

Dosage par spectrométrie gamma de l'iode 129 dans les échantillons biologiques marins et terrestres

Application à des algues prélevées le long des côtes de la Manche : *Fucus serratus* et *Laminaria digitata*

D. MARO*, D. HEBERT*, R. GANDON*, L. SOLIER**

(Manuscrit reçu le 19 janvier 1998, révisé le 17 mai 1998, accepté le 11 septembre 1998)

RÉSUMÉ

Une méthode radiochimique sélective de l'iode a été développée afin de mesurer ^{129}I (période $1,57 \times 10^7$ ans) par spectrométrie gamma à basses énergies dans les échantillons biologiques. Elle évite la mise en œuvre de moyens lourds (activation neutronique ou spectrométrie de masse par accélérateur). La méthode est basée sur l'extraction de l'iode des échantillons afin d'obtenir une matrice aqueuse standard ne contenant aucun agent d'atténuation du signal de ^{129}I autre que ^{127}I (stable). Le dosage de ^{127}I , en fin de radiochimie, permet une correction de cette atténuation et une prise en compte des fluctuations saisonnières du métabolisme de l'iode dans certaines espèces. Des mesures ont été réalisées dans deux algues marines (*Fucus serratus* et *Laminaria digitata*) prélevées en janvier et février 1997 dans une zone soumise aux rejets marins de l'usine de retraitement de La Hague. Pour les stations proches du point de rejet, les activités en ^{129}I sont de l'ordre de $60 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et de l'ordre de $300 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata*. À 300 km du point de rejets, les activités en ^{129}I sont de $10 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et de $171 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata*. Les concentrations en ^{127}I sont comprises entre 547 et $1\,232 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et entre $6\,624$ et $14\,296 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata* pour la période de prélèvements considérée.

* Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, Département de Protection de l'Environnement, Service d'Études et de Recherches sur les transferts dans l'Environnement, Laboratoire d'Études Radioécologiques de la Façade Atlantique (IPSN/DPRE/SERE/LERFA). - IPSN/DPRE/SERE/LERFA - rue Max Pol Fouchet - BP 10 - 50130 Octeville, France.

** Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, Département de Protection de l'Environnement, Service d'Études et de Recherches sur les transferts dans l'Environnement, Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement (IPSN/DPRE/SERE/LMRE).

ABSTRACT Iodine 129 measurements by gamma spectrometry in biological samples. Results in seaweeds (*Fucus serratus* et *Laminaria digitata*) from the English Channel.

A iodine selective radiochemistry method was developed to measure ^{129}I (period $1,57 \times 10^7$ years) by gamma spectrometry in biological samples. This method avoids using neutron activation analysis or accelerator mass spectrometry. The method is based on iodine extraction from samples in order to obtain an aqueous matrix with no attenuation agent except ^{127}I (stable isotope). The parallel determination of ^{127}I allows to correct ^{129}I measurements for self attenuation and also to monitor seasonal changes in iodine metabolism in biological species. Measurements were performed in two seaweed species (*Fucus serratus* and *Laminaria digitata*) sampled in the area of La Hague reprocessing plant discharge between January and February 1997. Samples from stations close to the point of release (Goury and Herquemoulin), showed ^{129}I activities around 60 Bq kg^{-1} dry weight in *Fucus serratus* and around 300 Bq kg^{-1} dry weight in *Laminaria digitata*. 300 km away from the release point, ^{129}I activities were 10 Bq kg^{-1} dry weight in *Fucus serratus* and 171 Bq kg^{-1} dry weight in *Laminaria digitata*. ^{127}I concentrations were between 547 and $1,232 \text{ mg kg}^{-1}$ dry weight in *Fucus serratus* and between 6,624 and $14,296 \text{ mg kg}^{-1}$ dry weight in *Laminaria digitata*.

1. Introduction

L'iode est un élément volatil présent naturellement dans les différents compartiments de l'environnement (OMS, 1987). Il joue un rôle biologique important dans l'organisme humain en tant que composé associé au fonctionnement de la glande thyroïde.

Il ne possède qu'un seul isotope stable, l'iode 127, qui est présent en grande quantité dans le milieu marin et plusieurs isotopes radioactifs dont l'iode 129 ($T_{1/2} = 1,57 \times 10^7$ ans) et l'iode 131 ($T_{1/2} = 8,02$ jours) (Lagoutine *et al.*, 1984).

Dans l'environnement, ces deux derniers isotopes proviennent des expérimentations d'armes atomiques, des rejets des centrales nucléaires et des installations de retraitement de combustibles irradiés. ^{131}I est aussi rejeté par les centres hospitaliers qui l'utilisent pour la détection et le traitement de certaines pathologies (hyperthyroïdie et cancer de la thyroïde).

Les rejets en ^{129}I dans l'environnement (sous formes liquide et gazeuse) sont en augmentation du fait de l'évolution des activités de retraitement des combustibles irradiés. Les principaux rejets en ^{129}I sont effectués par les usines de Sellafield en Grande Bretagne et de La Hague en France. L'augmentation des rejets et une longue période radioactive font de ^{129}I un radioisotope à étudier.

Les principales techniques utilisées pour la mesure de ^{129}I sont l'activation neutronique (Patti *et al.*, 1988) et la spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) (Raisbeck *et al.*, 1996) qui sont des moyens lourds et coûteux.

^{129}I , émetteur X et gamma de faible énergie ($< 40 \text{ keV}$) détectable par spectrométrie X et gamma, est difficilement mesurable dans les espèces biologiques par comptage direct, pour des problèmes d'auto-atténuation due à la présence à l'état de traces d'éléments de numéro atomique élevé (> 40) et plus particulièrement à celle de ^{127}I dans certains échantillons.

Le Laboratoire d'Études Radioécologiques de la Façade Atlantique (LERFA) et le Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement (LMRE) de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) ont développé une méthode de mesure liée à des techniques radiochimiques d'extraction de l'iode dans les matrices biologiques (herbes, algues, etc.) pour le comptage de ^{129}I par spectrométrie X et gamma. Après radiochimie, l'obtention d'une matrice liquide standard quelle que soit la nature de l'échantillon permet de pallier les variabilités dues à l'auto-atténuation des éléments autres que ^{127}I dans les matrices d'origine.

L'originalité de la méthode proposée consiste en la mise au point d'une méthode de purification de l'échantillon, pour extraire l'iode sous forme élémentaire, par extraction sélective en phase organique, suivie d'une extraction en retour en solution aqueuse pour comptage. Les composés minéraux interférents de la matrice hydrophile sont ainsi éliminés. L'auto-atténuation du signal de ^{129}I est alors limitée à la seule présence de ^{127}I dans l'échantillon purifié.

Les déterminations du rendement de l'opération de purification, d'une part, et de la teneur en ^{127}I , d'autre part, permettent d'appliquer les facteurs correctifs nécessaires à la mesure de ^{129}I .

Nous avons réalisé des mesures de ^{129}I sur des algues marines (*Fucus serratus* et *Laminaria digitata*) le long des côtes de la Manche dans une zone soumise à l'influence des rejets de l'usine de retraitement de La Hague.

2. Matériel et méthode

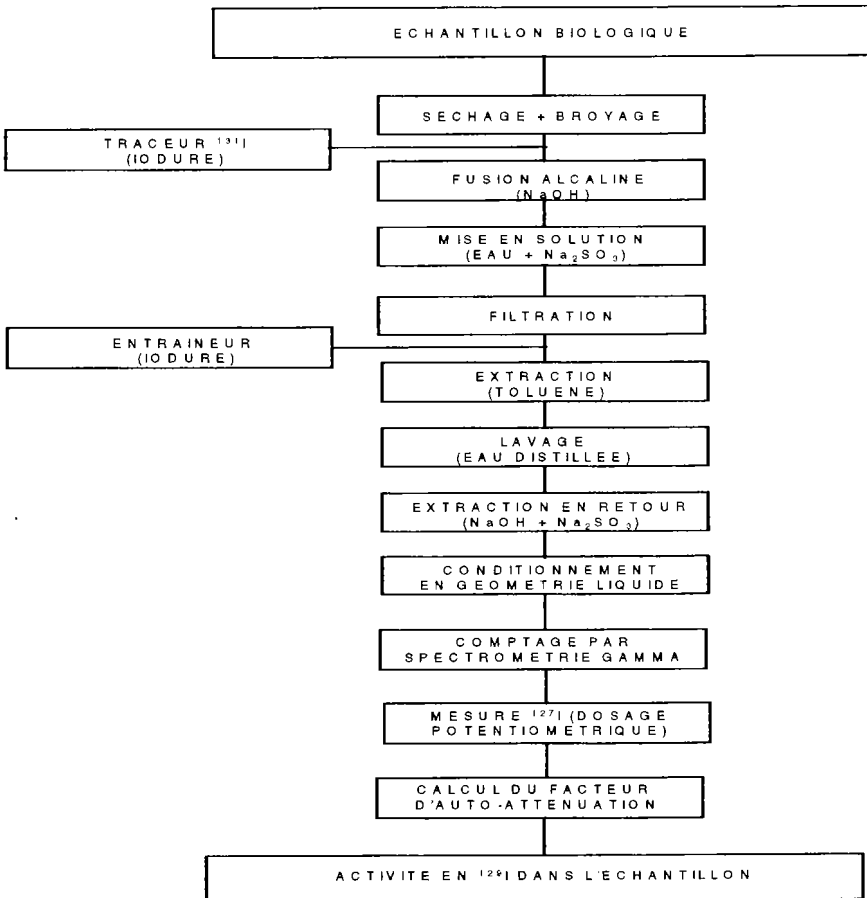
2.1 Principe de la méthode

Le principe de la méthode est basé sur l'extraction de l'iode des échantillons biologiques afin d'obtenir une matrice aqueuse standard ne contenant aucun agent d'atténuation du signal de ^{129}I autre que ^{127}I (Fig. 1).

Dans les échantillons biologiques, l'iode est associé à la matière organique. Pour en extraire l'iode, la matière organique est détruite en solution basique à haute température (fusion alcaline).

La fusion alcaline est suivie d'une mise en solution dans de l'eau distillée, d'une extraction en milieu acide dans un solvant organique, d'un lavage à l'eau distillée et d'une extraction en retour en milieu aqueux basique et réducteur (AIEA, 1968). La quantification de ^{129}I s'effectue par spectrométrie X et gamma.

Les rendements des différentes étapes de préparation de l'échantillon à mesurer sont déterminés à l'aide d'un traceur (^{131}I) introduit dans la solution de soude servant à la fusion alcaline. Au préalable, il faut s'assurer que l'échantillon ne contient pas de ^{131}I en quantité significative susceptible de perturber la détermination du rendement.



*Fig. 1 – Description des différentes phases d'extraction de l'iode des échantillons biologiques.
Different steps in iodine extraction from biological samples.*

Les mesures de ^{129}I sont réalisées sur les raies X à 30 keV (29,4 + 29,7 keV à 57,0 % de taux d'émission). La détermination de l'auto-atténuation due à la présence de ^{127}I (extrait simultanément avec ^{129}I) nécessite la connaissance de la concentration de cet élément dans la solution aqueuse de ^{129}I à mesurer.

Le dosage de ^{127}I est réalisé en fin de radiochimie par potentiométrie sur une aliquote de la solution à mesurer. De plus cette connaissance de la teneur en ^{127}I , pour les échantillons biologiques, permet de prendre en compte les fluctuations saisonnières des teneurs en ^{127}I liées au métabolisme des espèces considérées (particulièrement dans le domaine marin).

2.2 Description de la chaîne de mesures

2.2.1 Chaîne de spectrométrie gamma

La chaîne de spectrométrie gamma utilisée est composée d'un détecteur Germanium Hyper pur de type N (basses énergies) de 39 % d'efficacité relative et d'une électronique associée (ampli 7244 + codeur 7601 + THT 7161 + carte d'acquisition INTERFAST + logiciel INTERGAMMA version 5.4).

Le gain de l'amplificateur de la chaîne d'acquisition est réglé à 0,12 keV par canal sur 4 096 canaux dans le but de mieux visualiser les pics.

2.2.2 Étalonnage

La chaîne de spectrométrie gamma est étalonnée avec une solution aqueuse de ^{129}I sous forme d'iodure (géométrie 20 ml) avec une source du Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (LMRI) du Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

Une courbe d'auto-atténuation à une énergie de 30 keV, en géométrie liquide de 20 ml, a été réalisée en fonction de masses connues de ^{127}I (Fig. 2) compatibles avec les teneurs rencontrées en ^{127}I dans les échantillons de l'environnement. Elle permet d'obtenir une correction sur la mesure de ^{129}I par spectrométrie gamma.

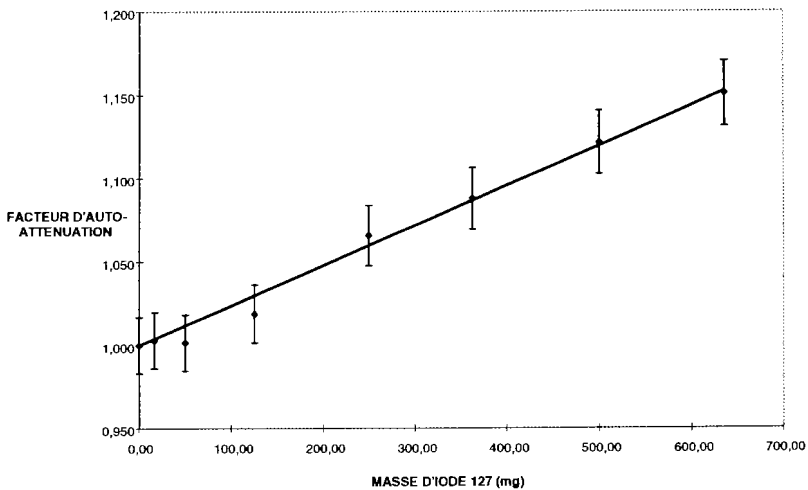


Fig. 2 – Variation du coefficient d'auto-atténuation à 30 keV en fonction de la masse ^{127}I dans la géométrie de comptage (20 ml liquide).

Self-absorption coefficient at 30 keV versus ^{127}I mass in counting geometry (20 ml liquid).

La mesure de ^{127}I , par dosage potentiométrique, est effectuée sur une aliquote de 1 ml de la solution finale après mesure gamma.

2.2.3 Limite de détection

La limite de détection obtenue avec le détecteur précédemment décrit est de 0,05 becquerel (Bq) dans l'échantillon pour une durée de mesure de 24 heures.

Pour une prise d'échantillon de 100 g sec et un rendement radiochimique de 100 %, la limite de détection sera alors de 0,5 Bq kg⁻¹ sec.

2.3 Description des différentes phases du traitement radiochimique

Les échantillons prélevés dans l'environnement sont séchés à une température ne dépassant pas 60 °C. Des tests pratiqués sur des échantillons marins et terrestres montrent l'absence de perte d'iode pour les températures de séchage inférieures ou égales à 60 °C.

Après broyage, une aliquote d'environ 100 g d'échantillon est ensuite pesée et mise dans un creuset de porcelaine avec 200 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH 5M) contenant le traceur ^{131}I (environ 1 Bq).

Le tout est porté par palier à une température de 550 °C maintenue pendant 4 heures. La matière organique est détruite et l'iode de l'échantillon s'associe au sodium pour former NaI.

À partir de ce stade, les différentes étapes de la purification reposent sur les données relatives aux formes chimiques de l'iode en solution aqueuse (Fig. 3) (Pourbaix, 1966).

Après refroidissement du creuset à la température ambiante, 300 ml d'eau distillée contenant un réducteur (1 g de Na₂SO₃) sont ajoutés pour stabiliser l'iode à l'état d'iodure. La solution est ensuite filtrée.

Pour les échantillons contenant peu de ^{127}I (herbe, par exemple), il est nécessaire d'ajouter un entraîneur sous forme d'iodure (environ 50 mg de ^{127}I) avant la phase d'extraction.

Puis, 100 ml de toluène sont ajoutés à la solution aqueuse filtrée. Après acidification à pH 2 par de l'acide nitrique (HNO₃ 6 M) l'iode reste à l'état d'iodure. L'iode est ensuite oxydé à l'état d'iode moléculaire (I₂) par ajout de nitrite de sodium (1 g de NaNO₂) pour être extrait par le toluène.

DOSAGE PAR SPECTROMÉTRIE GAMMA DE L'IODE 129

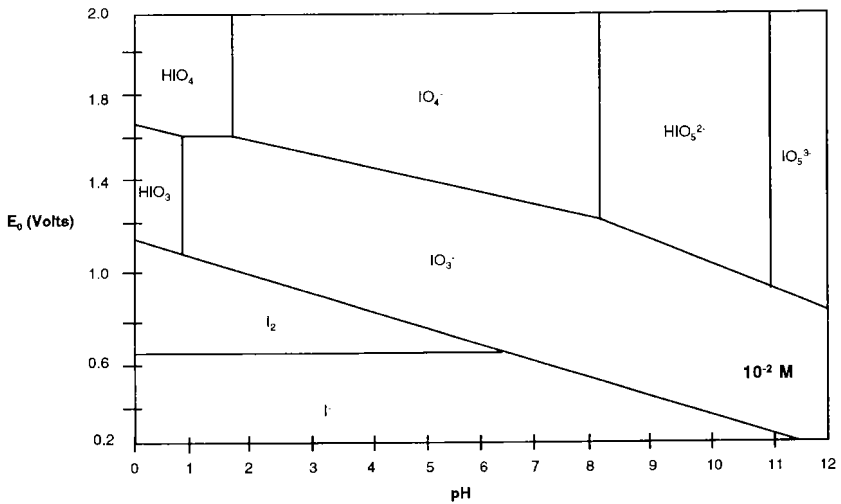


Fig. 3 – Diagramme potentiel-pH pour le système iode-eau, à 25 °C, pour une solution contenant 10^{-2} mole l^{-1} d'iode.

Potential-pH equilibrium diagram for the system iodine-water, at 25 °C, for solution containing 10^{-2} mole l^{-1} of iodine.

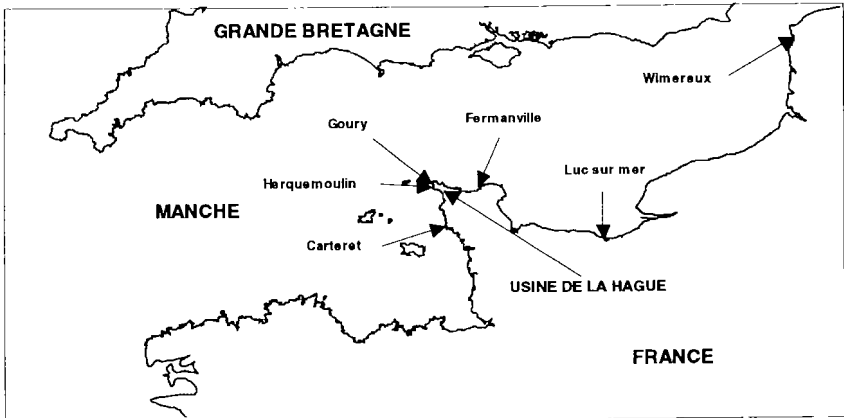


Fig. 4 – Stations de prélèvements des *Fucus serratus* et des *Laminaria digitata* en Manche.

Locations of *Fucus serratus* and *Laminaria digitata* samplings in the English Channel.

Les deux phases (organique et aqueuse) sont transférées dans une ampoule à décanter puis agitées jusqu'à extraction complète de l'iode. Les conditions de pH sont contrôlées à l'aide d'une électrode plongeant dans la phase aqueuse.

Lors de cette étape d'extraction, seuls les isotopes de l'iode passent en phase organique apolaire à l'état d'iode moléculaire. Les conditions de pH et d'oxydo-réduction ne permettent pas l'extraction des autres halogènes comme le brome.

La phase aqueuse est éliminée et la phase organique lavée avec de l'eau distillée. L'iode est extrait en retour de la phase organique à l'état d'iodure par 20 ml d'une solution réductrice de soude 0,1 M contenant 0,5 g de Na_2SO_3 . Les radioisotopes de l'iode sont mesurés dans cette géométrie.

Le rendement global des opérations de minéralisation, de solubilisation et d'extraction de l'iode (mesuré avec ^{131}I) est de l'ordre de 80 %. L'utilisation du traceur a permis de montrer dans la majorité des cas que l'iode restait piégé dans le résidu solide issu de la filtration (environ 19 %). Les pertes pendant les phases de purification (extraction, lavage et extraction en retour) sont de l'ordre de 1 %.

^{127}I contenu dans la solution finale est mesuré, après comptage par spectrométrie gamma de ^{129}I , sous forme iodure (I^-) par dosage potentiométrique du couple Ag/Ag^+ (précipitation de l'argent et de l'iode sous forme AgI) (Trémillon, 1993).

3. Résultats : répartition de ^{129}I en milieu marin dans deux algues (*Fucus serratus* et *Laminaria digitata*) le long des côtes de la Manche

Les prélèvements des deux algues (bio-indicateurs) ont été réalisés durant les mois de janvier et de février 1997 le long des côtes de la Manche entre les stations de Carteret et de Wimereux (Fig. 4) dans une zone géographique soumise aux rejets liquides en ^{129}I effectués par l'usine de retraitement de La Hague dans le milieu marin. Les espèces choisies sont *Fucus serratus* et *Laminaria digitata*.

L'éloignement de ces stations par rapport au point de rejets marins est de 5 km pour Herquemoulin et Goury, de 35 km pour Carteret, de 40 km pour Fermanville, de 130 km pour Luc sur Mer et de 300 km pour Wimereux.

Les résultats en ^{129}I et en ^{127}I sont présentés dans le tableau I et sur les figures 5 et 6.

Les activités en ^{129}I mesurées sont beaucoup plus élevées (Fig. 5) dans *Laminaria digitata* (au maximum 325 Bq kg^{-1} sec à Herquemoulin) que dans *Fucus serratus* (au maximum 65 Bq kg^{-1} sec à Herquemoulin) du fait du métabolisme de l'iode dans cette algue, ce qui est confirmé par la teneur en ^{127}I (Fig. 6). L'activité en ^{129}I exprimée en Bq kg^{-1} frais peut être obtenue en divisant les valeurs indiquées par le coefficient 4,7 pour *Fucus serratus* et 5,8 pour *Laminaria digitata*.

TABLEAU I
 Activité en ^{129}I ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ sec}$) et concentration en ^{127}I ($\text{mg kg}^{-1} \text{ sec}$) dans les échantillons
 de *Fucus serratus* et de *Laminaria digitata* en Manche.

^{129}I activity (Bq kg^{-1} dry weight) and ^{127}I concentration (mg kg^{-1} dry weight)
 in *Fucus serratus* and *Laminaria digitata* from the English Channel.

Nature	Lieu	Date	Activité ^{129}I ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ sec}$)	Concentration ^{127}I ($\text{mg kg}^{-1} \text{ sec}$)	Activité ^{129}I unité de masse ^{127}I ($\text{Bq }^{129}\text{I/g }^{127}\text{I}$)
<i>Fucus Serratus</i>	Wimereux	13/01/97	10,2 ± 1,6	729 ± 74	14,0 ± 2,6
<i>Fucus Serratus</i>	Luc sur mer	20/01/97	7,3 ± 1,2	547 ± 54	13,5 ± 2,6
<i>Fucus Serratus</i>	Fermanville	10/01/97	21,1 ± 3,0	797 ± 80	26,5 ± 4,7
<i>Fucus Serratus</i>	Goury	09/01/97	59,2 ± 7,6	1 063 ± 107	55,7 ± 9,1
<i>Fucus Serratus</i>	Herquemoulin	09/01/97	65,0 ± 8,1	738 ± 73	88,1 ± 14,0
<i>Fucus Serratus</i>	Carteret	10/01/97	14,6 ± 2,2	1 232 ± 125	11,9 ± 2,1
<i>Laminaria digitata</i>	Wimereux	13/01/97	171,2 ± 21,2	14 296 ± 1470	12,0 ± 1,9
<i>Laminaria digitata</i>	Fermanville	10/01/97	140,5 ± 17,8	7 487 ± 787	18,8 ± 3,1
<i>Laminaria digitata</i>	Goury	19/01/97	294,0 ± 34,1	7 017 ± 667	41,9 ± 6,3
<i>Laminaria digitata</i>	Herquemoulin	09/01/97	324,9 ± 37,1	7 880 ± 734	41,2 ± 6,1
<i>Laminaria digitata</i>	Carteret	07/02/97	75,9 ± 9,5	6 624 ± 654	11,5 ± 1,8

Les activités en ^{129}I mesurées à Wimereux dans *Fucus serratus* et *Laminaria digitata* sont respectivement de 10 et 171 $\text{Bq kg}^{-1} \text{ sec}$.

Les concentrations en ^{127}I sont comprises entre 547 et 1 232 $\text{mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et entre 6 624 et 14 296 $\text{mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata* pour la période de prélèvement considérée (mois de janvier et de février).

Le calcul de l'activité en ^{129}I par unité de masse de l'élément stable ($\text{Bq }^{129}\text{I/g }^{127}\text{I}$) dans les échantillons traités permet de comparer le comportement de l'iode dans les deux bio-indicateurs (Tab. I et Fig. 7).

Cette activité est plus importante dans *Fucus serratus* que dans *Laminaria digitata* au niveau de la station d'Herquemoulin, 88 $\text{Bq }^{129}\text{I/g }^{127}\text{I}$ dans *Fucus serratus*

et 41 Bq $^{129}\text{I/g}$ ^{127}I dans *Laminaria digitata*. Par contre, elles sont comparables à Carteret (12 Bq $^{129}\text{I/g}$ ^{127}I dans *Fucus serratus* et 12 Bq $^{129}\text{I/g}$ ^{127}I dans *Laminaria digitata*) et à Wimereux (14 Bq $^{129}\text{I/g}$ ^{127}I dans *Fucus serratus* et 12 Bq $^{129}\text{I/g}$ ^{127}I dans *Laminaria digitata*).

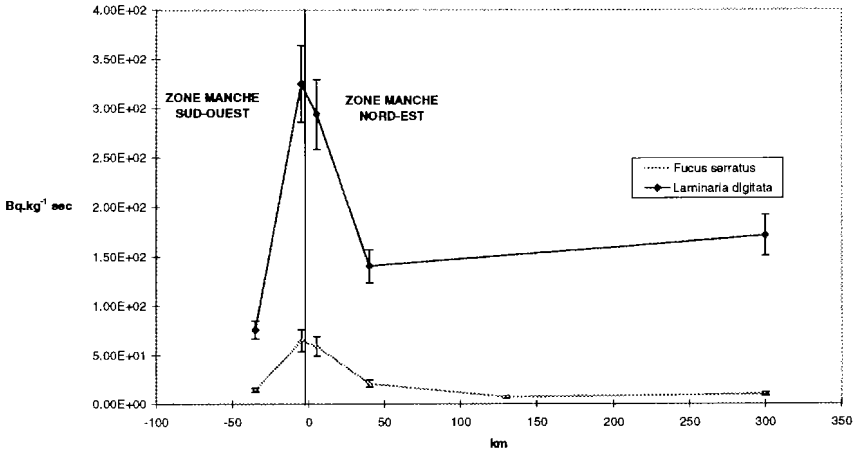


Fig. 5 – Évolution de l'activité en ^{129}I dans les algues ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ sec}$) en fonction de la distance du point de rejets liquides de l'usine de retraitement de La Hague.

^{129}I activity in seaweed (Bq kg^{-1} dry weight) versus distance to the point of release from La Hague reprocessing plant.

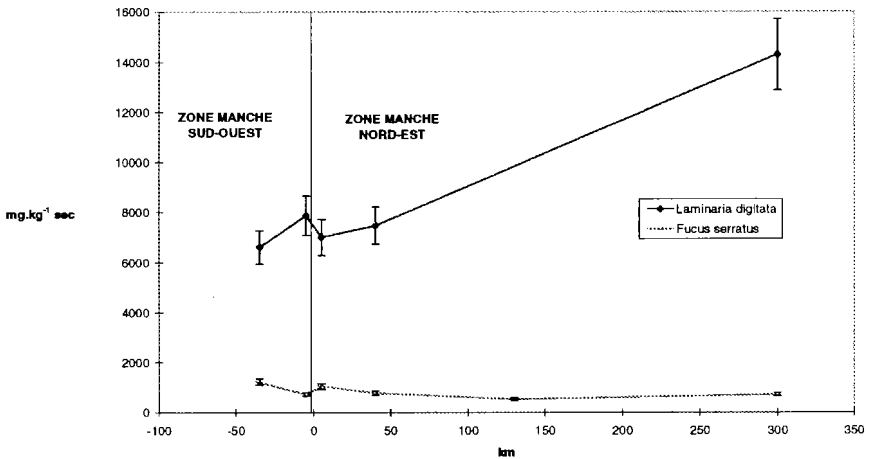


Fig. 6 – Évolution de la concentration en ^{127}I dans les algues ($\text{mg kg}^{-1} \text{ sec}$) en fonction de la distance du point de rejets liquides de l'usine de retraitement de La Hague.

^{127}I concentration in seaweed (mg kg^{-1} dry weight) versus distance to the point of release from La Hague reprocessing plant.

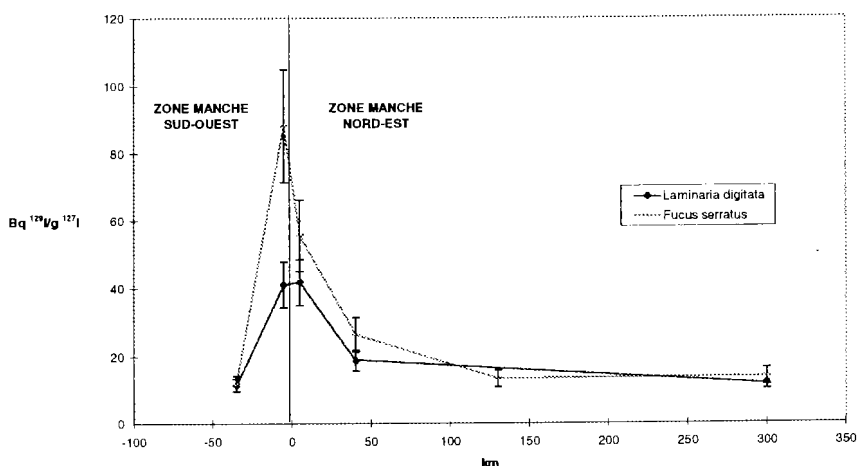


Fig. 7 – Évolution de l'activité en ^{129}I par unité de masse de l'élément stable ($\text{Bq } ^{129}\text{I/g } ^{127}\text{I}$) dans les algues en fonction de la distance du point de rejets liquides de l'usine de retraitement de La Hague.

Activity ($\text{Bq } ^{129}\text{I/g } ^{127}\text{I}$) in seaweed versus distance to the point of release from La Hague reprocessing plant.

Des prélèvements mensuels avec mesures des ^{129}I et ^{127}I dans ces deux bio-indicateurs devront permettre d'expliciter ces différences qui peuvent être dues aux positions des algues sur l'estran, au métabolisme de l'iode ou à d'autres causes.

4. Conclusion

La méthode radiochimique développée a permis de mettre au point la mesure de ^{129}I par spectrométrie X et gamma à basses énergies. Elle évite la mise en œuvre de moyens lourds comme les mesures par activation neutronique ou par spectrométrie de masse par accélérateur (SMA). Le principe de la méthode est basé sur l'extraction de l'iode des échantillons biologiques afin d'obtenir une matrice aqueuse standard ne contenant aucun agent d'atténuation du signal de ^{129}I autre que ^{127}I . Le dosage de ^{127}I par potentiométrie, en fin de radiochimie, sert à corriger la mesure de ^{129}I de l'atténuation due à ^{127}I dans la géométrie de comptage. De plus cette connaissance de la teneur en ^{127}I , pour les échantillons biologiques, permet de prendre en compte les fluctuations saisonnières des teneurs en ^{127}I liées au métabolisme des espèces considérées (particulièrement dans le domaine marin).

Notre protocole a été utilisé pour réaliser des mesures de ^{129}I et de ^{127}I dans deux algues marines (*Fucus serratus* et *Laminaria digitata*) prélevés aux mois de janvier et février 1997 dans une zone soumise aux rejets marins de l'usine de retraitement

de La Hague. Les résultats montrent que dans les stations proches du point de rejet (Goury et Herquemoulin), les activités en ^{129}I sont de l'ordre de $60 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et de l'ordre de $300 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata*. A Wimereux (300 km du point de rejets), les activités en ^{129}I sont de $10 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans les *Fucus serratus* et de $171 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ sec}$ dans les *Laminaria digitata*. Les concentrations en ^{127}I sont comprises entre 547 et $1\,232 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Fucus serratus* et entre 624 et $14\,296 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sec}$ dans *Laminaria digitata* pour la période de prélèvements considérée.

Cette méthode simple à mettre en œuvre va permettre d'améliorer la connaissance des transferts de ^{129}I liés aux différents termes sources (effluents liquides et gazeux) et à leurs modes de dispersion en mer et dans l'atmosphère.

RÉFÉRENCES

- AIEA (1968) *Méthodes d'analyses radiochimiques*. pp. 103-112. Ouvrage publié sous les auspices de l'AIEA, de la FAO et de l'OMS. Organisation Mondiale de la Santé. Genève.
- Lagoutine F., Cousol N., Legrand J. (1984) *Table des radionucléides 2*. Commissariat à l'énergie atomique - Bureau National de Métrologie - Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants. Paris.
- OMS (1987) *Critères d'hygiène de l'environnement 25. Quelques radionucléides (Tritium, Carbone 14, Krypton 85, Strontium 90, Iode, Césium 137, Radon et Plutonium)*. Programme international sur la sécurité des substances chimiques (IPCS). pp.101-128. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- Patti F., Garcet M., Jeanmaire L. (1988) Détermination de ^{129}I dans les eaux résiduaires industrielles et dans quelques échantillons biologiques prélevés sur les côtes françaises de la Manche : *Fucus serratus*, moules (*Mytilus Edulis*) et soles (*Solea - solea*). *Radioprotection*, **23**, 381-392.
- Pourbaix M. (1966) *Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solution*. pp. 621-623. Pergamon Press, Brussels.
- Raisbeck G.M., Yiou F., Zhou Z.Q., Kilius L.R., Kershaw P.J. (1996) Marine discharges of ^{129}I by nuclear reprocessing facilities of La Hague and Sellafield. *Radionuclides in the oceans, RADOc 96, 97, Cherbourg - Octeville*, Numéro spécial de *Radioprotection*, **32C2**, 91-95.
- Tremillon B. (1993) *Électrochimie analytique et réactions en solution - Tome 2 : Réactions et méthodes électrochimiques*. pp. 273-276. Masson, Paris, Milan, Barcelone.