

**LE CONCEPT DE RETOUR D'EXPERIENCE EN RADIOECOLOGIE
APPLICATION AU CAS D'UN FLEUVE A FORTE IMPLANTATION NUCLEAIRE :
LE RHONE**

FOULQUIER L., GRAUBY A., LAMBRECHTS A., PALLY M.
Commissariat à l'Energie Atomique
IPSN/DERS/Service d'Etudes et de Recherches sur l'Environnement

Depuis 30 ans, l'équipement nucléaire du Rhône se poursuit : la première centrale date de 1956 et depuis ont été implantés 17 réacteurs appartenant aux filières UNGG, REP et RNR (15000 MWe), des usines d'enrichissement et de retraitement du combustible. Ces installations rejettent des effluents liquides dont la radioactivité s'ajoute à celle des retombées des explosions nucléaires et plus récemment à celle résultant de l'accident de Tchernobyl. Le Rhône est ainsi un lieu privilégié d'observations sur les processus de fixation et de transfert des radionucléides.

1. LE RHONE

Long de 812 km, dont 522 en France, le Rhône a un bassin versant de 98845 km². Le fleuve est équipé de 21 aménagements hydroélectriques qui, outre la production d'électricité, le rendent navigable sur 310 km et permettent l'irrigation de 200000 ha de terres cultivées. Les installations nucléaires sont regroupées dans 7 sites.

En fonction des implantations nucléaires, plusieurs zones peuvent être définies :

- en amont de Creys-Malville, une zone soumise uniquement aux retombées des explosions atomiques,
- de Creys à Marcoule une zone permettant de mesurer l'impact des effluents des centrales,
- en aval de Marcoule une zone totalisant l'ensemble des termes sources y compris celui de l'usine de retraitement.

A partir de mai 1986 l'ensemble du Rhône est soumis aux retombées de Tchernobyl.

Des échantillons d'eau, de sédiment, de végétaux aquatiques et de poissons sont prélevés dans une soixantaine de stations. Après conditionnement ils sont mesurés par spectrométrie Ge ou par radiochimie. Les résultats sont stockés dans une base de données. Elle permet de sortir les bilans radioécologiques du fleuve, d'analyser l'impact des différents termes sources, de comparer le Rhône aux autres fleuves.

2. LES TERMES SOURCES

21. Les retombées des essais militaires ont libéré en 30 ans dans l'atmosphère $4,4 \cdot 10^{24}$ Bq de produits de fission dont 1,32 EBq de Cs-137 et 1 EBq de Sr-90. Les retombées sont estimées, en France à 320 kBq/m², soit 31,6 PBq sur l'ensemble du bassin rhodanien. Dans ces retombées il y avait essentiellement du Cs-137 et du Sr-90 (DOURY, 1986).

22. Les rejets des centrales sont de faible activité en comparaison des retombées. La limite annuelle autorisée par tranche (hors tritium) est de 0,56 TBq/an (PELLERIN & MORONI, 1987). Ces rejets sont variables suivant les années et les centrales (BIDARD, 1987). Ils contiennent principalement du Co-58 (40 à

75%), du Co-60 (17 à 25%), du Mn-54 (2 à 4%), Cs-137 (1 à 3%) et en quantité moindre du Cs-134, de l'Ag-110m, du Sb-124+125 etc...)

23. C'est au niveau de l'usine de retraitement qu'ont lieu les rejets les plus importants de tout le cycle du combustible. A titre d'exemple, en 1983 l'usine de Marcoule a rejeté environ 40 TBq de nucléides soit 80 fois plus que la centrale du Tricastin. Ces rejets contiennent du Ru-106 (<30 TBq/an), du Sr-90 et du Cs-137 (<6 TBq/an et en quantité plus faible d'autres nucléides tels que Ce-144, Mn-95, Zr-95, SR-89, Co-58+60, Ag-110m, Sb-125, Pu-238+239+240, Am-241, Eu-151... (CALMET & coll. 1985).

24. Le 26 avril 1986 l'accident de Tchernobyl a libéré dans l'atmosphère 37 PBq de produits de fission. Le 1er Mai 1986 un panache radioactif a survolé le bassin rhôdanien. Les dépôts au sol sont au maximum de 10 kBq/m² en Ru-103, 7,8 kBq/m² en Ru-106, 8,9 kBq/m² en Cs-134, 24 kBq/m² en Cs-137 (UIR,1987).

3. IMPACT DES TERMES SOURCES SUR LE RHONE

La radioactivité naturelle des compartiments du fleuve, due au K-40, aux 14 éléments de la famille de l'uranium et aux 10 éléments de celle du Thorium est stable sur l'ensemble du Rhône (FOULQUIER & coll. 1987) :

- 1 Bq/l d'eau
- 2250 Bq/kg (sec) de sédiment
- 1700 Bq/kg (sec) de végétaux immergés
- 110 Bq/kg (frais) de poissons.

A ces valeurs viennent s'ajouter l'impact des différents termes sources pour tous les radionucléides hors H-3) :

Activité en fonction du terme source dans les différentes zones du fleuve	Eau Bq/l	Sédiment Bq/kg sec	Végétaux Bq/kg sec	Poissons Bq/kg frais
Retombées	0,003	9	10	1,5
Centrales	0,02	40	70	4
Marcoule	0,5	1000	2000	20
Tchernobyl (mai 1986)	0,5	600 à 1500	1700 à 4000	10 à 40

31. Dans la portion du fleuve soumise uniquement aux retombées des explosions atmosphériques on retrouve systématiquement dans tous les échantillons le Cs-137. Il est à noter que les poissons du Léman ont des concentrations en Cs-137 trois fois plus élevées (0,98 Bq/kg frais) que ceux du haut-Rhône, montrant le rôle particulier des grands lacs et de leur bassin versant dans la concentration de ce nucléide (FOULQUIER, 1979). Le Sr-90 est visible dans quelques poissons et végétaux. Ainsi, après des décennies de retombées puis l'arrêt des essais atmosphériques la radioactivité artificielle est plus faible d'un facteur 100 à 1000 à la radioactivité naturelle.

32. En aval des centrales se retrouvent les nucléides les plus abondants dans les rejets (Cs-137, Cs-134, Co-58, Co-60, Ag-110m, Mn-54, Sr-90, H-3...). L'eau, du fait de son renouvellement est très peu chargée en radionucléides ; le sédiment concentre ceux qui s'adsorbent sur les particules (Cs, Co, Ag...).

Ce sont les végétaux qui sont les meilleurs radioindicateurs par la quantité et le niveau de radioactivité des éléments fixés. Les poissons permettent également de caractériser les rejets des centrales et parfois de mettre en évidence des nucléides qui n'étaient pas prévus par l'exploitant tel que le Zn-65 en aval du Bugey (LAMBRECHTS & FOULQUIER, 1987).

33. Les prélèvements effectués en aval de Marcoule montrent que les concentrations en radionucléides y sont les plus élevées. Ceux qui préexistaient en amont de l'usine augmentent de façon significative, d'autres n'apparaissent qu'à ce niveau (Ru+Rh-106, Am-241, Ce+Pr144, Pu 238+239+240...).

Après 30 années de fonctionnement de l'usine de retraitement, la radioactivité artificielle du Rhône en aval de Marcoule est toujours inférieure ou de l'ordre de grandeur de la radioactivité naturelle (FOULQUIER & coll., 1987).

34. Des campagnes de prélèvements ont été entreprises dans les divers secteurs du Rhône depuis Tchernobyl. Les radionucléides à vie courte issus de l'accident disparaissent en quelques semaines. Certains à vie moyenne tels que les Cobalt, le Mn-54, l'Ag-110m, le Sb-125 demeurent à des niveaux d'activité sensiblement identiques à ceux qu'ils avaient avant l'accident. Les césium et les ruthénium sont présents sur l'ensemble du fleuve. Le Cs-137 a des concentrations de 100 à 1000 Bq/kg sec de sédiment, de 100 à 400 Bq/kg sec de végétaux et de 5 à 30 Bq/kg frais dans les poissons, soit des niveaux supérieurs à ceux qui existaient en aval de Marcoule. Le Ru-103 apparaît dans tout le Rhône avec des concentrations importantes. Les retombées de Tchernobyl masquent l'effet de plusieurs années de rejets des installations nucléaires. Toutefois les concentrations mesurées restent basses et sans signification en terme de santé publique. Les prélèvements réalisés en juillet, novembre 1986 et mars 1987 montrent la disparition du Ru-103, une décroissance rapide du Ru-106 et beaucoup plus lente pour le radiocésium, en particulier chez les poissons.

4. CONCEPTION ET INTERET DES ETUDES RADIOECOLOGIQUES

Les exemples précédents démontrent que le suivi radioécologique régulier du fleuve permet de mesurer clairement l'impact des différents termes sources. Toute situation nouvelle peut être comparée à la situation antérieure et donner des informations utiles. L'information des données permet de manier des milliers d'informations et de mettre en évidence l'existence de paramètres qui régissent le devenir des nucléides dans l'environnement. Les données de terrain soulèvent des questions concernant les mécanismes de transfert, les cinétiques de fixation et d'élimination des radioéléments, les facteurs qui agissent sur ces processus. Chaque terme source induit un besoin de connaissance particulier : ainsi les retombées des explosions posaient les problèmes concernant le Cs-137 et le Sr-90, les centrales ceux des produits de fission et d'activation, Marcoule nous interroge sur les transuraniens et le ruthénium, Tchernobyl fait apparaître la question de la vitesse de fixation des nucléides en situation accidentelle et de l'épuration du fleuve. Les expériences de transfert en laboratoire apportent des réponses à ces questions. On peut simuler des radiocontaminations du milieu aquatique, étudier les échanges entre les divers compartiments des chaînes trophiques. L'analyse compartimentale permet de modéliser chaque

cinétique de transfert. Un modèle dynamique, cumulant les différentes équations, synthétise l'ensemble des transferts et explique les constatations faites in situ. Ce travail a déjà été réalisé pour le Cs-137 (LAMBRECHTS, 1984) ; il est actuellement en cours pour le Co-60 et pourra être étendu à d'autres nucléides.

CONCLUSION

Le suivi radioécologique du Rhône mesure l'impact des différents termes sources. Les observations faites in situ induisent des expériences de laboratoire qui permettent de connaître les cinétiques et les facteurs de transfert des radionucléides. Le faisceau des connaissances accumulées peut être confronté aux hypothèses de prévisions de rejets faites par l'exploitant des installations, en corriger les modalités et les faire évoluer en fonction de la situation radioécologique du fleuve afin de préserver l'environnement et la santé des populations (BOVARD & coll, 1975).

BIBLIOGRAPHIE

- BIDARD F., BARDIN B. (1987). Exploitation des centrales nucléaires et environnement. Le secteur eau. RGN. 1987. 1, 24-32.
- BOVARD P., GRAUBY A., FOULQUIER L., PICAT P. (1973). Etude radioécologique du bassin rhôdanien. Stratégie et bilan IAEA-SM-172/60, 507-523.
- CALMET D., DABURON M.L., WILLEMOT J.M. (1985). Etude radiotoxicologique de Mytilus sp. prélevée sur le littoral nord occidental méditerranéen. Rev. Intern. Oceanogr. Med. LXXVII, 1985, 60-70.
- DOURY A. (1986). Evaluation comparative des retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques. Rapport CEA/IPSN/DAS 328. 35p.
- FOULQUIER L. (1979). Etude bibliographique sur la capacité et les modalités de fixation du radiocésium par les poissons. CEA-BIB-231. CEN-SACLAY, France. 380p.
- FOULQUIER L., LAMBRECHTS A., PALLY M. (1987). Impact radioécologique d'une usine de retraitement du combustible nucléaire sur un fleuve : le Rhône. Proc. of Intern. Conf. on Nuclear Fuel Reprocessing and waste management., Paris 23-27 (aug. 1987) 1063-1070.
- LAMBRECHTS A. (1984) Essai de modélisation du transfert du césium-137 dans les compartiments d'un écosystème d'eau douce simplifié. Rapport CEA-R-5268., CEN-Saclay, France. 181p.
- LAMBRECHTS A., FOULQUIER L. (1987). Radioecology of the Rhône bassin : Data on the fish of the Rhône (1974-1984). J. Environ. Radioact. 5 (1987) 105-121.
- PELLERIN P., MORONI J.P. (1987). La réglementation française des rejets radioactifs des centrales nucléaires. RGN, 1987, 1, 19-27.
- UNION INTERNATIONALE DES RADIOECOLOGISTES. Panel discussion on the Tchernobyl accident. Madrid, 15-19 sept., 1986. Bulletin de liaison N°7 1987.