

RADIOPROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (PARTIE II) : METHODOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE D'EDF

Cécile BOYER¹, Gilles GONTIER¹, Pierre-Yves HEMIDY²

Électricité de France S.A.

¹EDF/DPI/DPNT/CIDEN/Division Environnement

154 avenue Thiers CS600018, 69458 Lyon cedex 08

²EDF/DPNT/UNIE/GPRE-IEV

1 place Pleyel, 93282 Saint-Denis cedex

cecile-c.boyer@edf.fr, gilles.gontier@edf.fr, pierre-yves.hemidy@edf.fr

1 Contexte

Depuis la mise en exploitation du parc nucléaire, EDF évalue, limite et surveille l'impact de ses installations nucléaires sur l'environnement. Au cours du temps, avec l'évolution des outils métrologiques, des progrès de l'informatique et donc de la modélisation, la méthode d'évaluation employée par EDF a été affinée.

Initialement, l'impact de l'exploitation des sites nucléaires était évalué en modélisant les transferts des radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement vers l'Homme. Cette démarche a ensuite été enrichie par un programme de surveillance « bas niveau » de la radioactivité dans l'environnement avec la mise en place de suivis radioécologiques annuels et décennaux.

Depuis 2008, en application des recommandations internationales visant la radioprotection des espèces non humaines, EDF a complété son approche par une évaluation du risque environnemental (*organismes non-humains*) attribuable aux rejets d'effluents radioactifs de ses installations avec l'outil ERICA (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*).

Ces deux volets sont aujourd'hui complémentaires, le premier permettant une évaluation qualitative et rétrospective de l'impact sur l'homme du fonctionnement ou du démantèlement des sites nucléaires d'EDF (*surveillance radioécologique*), le second une évaluation quantitative et prospective du risque environnemental.

Ce résumé présente la méthodologie d'utilisation de l'outil ERICA par EDF dans le cadre de ces dossiers réglementaires (*ie : demandes d'autorisation de rejets*), son retour d'expérience lié à l'utilisation de cette méthode dans différents dossiers au niveau national et international, les forces et axes de développements de l'outil ainsi que les actions engagées par EDF pour contribuer à son optimisation.

2 La méthodologie

2.1 Présentation de l'outil ERICA

L'outil ERICA (www.ERICA-tool.com), développé dans le cadre d'un programme de recherche européen (ERICA 2004 - 2007), permet d'évaluer, de caractériser et de gérer les risques environnementaux induits par la présence de radionucléides dans les écosystèmes. L'évaluation est réalisée par l'intermédiaire de calcul d'indices de risques pour des couples organismes de référence/radionucléide.

Le principe de l'évaluation du risque pour l'environnement d'un rejet d'effluents radioactifs repose sur la comparaison, pour chaque organisme de référence d'un écosystème donné, du débit de dose induit par ces rejets à la valeur de débit de dose considérée, sans effet (*ie : débit de dose* ($10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$) *déterminé par la communauté scientifique en deçà duquel 95 % des espèces d'un écosystème donné sont protégées, Garnier-Laplace J. et al., 2008*).

La méthode ERICA permet une approche graduée en trois étapes basées sur des hypothèses avec un degré de conservatisme décroissant. Plus l'utilisateur « progresse » dans les étapes, plus il lui est possible d'inclure dans son évaluation des paramètres spécifiques à l'écosystème dont il souhaite faire l'étude de risque. Les trois étapes de la méthode ERICA aboutissent à la détermination d'un indice de risque (IR), dont le mode de calcul diffère en fonction de l'étape considérée. Il convient de bien avoir à l'esprit que le niveau de détail d'une évaluation de risque doit être proportionnel à la nature et la complexité du risque considéré et cohérent avec les décisions à prendre.

a) La première étape consiste en une évaluation de type « screening » avec un fort degré de conservatisme. Dans cette étape, l'outil ERICA calcule l'activité des radionucléides dans le milieu sélectionné (*sol ou air dans le milieu terrestre, eau ou sédiments dans le milieu aquatique*) qui engendrerait un débit de dose égal au débit de dose de screening sélectionné pour l'organisme de référence le plus exposé. Pour le débit de dose de screening ERICA préconise l'utilisation du débit de dose de $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ mentionné précédemment (*Garnier-Laplace J. et al., 2008*). Cette activité correspond à l'activité limite dans le milieu (*EMCL – Environmental Media Concentration Limit*).

L'activité des radionucléides dans le sol, l'eau et les sédiments est alors comparée avec les valeurs d'EMCL correspondantes, permettant d'obtenir un indice de risque (IR) pour chaque radionucléide considéré.

Un indice de risque total peut alors être estimé en sommant les indices de risque pour l'ensemble des radionucléides.

Si la somme des indices de risques est inférieure à 1, la probabilité pour n'importe quel organisme du milieu d'absorber une dose supérieure à $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ est faible et l'impact associé aux rejets radioactifs peut être considéré comme négligeable.

Si la somme des indices de risques est supérieure ou égale à 1, cela signifie que l'approche très conservatrice de cette 1^e étape ne permet pas de conclure au caractère négligeable du risque radiologique vis-à-vis de l'environnement. L'outil ERICA recommande alors de procéder à une évaluation générique du risque environnemental (*étape 2*).

b) La deuxième étape est également une étape de screening mais l'indice de risque n'est plus calculé pour l'écosystème dans sa globalité mais pour un organisme donné. Le débit de dose de screening de $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ est directement comparé au débit de dose total absorbé estimé pour chaque organisme considéré individuellement.

Dans cette étape, il est possible d'ajuster les paramètres (*coefficients de distribution (Kd), facteurs de concentration (CR), facteurs d'occupation des espèces...*) afin de réaliser une évaluation plus poussée et donc augmenter le caractère site-spécifique de l'étude, réduisant ainsi son degré de conservatisme. Il est également possible de créer de nouvelles espèces et d'introduire de nouveaux radionucléides. A l'issue de l'évaluation réalisée pour un organisme donné :

Si l'IR est inférieur à 1, la probabilité pour cet organisme de recevoir une dose supérieure à $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ est faible et l'impact associé aux radionucléides présents dans les rejets d'effluents peut être considéré comme négligeable.

Si l'IR est supérieur ou égal à 1, cela signifie que l'approche développée lors de cette 2^e étape ne permet pas de conclure sur le fait que le risque radiologique vis-à-vis de l'organisme considéré est négligeable.

c) La troisième étape diffère des deux étapes précédentes sur de nombreux points. En effet, cette dernière étape consiste en une évaluation probabiliste du risque pour laquelle les incertitudes sur les résultats sont évaluées sur la base d'une analyse de sensibilité. Cette ultime étape ne propose plus de valeur de débit de dose de screening prédéfinie et les résultats fournis ne sont pas des indices de risque. Elle fournit des informations sur les effets identifiés et permet d'évaluer les conséquences possibles de l'exposition aux radionucléides retenus. Pour cela, l'utilisateur choisit les valeurs de référence avec lesquelles comparer les doses estimées.

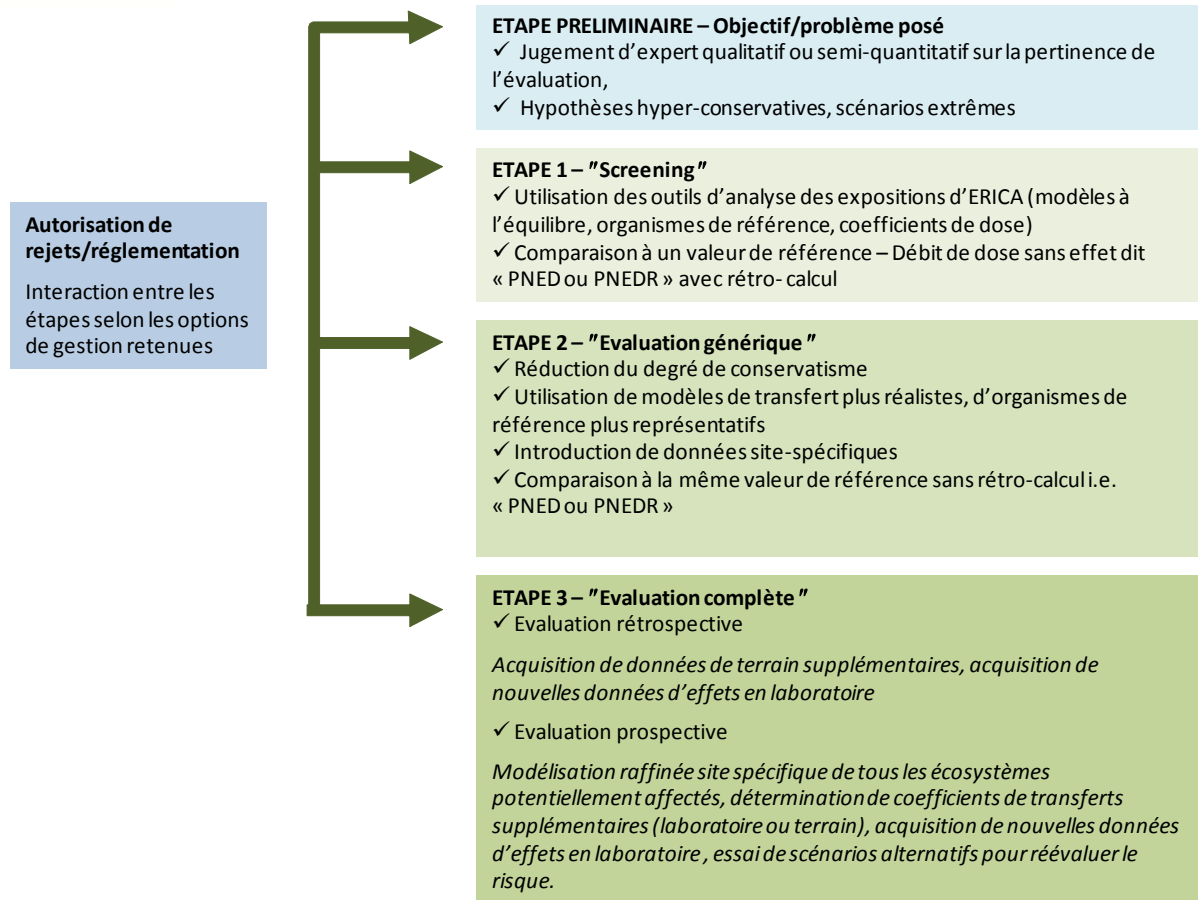


Figure 1 : Approche graduée proposée dans le cadre du programme ERICA pour la caractérisation du risque environnemental associé aux radionucléides (Garnier-Laplace et al., 2007).

3.2 Méthodologie d'application EDF

Dans le cadre des études d'impact réalisées pour les dossiers réglementaires, EDF réalise depuis 2008 une évaluation du risque environnemental pour ses centrales nucléaires en activité, celles en déconstruction et également pour ses nouveaux projets (*EPR Flamanville en France, EPR –Hinkley Point en Grande-Bretagne*). L'évaluation réalisée pour chaque dossier réglementaire est alors basée sur les rejets d'effluents radioactifs aux limites demandées ce qui conduit à une estimation conservatrice du risque des environnements terrestre et aquatique.

Pour l'environnement terrestre, les deux critères principaux guidant la sélection des points retenus pour l'évaluation du risque environnemental sont la direction préférentielle des vents, permettant d'identifier les zones sous l'influence des rejets atmosphériques du site considéré, et l'intérêt écologique des zones considérées.

Une dizaine de points sont ainsi sélectionnés. Pour l'ensemble de ces points, les Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) sont calculés par EDF en utilisant l'outil MIRRAGE, employé pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets radioactifs gazeux. Le CTA est un coefficient permettant de quantifier la dispersion atmosphérique d'une substance/d'un composé entre le point de rejet et le point de calcul. Dans le cas présent, le calcul des CTA permet de déterminer le point pour lequel les activités volumiques en radionucléides dans l'air sont les plus grandes, permettant ainsi de définir la zone écologique potentiellement la plus soumise à l'influence des rejets d'effluents atmosphériques d'un site nucléaire.

Pour l'environnement aquatique continental, la méthodologie utilisée est identique à celle de l'évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques liquides sur l'environnement.

En situation d'exposition chronique, les conditions hydrauliques fluviales retenues pour évaluer le risque environnemental sont une dilution complète des rejets radioactifs liquides avec le débit moyen utilisé pour l'évaluation de l'impact des rejets chimiques liquides (*scénario chronique*). Tous les espaces d'intérêt écologique présents à l'aval de cette zone sont donc considérés dans l'évaluation. Les activités des radionucléides dans l'eau et dans les sédiments du fleuve considéré sont alors calculées.

Pour l'environnement aquatique marin, la démarche est similaire. Les conditions hydrauliques retenues sont un débit de rejet moyen cohérent avec celui utilisé dans le cadre de l'évaluation de l'impact des rejets d'effluents chimiques liquides sur l'environnement et un facteur de dilution correspondant à une zone située dans le champ proche des rejets (*scénario chronique*). Les activités des radionucléides dans l'eau de mer et dans les sédiments sont également calculées.

Dans la majorité des cas, le spectre de radionucléides présents dans les rejets d'effluents des sites nucléaires d'EDF, notamment en démantèlement, nécessite d'aller jusqu'à l'étape 2 de la méthodologie ERICA. En effet, certains radionucléides ou espèces du milieu étudié sont absents de la liste générique proposée dans l'étape 1. Les résultats obtenus à l'issue de cette étape ont dans tous les cas abouti à des indices de risque inférieurs à 1 pour toutes les espèces génériques. L'étape 3 n'a jamais été requise dans les dossiers jusqu'alors réalisés.

3 Méthode ERICA : retour d'expérience, forces et axes de développement de l'outil

Validée par des études de cas dans différents pays européens, la méthode ERICA peut aujourd'hui être utilisée pour évaluer le risque environnemental lié à des rejets d'effluents radioactifs (*actuels et/ou futurs*) dans un écosystème. Par son approche basée sur des écosystèmes conceptuels et des organismes de référence, c'est un outil de démonstration permettant à l'exploitant la réalisation d'études d'impact environnemental suivant une approche graduée selon les enjeux.

Les évaluations de l'impact réalisées par EDF depuis 2008 dans le cadre des dossiers réglementaires ont été soumises à l'approbation des autorités et à la consultation du public sans remise en cause.

Néanmoins, cet outil est encore en développement et des améliorations lui sont continuellement apportées. L'analyse des méthodes utilisées par EDF pour évaluer l'impact sur l'environnement, présentée dans les dossiers réglementaires, a cependant mis en évidence les axes de développement suivants :

- La prise en compte de certains radionucléides dans le spectre proposé par ERICA, notamment les gaz rares.
- L'acquisition et l'intégration de données pour certains couples radionucléides/organisme, qui nécessitent pour l'instant l'utilisation de données relatives à des analogues taxonomiques ou biogéochimiques.
- La consolidation de certaines valeurs de paramètres utilisés par l'outil (*facteurs de concentration, CR, et coefficient de distribution, Kd*), qui constituent une source d'incertitudes importantes. Certains d'entre eux, comme les Kd notamment, peuvent varier de plusieurs ordres de grandeurs en fonction des conditions physico-chimiques du milieu. Il est donc préférable de connaître l'écosystème que l'on souhaite étudier afin de paramétrer correctement l'outil. Il faut aussi reconnaître la limite associée aux facteurs de concentration et, notamment, celle liée à l'hypothèse d'équilibre radioactif instantané entre l'organisme et le milieu dans lequel il vit.

- La possibilité de réaliser l'évaluation globale d'un écosystème : la séparation imposée des écosystèmes aquatiques et terrestres lors de l'évaluation ne permet pas actuellement de considérer toutes les voies d'exposition auxquelles peut être soumis un organisme vivant à la fois dans les deux types de milieux. Par ailleurs, l'outil ERICA considère la voie d'exposition la plus pénalisante, assurant de fait le caractère enveloppe de l'évaluation mais ne permet pas de réaliser un calcul réaliste du risque environnemental. De manière similaire, ERICA considère que les rejets n'impactent qu'un seul écosystème, alors que les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques sont susceptibles d'influencer à la fois les environnements terrestre et aquatique.
- La prise en compte d'écosystèmes complexes : les écosystèmes étudiés dans l'outil sont relativement simples. Les environnements de transition, comme les estuaires ou les environnements côtiers, sont aujourd'hui difficilement modélisables.

4 Les actions engagées par EDF pour contribuer à l'amélioration de l'outil

Les axes de développements présentés dans le paragraphe précédent font partie des points à l'étude pour les futurs développements portés par le consortium en charge de l'évolution de l'outil. Pour mieux intégrer ces nouveaux paramètres, des programmes de recherche sont en cours comme par exemple, le programme MODARIA (*Modelling and Data for Radiological Impact Assessments*) initié par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA). EDF est impliqué par son ingénierie et ses activités de recherche et développement dans des groupes de travail de ce programme, auxquels participent de nombreux experts internationaux du domaine.

5 Conclusion

Dans le cadre des études d'impact réalisées pour les dossiers réglementaires, EDF réalise depuis 2008 une évaluation du risque environnemental lié aux rejets d'effluents des sites nucléaires, en exploitation et en démantèlement, ainsi que pour ses nouveaux projets. L'utilisation de l'outil ERICA a ainsi permis d'intégrer les nouvelles recommandations internationales en étendant l'évaluation de l'impact sur l'homme aux organismes non humains. Cette évaluation prospective a également permis de compléter l'approche rétrospective basée sur les données issues de la surveillance de terrain.

Néanmoins, son utilisation par un exploitant comme EDF a mis en évidence plusieurs axes d'amélioration de l'outil. Ce REX doit venir nourrir les futurs développements d'un outil à même d'aider les exploitants à produire des études d'impact environnemental. L'utilisation de cette nouvelle méthode d'évaluation du risque environnemental a conduit à la démonstration d'un impact négligeable des installations nucléaires d'EDF sur l'environnement pour l'ensemble des dossiers réglementaires déposés.

Références

- Application of ERICA Integrated Approach at case study sites. Deliverable D10, European Commission, 6th Framework, Contract N°FI6R-CT-2003-508847, Beresford N., Howard B., Barnett C. 2007. 126 pages
- Beresford, N.A., Barnett, C.L., Howard, B.J., Scott, W.A., Brown, J.E., Copplestone, D., 2008. Derivation of transfer parameters for use within the ERICA Tool and the default concentration ratios for terrestrial biota. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1393-1407.
- Copplestone D., Bielby S., Jones S. R., Patton D., Daniel P. and Gize I., 2001, Impact assessment of ionising radiation on wildlife R&D Publication 128 (Bristol: Environment Agency)
- Copplestone, D., Hingston, J., Real, A., 2008, The development and purpose of the FREDERICA radiation effects database, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 99, Issue 9, Pages 1456-1463.
- D-ERICA : An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionizing radiation - Description of purpose, methodology and application. N. Beresford & al. February 2007.
- EC, 2003, Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) No 1488/94 on risk assessment for existing substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II" in Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 328 pages.
- Garnier-Laplace, J., Beaugelin-Seiller, K., Gilbin, R., Gariel, J.C., 2007, Évaluer l'impact des rejets radioactifs sur l'environnement : situation actuelle et perspectives, *Revue Contrôle de l'ASN*, n°177.
- Garnier-Laplace J., Copplestone D., Gilbin R., Alonzo F., Ciffroy P., Gilek M., Agüero A., Björk M., Oughton D.H., Jaworska A., Larsson C.M., Hingston J.L., 2008, Issues and practices in the use of effects data from FREDERICA in the ERICA Integrated Approach, *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1474-1483.
- Hosseini, A., Thørring, H., Brown, J.E., Saxén, R., Ilus, E., 2008. Transfer of radionuclides in aquatic ecosystems - Default concentrations ratios for aquatic biota in the ERICA Tool assessment, *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1408-1429.
- Le Druillennec T., Méthode d'évaluation de l'impact radioécologique autour des centrales nucléaires d'EDF, Journées SFRP Écotoxicologie, radioécologie : états et perspectives, 19-20 juin 2012.
- Strand, P., Beresford, N., Avila, R., Jones, S.R., Larsson, C.-M., 2001. Identification of candidate reference organisms from a radiation exposure pathways perspective. A Deliverable Report for the Project "FASSET" (Contract No. FIGE-CT-2000-00102) within the EC's Vth Framework Programme. Norwegian Radiation Protection Authority, Østera°s, Norway, p.48 (Appendices).