



RADIOPROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT *(PARTIE II)* :

METHODOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE D'EDF

Cécile BOYER, Gilles GONTIER, Pierre-Yves HEMIDY

EDF/DPNT/CIDEN/Division Environnement, EDF/DPNT/UNIE/GPRE-IEV

10^{ème} Congrès National de la Société Française de Radioprotection
Reims - 17 juin 2015

SOMMAIRE

1. CONTEXTE
2. PRESENTATION GENERALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA
3. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE RÉALISÉE PAR EDF DANS LE CADRE DES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES
4. METHODE ERICA : RETOUR D'EXPERIENCE, FORCES ET AXES DE DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL
5. ACTIONS ENGAGEES PAR EDF POUR L'AMELIORATION DE L'OUTIL
6. CONCLUSION

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.

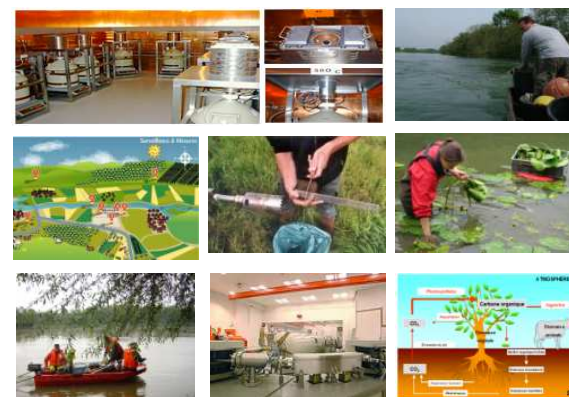


1. CONTEXTE

- Depuis 2008, en application des recommandations internationales visant la radioprotection des espèces non humaines (Cf. actualités internationales présentées en partie I), 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 de la déconstruction des sites nucléaires d'EDF (surveillance radioécologique),
 - le second une **évaluation quantitative et prospective** du risque environnemental.



2. PRESENTATION GENERALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA



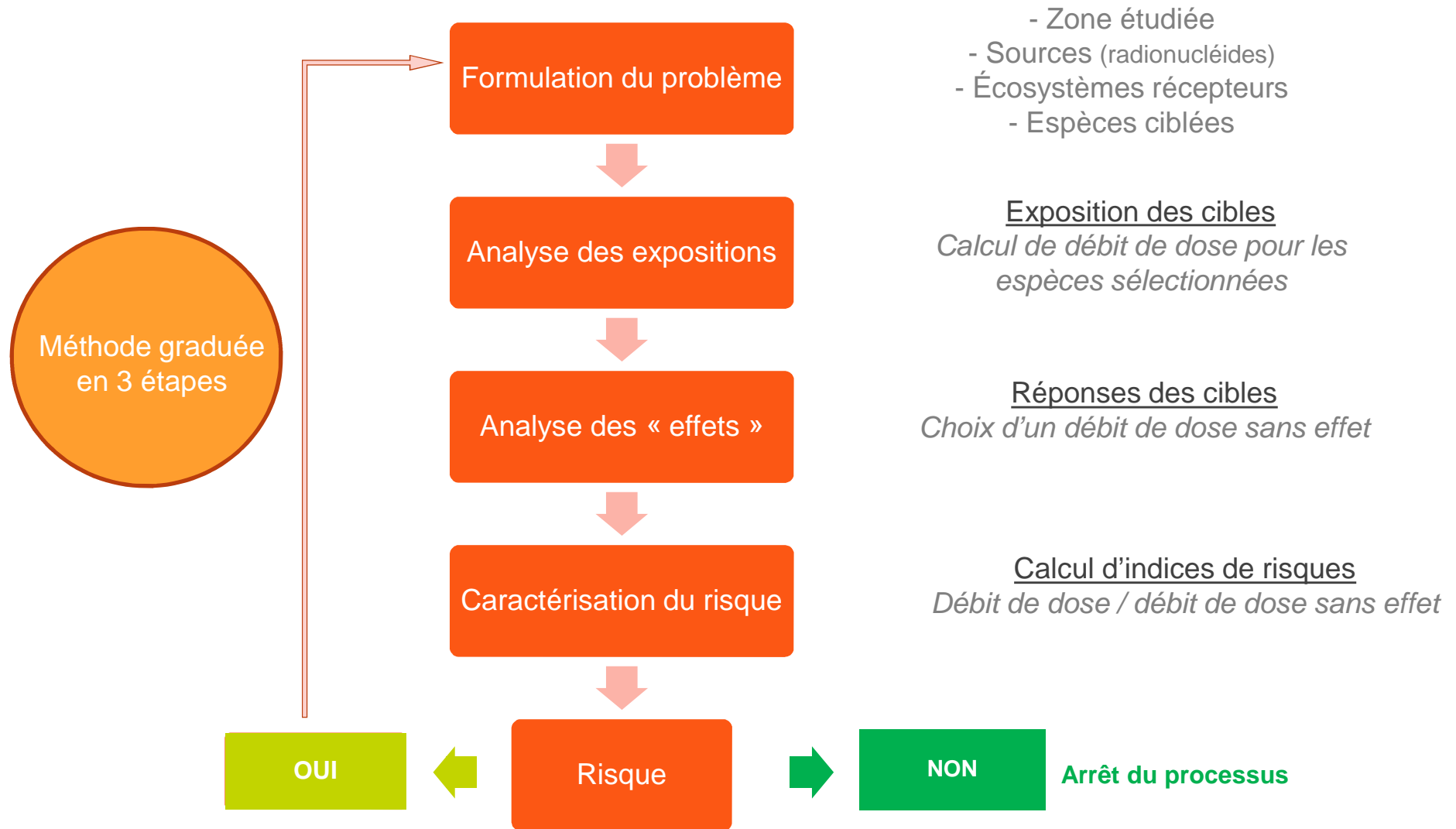
- **ERICA** (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*) outil d'évaluation du risque environnemental associé aux radionucléides.

Objectifs : « Fournir et appliquer une approche intégrée pour traiter et gérer sous l'angle scientifique et sociétal les « effets » sur l'environnement attribuable à la présence de radionucléide(s), en prenant en compte les espèces et les écosystèmes »

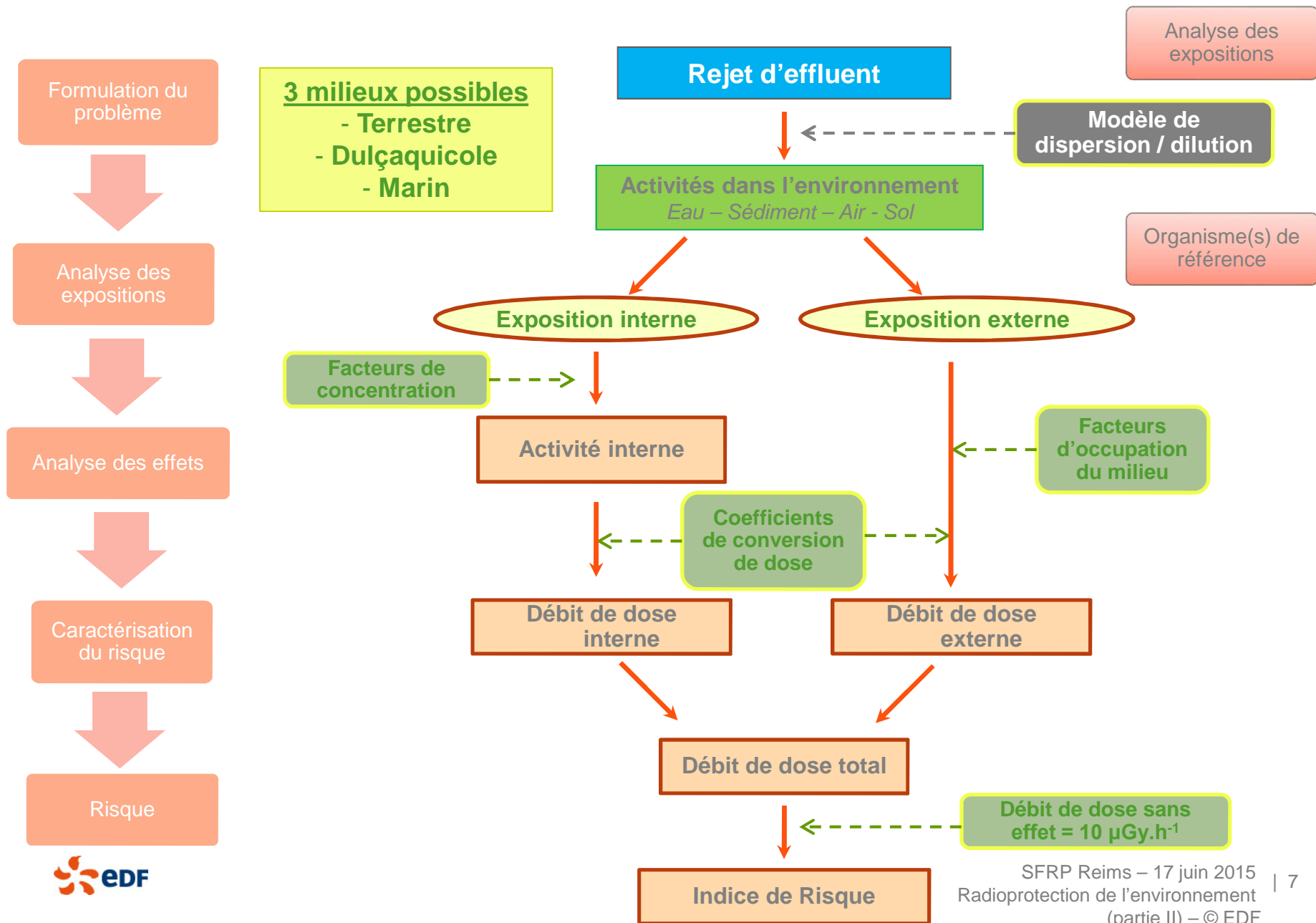
- Outil développé dans le cadre d'un **projet européen** (2004-2007) et **issu d'un effort commun de 15 institutions de 7 pays européens** : SSI, SKB, Facilia, SUC, NRPA, CIEMAT, EA, UNILIV, NERC, WSC, STUK, IRSN, GSF, UMB, EDF. Il permet d'évaluer, de caractériser et de manager les risques environnementaux liés aux radionucléides.

→ De part son caractère prospectif, l'outil ERICA apporte une réponse aux recommandations internationales et aux besoins d'EDF

2. PRESENTATION GENERALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

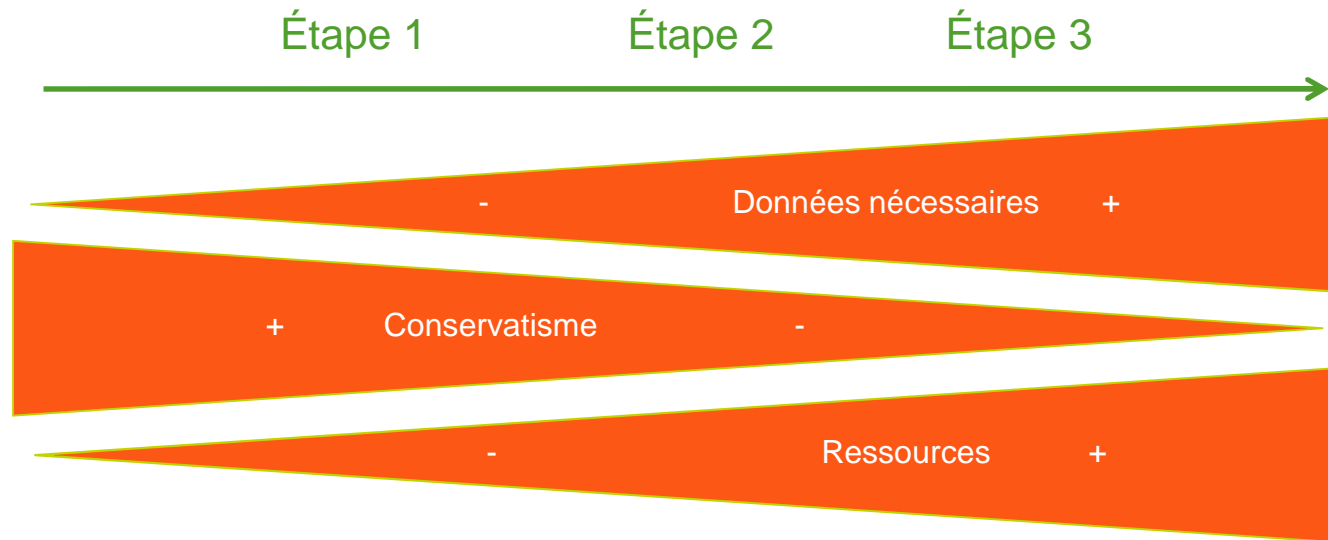


2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE



2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Méthode graduée en 3 étapes



Le niveau de détail d'une évaluation de risque doit être :

- Proportionnelle à la nature et la complexité du risque considéré,
- Cohérente avec les décisions à prendre.

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Please review and edit the radioecology parameters: Distribution Coefficient (Kd) and Concentration Ratio (CR).
The default CR values presented are empirically derived means (not 95th percentile values).



Nuclide	Amphibian	Bird	Gastropod	Benthic fish	Bivalve mollusc	Crustacean	Insect larvae	Mammal	Pe
H				1.00E0					
C									
I	1.30E2			1.80E2	2.50E1	4.00E2	4.00E2		
Mn			6.00E3	9.80E2	5.10E4	1.00E4	1.00E3		
Co	1.40E2		3.20E3	4.37E2	5.50E2	1.50E3	1.00E4		
Ni				1.00E2					
Ag				1.00E2					
Te				7.00E2					
Sb				2.90E2	2.40E2				
Cs	9.30E3	3.00E3	2.80E3	6.30E3	4.60E2	1.04E4			

Select a cell to edit

Edit Value Edit Distribution

Edit value and comment for selected cell(s)

Value Comment Enter

Database Value

Value Comment Enter

Select ERICA default CR values

Method used to derive ERICA default CR value when no empirical data:

- 1 similar taxonomy
- 2 similar reference organism
- 3 from published reviews
- 4 specific activity models
- 5 similar biogeochemistry
- 6 similar biogeochemistry and taxonomy
- 7 similar biogeochemistry and reference organism
- 8 allometric or other modelling approaches
- 9 highest available value
- 10 reference organism in a different ecosystem
- 11 combination of approaches

Select/Unselect all check boxes

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Please review and edit the radioecology parameters: Distribution Coefficient (Kd) and Concentration Ratio (CR).
The default CR values presented are empirically derived means (not 95th percentile values).



Nuclide	Amphibian	Bird	Gastropod	Benthic fish	Bivalve mollusc	Crustacean	Insect larvae	Mammal	Pe
H	1.00E0	1.00E0	1.00E0	1.00E0	1.00E0	1.00E0	1.00E0	1.00E0	
C	7.30E3	7.30E3	7.30E3	4.60E3	7.30E3	7.30E3	7.30E3	7.30E3	
I	1.30E2	1.30E2	2.50E1	1.80E2	2.50E1	4.00E2	4.00E2	1.30E2	
Mn	9.80E2	9.80E2	6.00E3	9.80E2	5.10E4	1.00E4	1.00E3	9.80E2	
Co	1.40E2	4.37E2	3.20E3	4.37E2	5.50E2	1.50E3	1.00E4	4.37E2	
Ni	1.00E2	1.00E2	6.40E3	1.00E2	6.40E3	5.50E2	5.50E2	1.00E2	
Ag	1.00E2	1.00E2	3.20E4	1.00E2	3.20E4	1.60E4	1.60E4	1.00E2	
Te	7.00E2	7.00E2	1.00E3	7.00E2	1.00E3	1.00E3	1.00E3	7.00E2	
Sb	2.90E2	2.90E2	2.40E2	2.90E2	2.40E2	2.40E2	2.40E2	2.90E2	
Cs	9.30E3	3.00E3	2.80E3	6.30E3	4.60E2	1.04E4	1.04E4	9.30E3	

Select ERICA default CR values

Method used to derive ERICA default CR value when no empirical data:

- 1 similar taxonomy
- 2 similar reference organism
- 3 from published reviews
- 4 specific activity models
- 5 similar biogeochemistry
- 6 similar biogeochemistry and taxonomy
- 7 similar biogeochemistry and reference organism
- 8 allometric or other modelling approaches
- 9 highest available value
- 10 reference organism in a different ecosystem
- 11 combination of approaches
- Select/Unselect all check boxes

Select a cell to edit

Edit Value

Edit value and comment for selected cell(s)

Value Comment

Database Value

Value Comment

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

■ La notion d'organismes de référence :

- Ce sont les espèces génériques proposé par l'outil ERICA :

(Publication 108 de la CIPR: « *Concept and use of Reference Animals and Plants (ie « RAPs »)* »)

Terrestre	Aquatique - eau douce	Aquatique - marin
Lichen et bryophytes	Plantes vasculaires	Oiseau (<i>canard</i>)
Pelouses et herbes (<i>prairie</i>)	Larve d'insecte	Poisson benthique (<i>raie</i>)
Arbuste	Mollusque bivalve	Mollusque bivalve
Arbre (<i>pin</i>)	Crustacé	Crustacé (<i>crabe</i>)
Invertébré du sol (<i>lombric</i>)	Gastéropode	Algue (<i>algue brune</i>)
Invertébré détritivateur	Amphibien (<i>grenouille</i>)	Mammifère
Insecte volant (<i>abeille</i>)	Phytoplancton	Poisson pélagique
Gastéropode	Zooplancton	Phytoplancton
Reptile	Poisson benthique	Ver Polychète
Amphibien (<i>grenouille</i>)	Poisson pélagique (<i>saumon-truite</i>)	Reptile
Oiseau (<i>canard</i>)	Oiseau (<i>canard</i>)	Plante vasculaire
Œuf d'oiseau (<i>œuf de canard</i>)	Mammifère	Zooplancton
Mammifère (<i>rat et cerf</i>)		Corail

- Espèces spécifiques définies par l'utilisateur (jugement d'expert) :

→ Taille, poids, facteur d'occupation de l'organisme

→ Forme géométrique simplifiée pour le calcul dosimétrique



3. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE RÉALISÉE PAR EDF DANS LE CADRE DES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

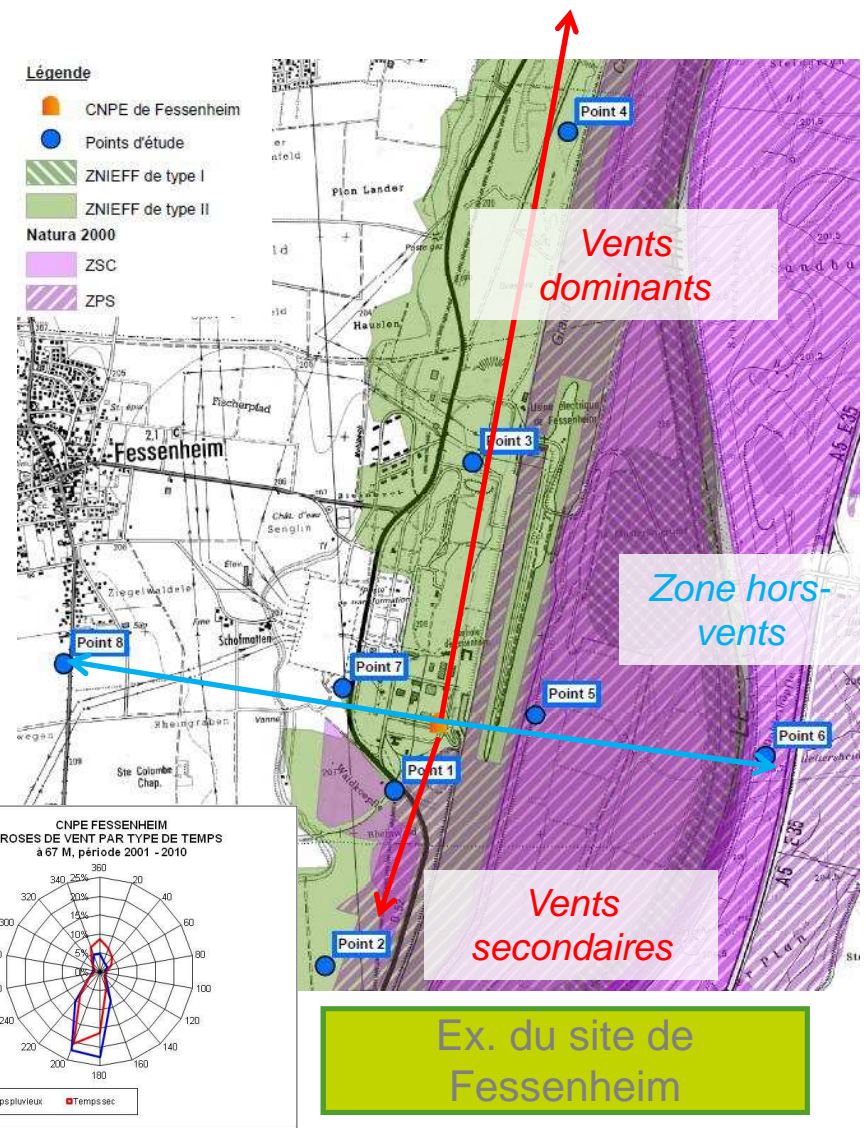


- Sélection de points dans l'écosystème terrestre
 - ↘ Zones écologiques classées:
 - Natura 2000: ZSC (espèces et habitats) et ZPS (oiseaux)
 - ZNIEFF
 - ↘ Milieux naturels d'intérêt (forêts ...)
 - ↘ Zones sous influence et hors influence des rejets gazeux

- Calculs des activités dans l'atmosphère et dans le sol
 - ↘ Dispersion des rejets atmosphériques: calculs des Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) pour ces points
 - ↘ Calculs des activités atmosphériques et dans les sols après dépôt (MIRRAGE) en considérant la durée de fonctionnement du site



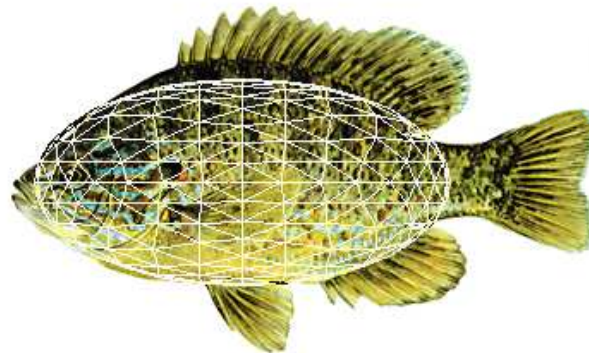
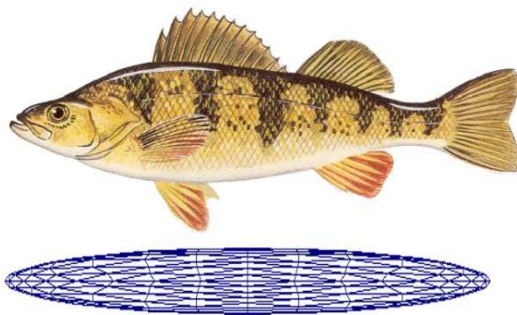
- Vérification que les espèces identifiées autour des sites (prospections de terrain, bibliographie) sont bien représentées par les espèces de référence d'ERICA



3. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE RÉALISÉE DANS LE CADRE DES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES



- Sélection d'un point en zone de mélange
 - ↙ Critères sanitaires
- Calcul des activités dans l'eau
 - ↙ Dilution complète des rejets radioactifs liquides
 - ↙ Utilisation des Kds génériques inclus dans l'outil ERICA
- Vérification que les espèces identifiées autour des sites (prospections de terrain & bibliographique) sont bien représentées par les espèces de référence d'ERICA



3. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE RÉALISÉE DANS LE CADRE DES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

- Estimation des activités des radionucléides dans le milieu

- ↘ Calculs réalisés en considérant :
 - les limites de rejet / (les rejets réels),
 - la durée de fonctionnement de l'installation,

- Évaluation du risque environnemental

- ↘ Nécessité de créer/introduire de nouveaux radionucléides (ex. ^{51}Cr , ^{55}Fe ...) ou certains organismes (ex. *chauve-souris*).
 - ⇒ EDF réalise l'évaluation du risque directement avec l'étape 2.
 - ⇒ L'étape 3 n'a pour l'instant jamais été requise.

→ 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.

3. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE RÉALISÉE DANS LE CADRE DES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Ex. du site de Fessenheim

Calculs des activités

³ H	Activités dans l'eau (Bq. L ⁻¹)
¹⁴ C	
^{110m} Ag	
⁵⁸ Co	
⁶⁰ Co	
¹³⁴ Cs	
¹³⁷ Cs	
¹³¹ I	
⁵⁴ Mn	
¹²⁴ Sb	
¹²⁵ Sb	
^{123m} Te	
⁶³ Ni	
⁵¹ Cr	

Débit de Dose calculé

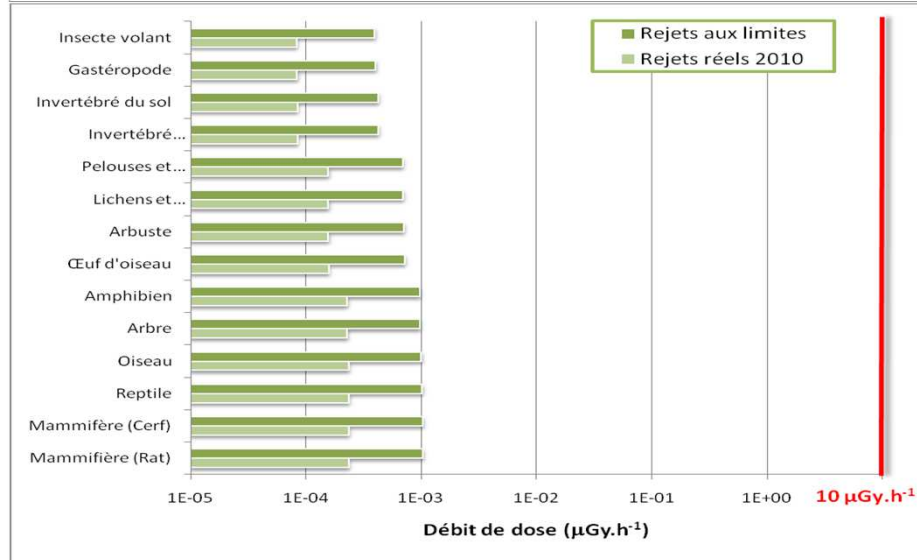
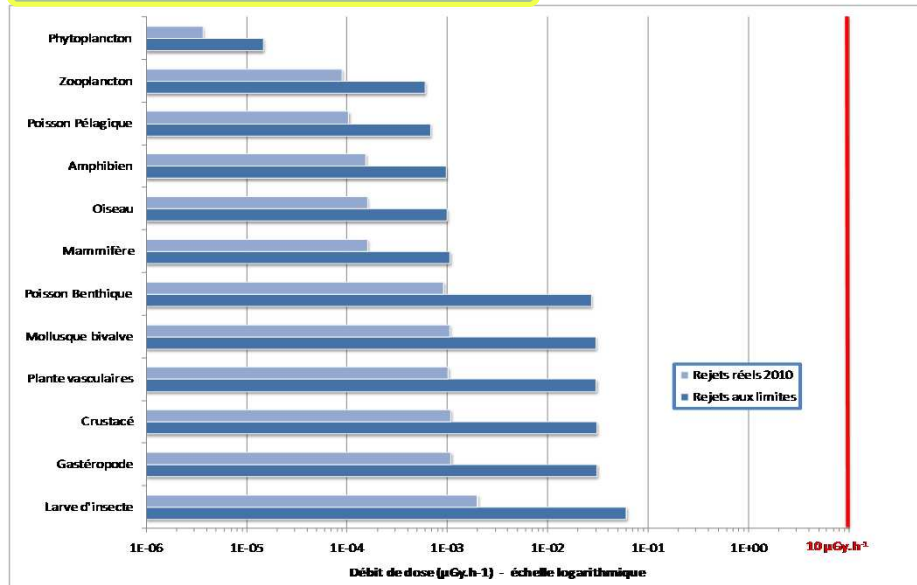


Débit de dose sans effet = 10 μGy.h⁻¹

³ H	Activité dans l'atmosphère (Bq.m ⁻³)
¹⁴ C	
¹³¹ I	Activité dans les sols (Bq.kg ⁻¹)
¹³² I	
¹³³ I	
¹³⁵ I	
¹³⁴ Cs	
¹³⁷ Cs	
⁵⁸ Co	
⁶⁰ Co	
⁵¹ Cr	

Débit de Dose calculé

Indices de Risque



4. METHODE ERICA : RETOUR D'EXPERIENCE, FORCES ET AXES DE DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL

■ L'outil ERICA

- ↗ Est un outil de démonstration qui permet d'évaluer le risque environnemental lié à des rejets d'effluents radioactifs (*actuels et/ou futurs*) dans un écosystème ;
- ↗ Permet à l'exploitant la réalisation d'études d'impact environnemental selon une approche graduée en fonction des enjeux,
- ↗ Fournit une évaluation spécifique par espèce répondant à une vision « écosystème et biodiversité »,
- ↗ Validée par des études de cas dans différents pays européens, bénéficie du REX international.

■ Voies d'amélioration

- ↗ Prise en compte de certains radionucléides, comme les gaz rares,
- ↗ Acquisition et intégration de données pour certains couples radionucléide/organisme,
- ↗ Consolidation de certaines valeurs de paramètres utilisés par l'outil (CR, Kd),
- ↗ Possibilité de réaliser l'évaluation globale d'un écosystème,
- ↗ Prise en compte d'écosystèmes complexes (environnements de transition : estuaires, environnements côtiers...),



Reste un outil : garder une vision critique des résultats.

5. ACTIONS ENGAGEES PAR EDF POUR L'AMELIORATION DE L'OUTIL

■ Actions internes

- ↗ **Stage Master 1**: « Modélisation de l'impact des rejets d'effluents radioactifs gazeux sur un système hydrologique de surface » (2013)
- ↗ **Travaux R&D**, notamment analyse de sensibilité de Kd sites spécifiques / Kd par défaut dans ERICA

■ Actions au niveau national : **Fiche GGP ERICA** (EDF/IRSN/CEA) (2011-2014)

- ↗ Analyse critique des modèles conceptuels d'écosystèmes retenus dans l'outil,
- ↗ Classement des radionucléides d'intérêt en terme de risque potentiel pour l'écosystème – Identification des paramètres les plus influents sur ce classement,
- ↗ Élaboration de guide méthodologique.

■ Actions au niveau international : **Implication dans le programme MODARIA (AIEA)** – Groupe 4 (en cours, depuis fin 2012)

- ↗ Identifier les radionucléides à forte priorité en terme de besoin de données (qualitativement et quantitativement)
- ↗ Compléter les données manquantes (compilation de données, travail statistique)
- ↗ Contribution EDF : fourniture de termes source représentatifs d'un CNPE et des sites en démantèlement

6. 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. Les évaluations réalisées ont été **soumises à l'approbation des autorités et à la consultation du public sans remise en cause.**

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.**

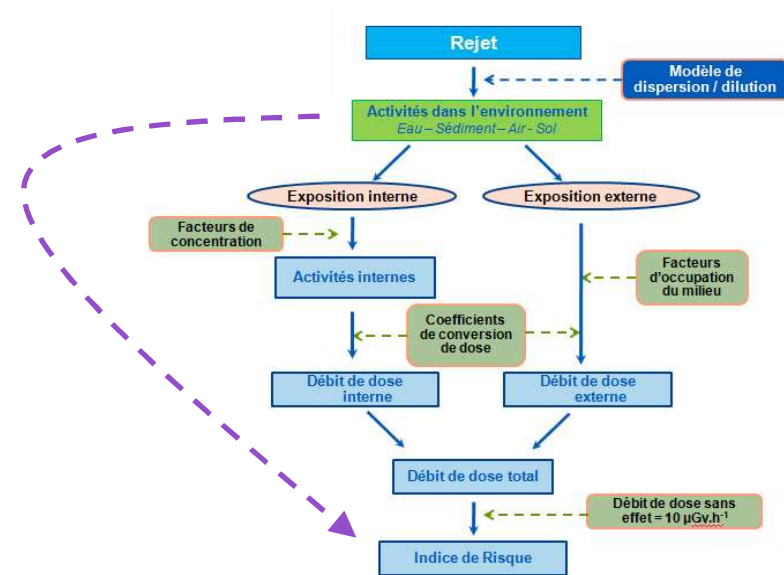
Néanmoins, son utilisation par un exploitant comme EDF a mis en évidence **plusieurs axes d'amélioration de l'outil.** Ce REX doit venir nourrir les futurs développements d'un outil à même d'aider les exploitants à produire des études d'impact environnemental.

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.**

MERCI

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Étape 1 : étape de screening



EMCL – Environmental Media Concentration Limit (valeurs d'activité limite dans le milieu):

$$EMCL = \frac{SDR}{F}$$

avec : **SDR**, la valeur de débit de dose de screening choisie par l'utilisateur ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)
 et **F**, le débit de dose reçu par un organisme pour une concentration unitaire dans le milieu environnant ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ par $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, ou par $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, ou par $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$).

Indice de risque total pour l'écosystème :

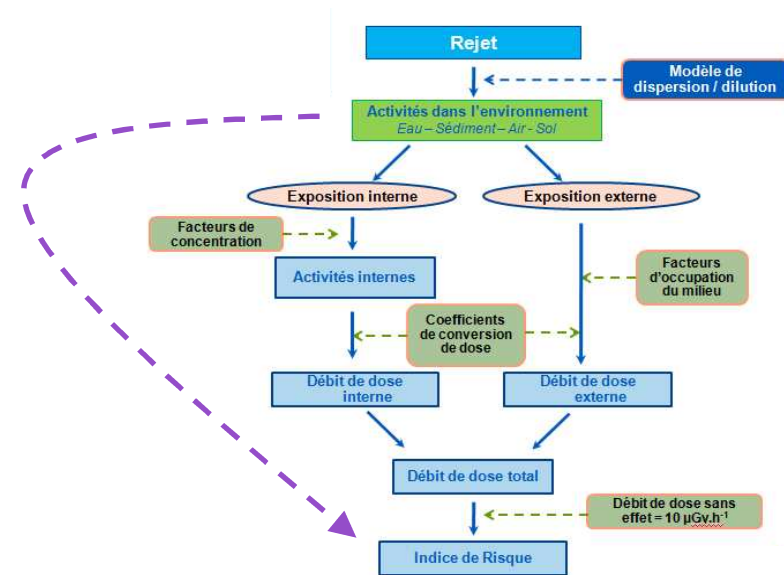
$$IR_{total} = \sum_1^n \frac{A_n}{EMCL_n}$$

Avec : **A_n** : activité pour un radionucléide estimée ou mesurée dans le milieu

EMCL_n : valeur limite d'activité dans le milieu pour un radionucléide donné pour le plus sensible des organismes de référence (mêmes unités).

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Étape 1 : étape de screening

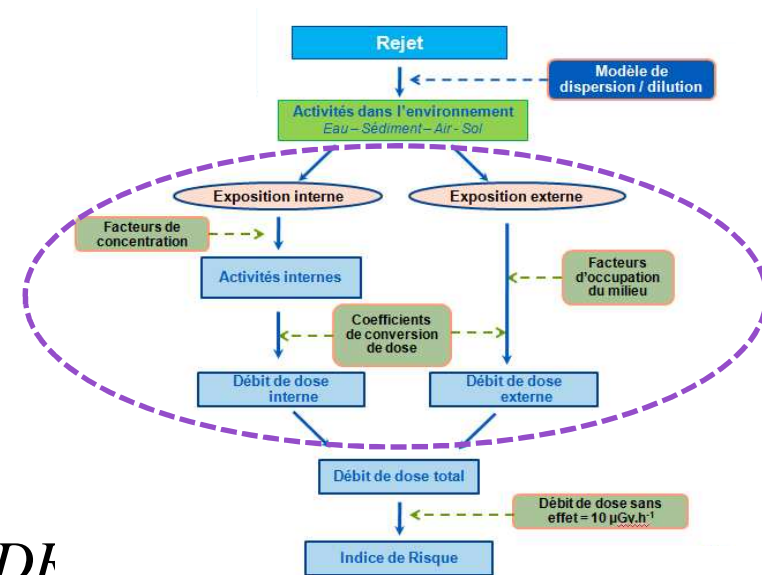


Si $IR_{total} < 1$, la probabilité pour n'importe quel organisme du milieu d'absorber une dose supérieure à 10 µGy.h⁻¹ est faible et l'impact associé aux rejets radioactifs peut être considéré comme négligeable. Il n'est alors pas nécessaire de réaliser l'étape 2 de l'évaluation du risque environnemental.

Si $IR_{total} > 1$, 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) afin d'affiner l'évaluation de ce risque.

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Étape 2 : étape d'évaluation générique



Indice de risque total pour un organisme donné :

$$IR_{org} = \frac{DF_{org}}{SDR}$$

Avec : IR_{org} = indice de risque pour un organisme donné

DF_{org} = débit de dose total estimé pour l'organisme de référence ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

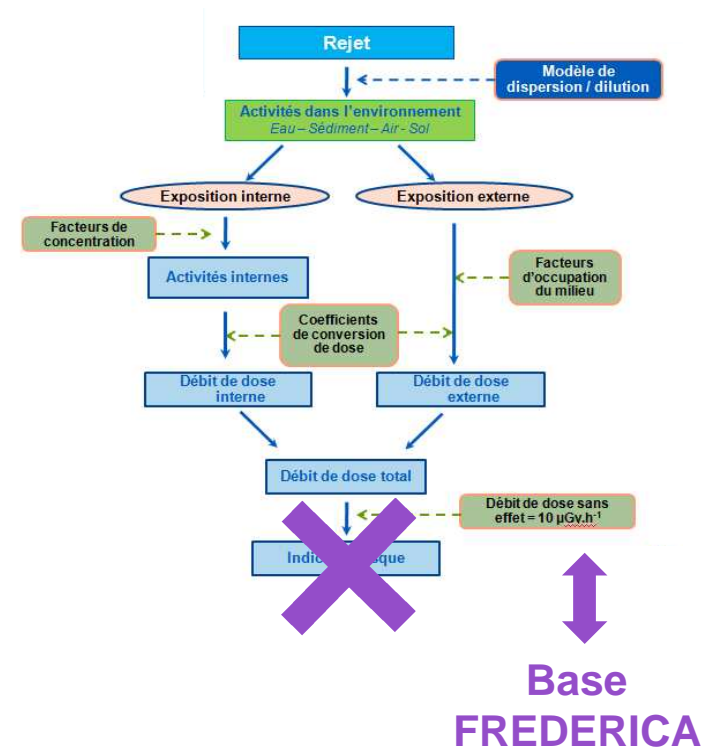
SDR = débit de dose de screening sélectionné par l'utilisateur ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

Dans cette étape la possibilité d'ajuster les paramètres permet de réaliser une évaluation plus poussée et donc d'augmenter le caractère site-spécifique de l'étude, réduisant ainsi son degré de conservatisme :

- la plupart des paramètres peuvent être modifiés (K_d , CR , facteurs d'occupation des espèces...);
- il est possible de créer de nouvelles espèces et de nouveaux radionucléides ;
- il est possible d'utiliser des activités de radionucléides dans des matrices environnementales (faune et flore) afin d'affiner l'évaluation réalisée (*dans l'étape 1, il est uniquement possible d'utiliser des activités dans le milieu : air, sol, eau et sédiments*).

2. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'APPROCHE ET DE L'OUTIL ERICA

Étape 3 : étape d'évaluation complète



L'étape 3 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 étape ne propose plus de valeur de débit de dose de screening prédéfini

⇒ les résultats fournis dans cette étape ne sont donc 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.