PRESSIONS ET IMPACTS

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

PRESSIONS ET IMPACTS

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

JUIN 2012

PRESSIONS CHIMIQUES ET IMPACTS ASSOCIÉS

Introduction de radionucléides

Introduction de radionucléides dans le milieu marin et impacts

Pierre Boissery (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse) ;
Hervé Thébault (IRSN).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
Agence des aires marines protégées
Ifremer

Nota : les informations présentées dans cette synthèse sont issues principalement des travaux scientifiques réalisés par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) au titre des réseaux de surveillance OPERA et RINBIO.

PRÉAMBULE

Le milieu marin est exposé à des radiations provenant aussi bien de sources naturelles que de sources artificielles. Des radionucléides (voir glossaire) sont présents à l'état naturel, résultant de la dégradation des minéraux dans la croûte terrestre et de l'action des rayons cosmiques. Certaines activités humaines engendrent des niveaux élevés de ces radionucléides présents à l'état naturel, tels que ceux rejetés par les installations pétrolières et gazières offshore et par l'industrie des engrais à base de phosphates.

D'autres radionucléides, de synthèse ceux-ci, sont rejetés dans le milieu marin ; ils proviennent de diverses activités humaines actuelles et passées :

- exploitation des centrales nucléaires et des usines de retraitement nucléaire ;
- anciens essais nucléaires dans l'atmosphère ;
- retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986 ;
- anciens sites d'immersion de déchets nucléaires ou sous-marins nucléaires coulés ;
- activités médicales, p. ex. radiothérapie, radiologie.

Les sédiments marins qui ont accumulé des radionucléides durant de longues périodes peuvent représenter une source supplémentaire de contamination longtemps après l'arrêt des rejets provenant de sources ponctuelles.

Les États parties contractantes de la convention de Barcelone s'efforcent, dans le cadre de la Stratégie substances radioactives, de réduire les apports et les niveaux de radionucléides afin de protéger le milieu marin et ses usagers.

1. PRINCIPALES SOURCES DE REJETS DE RADIONUCLÉIDES DANS LE MILIEU MARIN

1.1. CONTEXTE GÉNÉRAL À L'ÉCHELLE DE LA SOUS-RÉGION MARINE

Le secteur nucléaire, lié à la production d'électricité, et plus marginalement le secteur non nucléaire, principalement le secteur médical, sont les principales sources de rejets de substances radioactives. Les bâtiments à propulsion nucléaire (sous-marins, porte-avions) et le transport maritime de matières radioactives représentent également un risque de contamination directe du milieu marin.

Les usines de retraitement et les usines de fabrication de combustibles nucléaires et d'enrichissement sont responsables de 98 % des rejets de radionucléides provenant du secteur nucléaire. Les radionucléides utilisés comme indicateurs de rejets provenant de ce secteur sont présentés dans le tableau 1. Les apports de radionucléides dans la mer sont liés aux rejets liquides et, dans une moindre mesure, aux déchets solides et aux émissions atmosphériques. À ce titre, la catastrophe de Tchernobyl et les tirs atmosphériques d'armes nucléaires, réalisés jusqu'en 1980 en divers endroits du globe, sont rappelés.

Source		Radionucléides	Radiation	Demi-vie
Secteur nucléaire	Industries nucléaires	Technétium-99 (^{99}Tc)	activité ß	211 000 ans
		Césium-137 (^{137}Cs)	activité ß, activité γ	30,2 ans
		Plutonium-239 (^{239}Pu)	activité α	24 110 ans
		Plutonium-240 (^{240}Pu)	activité α	6563 ans
		Tritium (^{3}H)	activité ß	12,3 ans
		Carbone-14 (^{14}C)	activité ß	5730 ans
Secteur non nucléaire	Usages médicaux	Technétium-99m (^{99m}Tc) Iode-131 (^{131}I)	activité ß activité ß, activité γ	6 heures 8 jours

Tableau 1 : Radionucléides utilisés comme indicateurs des rejets radioactifs dans le milieu pour évaluer les progrès dans la mise en œuvre de la Stratégie substances radioactives. La liste des radionucléides n'est pas exhaustive.

L'industrie nucléaire est le plus grand contributeur aux rejets dans le milieu marin. Les autres sources non nucléaires, provenant notamment du secteur médical – il s'agit ici de radionucléides à demi-vie courte – sont mineures[1]. Par ailleurs, tous les rejets provenant de l'industrie des engrais phosphatés ont cessé à partir de 2005.

Le protocole tellurique de la convention de Barcelone (1976) définit une stratégie générale visant à réduire la pollution due à des activités menées à terre dans la région méditerranéenne. Il prend en compte parmi les sources majeures d'apports le stockage, le transport et l'élimination de déchets radioactifs et dangereux. Toutefois, il convient de noter que le suivi des radioéléments dans la surveillance préconisée par le MEDPOL (l'outil opérationnel de la déclinaison du protocole tellurique) n'a été réalisé à l'échelle de l'ensemble de la Méditerranée que récemment.

1.2. PRINCIPALES SOURCES DE REJETS DE RADIONUCLÉIDES

Au 1er janvier 2010, la France comptait 124 installations nucléaires de base (INB) réparties sur une quarantaine de sites. La figure 1 présente la localisation des installations nucléaires de base destinées à produire de l'électricité. Sur cette carte ne figurent pas les usines de retraitement des combustibles et les centres d'étude et de recherche. La France compte aussi un certain nombre d'installations nucléaires de base secrètes (INBS) dont celles situées dans la Rade de Brest et la Rade de Toulon.

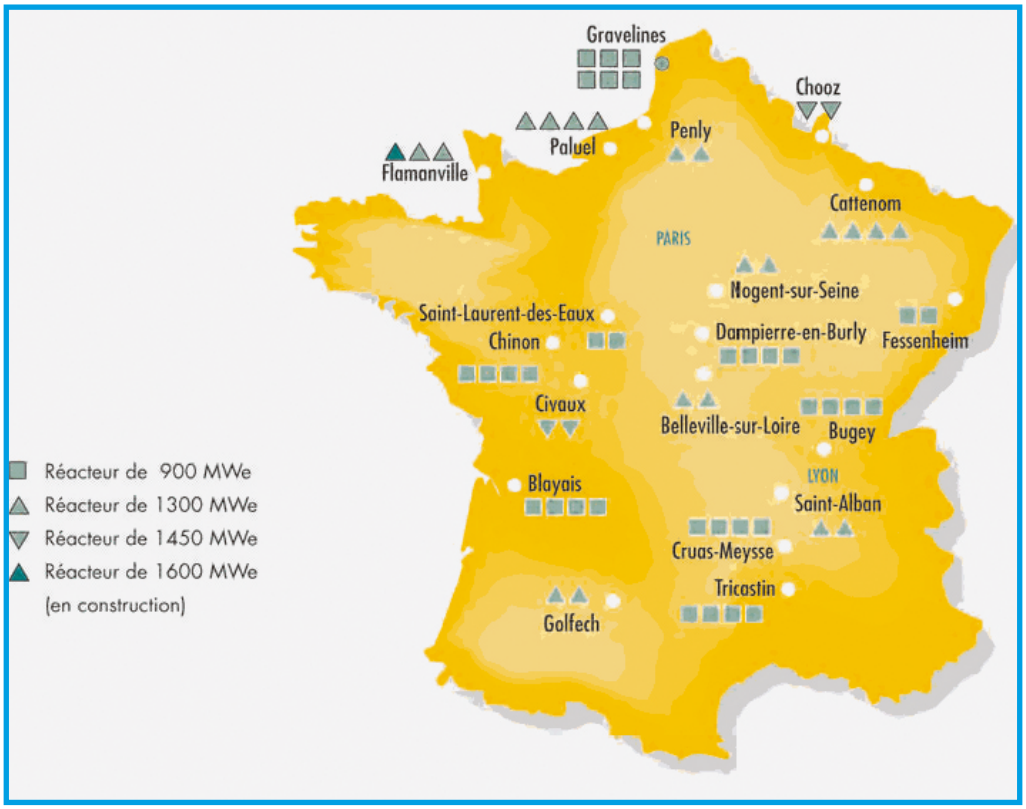


Figure 1 : Répartition des installations nucléaires de base (INB) destinées à produire de l'électricité (Sources : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2010).

Parmi ces 124 INB, les installations susceptibles de rejeter des radionucléides dans la sous-région marine sont situées sur les rives du Rhône. On trouve :

- les centrales nucléaires de Bugey (Ain, 4 réacteurs),
- Saint-Alban (Isère, 2 réacteurs),
- Cruas (Ardèche, 4 réacteurs),
- Tricastin (Drôme, 4 réacteurs),

auxquelles il faut ajouter l'usine Eurodif (Tricastin) et le centre nucléaire de Marcoule (Gard) et l'INBS de la Base Navale de Toulon, soit **16 réacteurs nucléaires.**

1 La caractérisation des radioéléments issus du domaine médical n'est pas effective de nos jours. Les informations sont très parcellaires. Elles ne permettent pas d'avoir une vision globale à l'échelle de la sous-région marine.

De 1958 à 1997, le Centre de Retraitement du Combustible Usagé, situé à Marcoule, a été la principale source de rejets de radionucléides dans le Rhône. Une large partie de ces apports s'est accumulée dans les sédiments de la zone marine proche de l'embouchure du fleuve, représentant une source secondaire potentielle pour le milieu côtier. Le démantèlement du CRCU de Marcoule en cours est prévu sur une durée de 30 ans et inclut des rejets liquides et atmosphériques modérés dans l'environnement.

Depuis 2006, la France, au travers de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 modifiée relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, dite loi TSN, a rénové en profondeur l'organisation du contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Elle institue pour les installations nucléaires un régime d'autorisation et de contrôle intégré couvrant la sûreté nucléaire, la radioprotection et la protection de l'environnement. Elle prend notamment en compte les enseignements tirés de l'examen des législations étrangères.

La France s'attache à ce que l'encadrement réglementaire et les pratiques des exploitants permettent, par l'application des meilleures techniques disponibles, de disposer d'une très bonne maîtrise des rejets radioactifs et d'obtenir des diminutions des rejets. Aussi, bien que globalement les rejets d'effluents soient en diminution, la France estime nécessaire que la baisse des rejets radioactifs, en particulier pour ceux à demi-vie longue, se poursuive au rythme des progrès techniques.

2. SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

La surveillance de la radioactivité de l'environnement s'inscrit dans un contexte réglementaire international qui est triple, s'articulant autour :

- du traité Euratom qui, par son article 35, impose aux États membres de mettre en place des installations de contrôle permanent de la radioactivité de l'atmosphère, des eaux et du sol afin de garantir le contrôle du respect des normes de base pour la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants ;
- de la convention de Barcelone, dont la stratégie pour un programme conjoint d'évaluation et de surveillance continue prévoit la mise en place d'un programme de surveillance des substances radioactives dans le milieu marin ;
- du SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée qui dès 1996 a impulsé le déploiement d'un réseau de surveillance spécifique.

Dans ce contexte, la surveillance de la radioactivité de l'environnement s'articule notamment autour de :

- la surveillance réalisée autour des installations nucléaires par les exploitants au titre de leurs autorisations de rejets ;
- la surveillance de la radioactivité dans l'environnement sur le territoire national exercée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). La figure 2 présente la répartition des stations de surveillance de l'IRSN.

Figure 2 : Stations de surveillance IRSN de la radioactivité dans le milieu marin (Sources : IRSN, 2012).

Les travaux de l'IRSN restent les seuls à ce jour qui permettent d'avoir une vision précise et à l'échelle de la totalité de la façade côtière française de la sous-région marine. Il convient de bien noter que la connaissance ainsi acquise ne porte que sur la proche bordure côtière. L'IRSN dispose de deux outils :

- **le volet marin méditerranéen de l'Observatoire Permanent de la Radioactivité** (OPERA). Ce réseau de surveillance, opéré en continu depuis les débuts des années 1980 [1] [2], comprend une dizaine de stations, réparties de la frontière espagnole à la frontière italienne et en Corse, sur lesquelles sont prélevées des moules (*Mytilus galloprovincialis*) issues de populations naturelles et, pour 5 d'entre elles, des poissons (rougets : *Mullus sp.*). La fréquence est de un prélèvement tous les deux mois. Ce dispositif permet d'établir les niveaux de base de certains radionucléides artificiels et naturels en zone côtière (^{137}Cs, ^{60}Co, ^{14}C, ^{3}H, ^{238}U, ^{210}Po et les isotopes du Pu) ainsi que leur évolution dans le temps en dehors de l'impact direct des installations nucléaires [3].
- **lLe réseau RINBIO**. Une campagne de mesures est organisée tous les trois ans dans le cadre de la DCE, en collaboration avec l'Ifremer [4]. Une quarantaine de stations sont échantillonnées à partir du déploiement de moules immergées d'avril à juin à l'aide de mouillages de sub-surface [5]. Ces échantillons, issus d'un lot homogène, permettent d'obtenir une image fiable de la distribution spatiale des niveaux de radioactivité dans le champ moyen de la zone côtière et son évolution au cours du temps. Il y a eu 5 campagnes depuis 1996, la dernière en 2012 [6].

L'IRSN coordonne également, pour le compte de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée (CIESM), le programme « Mediterranean Mussel Watch », auquel participent 15 pays du pourtour du bassin, dont tous les pays européens [7], et qui a permis de produire en 2008 la première carte de distribution du ^{137}Cs en zone côtière à l'échelle régionale [8]. Ce programme pourrait servir de préfiguration pour un réseau de surveillance de la radioactivité européen et périméditerranéen dans le cadre de la mise en œuvre de la DCSMM (CIESM 2009-2010).

3. TENEURS ENVIRONNEMENTALES DES RADIONUCLÉIDES ISSUS DU SECTEUR NUCLÉAIRE

Le Césium-137 est le principal radionucléide artificiel régulièrement détecté dans l'environnement marin. Les réseaux de surveillance permettent également de caractériser les radionucléides naturels, traceurs des processus environnementaux : le Béryllium-7 et le Plomb-210.

3.1. TENEURS ENVIRONNEMENTALES EN RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS : CÉSIUM-137 (^{137}CS) ET COBALT-60 (^{60}CO)

Les principaux résultats de la surveillance sont les suivants :

3.1.1. Résultats issus de l'Observatoire Permanent de la Radioactivité (OPERA)

Les niveaux actuels (2010) de radionucléides artificiels en zone côtière sont très faibles, souvent avec des activités proches de la limite de détection des meilleures techniques analytiques. Ainsi, seul le ^{137}Cs est régulièrement détecté par spectrométrie gamma directe dans les échantillons avec des valeurs inférieures à 0,5 Bq·kg^{-1} de cendres (soit 0,02 Bq·kg^{-1} de poids frais) pour les moules et inférieures à 2,0 Bq·kg^{-1} de cendres (soit 0,1 Bq·kg^{-1} de poids frais) pour les poissons (figures 3 et 4).

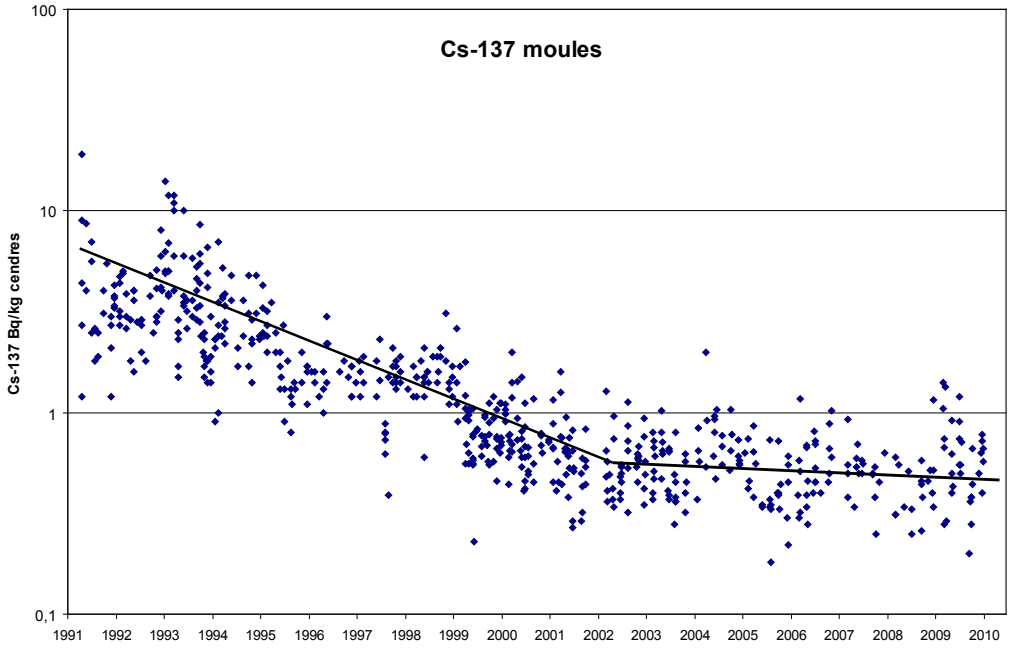


Figure 3 : Évolution de l'activité du ^{137}Cs dans les moules du littoral méditerranéen de 1991 à 2010 (toutes stations confondues) (Sources : IRSN, 2012) (9).

L'évolution des concentrations dans les moules sur les dernières années montre une stabilisation des niveaux, après une forte diminution au cours de la décennie 1990. Cette stabilisation traduit un équilibre entre les apports au milieu côtier, la bioaccumulation dans les organismes, et les processus sédimentaires (stockage, re-mobilisation partielle). Chez les poissons, cette diminution est moins marquée et les activités du ^{137}Cs dans les rougets s'établissent désormais à des niveaux 3 à 4 fois supérieurs à ceux mesurés dans les moules en raison de la position plus élevée dans la chaîne trophique des premiers et des phénomènes de rétention active du césium dans les muscles des poissons, comme analogue chimique du potassium. La stabilisation écologique de la répartition du ^{137}Cs étant effective, l'évolution des concentrations dans les années à venir, sauf nouvel apport significatif, devrait traduire la décroissance radioactive physique de cet élément, dont la demi-vie est de 30 ans.

Le ^{60}Co, issu des rejets des installations nucléaires, est occasionnellement détecté, à des niveaux très faibles (0,5 Bq·kg^{-1} de cendres) dans les échantillons de moules prélevés à l'ouest du débouché du Rhône, traduisant l'impact des apports du fleuve sur cette portion du littoral.

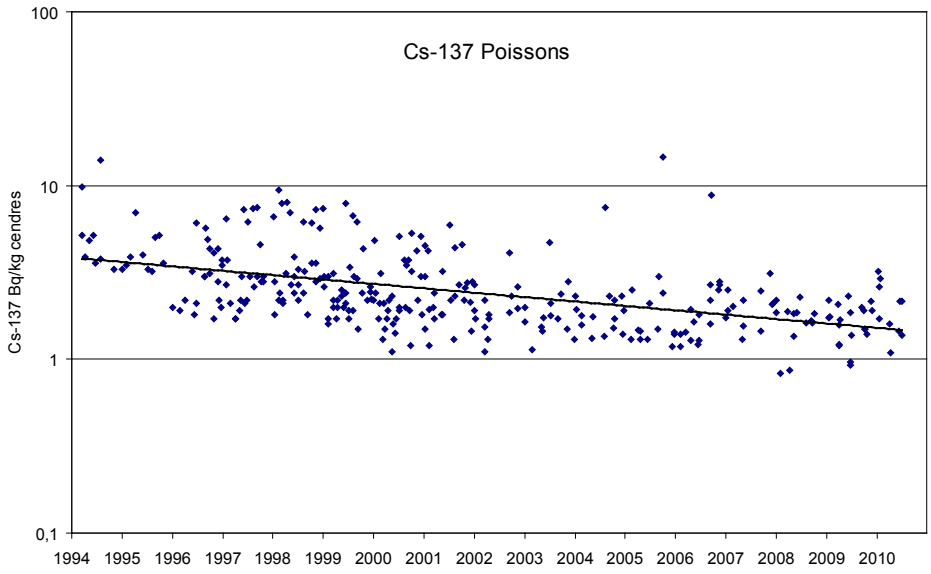


Figure 4 : Évolution de l'activité du ^{137}Cs dans les poissons (rougets) du littoral méditerranéen de 1994 à 2010 (toutes stations confondues) (Sources : IRSN, 2012) (9).

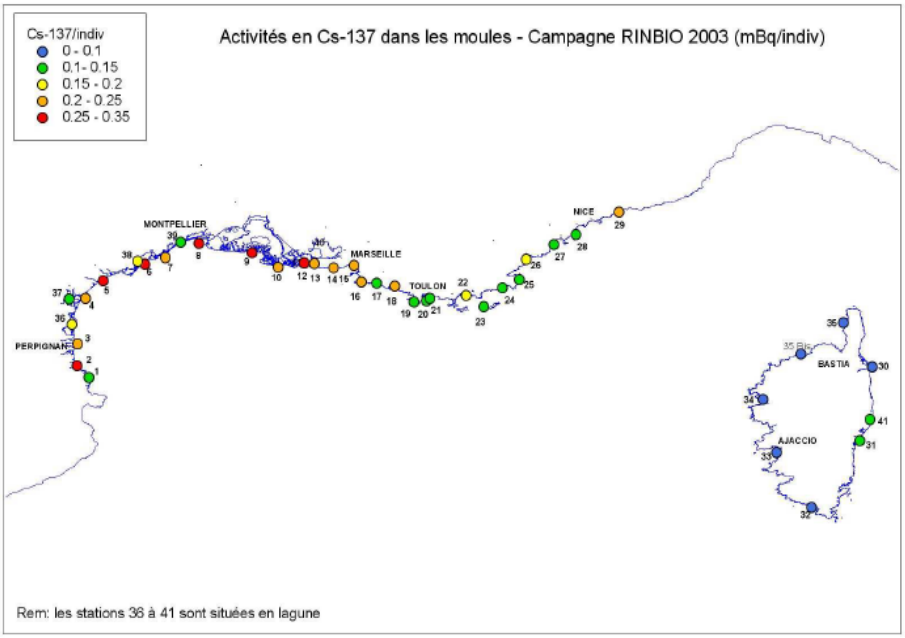
3.1.2. Résultats issus des campagnes RINBIO

Les cartes ci-dessous (figure 5) présentent les résultats obtenus en 2003 et 2009. Elles montrent, pour le secteur situé à l'ouest du Rhône, l'effet des apports du fleuve sur les conditions trophiques et sur les niveaux biodisponibles dans les eaux côtières.

Dans la zone sous influence rhodanienne, ces niveaux reflètent les retombées atmosphériques directes sur la mer, auxquelles s'ajoutent les apports drainés par le fleuve issus du lessivage du bassin versant, marqué également par les retombées atmosphériques et les rejets industriels, devenus cependant négligeables depuis 1997.

Par ailleurs, l'impact des apports du Rhône est bien visible à partir des niveaux de ^{60}Co, élément caractéristique des rejets des centrales nucléaires, qui n'est détecté que pour 3 stations, toutes situées à l'ouest de l'embouchure. Pour les stations situées hors de l'aire de dilution des apports rhodaniens, les niveaux en césium reflètent les apports des retombées atmosphériques des tests d'armes thermonucléaires.

En 2009, les concentrations mesurées sont inférieures à celles observées en 2003.



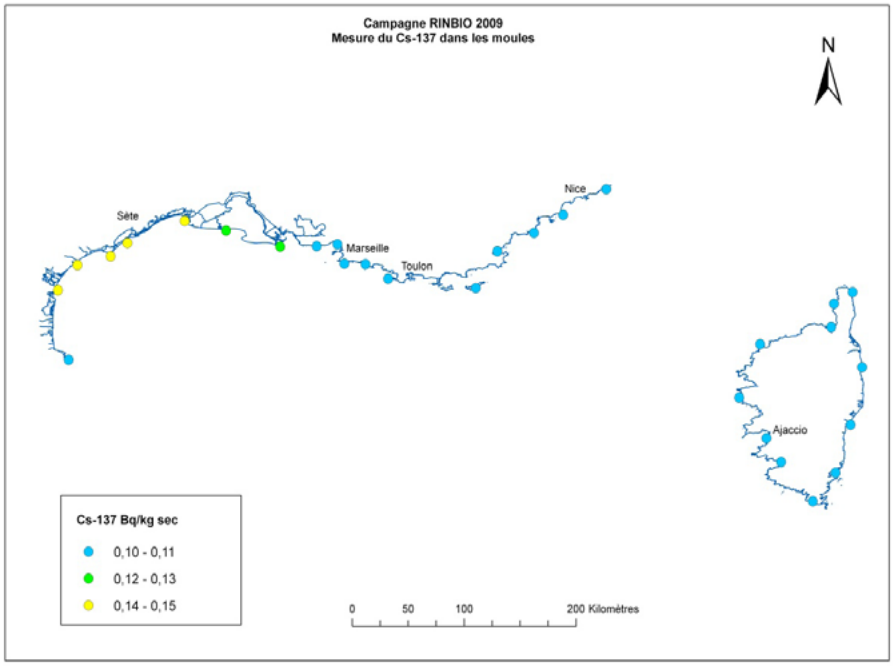


Figure 5 : Distribution du ^{137}Cs dans les moules le long de la côte française de Méditerranée en 2003 (page précédente) et en 2009 (ci-dessus) (Sources : IRSN, 2010) (10).

3.2. TENEURS ENVIRONNEMENTALES EN RADIONUCLÉIDES NATURELS : BÉRYLLIUM -7 (^{7}BE) ET PLOMB-210 (^{210}PB)

Le Béryllium-7, d'origine atmosphérique, est un bon traceur du lessivage des masses d'air par les précipitations. Sa présence dans la zone côtière est liée à la fois aux dépôts directs sur la mer et aux apports par les cours d'eaux et le ruissellement.

En 2003, on remarque ainsi l'influence distante probable des apports du Rhône pour les stations de la côte du Languedoc-Roussillon (1 à 6) et de la Côte Bleue (13 à 15) auxquels s'ajoutent les apports des cours d'eau pyrénéens pour les stations 1 à 3 (figure 6). La situation de l'étang de Thau (station 38) est particulière, en tout cas à cette période de l'année, en raison de la taille de son bassin versant et du faible taux d'échange avec la mer. À noter également, l'impact du débouché du Var à la station 28 et le niveau de précipitations probablement plus élevé dans la partie nord de la Corse.

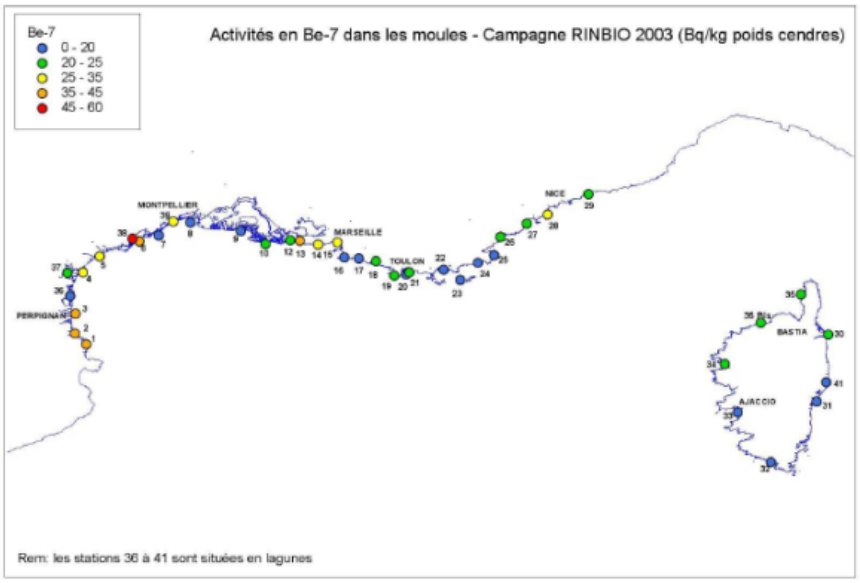


Figure 6 : Distribution du ^{7}Be dans les moules le long de la côte française de Méditerranée en 2003 (Sources : Thébault H., 2007).

En 2006, année sans crues, la distribution est moins marquée par les apports fluviatiles et l'on retrouve l'effet des précipitations plus abondantes sur l'est de la Provence et l'est de la Corse.

Pour le Plomb-210 dont l'origine est atmosphérique et géologique, sa présence dans les eaux marines est liée aux apports particulaires. Les résultats obtenus en 2003 et 2006 sont similaires. La carte ci-dessous (figure 7) montre l'importance du substrat granitique sur le littoral des Pyrénées, de la Provence et de la Corse. Les niveaux les plus élevés observés dans les moules le long de la côte française de Méditerranée se situent dans la région marseillaise. Ils sont probablement liés à la remise en suspension fréquente des particules par le vent soufflant dans le couloir rhodanien.

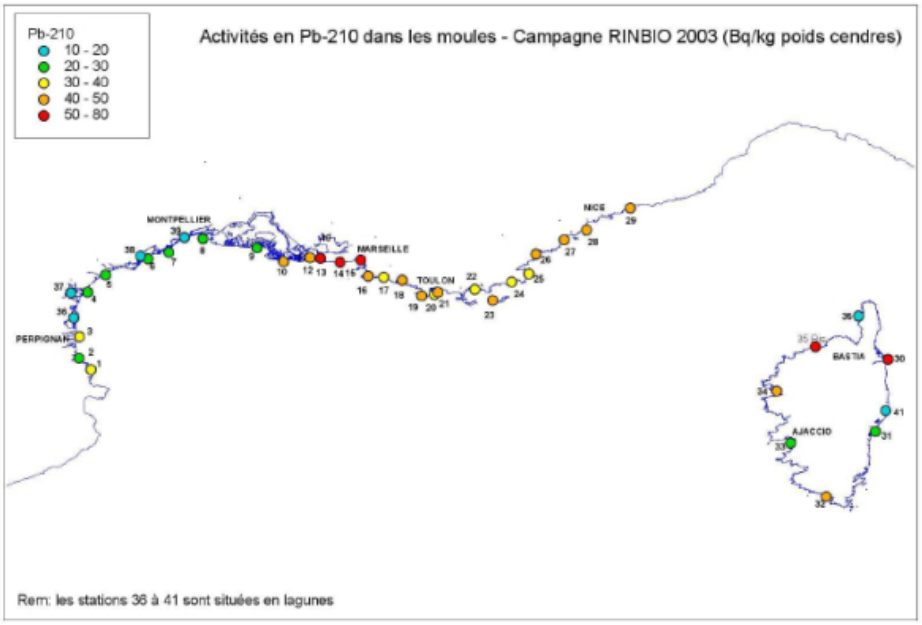


Figure 7 : Distribution du ^{210}Pb dans les moules le long de la côte française de Méditerranée en 2003 (Sources : Thébault H., 2007).

4. CONCLUSION

Les résultats des campagnes de surveillance réalisées ces dernières années montrent que le ^{137}Cs est le seul radionucléide artificiel détecté régulièrement par spectrométrie gamma directe avec des niveaux d'activités faibles (< 0,2 Bq·kg^{-1} poids sec). Comparée avec les résultats des campagnes précédentes, l'activité du ^{137}Cs diminue régulièrement depuis 1996, en accord avec la réduction des apports dans la zone côtière.

Le ^{60}Co, indicateur spécifique des apports du Rhône, n'est détecté que sporadiquement à des niveaux très faibles, proches de la limite de détection.

Enfin, la distribution des radionucléides naturels tels que le ^{7}Be et le ^{210}Pb rend compte principalement des variations biogéographiques entre les différentes zones côtières.

D'une façon générale, les eaux côtières de la sous-région marine présentent à ce jour des concentrations faibles en radioéléments.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Calmet D., Bouisset P., Charmasson S. et Kerboul C., 1994. Protection and Nuclear Safety Institute Permanent Observatory of Marine Radioactivity along the French coast of the Mediterranean sea. In The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Mediterranean sea, Marina-Med project, Radiation protection 70, EUR-15564-EN, 415-425.

[2] Charmasson S., Barker E., Calmet D., Pruchon A.-S., Thébault H., 1999. Long term variations of man-made radionuclide concentrations in a bio-indicator *Mytilus galloprovincialis* from the French mediterranean coast. The Science of the Total Environment, 237/238, 93-103.

[3] Thébault H., 2003. Bilan des résultats du volet littoral méditerranéen de l'Observatoire PErmanent de la RAdioactivité (Réseau OPERA) de 1992 à 2001. Rapport IRSN/SERNAT/2003-09.

[4] Thébault H., Arnaud M., Charmasson S., Diméglio Y., 2000. Évaluation de la qualité des eaux basée sur des intégrateurs biologiques en Méditerranée. Campagne RINBIO98 : Radionucléides. Rapport IPSN/SERNAT/ 2000-28, 34 p.

[5] Thébault H., Arnaud M., Charmasson S., Andral B., Diméglio Y., Barker E., 2005. Bioavailability of anthropogenic radionuclides in mussels along the French Mediterranean coast. ECORAD , Aix en Provence, 6-10 Septembre 2004. *Radioprotection*, suppl. 1, vol 40, S47-S52.

[6] Thébault H., 2007. Biodisponibilité des radionucléides dans les moules le long de la côte française de Méditerranée. Campagnes RINBIO 2003 et RINBIO 2006. Rapport IRSNS/DEI/SESURE 2007-56.

[7] Thébault H., 2002. Mediterranean Mussel Watch – Designing a regional program for detecting radionuclides and trace-contaminants. CIESM Workshop Series, n°15, 136 p., Monaco.

[8] Thébault H., Rodriguez y Baena A., Andral B., Albaladejo J., Bologa A., Egorov V., El Khoukhi T., Florou H., Kniewald G., Noureddine A., Pham M., Topcuoglu S., Warnau M., 2008. 137Cs baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: a cross-basin survey of the CIESM Mediterranean Mussel Watch Programme. *Marine Pollution Bulletin* 57 : 801–806.

[9] IRSN, 2012. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011.

[10] IRSN, 2010. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009.