

## Protection de l'environnement vis-à-vis des substances radioactives:

Mise en perspective des avancées issues des projets européens (5ème et 6ème PCRD) pour le développement d'un système de radioprotection de l'environnement

17 décembre 2008 / réunion du GT-CIPR

jacqueline.garnier-laplace@irsn.fr

Direction de l'environnement et de l'Intervention  
Service d'Étude du Comportement des Radionucléides dans les Écosystèmes

### L'évolution des concepts et pratiques à la CIPR

#### ■ Les années 70 - 80

L'homme est la cible à protéger.

L'environnement est un vecteur de contamination vers l'homme.

#### ■ Les années 80 - 90

L'homme est l'être vivant le plus radiosensible.

Le protéger induit implicitement de protéger l'environnement.

#### ■ 2000 et au-delà: Une préoccupation soulignée par la création du C5 et les recommandations de la publication 103 (2007)

L'environnement devient une cible de protection en tant que tel.

La biodiversité, les habitats et les ressources doivent être maintenus et préservés.



ICRP. (2007) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 103. Annals of the ICRP 37 (2-3).

## Les principales justifications

- **Un manque d'harmonisation** entre les modes de gestion de la radioprotection de l'environnement et ceux préconisés pour la protection de l'environnement au sens large pour laquelle diverses réglementations existent.
- **L'absence de méthodes pour l'évaluation du risque environnemental** pour les radionucléides (RNs) est difficilement justifiable par rapport à ce qui existe pour les substances chimiques.
- **Un contexte actuel et futur** dans le domaine du nucléaire (ex. EPR, gestion des déchets, anciens sites miniers) dans un cadre de transparence et de sécurité (Loi n° 2006-686 du 13/06/2006) qui renforce l'enjeu associé à la radioprotection de l'environnement.

## Le positionnement au niveau international

- **La nécessité de disposer d'une méthode pour démontrer explicitement** que l'environnement est protégé des effets délétères liés à la présence et/ou aux rejets de substances radioactives est reconnue par les organisations internationales: CIPR 2007, AIAE 2006, OCDE-NEA 2007.



IAEA. (2006) *Fundamental safety principles: safety fundamentals*. IAEA safety standards series No. SF-1, ISSN 1020-525X, ISBN 92-0-110706-4. International Atomic Energy Agency, Vienna.

OECD (2007) *Environmental Radiological Protection in the Law - A Baseline Survey*. NEA No. 6172, ISBN: 92-64-99000-5. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development, Paris. Available from: <http://www.nea.fr/html/rp/reports/2007/nea6172-law.pdf>

- **Elle a été anticipée** par un certain nombre de pays qui ont intégré cet aspect dans leur réglementation (UK, Canada, USA)



Copplestone et al. (2001) *Impact Assessment of Ionising Radiation on Wildlife*. Environment Agency R&D Publication 128. 222pp.

Copplestone et al. (2003). *Habitat regulations for Stage 3 assessments: radioactive substances authorisations*. October 2003. Environment Agency R & D Technical Report P3-101/SP1a. 100pp.

Environment Canada (2003) *Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota), Priority substances list assessment report, Canadian environmental protection act, 1999*.

USDoE. (2002). *A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota (DOE-STD-1153-2002)*, U.S. Department of Energy, Washington, D.C.




## Le positionnement au niveau international

- Actuellement, discussion pour la préparation d'un nouveau guide de l'AIEA (« Safety Guide ») sur l'évaluation de l'impact environnemental radiologique (Radiological Environmental Impact Analysis for facilities and Activities) avec un parallèle entre les aspects «Impact sur les écosystèmes et sur la santé humaine » - draft fin 2009
- Dans le cadre de la révision des normes de sûreté européennes en cours (Euratom Basic Safety Standards - Directive 96/29/Euratom), le titre X Protection de l'environnement est ajouté avec les mentions suivantes:

*The subject matter and general purpose of this Directive is the health protection of the population and workers against the dangers of ionizing radiation; this Directive also applies to the protection of the human environment as a pathway from environmental sources to the exposure of man, complemented where appropriate with specific consideration of the exposure of biota in the environment as a whole*

- Draft complet présenté aux experts de l'art.31 juin à nov.2009  
...

## Les projets de R&D au niveau européen

- Le domaine EURATOM a soutenu les développements méthodologiques dans le domaine depuis le 5ème PCRD (>2000), en particulier pour l'élaboration d'une **synthèse des connaissances** existantes en radioécologie et en radiobiologie des espèces non-humaines et le **développement d'une méthodologie** consensuelle en Europe et pouvant contribuer à la préparation de l'établissement d'un cadre réglementaire (propositions de « standards » )
-  **FASSET** *Framework for Assessment of Environmental Impact* (5ème PCRD 2000-2003)-> évaluation de l'impact environnemental (15 partenaires, 1.1M€)
-  **ERICA** *An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation* (6ème PCRD 2004-2007) -> évaluation du risque environnemental et gestion (15 partenaires, 1.5M€)
-  **PROTECT** *Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context* (6ème PCRD 2006-2008)-> mise en perspective de la protection de l'environnement vis-à-vis des substances radioactives dans un contexte réglementaire (5 partenaires, 350k€)

## L'objectif recherché au fil de ces projets

- Disposer d'une méthode d'évaluation du risque environnemental associé aux radionucléides
  - Robuste, transparente et intégrée
  - Inspirée des développements réalisés dans le domaine des substances chimiques
  - Adaptée aux différents cas d'applications :
    - prospective : appréciation de l'impact de nouveaux projets, de scénarios de gestion/démantèlement d'installations du cycle du combustible.
    - rétrospective : surveillance et contrôle des rejets à différentes échelles de temps et d'espace.
  - Permettant une proposition cohérente de valeurs guides « sans effet » ou critères de protection pour tout ou partie des écosystèmes et un schéma d'utilisation de ces méthodes et valeurs dans un cadre réglementaire «vers le développement de standards »

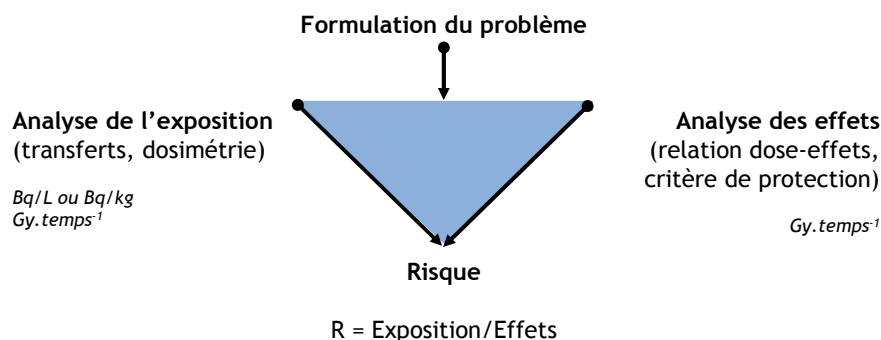
Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN

7/26

## Définition de base: risque environnemental

- Risque : incidence et sévérité des dommages (effets toxiques) susceptibles d'apparaître dans l'écosystème suite à l'exposition (irradiation, contamination) réelle ou prévue aux substances radioactives



- Les débits de dose estimés pour la faune et la flore doivent être comparés à un critère de protection (valeur benchmark) pour estimer le niveau de risque.

Radioprotection de l'environnement: les projets européens

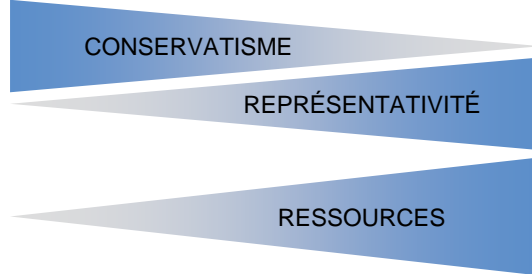
IRSN

8/26

## La méthode développée

- La méthode dite « graduée » met en œuvre une première étape de screening pour cribler les cas les plus à risque.

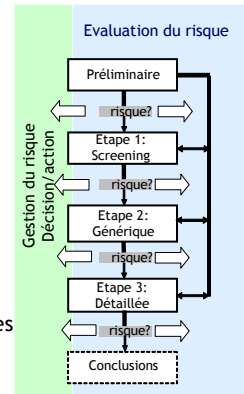
1: « screening »    2 : générique    3: détaillée



données génériques,  
conservatives,  
calcul déterministe.



données site-spécifiques  
incertitudes,  
calcul probabiliste.



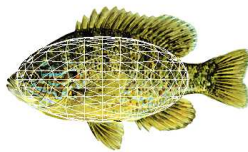
- Dernière étape associée à des preuves supplémentaires: surveillance écologique, données d'écotoxicité spécifiques

## Formulation du problème (outil ERICA)

Source de 63  
RNs de 31  
éléments

Ecosystèmes  
(3)

Organismes  
De référence  
(37)



Ag, Am,  
C, Cd, Ce, Cl, Cm, Co, Cs,  
Eu,  
H,  
I,  
Mn,  
Nb, Ni, Np,  
P, Pb, Po, Pu,  
Ra, Ru,  
S, Sb, Se, Sr,  
Tc, Te, Th,  
U,  
Zr

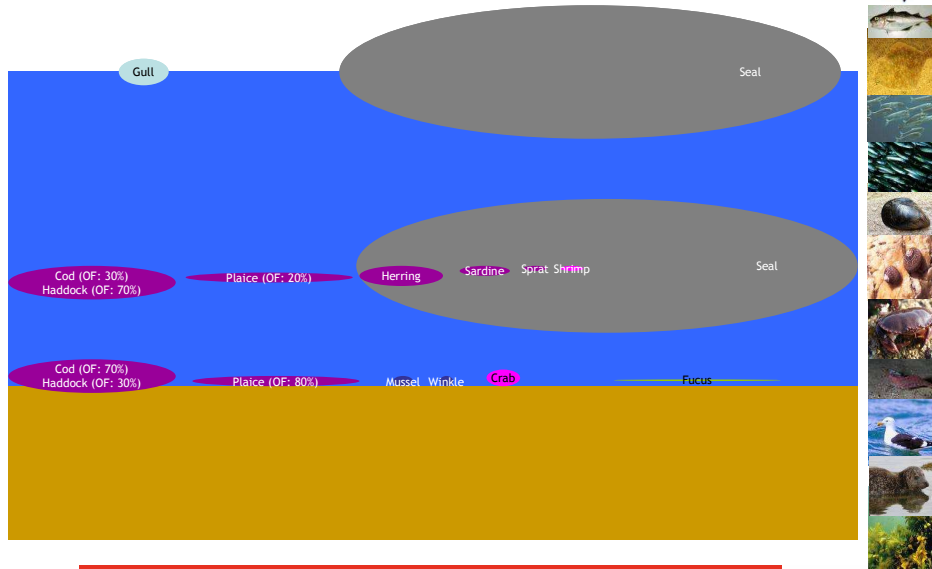
Fonctionnement normal  
Accident

Situations prévues,  
existantes, d'urgence  
(planned/existing/emergency)

	Terrestre	Eau douce	Marin
Producteurs primaires	Arbre Buisson Lichen & bryophyte Herbe, Graminée	Phytoplancton Plante vasculaire	Phytoplancton Plante vasculaire Macroalgue
Invertébrés	Invertébré du sol (ver) Invertébré détritivore Insecte volant Gastéropode	Zooplankton Larve d'insecte Mollusque bivalve Gastéropode Crustacé	Zooplankton Polychète Mollusque bivalve Crustacé
Vertébrés	Oiseau: adulte & œuf Mammifère Amphibien Reptile	Poisson bentique Poisson pélagique Oiseau Mammifère Amphibien	Poisson bentique Poisson pélagique Oiseau Mammifère Reptile

## Analyse des expositions: utilisation du concept d'organismes de référence

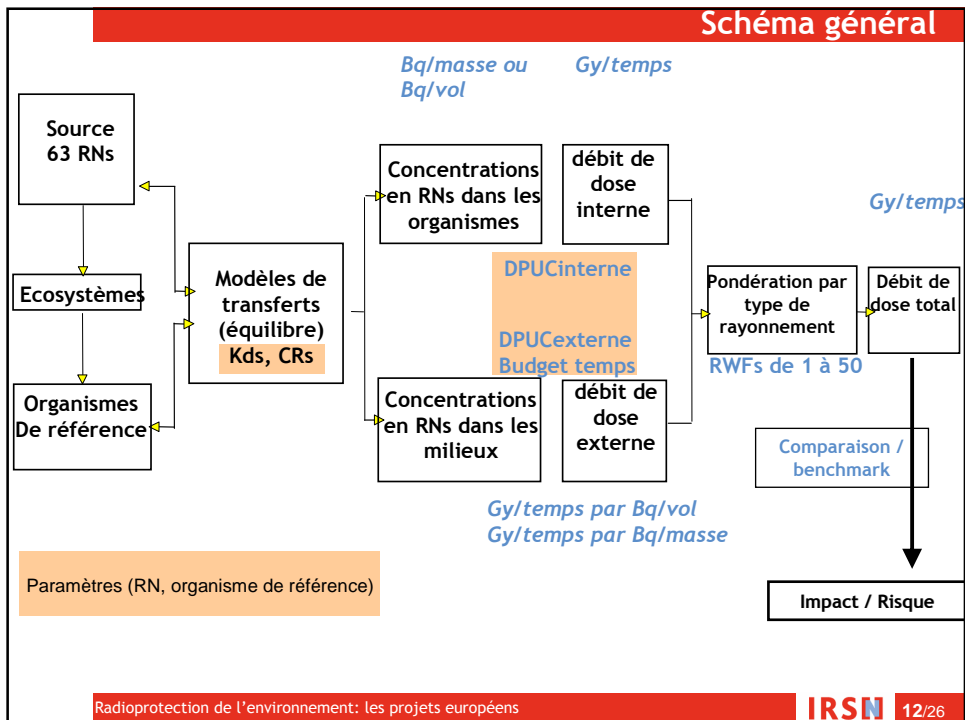
### Assemblage d'organismes de référence pour représenter un écosystème



Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 11/26

## Schéma général

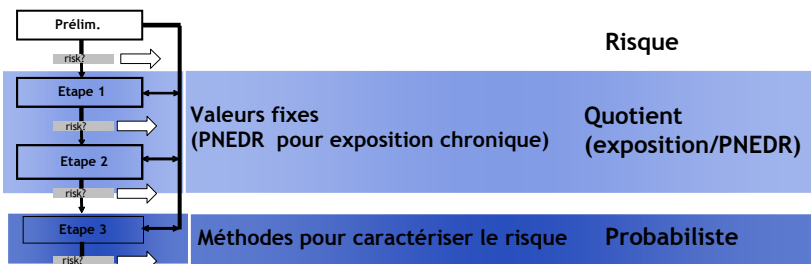


Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 12/26

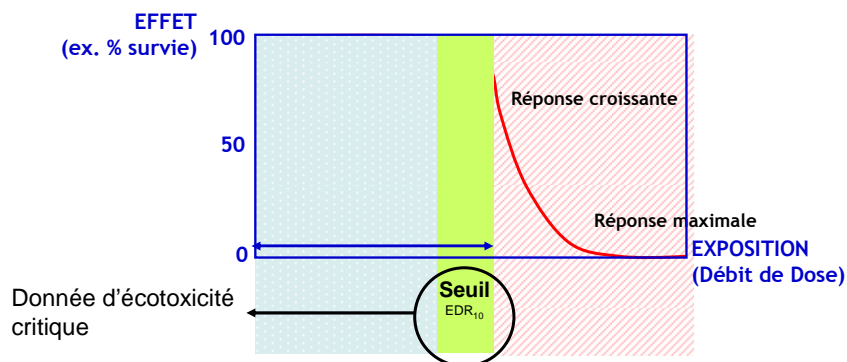
## Analyse des effets et caractérisation du risque

- La comparaison (étape 1,2) est réalisée au travers de l'utilisation de valeurs benchmarks. Un benchmark est une valeur numérique utilisée comme guide pour prendre une décision à certaines étapes clés d'une approche graduée. Ces valeurs doivent être robustes, justifiées sur le plan scientifique.
- Ce sont des concentrations dans un milieu, des doses ou débits de doses supposées sans effet sur la base des connaissances en matière de relations exposition/dose/réponses.



## Détermination de valeurs d'exposition « sans effet »

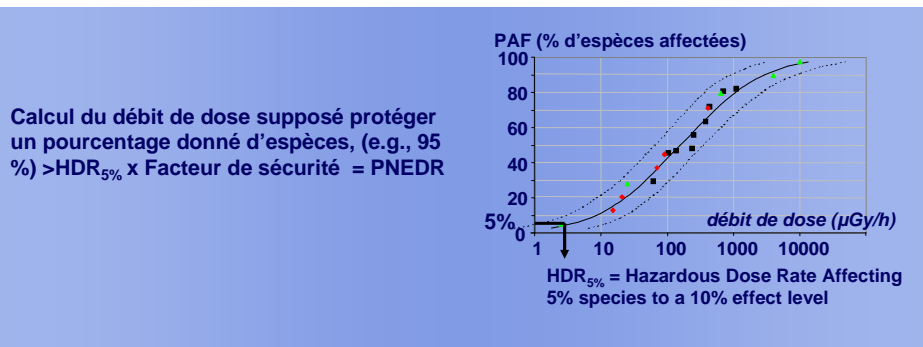
- L'approche est basée sur des données d'écotoxicité en laboratoire établissant des relations dose-réponse sur les grandes fonctions des organismes vivants (survie, reproduction, croissance, comportement)



**EDR<sub>10</sub>** pour les substances radioactives  
*Débit de dose donnant 10% d'effet sur le groupe exposé par rapport au groupe témoin (statistiquement + robuste que le NOEC)*

## Dérivation de benchmarks

- Ces données d'écotoxicité critiques peuvent être utilisées pour appliquer diverses méthodes dont celle des modèles d'extrapolation statistiques telles les "Species Sensitivity Distribution" (SSDs).
- Les espèces pour lesquelles les résultats d'écotoxicité sont connus **sont représentatives en termes de sensibilité**, de toutes les espèces composant un écosystème (set des EDR<sub>10</sub> sélectionnés)

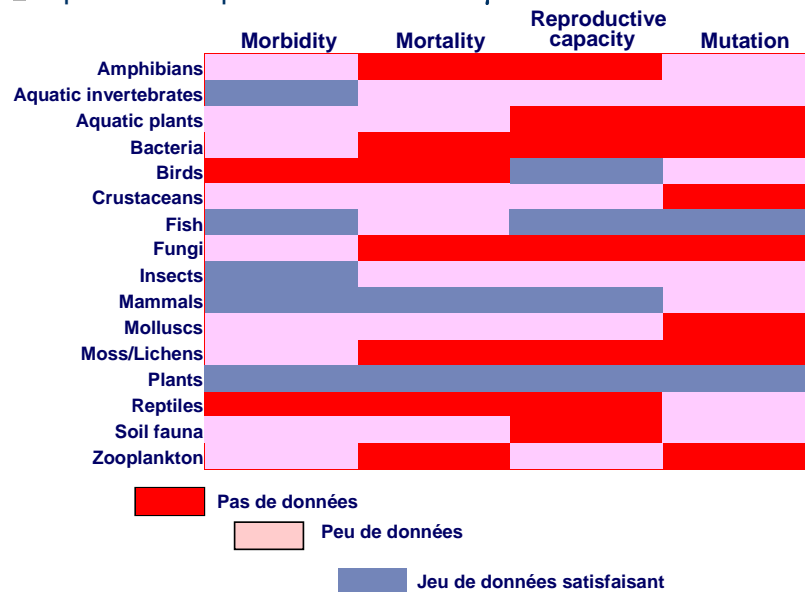


Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 15/26

## Connaissances chez les espèces non humaines

- Exposition chronique et irradiation externe  $\gamma$



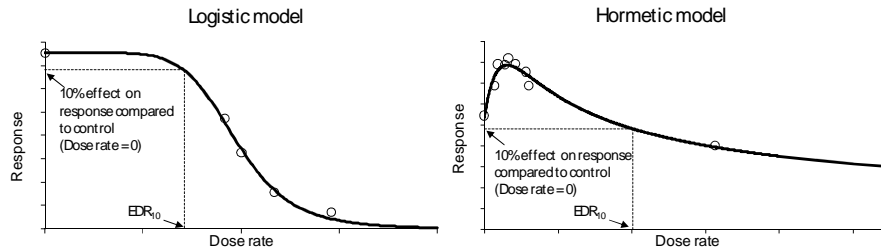
Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 16/26



## Méthode adoptée par ERICA/PROTECT

- Etablissement des relations débit de dose-effets à partir des jeux de données recevables selon une approche multi-critère



- Obtention de 105 EDR<sub>10</sub> pour le domaine d'exposition chronique par irradiation gamma externe
- Ces données d'écotoxicité critique concernent 25 espèces (8 plantes, 8 invertébrés, 9 vertébrés) et divers critères d'effet

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. and 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 (9), 1474-1483.

Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 17/26

## Méthode adoptée par PROTECT

Table 1. The lowest available relevant EDR<sub>10</sub> value ( $\mu\text{Gy h}^{-1}$ ) for each species.

Group	Species	Effect description	EDR <sub>10</sub>	Reference
Plants	<i>Abies balsamea</i>	Number of buds	2945	Dugle, 1986
Plants	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Yield of seeds	40151	Alexeyeva and Belonozhko, 1981
Plants	<i>Pinus rigida</i>	Mature seeds (%ovules filled)	710	Sparrow et al., 1965
Plants	<i>Triticum monococcum</i>	Productive bush amount, % of the control value.	9760	Zolotova and Shcherbakov, 1987
Annelids	<i>Eisenia fetida</i>	Hatchlings per adult	3369	Hertel-Aas et al., 2007
Annelids	<i>Ophryotrocha diadema</i>	The percentage of worms in generation 3 surviving to day 62.	2360	Knowles and Greenwood, 1994
Crustaceans	<i>Daphnia magna</i>	Larval survival to starvation during 5 days, brood 1 (% survival)	16797	Gilbin et al., 2008
Crustaceans	<i>Daphnia pulex</i>	Population birth rate (per day)	277634	Marshall, 1962
Crustaceans	<i>Porcellio scaber</i>	Mean number of offspring per tank per dose rate group	1030	Hingston et al., 2004
Molluscs	<i>Mercenaria mercenaria</i>	Survival of juvenile clams (%) on day 426.	49520	Baptist et al., 1976
Molluscs	<i>Physa heterostropha</i>	No of eggs per snail	55831	Cooley and Nelson, 1970
Birds	<i>Gallus gallus</i>	Hatchability as a % of the control	13932	Phillips and Coggle, 1988
Birds	<i>Larus ridibundus</i>	Number embryos reaching full term development as a % of the control	3696	Phillips and Coggle, 1988
Fish	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	% (of irradiated fish) undifferentiated sex	3518	Bonham and Donaldson, 1972
Fish	<i>Oryzias latipes</i>	Male gonadal somatic index (mean gonad weight / mean body weight)	20881	Egami and Hamafurukawa, 1981
Fish	<i>Pleuronectes platessa</i>	Mean proportion of plaice testes occupied by sperm cells.	47	Knowles, 1999
Fish	<i>Poecilia reticulata</i>	Mean life time fecundity	516	Woodhead, 1977
Mammals	<i>Mus musculus</i>	N° of litters per fertile female during 245 days.	26	Rönåbäck, 1983

- Parmi ces 105 EDR<sub>10</sub>, approche consensuelle pour décider des critères de sélection pour déterminer une valeur benchmark:

Valeur d'écotoxicité minimale par espèce

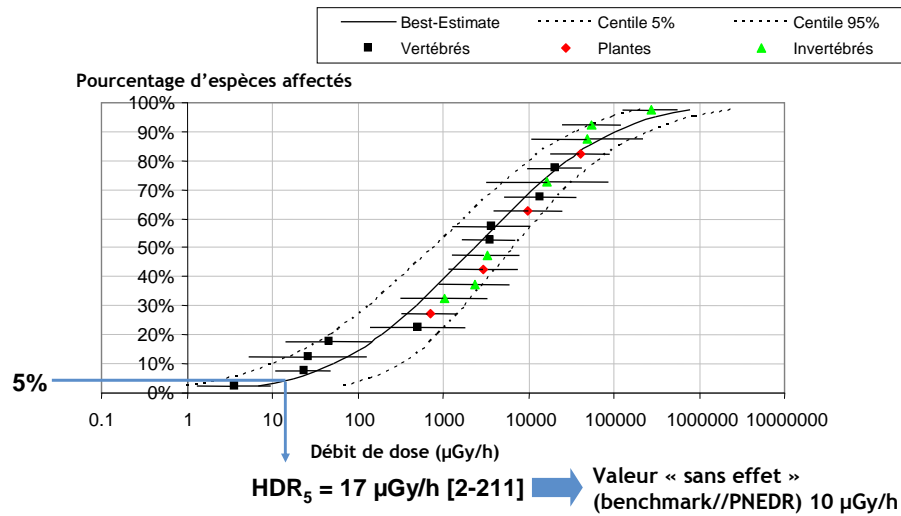
Pertinence écologique par une interprétation sur le plan de la dynamique des populations

Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN 18/26

## Valeurs benchmarks recommandées par PROTECT

### ■ Radiosensibilité des espèces (écosystème « générique ») lors d'exposition $\gamma$ externe



Garnier-Laplace, J et al. (2006) First Derivation of Predicted-No-Effect Values for Freshwater and Terrestrial Ecosystems Exposed to Radioactive Substances. Environmental Science and Technology, 40, 6498-6505.

## Valeurs benchmarks recommandées par PROTECT

### ■ Radiosensibilité des espèces par groupe « taxonomique »

Valeurs proposées provisoirement comme valeur de screening à l'étape 2 en raison du manque de données.  
 $\mu\text{Gy/h}$

Vertébrés	2	(SSD 9 données)
Invertébrés	200	(SSD 7 données)
Plantes	70	(Facteur de sécurité 4 données)

- Les valeurs les plus faibles (10 et 2) sont dans la gamme publiée pour les sites contaminés (fSU) par Sazykina (2005) rapportant des effets cytogénétiques mineurs chez les espèces parmi les plus sensibles (vertébrés) (4 à 20  $\mu\text{Gy/h}$ ). Elles sont également dans la gamme des valeurs hautes des débits de dose liés au bruit de fond naturel (1-30  $\mu\text{Gy/h}$  - Brown et al. 2008, Beresford et al. 2008).

Brown et al. (2004). Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. Journal of Radiological Protection, 24, A63-A77.



Beresford et al. (2008). Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales. Journal of Environmental Radioactivity, 99 (9), 1430-1439.

Sazykina, T.G. (2005). A system of dose-effects relationships for the northern wildlife: radiation protection criteria. Radioprotection, Suppl.1(40): S889-S892

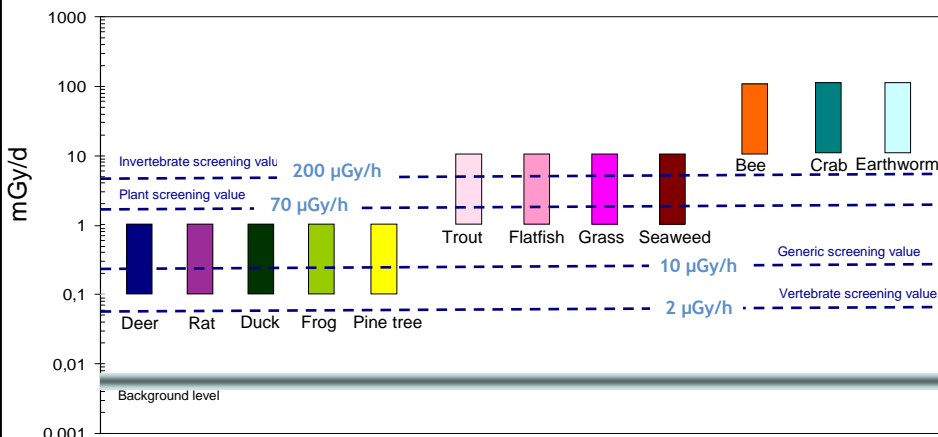
### Comparaison avec des valeurs guides existantes

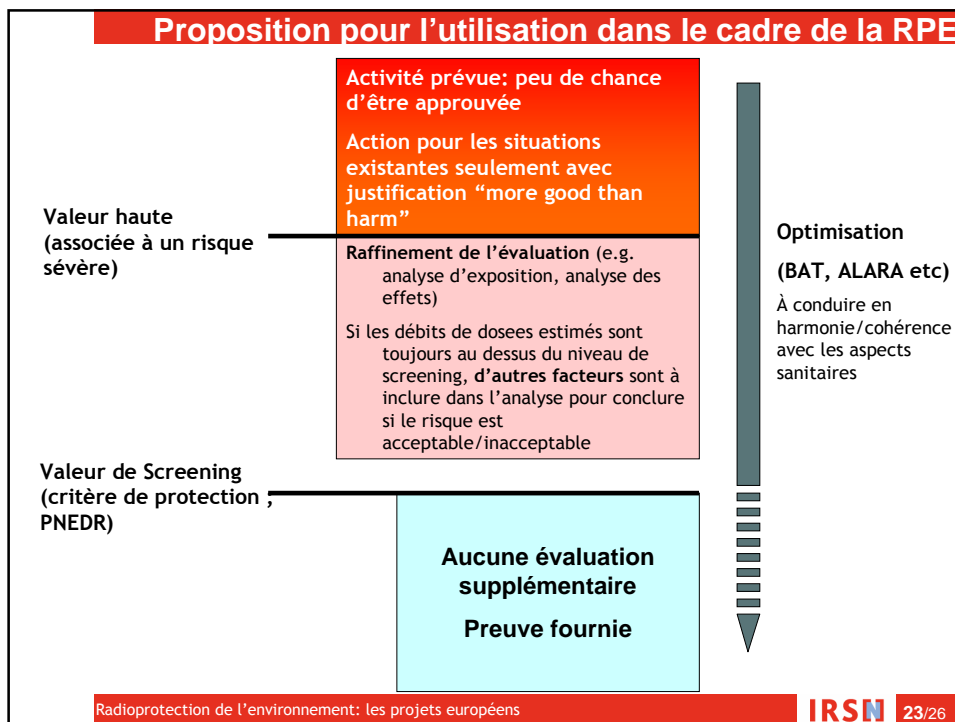
Organisme	Valeur
PROTECT	10 $\mu\text{Gy/h}$ : Valeur pour le screening afin d'identifier les sites demandant une évaluation plus détaillée 2, 70, 200 $\mu\text{Gy/h}$ : valeurs pour l'étape 2 par groupe taxonomique - vertébrés, plantes, invertébrés
Environment agency, England & Wales	5 $\mu\text{Gy/h}$ : valeur pour le screening afin d'identifier les sites demandant une évaluation plus détaillée 40 $\mu\text{Gy/h}$ : niveau d'action acté par un comité <i>ad hoc</i> pour les aspects liés à la conservation (habitats, espèces)

### Comparaison avec des valeurs guides existantes

■ Comparaison avec les DCL des organismes de référence donnés par la CIPR //draft, Diapositive prêtée par CM Larsson, oct.2008

Globalement, les valeurs issues du travail de PROTECT sont proches de la borne inférieure de la gamme de variation du DCL pour chaque organisme

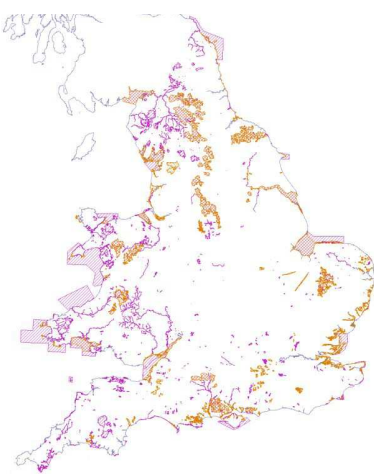




### Exemple d'utilisation dans un cadre réglementaire

- le cas britannique qui applique ce type d'évaluation dans le cadre des directives européennes "habitats" et "oiseaux"

- étape de screening appliquée à 715 autorisations de rejets de substances radioactives
- valeur de screening utilisée de 5 µGy/h
- 600 autorisations "passent" avec succès le screening (i.e. estimate < 5 µGy/h)
- 1 site excède la valeur de 40 µGy/h adoptée comme trigger d'une action réglementaire 'regulatory action'
- 3 sites sont proches de cette valeur haute 40 µGy/h et feront l'objet d'une attention particulière pour toute demande de modifications d'autorisation



Radioprotection de l'environnement: les projets européens **IRSN** 24/26

## Les recommandations issues des projets européens

[www.ceh.ac.uk/PROTECT/](http://www.ceh.ac.uk/PROTECT/)

- Utilisation de la **méthode d'extrapolation statistique** pour déterminer les valeurs benchmarks lorsque le jeu de données d'écotoxicité est suffisant // transparence de la méthode.
- Nécessité de **combler les lacunes de connaissances** afin de déterminer des **critères de protection par groupe taxonomique**
- En attendant, PROTECT recommande l'application de la valeur **générique de 10 µGy/h** en associant à une méthode d'évaluation du risque graduée.

*Nota: Cette valeur est à utiliser en incrément par rapport au débit de dose lié au bruit de fond.*

- Nécessité de discussions approfondies sur le concept, l'utilisation et la signification d'une valeur benchmark signant un niveau d'effet significatif (**valeur "limite" haute** qui permettrait d'optimiser si nécessaire)
- Nécessité de coordination des études nécessaires dans ce domaine

Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN

25/26

## Conclusions 1

Le **risque environnemental** associé aux radionucléides a suscité récemment un intérêt grandissant.

Le premier enjeu était l'harmonisation de la radioprotection de l'environnement **avec les méthodes existantes** pour les substances chimiques. Reste à approfondir l'harmonisation avec le système de radioprotection de l'homme.

Les **connaissances ont été assemblées** pour rendre possible l'évaluation du risque environnemental associé aux RNs.

Radioprotection de l'environnement: les projets européens

IRSN

6/26

- De **nouveaux enjeux** identifiés.
- Un souci d'**harmonisation**.
- **Une méthodologie et des outils** développés.
- De **premières applications** effectuées au niveau européen (et à l'IRSN: GEP-Mines, OSPAR, GGP Environnement)
- Les défis à venir et les projets de l'IRSN inscrits au PMLT:
  - L'acquisition des connaissances manquantes (volet environnement du projet ENVIRHOM)
  - L'adaptation d'indicateurs de biodiversité pour la surveillance écologique des sites et l'évolution des outils vers une **évaluation comparative** des risques chimiques et radiologiques (projet « évaluation du risque environnemental »)

Les grands projets fédérateurs en cours de développement

Conséquences écologiques des expositions chroniques à faibles niveaux de substances radioactives

Un grand projet : « ENVIRHOM » - Volet environnement

Une stratégie basée sur la réalisation de plan d'expériences en milieu contrôlé

- Quelle est la sensibilité des grandes fonctions biologiques des organismes comme la survie, la croissance, l'âge de reproduction et la fécondité ?
- Quelles sont les conséquences au niveau de la dynamique de population et de la production de biomasse (utilisation des ressources, nature des réserves énergétiques, bilan énergétique) ?
- Quels sont les mécanismes d'actions toxiques sous jascents?

Effets multigénérationnels

Effets de stressseurs en mélange

Communautés



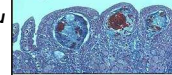
Population



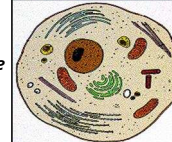
Organisme



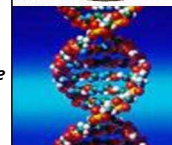
Tissu

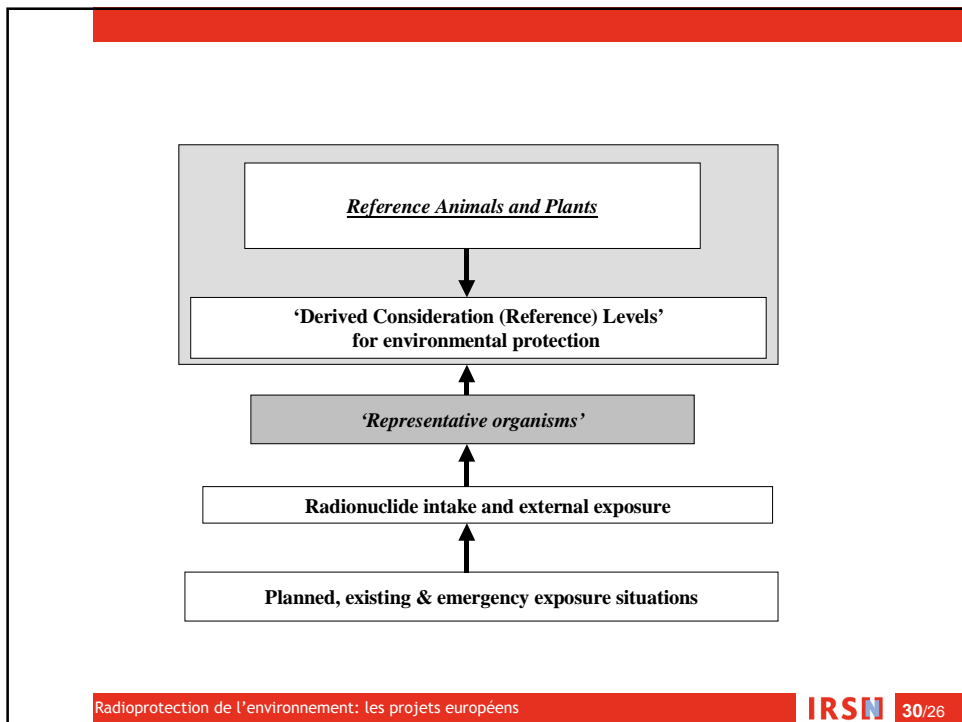
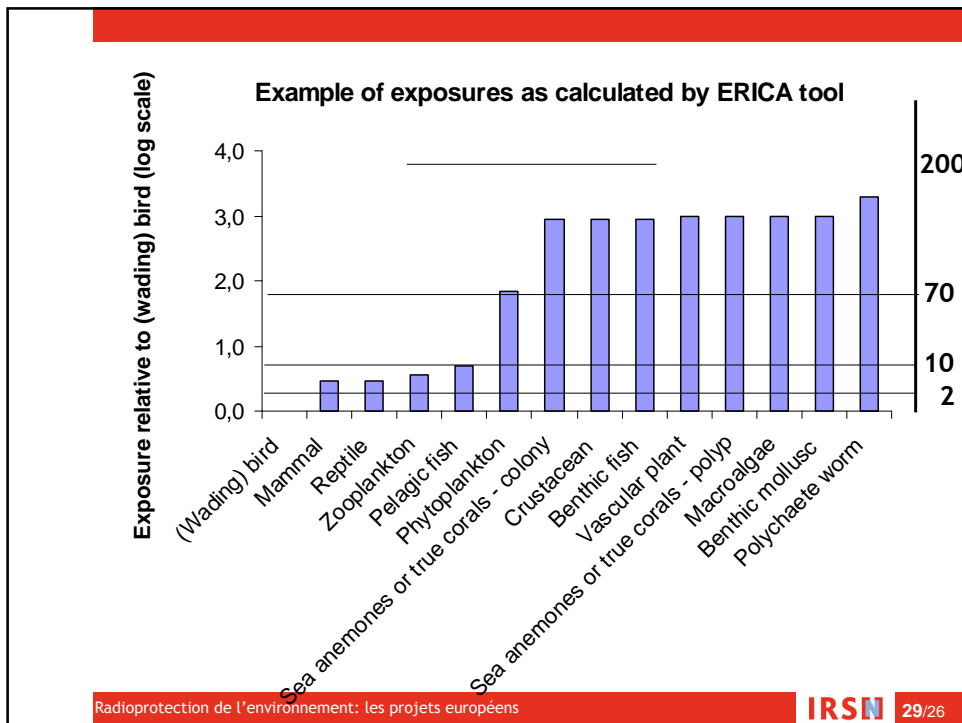


Cellule



Molécule





## Reference animals and plants, RAPs, what are they?



A reference animal or plant is a hypothetical entity derived on the same grounds and for the same purpose as the **reference person** with defined anatomical, physiological, and life-history properties that can be used to relate exposure to dose, and dose to effects, for that type of living organism.

## Derived Consideration Levels, DCLs

.... DCLs ..... serve as markers at which one should pause in order for the known radiation effects data to be considered alongside other information, such as

- whether the data relate to actual or theoretical studies,
- the type of exposure situation
- the size of the area affected,
- the status of the population,
- the fraction of a population exposed, and
- the legal framework within which management action are taken