nous avons filtré au cours de la même campagne 2 000 litres d'eau de mer, prélevée *in situ*, par — 10 m et filtrée sur filtre Millipore de 0,45 μ de porosité.

Les mesures sur l'ensemble de ces filtres montrent une activité gamma imputable au zirconium-95 — niobium-95 de 15.10^{-3} pCi/l. On voit ainsi que la radioactivité en zirconium-95 — niobium-95, portée par les particules solides, d'une dimension supérieure à $0,45 \mu$ ne représente probablement que 1 pour 100 environ de la radioactivité en ces émetteurs de l'eau de mer.

Ces mesures sont à comparer avec les activités trouvées par CERRAI (1962) et qui obtenait une valeur de $0,6.10^{-3}$ pCi par litre d'eau de mer pour l'activité bêta totale du plancton récolté en 1962 sur les côtes italiennes. Ces valeurs faibles en regard de la radioactivité totale contenue dans l'eau de mer peuvent être partiellement expliquées par l'état physicochimique du zirconium et du niobium, présents dans l'eau de mer sous forme anionique, difficilement adsorbable (1) de $Zr(OH)_8^{4-}$ et $Nb(OH)_8^{3-}$ (GOLDSCHMIDT V.M., 1958).

Conclusion.

Onze mois après la reprise des tests nucléaires atmosphériques, l'eau de mer de la Méditerranée occidentale présente des concentrations en zirconium-95 — niobium-95 qu'il est possible de mesurer au moyen de la méthode de spectrométrie gamma appliquée *in situ*. Bien que ces concentrations soient faibles (de l'ordre de 0,6 pour 100 de la concentration totale en émetteurs naturels de l'eau de mer) des possibilités nouvelles d'exploitation de ce traceur radioactif introduit involontairement par les retombées atmosphériques apparaissent. Selon l'endroit, il est possible d'observer des gradients appréciables de concentrations, la proximité en temps et l'irrégularité des phénomènes d'injection (CHESSELET R., DUSSART B., NORDEMANN D., 1963) des retombées dans le milieu marin, n'ayant pas encore conduit à l'homogénéisation totale. Les émetteurs gamma détectables peuvent donc être utilisés pour l'établissement de bilans fragmentaires ou totaux en ces produits, pour l'évaluation des temps de résidence dans les masses d'eaux, ainsi que pour les processus de mélange, etc.

Pour ces études, la méthode de spectrométrie gamma apparaît comme une méthode particulièrement adaptée : cette méthode appliquée *in situ*, sans aucun traitement chimique, dont le dépouillement est réalisable à bord, permet éventuellement en cours de mission, la réorganisation du programme en fonction des résultats obtenus. Cette condition est essentielle pour l'adaptation immédiate de l'investigation à une répartition en émetteur particulièrement évolutive dans le temps (nouvelles injections, décroissances nucléaires) et dans l'espace (mouvement des masses d'eau et du thermocline).

Une nouvelle voie, conduisant ainsi à un grand nombre d'études et d'applications, est donc ouverte dans ce domaine de la Géophysique.

*Service d'Electronique physique C.E.N. Saclay.
Centre des Faibles radioactivités. C.N.R.S. Gif-sur-Yvette.*

BIBLIOGRAPHIE

- ALIVERTI (G.), 1959. — Disposal of Radioactive Wastes, Monaco, A.I.E.A., **2**, p. 249.
AUBERT (M.), CHESSELET (R.) et NORDEMANN (D.), 1962. — Mesures de radioactivité α , β et γ effectuées sur des échantillons de plancton et d'algues prélevés en Méditerranée, dans la zone côtière de la ville de Nice. — *Cab. C.E.R.B.O.M.*, Nice, **2**, p. 23-41.

(1) Sous cette forme, le zirconium-95 et niobium-95 peuvent participer au métabolisme du plancton en suivant le comportement d'anions de structure comparable (LOWMAN F.G., 1959). Des facteurs d'enrichissement considérables peuvent ainsi être trouvés (TIMOFEEV - RESOVSKII N.V. *et al.* 1960, AUBERT M., CHESSELET R., NORDEMANN D., 1962) mais la pauvreté relative en plancton des eaux étudiées contribue à la faible participation globale du plancton en tant que vecteur de la radioactivité de l'eau de mer.

- BOURCART (J.) et ROS (J.), 1962. — Sur le remplissage de la Méditerranée occidentale. — *C.R. Acad. Sci.*, **254**, p. 2897-2901.
- BOWDEN (K.F.), 1962. — In "The Sea". — *Interscience Publ.*, **1**, p. 802.
- CERRAI (E.), PELATI (L.), SCHREIBER (B.) et TRIULZI (C.), 1962. — Mesure di radioattività di campioni di zoo-plancton del Mare Adriatico e del Mar Ligure pescati fra il maggio 1961 ed il gennaio 1962. — *Energia nucleare*, **9** (3), p. 173-175.
- CESSELET (R.), COLLIAUX (R.), LAMBERT (G.) et NORDEMANN (D.). — Étude expérimentale et calculs théoriques de l'effet d'absorption du rayonnement gamma en milieu source homogène absorbant. — *Rapport DE/SEP* (en préparation).
- CESSELET (R.), GRJEBINE (T.), LAMBERT (G.) et NORDEMANN (D.), 1961. — Identification directe des nuclides radioactifs dans l'eau de mer par spectrographie gamma. Océanographie géologique et géophysique de la Méditerranée Occidentale. — C.N.R.S., Villefranche-sur-Mer.
- 1962. — Spectrométrie gamma de l'eau de mer. — *Rapport DE/SEP-1568*, p. 198.
- CESSELET (R.) et NORDEMANN (D.), 1962. — Spectrométrie gamma « in situ » de l'eau de mer et de boues alluvionnaires de la Manche (Mesures effectuées à bord du navire océanographique « Thalassa » en mai 1961). — *Rapport DE/SEP/1563*, p. 194, *Bull. Inf. sci. et tech.*, **64**.
- 1962. — Spectrométrie gamma « in situ » des eaux de la Méditerranée Occidentale. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, **24**.
- CESSELET (R.), DUSSART (B.) et NORDEMANN (D.), 1963. — Recherche des possibilités de détermination par détection nucléaire des coefficients de diffusion et des courants dans les eaux naturelles. — *Colloque sur l'emploi des radioisotopes en hydrologie*, Tokyo, A.I.E.A.
- CROUTHAMEL (C.E.), 1960. — Applied Gamma-ray spectrometry. — PERGAMON Press.
- DEFANT (A.), 1961. — Physical Oceanography. — PERGAMON Press.
- DOMINGO (V.) et NORDEMANN (D.), 1961. — Étude de la détection directe du césium 137 en milieu aqueux. — *Rapport DE/SEP/1477-182*.
- GOLDBERG (E.D.), 1962. — Geochronology with lead 210. — *Symposium on radioactive dating*, Athènes S.M. 33/5.
- GOLDSCHMIDT (V.M.), 1958. — Geochemistry. — CLARENDON Press.
- HARVEY (H.W.), 1949. — Chimie et biologie de l'eau de mer. — Presses Universitaires de France.
- GRJEBINE (T.) et LAMBERT (G.), 1961. — De la dynamique des transports des aérosols radioactifs au-dessus de la France. — *Geofisica pura e applicata*, Milano, III, **50**, p. 203.
- JEHANNO (C.), BLANC (A.), LALLEMANT (C.) et ROUX (G.), 1958. — Appareils récents et méthodes nouvelles pour la mesure de la concentration des produits radioactifs dans l'atmosphère. — *Second U.N. Int. Conf. Peac. Uses Atom. Energ.*, P/329.
- JULLIOT (C.), 1960. — Spectrographe gamma, Principes. Utilisations. — *Rapport C.E.A.* n° 1429.
- LOWMAN (F.G.), 1959. — Marine biological investigations at the Eniwetck Test Site — Disposal of Radioactive Wastes, Monaco, A.I.E.A., **2**, p. 105.
- REVELLE (R.), FOLSOM (T.R.), GOLDBERG (E.D.) et ISAACS (J.D.), 1956. — Nuclear Science and Oceanography. — *U.N. Int. Conf. Peac. Uses Atom. Energ.*, **13**.
- SIEGBAHN (K.), 1955. — Beta and gamma-ray spectroscopy. — *North Holland Pub. Co.*
- STROMINGER (D.), HOLLANDER (J.M.) et SEABORG (G.T.), 1958. — Table of isotopes. — *Rev. of Mod. Phys.*, **30** (2), p. 585-903.
- SVERDRUP (H.U.), JOHNSON (M.W.) et FLEMING (R.H.), 1946. — The Oceans — Prentice Hall.
- TIMOFEEV-RESOSKII (N.V.) et TIMOFEEVA-RESOVSKAIA (E.A.) *et al.*, 1960. — Coefficients d'accumulation des isotopes radioactifs de seize éléments différents par les organismes d'eau douce et influence du complexon EDTA sur certains d'entre eux. — *Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R.* **132** (5), p. 1191-1194 (Traduction C.E.A. n° R.1243).