

# APPORTS DE LA MODÉLISATION À LA SURVEILLANCE RADIOÉCOLOGIQUE DES COURS D'EAU

**Patrick BOYER**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE  
CE-Cadarache – Bât. 159, 13115 Saint Paul Lez Durance  
Patrick.boyer@irsn.fr

## **Introduction**

Les cours d'eau subissent diverses pressions anthropiques du fait qu'ils sont des lignes de communication naturelles, qu'ils représentent des ressources en eau et en énergie, qu'ils peuvent être des zones récréatives et qu'ils sont les récepteurs directs de nombreux émissaires de rejets domestiques, industrielles et agricoles. Parallèlement à ces pressions directes, ils sont également impactés par la plupart des activités présentes sur leur bassin versant car ils sont la convergence des flux hydriques de surface et souterrains. Pour limiter, contrôler et évaluer l'impact de ces activités, des cadres réglementaires et des plans de gestion sont élaborés qui définissent notamment les actions de surveillance qui doivent être réalisées par les industriels, les autorités et les organismes d'expertise. L'industrie nucléaire est fortement concernée par cette problématique puisque la plupart de ses installations sont situées à proximité de cours d'eau. Ces installations rejettent des effluents radioactifs gazeux et liquides de façon contrôlée et contrainte par la réglementation. La surveillance de leur impact sur les cours d'eau repose sur des mesures radiologiques régulièrement réalisées par les exploitants et les organismes de surveillance sur divers échantillons (végétaux, poissons, eau, sédiments, matière en suspension...) prélevés en amont et en aval des ouvrages de rejet. Dans ce contexte, la modélisation est privilégiée pour les activités prospectives telles que l'évaluation de l'impact des futurs projets ou de scénarios accidentels et elle n'est quasiment pas associée aux stratégies de surveillance. L'objectif de cet exposé est de soulever l'intérêt d'une stratégie de surveillance intégrant une démarche concertée entre mesures et modélisation.

## **Problématique**

En première approximation, les cours d'eau peuvent être conceptualisés en deux grands compartiments qui sont la colonne d'eau qui s'étend du lit sédimentaire jusqu'à la surface et la colonne sédimentaire située en dessous. Ces deux compartiments sont constitués d'eau et de particules solides de natures organique (algues, bactéries, débris biologiques) ou inorganique (minéraux argileux, oxydes, hydroxydes, carbonates) (Sigg et al., 2006). Quel que soit le radionucléide introduit dans ce milieu, il se retrouvera dans l'une ou l'autre de ces colonnes et sous diverses formes selon qu'il soit dissous dans l'eau ou lié à des particules. Ces différentes formes constituent autant de voies de contamination d'un large éventail d'organismes vivants (microbien, animal et végétal) et, in-fine, de l'homme en fonction de ses usages du milieu (eau de consommation, irrigation, baignade, pêche...). Ainsi, la surveillance de la qualité radiologique des cours d'eau implique d'évaluer l'état de ces différentes composantes et d'avoir une bonne connaissance des mécanismes de transfert pour anticiper les évolutions spatiales et temporelles du système. En cela, les mesures et la modélisation seules présentent certaines limitations.

## **Mesures ou modélisation**

La représentativité spatiale et temporelle d'une mesure est nécessairement limitée. Par exemple, l'interprétation d'une mesure isolée ne rend pas compte du passage d'une bouffée

consécutives à un rejet et le coût pour atteindre ce niveau d'information est loin d'être négligeable puisqu'il implique d'augmenter les stations et la fréquence des mesures. De plus, en raison des faibles quantités rejetées par les installations nucléaires, la plupart des mesures sont aujourd'hui en dessous des limites de détection et là encore, les coûts pour repousser ces limites sont loin d'être négligeables : augmentation des volumes prélevés, augmentation des temps de mesure, sophistication des moyens de mesure... Certaines composantes telles que les sédiments, les végétaux ou les animaux présentent des dynamiques d'intégration et d'élimination plus ou moins rapides. Leurs concentrations sont de bons indicateurs de la qualité moyenne du milieu mais ne sont pas appropriées pour détecter d'éventuels pics de concentration. Ainsi, la détection d'événements mineurs reste particulièrement aléatoire, d'autant plus que les délais entre les prélèvements et les mesures peuvent varier de plusieurs heures à plusieurs jours.

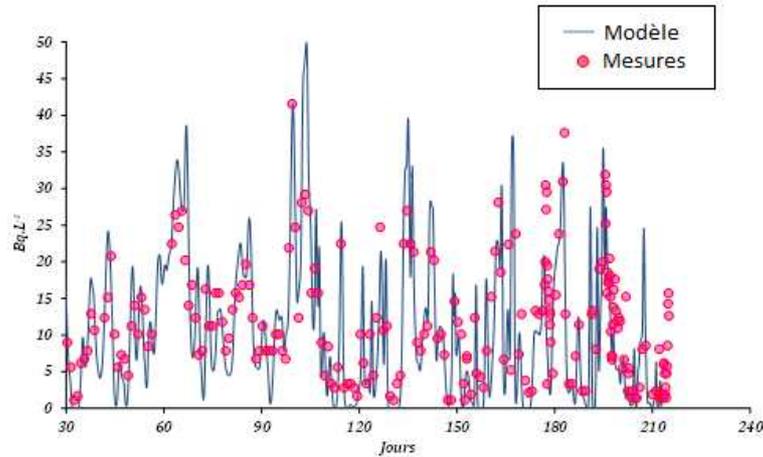
Pour des coûts significativement moindres et des temps de réactivité beaucoup plus rapides, la modélisation est l'outil à privilégier pour évaluer la distribution des radionucléides dans les différents compartiments d'un cours d'eau et anticiper l'évolution de sa qualité radiologique. Cependant, pour des applications opérationnelles telles que la surveillance, la modélisation peut renforcer un réseau de mesure mais n'a pas vocation à le remplacer en raison de son incapacité à détecter des événements non déclarés et aux incertitudes de ses résultats qui sont a priori plus grandes que celles des mesures. En particulier, la modélisation doit être utilisée en concertation avec les exploitants car elle ne peut rien donner de précis sans une bonne connaissance des rejets. Dans tous les cas, la modélisation ne peut pas être perçue avec le même niveau de confiance que les mesures et il sera toujours demandé de valider les calculs par des mesures.

### **Mesures et modélisation**

Pour la surveillance de la qualité radiologique des cours d'eau, il est perceptible que les limitations des mesures peuvent être compensées par la modélisation et inversement. Il semble donc pertinent d'associer dans une même stratégie la confiance et la robustesse des mesures à la souplesse et la réactivité de la modélisation. Il est prévisible que ce couplage réduirait les coûts de la surveillance tout en augmentant son efficacité. Un tel dispositif doit se concevoir comme une plateforme d'échange entre un réseau de mesure et un système de modélisation. Si les rejets des installations sont fournis en temps réel, la modélisation permet d'anticiper en permanence l'état radiologique du cours d'eau avec des résolutions spatiales et temporelles inaccessibles à la mesure. L'ajustement des conditions de calculs et la validation des prévisions sont réalisés par assimilation des données du réseau de mesure, celui-ci ayant été optimisé en fonction du modèle et du domaine surveillé.

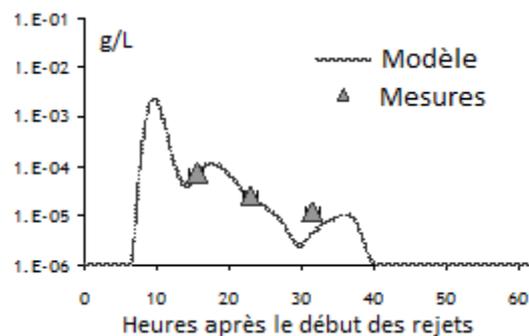
### **Faisabilité**

L'intérêt et la faisabilité d'un tel dispositif peuvent être illustrés par divers cas d'application tels que le scénario présenté par EDF sur les rejets de tritium émis entre juillet et décembre 1999 par les 5 Centres Nucléaires de Production Electrique situés sur la Loire. Lors du programme MODARIA de l'AIEA, ce scénario a permis de tester différents modèles internationaux en confrontant leurs résultats de calculs aux mesures effectuées toutes les huit heures à Anger, en aval de l'ensemble des rejets (Figure 1).



**Figure 1 : Tritium en Loire: Comparaison modèle-mesure**

Ces comparaisons montrent que les modèles sont aptes à correctement reproduire les mesures (Goutal et al., 2008). En particulier, il est intéressant de constater que les modèles identifient des pics de concentrations que la chronique de mesures, bien que réalisée avec une période resserrée de huit heures, n'est pas capable de détecter. Dès lors, on peut légitimement s'interroger sur la représentativité d'une stratégie de mesures basée sur des échantillons prélevés avec des périodes de plusieurs jours. L'argumentaire peut être complété par la nécessité de maintenir en permanence opérationnelle des outils de modélisation. En cas de situation accidentelle, cette contrainte sera un facteur d'amélioration du dispositif d'expertise pour l'aide à la prise de décision. A titre d'exemple, on peut citer l'incident de la société SOCATRI en juillet 2008 qui a entraîné le déversement d'une quantité importante d'effluent radioactif dans un cours d'eau. L'alerte et les premières mesures n'ont été données que plusieurs heures après le début du rejet survenu au cours de la nuit. Dans ces conditions, il a été montré que l'assimilation par la modélisation des mesures disponibles (Figure 2) permettait de reconstruire les chroniques de concentration en tout point du cours d'eau impacté (Gagnaire et al., 2011).



**Figure 2 : Incident SOCATRI, reconstitution des concentrations en uranium (5 km aval rejet)**

## Conclusions

Dans le cadre de la surveillance de la qualité radiologique des cours d'eau, cette présentation s'attache à illustrer l'intérêt d'associer la modélisation et la mesure. Alors que les stratégies de surveillance sont essentiellement basées sur des réseaux de mesures qui impliquent des coûts d'exploitation et une certaine inertie, il est pressenti que cette association réduirait leurs coûts tout en augmentant leur efficacité. En particulier, la concertation d'un tel dispositif entre les exploitants et les autorités permettrait d'évaluer l'état radiologique du milieu quasiment en temps réel tout en maintenant opérationnel un outil d'aide à la décision en cas d'évènement accidentel.

## Références

Gagnaire B., Boyer P., Bonzom J.M., Lecomte-Pradines C., Simon O., Gilbin R. (2011). Transfer modelling and toxicity evaluation of the effluent from an installation of cleansing and uranium recovery using a battery of bioassays. *Ecotoxicology*, 20, pp. 187-201.

Goutal N., Luck M., Siclet F., Monte L., Angeli G., Boyer P., Zheleznyak M. (2007). Intercomparisons of operational models for predicting tritium migration from routine discharges of Nuclear Power Plants: the case of the Loire River. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, pp. 367-382.

Sigg, L., Behra, P., Stumm, W. (2006). *Chimie des milieux aquatiques: chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement*. 4<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, 567 pp.