Bull. Soc. Nat. luxemb., 95 (1994) p. 109-117

La mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* comme traceur de la contamination radioactive de la Moselle en aval de la centrale nucléaire de Cattenom

par

Jacques MERSCH [1]) et Martine KASS [2])

Résumé: A cinq reprises entre août et décembre 1992, des bryophytes aquatiques *Fontinalis antipyretica* ont été transférées à cinq stations de la Moselle entre Cattenom et la frontière franco-luxembourgeoise. Après des temps d'exposition d'environ 20 jours, l'activité des radionucléides artificiels émetteurs de rayonnements γ a été mesurée. Les mousses immergées en aval de la centrale nucléaire de Cattenom ont accumulé principalement quatre radioisotopes, à savoir le ^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag et l'^{124}Sb. A proximité immédiate du rejet, les échantillons successifs ont indiqué une variabilité qualitative et quantitative dans la composition des effluents. Les deux isotopes du cobalt ont pu être détectés de manière chronique jusqu'à la dernière station d'étude située à 15 km en aval de la source de pollution. Ces résultats plaident en faveur d'un programme complet de surveillance de la contamination radioactive de la Moselle.

Abstract: On five occasions between August and December 1992, aquatic bryophytes *Fontinalis antipyretica* were transplanted at five monitoring sites in the Moselle River between Cattenom and the France-Luxembourg border. After exposure times of approximately 20 days, the γ radiation activity of artificial radionuclides was measured. The mosses exposed downstream of the nuclear power plant in Cattenom accumulated mainly four radioisotopes, *i.e.* ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag and ^{124}Sb. Next to the discharge point, the successive samples indicated a qualitative and quantitative variability in the composition of the effluent. The two cobalt isotopes were consistently detected down to the last study site located 15 km from the pollution source. These results speak in favour of a complete monitoring program on the radioactive contamination of the Moselle River.

Introduction

La pollution chimique des rivières, qu'elle soit d'origine domestique ou industrielle, constitue un facteur déterminant dans le déséquilibre des biocénoses. De plus, elle représente un risque sanitaire potentiel pour les populations humaines

[1]) 1, rue Auguste-Dutreux, L-1899 Kockelscheuer.

[2]) 33, rue Michel-Rodange, L-4306 Esch-sur-Alzette.

approvisionnées en eau potable extraite des eaux de surface. Ces constatations imposent une surveillance performante de la qualité de l'environnement aquatique afin d'évaluer l'impact des rejets anthropiques.

Dans le cas d'une contamination par des micropolluants, c'est-à-dire des substances chimiques qui expriment une toxicité à faible concentration, les analyses directes dans l'eau ne fournissent pas d'indications suffisamment précises et fiables. D'une part, on se heurte à des problèmes analytiques liés au seuil de détection des appareils de mesure, et d'autre part, les échantillons instantanés d'eau ne sont souvent pas représentatifs de la situation de contamination moyenne du site de prélèvement. Les fluctuations des concentrations dans le temps s'expliquent principalement par l'intermittence des rejets industriels et par des variations dans les conditions hydrologiques du milieu récepteur.

Face à ces difficultés, une technique d'investigation plus appropriée consiste à utiliser des organismes, dits indicateurs, capables de concentrer les micropolluants et d'intégrer dans le temps la contamination de leur milieu environnant. Les supports biologiques présentent en outre l'avantage de mesurer une disponibilité écotoxicologique d'un polluant, c'est-à-dire sa fraction active et donc potentiellement nuisible (Phillips 1977).

Dans cette optique, les mousses aquatiques ont largement été employées comme indicateurs de la contamination du milieu par les métaux, qu'ils soient non radioactifs (Empain 1976, Wehr & al. 1983, Mouvet 1985, Mersch & Pihan 1993) ou radioactifs (Hébrard & Foulquier 1975, Foulquier & al. 1989, Baudin & al. 1991). L'accumulation des micropolluants métalliques est essentiellement régie par des phénomènes d'adsorption à la surfaces des feuilles (Clymo 1963, Breuer & Melzer 1990). Grâce à leur pouvoir de concentration des métaux, les bryophytes sont capables d'indiquer la présence de radionucléides dans le milieu, lorsque ceux-ci ne sont plus détectables dans les échantillons d'eau brute (Baudin & al. 1991). Des travaux de laboratoire ont montré que l'accumulation des métaux (radioactifs ou non) est rapide, tandis que leur élimination est plus progressive (Vray & al. 1992, Mersch & al. 1993). Ainsi, les mousses fournissent une réponse qui peut, dans une certaine mesure, être considérée comme intégrée dans le temps. Baudin & al. (1991) ont observé une bonne correspondance entre la composition des effluents liquides de plusieures centrales nucléaires françaises et la radiocontamination de bryophytes collectées en aval des rejets.

Fondamentalement, deux stratégies d'étude sont envisageables: d'une part, l'utilisation d'organismes indicateurs autochtones et, d'autre part, le transfert d'échantillons d'un site de référence vers les différentes stations d'étude. La seconde démarche présente trois avantages principaux, à savoir (1) le choix de l'emplacement précis des stations, (2) l'homogénéité du matériel biologique à l'ensemble des sites et (3) l'évaluation de la qualité récente par une étude limitée dans le temps.

Dans ce travail, la méthode d'indication par les mousses aquatiques transférées a été appliquée au cas des rejets radioactifs de la centrale nucléaire de Cattenom. L'objectif consiste à tester l'intérêt de la technique dans le cadre d'un programme de surveillance de la radiocontamination de la Moselle.

Matériel et méthodes

Site d'étude

Le Centre de Production Nucléaire de Cattenom se trouve sur le territoire français à environ 15 km de la frontière avec le Luxembourg et l'Allemagne. Ses quatre réacteurs à eau pressurisée développent une puissance unitaire de 1300 MWe. Les effluents liquides radioactifs sont rejetés dans la Moselle après mélange, au niveau de l'ouvrage de rejet, avec les eaux de refroidissement.

Cinq stations d'étude ont été retenues sur la Moselle (fig. 1). La première est située en amont du rejet; elle est destinée à évaluer la radioactivité naturelle et artificielle dont l'origine n'est pas liée au fonctionnement de la centrale nucléaire. Les stations 2 et 3 se trouvent à proximité du point de rejet (respectivement à 10 et 50 m). Elles permettent d'étudier l'effluent avant mélange complet dans le milieu naturel. Les stations de Malling (5 km en aval du rejet) et d'Apach (15 km en aval du rejet) fournissent des renseignements sur l'impact de la contamination radioactive en fonction de la distance.

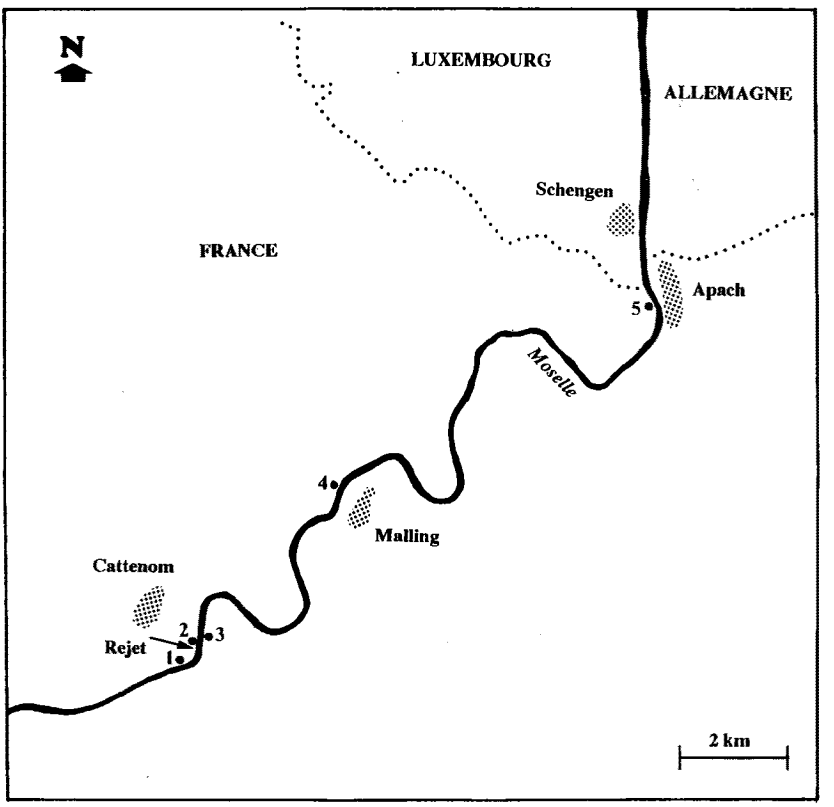


Fig. 1. Localisation des stations d'étude sur la Moselle. La flèche indique le rejet de la centrale nucléaire de Cattenom.

Transfert des mousses

Des bryophytes aquatiques de l'espèce *Fontinalis antipyretica* ont été collectées dans la Sûre (affluent de la Moselle) le jour précédant le transfert. A chacune des stations d'étude, environ 100 g de mousses essorées ont été placés dans des paniers en grillage plastique avec un volume interne d'au moins 1 L. Les paniers ont été fixés à des bouées et immergés à environ 50 cm sous la surface de l'eau. La durée d'exposition a été choisie de façon à couvrir une période relativement longue (4 mois) avec un effort d'échantillonnage raisonnable. Dans des travaux antérieurs, des temps d'exposition compris entre 24 heures (Kelly & al. 1987) et 9 jours (Mouvet 1984) ont été jugés suffisants pour obtenir une réponse fiable. Dans la présente étude, cinq séries de mousses ont été exposées pendant des intervalles de temps d'environ 20 jours, à savoir : du 7 au 27 août, du 27 août au 17 septembre, du 17 septembre au 6 octobre, du 6 octobre au 3 novembre et du 27 novembre au 18 décembre 1992. Après la récolte, les mousses ont été rincées, séchées et broyées conformément aux recommandations de Wehr & al. (1983). La masse de mousses initialement utilisée permet de disposer de 10 à 20 g de matière sèche après exposition.

Analyse des radioéléments

L'activité des radionucléides émetteurs de rayonnements γ accumulés dans les mousses a été mesurée par spectrométrie γ au Département de Physique de l'Université de Brême. Les résultats sont exprimés en Bq kg^{-1} de poids sec. Il faut préciser que les analyses se sont concentrées sur les émetteurs γ, car ceux-ci représentent la majeure partie de la radioactivité artificielle dans les effluents liquides. En fonctionnement normal, les principaux radionucléides artificiels générés dans les centrales équipées de réacteurs à eau pressurisée sont les suivants : ^{110m}Ag, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{131}I, ^{54}Mn et ^{124}Sb (Foulquier & al. 1991). L'ensemble de ces isotopes émet des rayonnements γ.

Résultats

Les isotopes 58 et 60 du cobalt sont les radioéléments majeurs accumulés par les mousses aquatiques immergées dans la Moselle en aval de la centrale nucléaire de Cattenom (tabl. 1). A la station témoin, le ^{58}Co est détecté dans un seul échantillon; le ^{60}Co n'est jamais détecté. Bien que la centrale nucléaire représente la seule source de contamination radioactive dans le secteur étudié, les activités les plus élevées ne sont pas systématiquement observées dans les échantillons placés à proximité immédiate du point de rejet. Les faibles concentrations observées dans les mousses de la station 2 (voir fig. 1) lors des deux premières campagnes s'expliquent essentiellement par une perte notable de feuilles, et donc une diminution de la surface d'adsorption. L'aspect des brins suggère que les feuilles ont été arrachées sous l'effet des turbulences créées par le rejet. Lors de 3 des 5 périodes d'étude, le ^{58}Co a été accumulé à des concentrations plus élevées à la station 4 (située à 5 km en aval) qu'à la station 3 (à 50 m du rejet). Une interprétation possible de cette observation est l'existence de courants préférentiels dans la rivière qui font que la station 3 ne se trouve pas continuellement sous l'influence directe du rejet. De plus,

Tabl. 1. Activité des radioéléments artificiels accumulés dans les mousses aquatiques *Fontinalis antipyretica* transférées dans la Moselle (Bq kg^{-1} de poids sec). Les écarts représentent un intervalle de confiance sur la mesure de 95 %. n.d.: non détecté; n.m.: non mesuré, du fait de la perte de l'échantillon.

Nucléide	Station	Période d'étude (date de prélèvement)				
		1 (27. 08.)	2 (17. 09.)	3 (06. 10.)	4 (03. 11.)	5 (18. 12.)
^{58}Co	1	14 ± 3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	125 ± 7	200 ± 9	1238 ± 16	709 ± 6	207 ± 14
	3	94 ± 6	382 ± 7	221 ± 6	n.m.	46 ± 4
	4	144 ± 4	325 ± 10	265 ± 8	175 ± 5	166 ± 2
	5	94 ± 10	188 ± 7	72 ± 8	233 ± 4	20 ± 5
^{60}Co	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	31 ± 5	68 ± 8	181 ± 11	158 ± 4	114 ± 10
	3	n.d.	107 ± 6	37 ± 4	n.m.	15 ± 2
	4	40 ± 3	89 ± 8	66 ± 6	34 ± 4	5 ± 2
	5	31 ± 5	49 ± 6	32 ± 6	49 ± 3	n.d.
^{134}Cs	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.m.	n.d.
	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
^{137}Cs	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.m.	5 ± 4
	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
^{110m}Ag	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	n.d.	n.d.	33 ± 9	77 ± 4	n.d.
	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.m.	n.d.
	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
^{131}I	1	n.d.	n.d.	44 ± 16	n.d.	n.d.
	2	27 ± 21	n.d.	90 ± 35	n.d.	n.d.
	3	n.d.	80 ± 11	51 ± 17	n.m.	n.d.
	4	37 ± 10	88 ± 17	n.d.	n.d.	31 ± 7
	5	n.d.	76 ± 12	n.d.	n.d.	n.d.
^{124}Sb	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	n.d.	n.d.	317 ± 12	48 ± 5	n.d.
	3	n.d.	n.d.	78 ± 8	n.m.	n.d.
	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

dans le tronçon de rivière situé entre les stations 4 et 5, le brassage occasionné par la navigation fluviale favorise le maintien des radionucléides dans la colonne d'eau et par conséquent leur contact avec les mousses.

Les profils de radiocontamination de la Moselle obtenus lors des 5 campagnes montrent que l'intensité des rejets et leur impact spatial varient fortement en fonction du temps. Deux situations contrastées se présentent, notamment dans le cas du ^{58}Co. Lors des deux premières périodes d'étude, les concentrations de cet isotope restent relativement faibles dans les mousses placées à proximité du rejet, mais il n'y a pas de diminution notable de sa disponibilité en fonction de la distance. En revanche, lors des campagnes 3 et 4, le ^{58}Co est très fortement accumulé à la station 2, mais l'impact dans l'espace est moins prononcé. La portée spatiale de la contamination est fortement influencée par les caractéristiques hydrologiques de la rivière. Lors de la troisième période d'étude, en particulier, les précipitations survenues ont conduit à une dilution importante des effluents et une évacuation rapide des eaux polluées. Par ailleurs, la forte charge en matières en suspension transportée par la rivière en crue a pu favoriser la décantation des éléments métalliques adsorbés au seston. Il est clair que cette fraction ne peut pas être détectée par les échantillons de mousses placés dans la partie supérieure de la colonne d'eau.

En ce qui concerne les radioéléments artificiels autres que les isotopes du cobalt, il faut noter que les nucléides ^{134}Cs et ^{137}Cs, à une exception près, n'ont jamais été détectés dans les mousses (tabl. 1). L'^{110m}Ag a été mis en évidence à deux reprises, mais uniquement dans les échantillons placés à proximité immédiate du point de rejet de la centrale (station 2). En revanche, les bryophytes ont accumulé de l'^{131}I lors de 4 des 5 périodes d'étude à une ou plusieurs stations situées en aval de la centrale nucléaire, et même à la station témoin lors de la troisième campagne. Il y a deux hypothèses possibles pour interpréter la présence de cet isotope dans le secteur amont de la Moselle: l'existence de sources de pollution ponctuelles (p.ex. hôpitaux) ou bien, une remobilisation, causée par des précipitations importantes, d'^{131}I libéré dans l'environnement par l'accident de Tchernobyl. La troisième période d'étude est également caractérisée par une forte accumulation du nucléide ^{124}Sb à proximité de l'effluent de la centrale (sites 2 et 3). Lors de la campagne suivante, cet isotope reste détectable dans les mousses immergées à la station 2. Dans ce même échantillon, il faut signaler la présence de deux autres éléments, à savoir le ^{54}Mn (23 ± 3 Bq kg^{-1}) et le ^{95}Nb (22 ± 4 Bq kg^{-1}).

Discussion

Les mousses aquatiques transférées dans la Moselle ont permis d'identifier plusieurs radionucléides qui caractérisent les effluents liquides de la centrale nucléaire de Cattenom, à savoir le ^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag, l'^{124}Sb et peut être l'^{131}I. Cette empreinte est en accord avec les données disponibles sur la composition des rejets liquides (Foulquier & al. 1991) et avec les résultats radioécologiques antérieurs (Baudin & al. 1991, Mersch & al. 1992).

Les radioéléments dominants, le ^{58}Co et le ^{60}Co, sont des produits d'activation neutronique libérés à partir des structures métalliques par corrosion. D'après des indications fondées sur l'analyse de bryophytes, le niveau de contamination de la

Moselle est du même ordre de grandeur que celui observé dans d'autres rivières françaises recevant des effluents de centrales nucléaires (Baudin & al. 1991). Toutefois, une comparaison détaillée est difficile, car il y a une différence fondamentale dans le protocole d'étude, en ce sens que ces auteurs ont utilisé des mousses autochtones et non des mousses transférées. Or, avec un temps de contact prolongé, il y a possibilité de fixation durable de micropolluants métalliques sur la surface des feuilles par coprécipitation chimique (Wehr & al. 1987). Les indications obtenues à partir de bryophytes autochtones risquent donc de surestimer la contamination d'un site. A cet égard, le protocole de transfert présente un avantage indéniable, car les mousses introduites pendant un temps d'exposition relativement court rendent compte de la qualité récente de leur environnement.

L'absence de détection des isotopes 134 et 137 du césium est un résultat inattendu. Ces radionucléides sont en effet présents dans les effluents de centrales nucléaires (produits d'activation neutronique) et, surtout, caractérisent les retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 50 et 60 ainsi que l'explosion du réacteur de Tchernobyl en mai 1986. Lors de travaux réalisés après cette date, les radiocésiums ont toujours été détectés dans les échantillons de mousses aquatiques (Foulquier & al. 1989, Baudin & al. 1991). Les indications obtenues ici suggèrent que les rejets de ces deux éléments par la centrale de Cattenom sont faibles et que l'impact de Tchernobyl s'atténue progressivement.

Lors de la troisième période d'étude, une forte activité du nucléide ^{124}Sb a été observée dans les mousses exposées à la station 2; cet élément a également été détecté lors de la campagne suivante. Ce résultat est particulièrement intéressant, car des études *in situ* et en laboratoire ont montré que les isotopes 124 et 125 de l'antimoine ne sont que très faiblement accumulés par les bryophytes aquatiques (Baudin & al. 1991). Les concentrations élevées en ^{124}Sb observées dans les mousses introduites permettent par conséquent de conclure à des rejets importants de ce nucléide au cours des périodes d'étude 3 et 4. L'^{124}Sb, tout comme l'^{110m}Ag, sont des produits de fission générés dans le coeur du réacteur au cours de la réaction en chaîne. Leur présence dans les effluents liquides de la centrale de Cattenom dès sa première année de fonctionnement représente une particularité de ce site par rapport à d'autres installations du même type (Foulquier & al. 1991).

Le suivi en fonction du temps et de la distance des concentrations en radionucléides dans les mousses permet également d'obtenir des indications sur les pratiques de rejet de l'exploitant. Ainsi, les pics de ^{58}Co, de ^{60}Co et d'^{124}Sb observés à proximité du rejet lors de la troisième et de la quatrième période d'étude coïncident avec une crue survenue fin septembre et début octobre. La comparaison des différents profils suggère, qu'en terme d'activité, l'impact de rejets importants dans la rivière en crue est sensiblement équivalent à celui de rejets faibles lors des périodes à écoulement normal.

Conclusion

L'indication par les mousses aquatiques transférées apparaît comme un outil intéressant pour le suivi de la contamination radioactive des eaux de la Moselle. Les bryophytes ont clairement identifié les différents nucléides artificiels qui constituent l'empreinte typique des effluents liquides de la centrale nucléaire de Cattenom : le

^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag et l'^{124}Sb. A proximité immédiate du point de rejet, les échantillons successifs ont mis en évidence une importante variabilité qualitative et quantitative dans la composition des effluents. Dans le secteur situé plus en aval, les mousses ont indiqué une contamination chronique du milieu par des radionucléides artificiels, notamment les isotopes 58 et 60 du cobalt, qui, à une exception près, ont systématiquement été détectés dans les échantillons exposés à 15 km de la source de pollution.

Ces observations plaident en faveur d'un programme de surveillance plus étoffé de l'écosystème de la Moselle. L'étude simultanée de plusieurs compartiments capables de concentrer les radioéléments et ayant chacun une signification écotoxicologique spécifique permettrait d'obtenir une vue plus globale de la situation de contamination. A côté des mousses aquatiques, on peut envisager par exemple l'analyse des matières en suspension dans l'eau (donnée ponctuelle de la présence de radionucléides dans la colonne d'eau), des sédiments (effet cumulatif des éléments associés au seston décanté) et de différentes espèces d'invertébrés sédentaires (biodisponibilité des contaminants).

Ce type de surveillance de routine permettrait de collecter des données sur l'impact des effluents radioactifs de la centrale nucléaire de Cattenom à différents niveaux de l'écosystème de la Moselle. Le but, à terme, serait de définir des objectifs de qualité qui tiendraient compte de la complexité écologique du milieu récepteur.

Remerciements

Ce travail a été financé par Greenpeace Luxembourg. La partie pratique a été réalisée par Roger Spautz, Luc Stoffel (Greenpeace), Gérard Botella et André Lorenzini (Commission Régionale d'Information sur les Pollutions et la Radioactivité - Corepra).

Bibliographie

Baudin, J.P., A. Lambrechts & M. Pally, 1991. - Utilisation des mousses aquatiques comme bioindicateurs de contamination radioactive. - Hydroécol. Appl. 3: 209-240.

Breuer, K., & A. Melzer, 1990. - Heavy metal accumulation (lead and cadmium) and ion exchange in three species of Sphagnaceae. I. Main principles of heavy metal accumulation in Sphagnaceae. - Oecologia 82: 461-467.

Clymo, R.S., 1963. - Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. - Ann. Bot. 27: 309-324.

Empain, A., 1976. - Estimation de la pollution par métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. - Bull. fr. Piscic. 260: 142-168.

Foulquier, L., J.P. Baudin & A. Lambrechts, 1989. - Données sur les transferts du ^{137}Cs et du ^{60}Co dans un écosystème fluvial: le Rhône. - Rev. Sci. Eau 2: 641-658.

Foulquier, L., J. Garnier-Laplace, B. Descamps, A. Lambrechts & M. Pally, 1991. - Exemples d'impact radioécologique de centrales nucléaires sur des cours d'eau français. - Hydroécol. Appl. 3: 149-208.

Hébrard, J.P. & L. Foulquier, 1975. - Introduction à l'étude de la fixation du manganèse-54 par Platyhypnidium riparioides (Hedw.) Dix. - Rev. Bryol. Lichénol. 41: 35-53.

Kelly, M.G., C. Girton & B.A. Whitton, 1987. - Use of moss-bags for monitoring heavy metals in rivers. - Water Res. 21: 1429-1435.

Mersch, J., A. Jeanjean, H. Spor & J.C. Pihan, 1992. - The freshwater mussel Dreissena polymorpha as a bioindicator for trace metals, organochlorines and radionuclides. - In : The zebra mussel Dreissena polymorpha (D. Neumann & H. A. Jenner, eds.), Limnologie Aktuell 4: 227-244, Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart.

Mersch, J. & J.C. Pihan, 1993. - Simultaneous assessment of environmental impact on condition and trace metal availability in zebra mussels Dreissena polymorpha transplanted into the Wiltz River, Luxembourg. Comparison with the aquatic moss Fontinalis antipyretica. - Arch. Environ. Contam. Toxicol. 25: 353-364.

Mersch, J., E. Morhain & C. Mouvet, 1993. - Laboratory accumulation and depuration of copper and cadmium in the freshwater mussel Dreissena polymorpha and the aquatic moss Rhynchostegium riparioides. - Chemosphere 27: 1475-1485.

Mouvet, C., 1984. - Accumulation of chromium and copper by the aquatic moss Fontinalis antipyretica L. ex Hedw. transplanted in a metal-contaminated river. - Environ. Technol. Lett. 5: 541-548.

Mouvet, C., 1985. - The use of aquatic bryophytes to monitor heavy metals pollution of freshwaters as illustrated by case studies. - Verh. int. Verein. Limnol. 22: 2420-2425.

Phillips, D.J.H., 1977. - The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments : a review. - Environ. Pollut. 13: 281-317.

Vray, F., J.P. Baudin & M. Svadlenková, 1992. - Effects of some factors on uptake and release of ^{106}Ru by a freshwater moss, Platyhypnidium riparioides. - Arch. Environ. Contam. Toxicol. 23: 190-197.

Wehr, J.D., A. Empain, C. Mouvet, P.J. Say & B.A. Whitton, 1983. - Methods for processing aquatic mosses used as monitors of heavy metals. - Water Res. 17: 985-992.

Wehr, J.D., M.G. Kelly & B.A. Whitton, 1987. - Factors affecting accumulation and loss of zinc by the aquatic moss Rhynchostegium riparioides. - Aquat. Bot. 29: 261-274.