

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Les travaux du GEP Limousin : évaluation de l'impact environnemental des mines d'uranium. Partie 2 : méthodologie et résultats

Congrès annuel 2011 de la SFRP

Tours 23 juin 2011

K. Beaugelin-Seiller
J. Garnier-Laplace

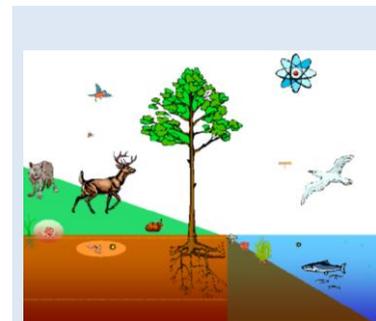
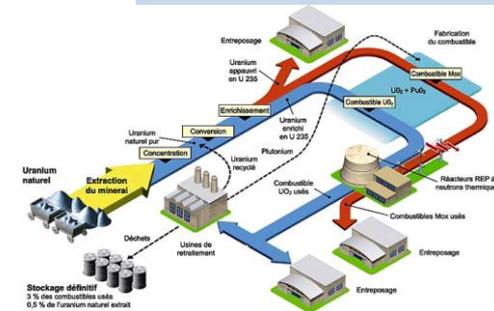
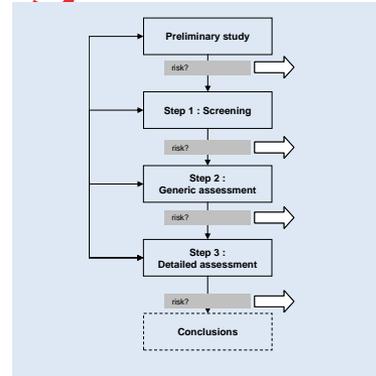
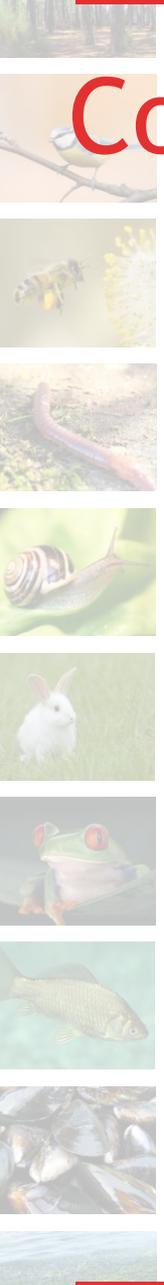


Groupe d'Expertise Pluraliste (GEP)
sur les sites miniers d'uranium du Limousin

<http://www.gep-nucleaire.org/gep>



Contexte et méthodologie





Une démarche logique

➤ Premiers travaux du GEP

■ Expertise globale du bilan décennal environnemental

- Complétude et pertinence des informations disponibles / impact écologique sur hydrosystèmes

■ En parallèle, projet européen ERICA

- Méthode européenne d'évaluation du risque écologique adaptée aux RN
- Cohérence avec
 - méthode conventionnelle risque chimique pour l'environnement
 - principes de la radioprotection de l'homme
- Approche graduée

ÉTAPE PRÉLIMINAIRE – objectif/problème posé

- Jugement d'expert, qualitatif ou semi-quantitatif sur la pertinence de l'évaluation
- Hypothèses hyper-conservatives, scénarios extrêmes

Garnier-Laplace et Beaugelin-Seiller, 2006



ERE : une approche graduée

ÉTAPE PRÉLIMINAIRE – Objectif/problème posé

- ✓ Jugement d'expert, qualitatif ou semi-quantitatif sur la pertinence de l'évaluation
- ✓ Hypothèses hyper-conservatives, scénarios extrêmes

Garnier-Laplace et Beaugelin-Seiller, 2006

ÉTAPE 1 – « Screening »

- ✓ Utilisation des outils d'analyse des expositions d'ERICA (modèles à l'équilibre, organismes de référence, coefficients de dose)
- ✓ Comparaison à une valeur « benchmark » -débit de dose sans effet dit « PNEDR » avec rétrocalcul (cf. texte)

Beaugelin-Seiller et Garnier-Laplace, 2007

ÉTAPE 2 – Étape générique

- ✓ Réduction du degré de conservatisme
- ✓ Utilisation de modèles de transfert plus réalistes, d'organismes de référence plus représentatifs
- ✓ Introduction de données site-spécifiques
- ✓ Comparaison à la même valeur « benchmark », i.e. PNEDR, sans rétrocalcul

Beaugelin-Seiller et al., 2008

ÉTAPE 3 – Évaluation complète

- ✓ Évaluation rétrospective
 - ✓ Acquisition de données de terrain supplémentaires
 - ✓ Acquisition de nouvelles données d'effet en laboratoire
- ✓ Évaluation prospective
 - ✓ Modélisation raffinée site-spécifique de tous les écosystèmes potentiellement affectés
 - ✓ Détermination de coefficients de transfert supplémentaires (laboratoire ou terrain)
 - ✓ Acquisition de nouvelles données d'effets en laboratoire
 - ✓ Essais de scénarios alternatifs pour réévaluer le risque

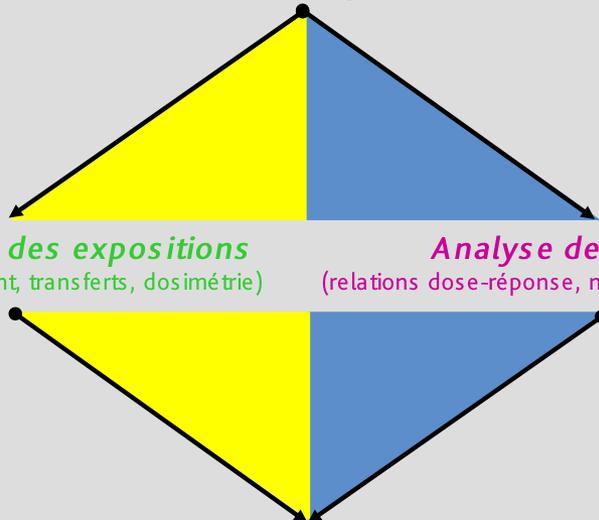
Beaugelin-Seiller et al., 2009

Interaction entre les étapes selon les options de gestion retenues



ERE : une approche graduée

Formulation du problème



Analyse des expositions
(cheminement, transferts, dosimétrie)

Analyse des effets
(relations dose-réponse, niveaux de référence)

Caractérisation du risque

ÉTAPE PRÉLIMINAIRE – Objectif/problemé posé

- ✓ Jugement d'expert, qualitatif ou semi-quantitatif sur la pertinence de l'évaluation
- ✓ Hypothèses hyper-conservatives, scénarios extrêmes

Garnier-Laplace et Beaugelin-Seiller, 2006

ÉTAPE 1 – « Screening »

- ✓ Utilisation des outils d'analyse des expositions d'ERICA (modèles à l'équilibre, organismes de référence, coefficients de dose)
- ✓ Comparaison à une valeur « benchmark » -débit de dose sans effet dit « PNEDR » avec rétrocalcul (cf. texte)

Beaugelin-Seiller et Garnier-Laplace, 2007

ÉTAPE 2 – Étape générique

- ✓ Réduction du degré de conservatisme
- ✓ Utilisation de modèles de transfert plus réalistes, d'organismes de référence plus représentatifs
- ✓ Introduction de données site-spécifiques
- ✓ Comparaison à la même valeur « benchmark », i.e. PNEDR, sans rétrocalcul

Beaugelin-Seiller et al., 2008

ÉTAPE 3 – Évaluation complète

- ✓ Évaluation rétrospective
 - ✓ Acquisition de données de terrain supplémentaires
 - ✓ Acquisition de nouvelles données d'effet en laboratoire
- ✓ Évaluation prospective
 - ✓ Modélisation raffinée site-spécifique de tous les écosystèmes potentiellement affectés
 - ✓ Détermination de coefficients de transfert supplémentaires (laboratoire ou terrain)
 - ✓ Acquisition de nouvelles données d'effets en laboratoire
 - ✓ Essais de scénarios alternatifs pour réévaluer le risque

Beaugelin-Seiller et al., 2009

Interaction entre les étapes selon les options de gestion retenues



ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée

$$IR = \frac{PEC}{PNEC}$$

$\mu\text{g.L}^{-1}$

Screening
Hypothèses conservatives
Approche déterministe

$$IR = \frac{PEDR}{PNEDR}$$

$\mu\text{Gy.h}^{-1}$



ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée

$$IR = \frac{PEC}{PNEC}$$

µg.L⁻¹

Screening
Hypothèses conservatives
Approche déterministe

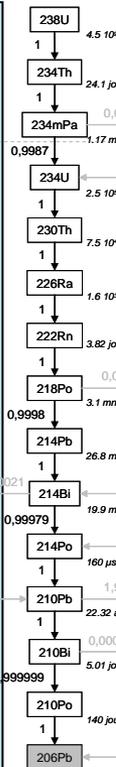
$$IR = \frac{PEDR}{PNEDR}$$

µGy.h⁻¹

$$IR(i) = \frac{PEDR(i)}{PNEDR}$$

Additivité

$$IR = \sum_{i=1}^n IR(i)$$





ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée

$$IR = \frac{PEC}{PNEC}$$

$\mu\text{g.L}^{-1}$

Screening
Hypothèses conservatives
Approche déterministe

$$IR = \frac{PEDR}{PNEDR}$$

$\mu\text{Gy.h}^{-1}$

Rétrocalcul

« PNEC » (Bq.L^{-1})



ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée

$\mu\text{g.L}^{-1}$

Screening
Hypothèses conservatives
Approche déterministe

$$IR = \frac{PEC}{PNEC}$$

Bq.L^{-1}

PNEC déterminées par calcul
PEC mesurées ou modélisées

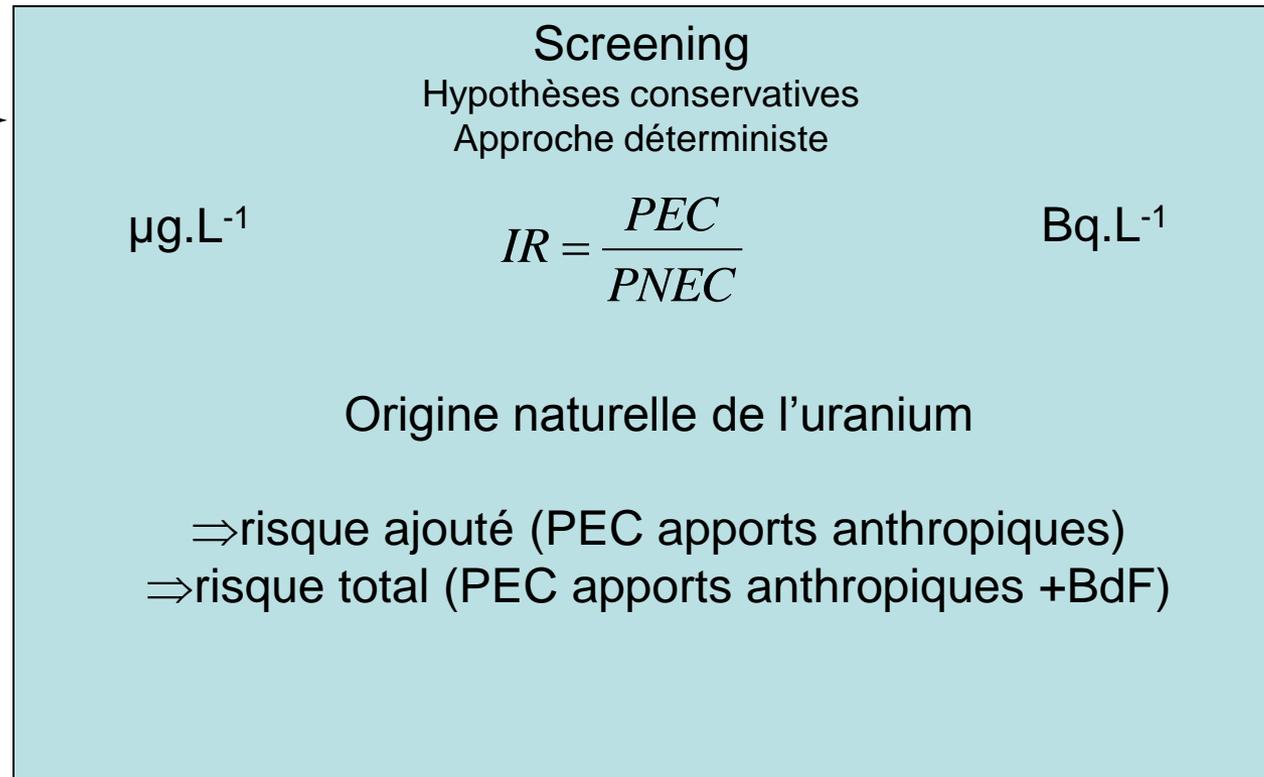


ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée



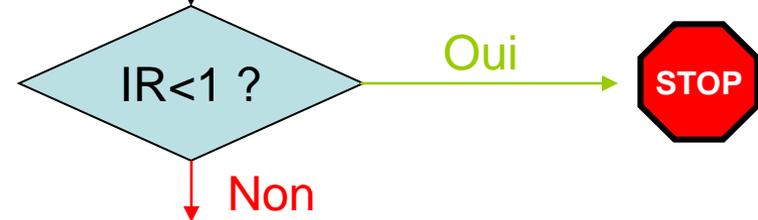
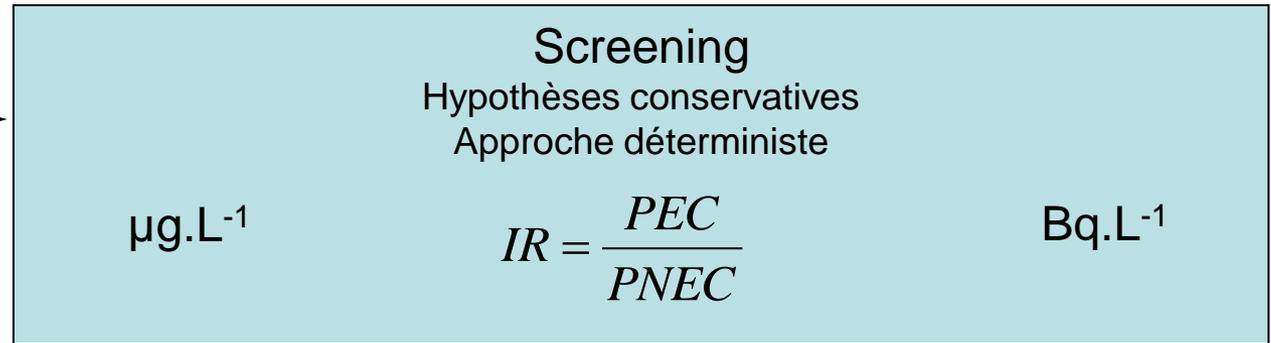


ERE : principes de la méthode

➔ Évaluation en parallèle chimiotoxicité/radiotoxicité



Données d'entrée



Données d'entrée

Raffinement vers les étapes suivantes de l'ERE



Possibilités de raffinement

CARACTÉRISATION DU RISQUE

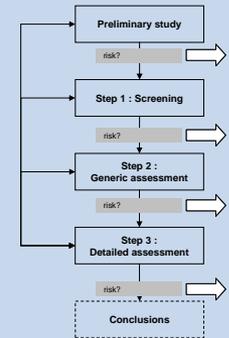
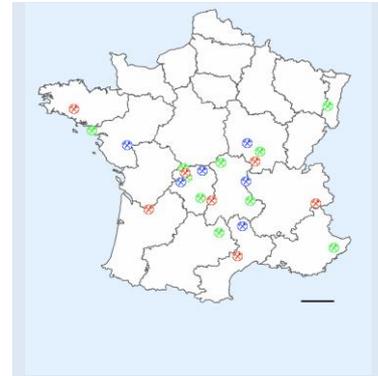
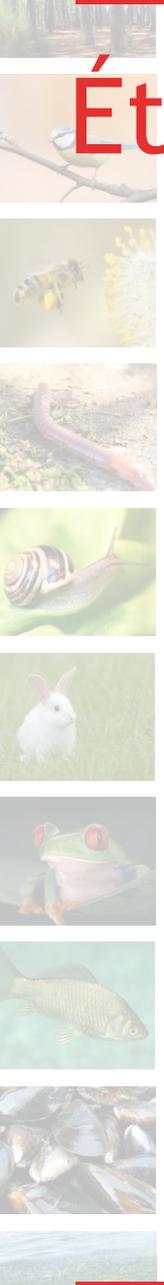
Des méthodes déterministes vers les méthodes probabilistes

- Concentration de l'élément total
- Concentration de l'élément dissous (spéciation physique)
- Fraction labile de l'élément (spéciation chimique)
- Fraction biodisponible de l'élément (spéciation "biologique")

ANALYSE DES EFFETS / DES EXPOSITIONS
Élément total : élément biodisponible



Étape de screening



^{92}U

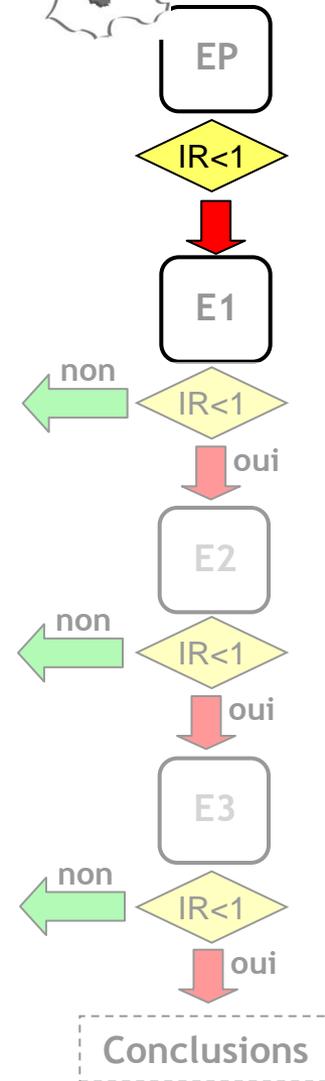




Limites de l'évaluation

➔ Protéger la structure et le fonctionnement de l'écosystème

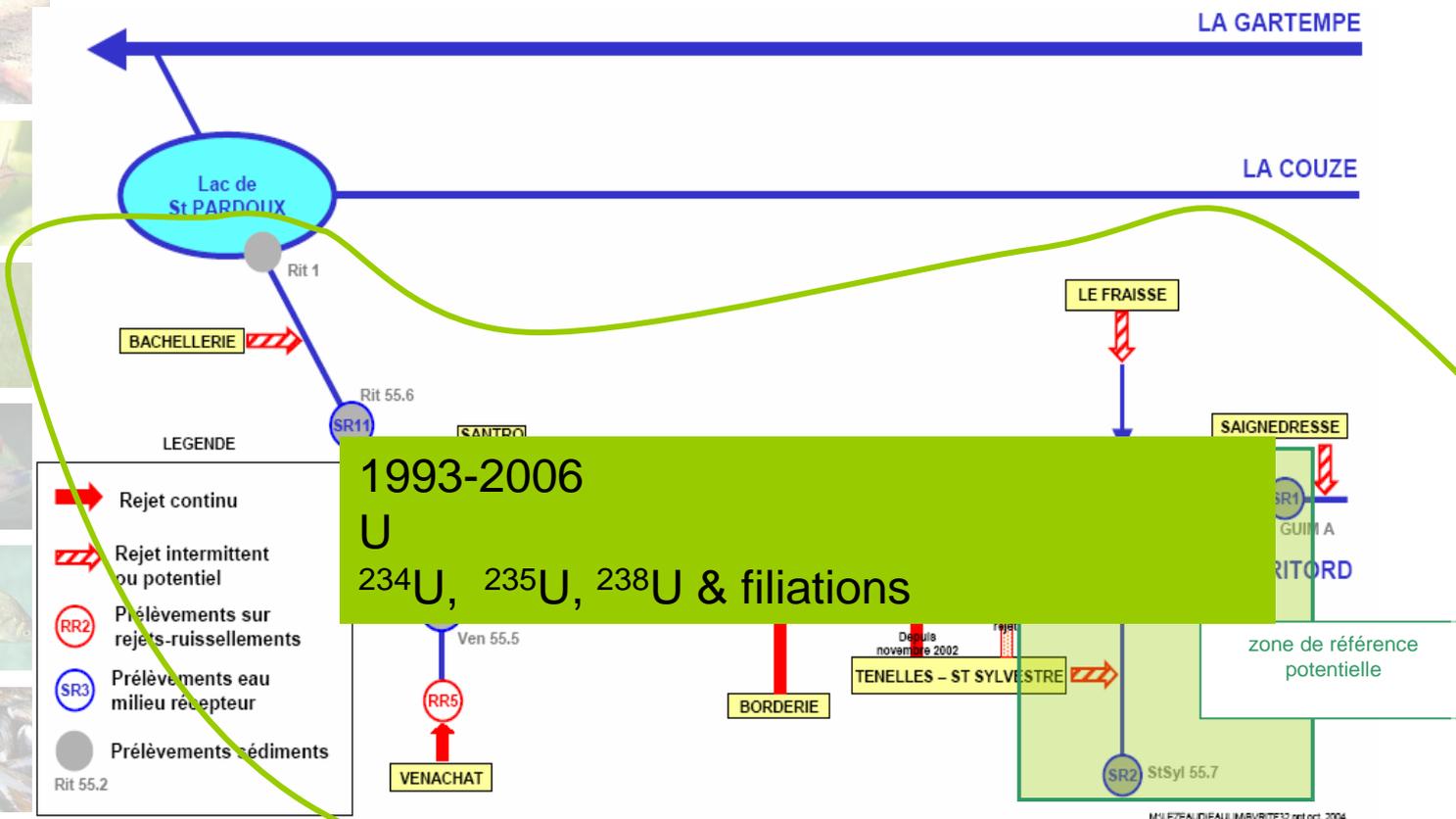
Bassin versant à l'échelle de l'année





Limites de l'évaluation

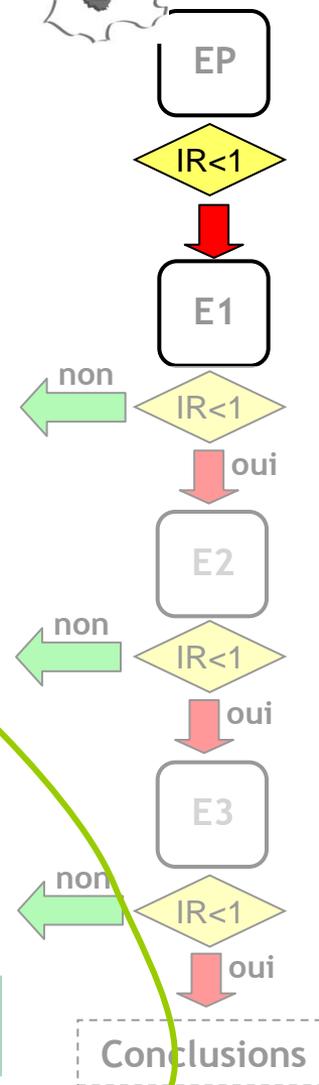
➔ Protéger la structure et le fonctionnement de l'écosystème



LEGENDE

- Rejet continu
- Rejet intermittent ou potentiel
- Prélèvements sur rejets-ruissellements
- Prélèvements eau milieu récepteur
- Prélèvements sédiments

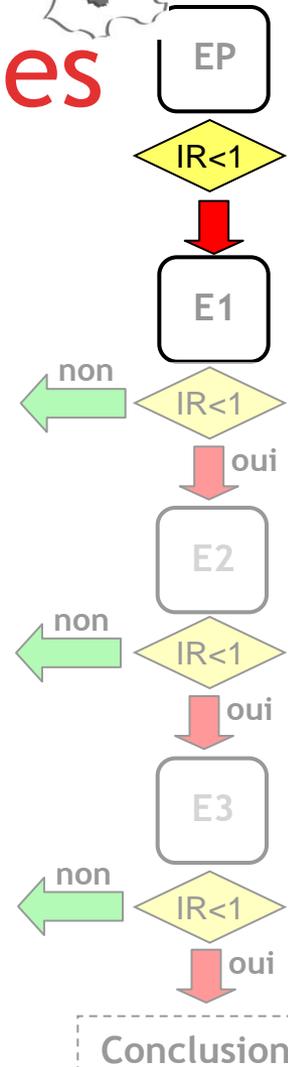
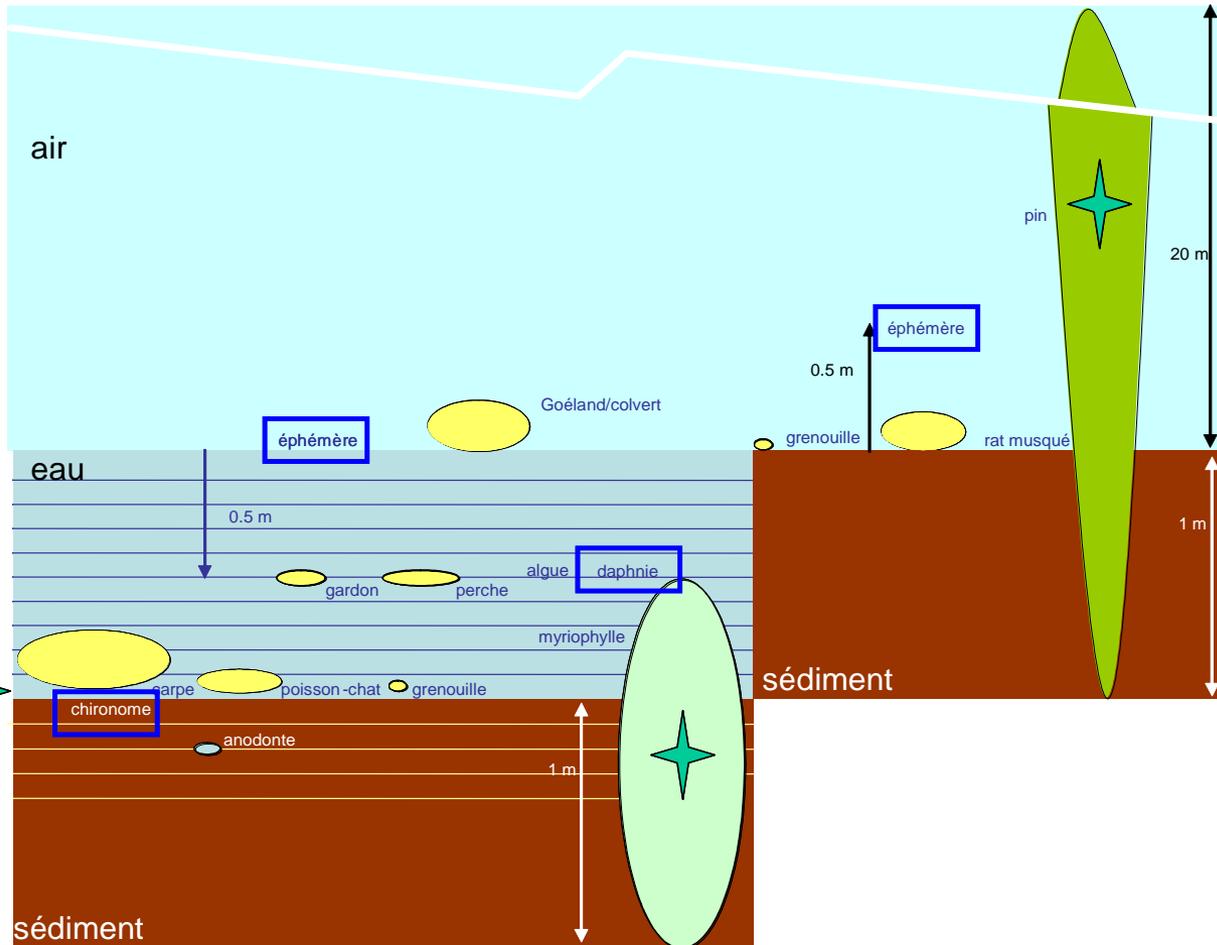
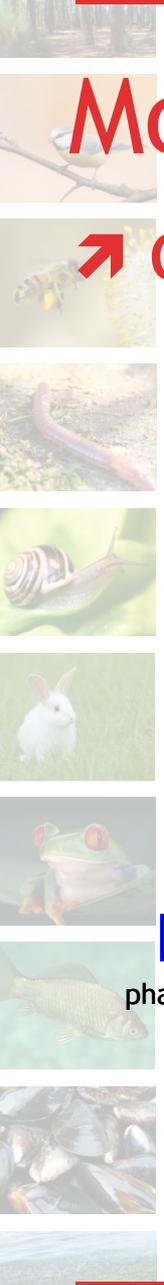
Rit 55.2





Modèle conceptuel d'écosystèmes

Organismes de référence





Exposition et effets

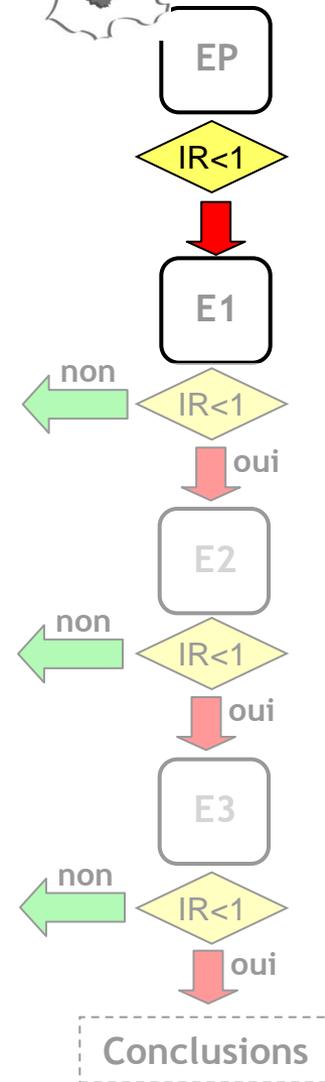
➔ Valeurs employées

Effets

- SSD
- PNEC eau douce 3 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ uranium seul (propre à l'étude)
- PNEDR 10 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ tous RNs (consensus européen)

Exposition

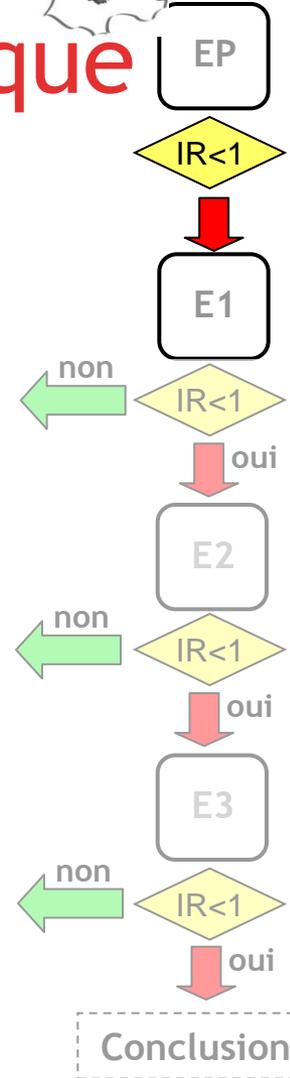
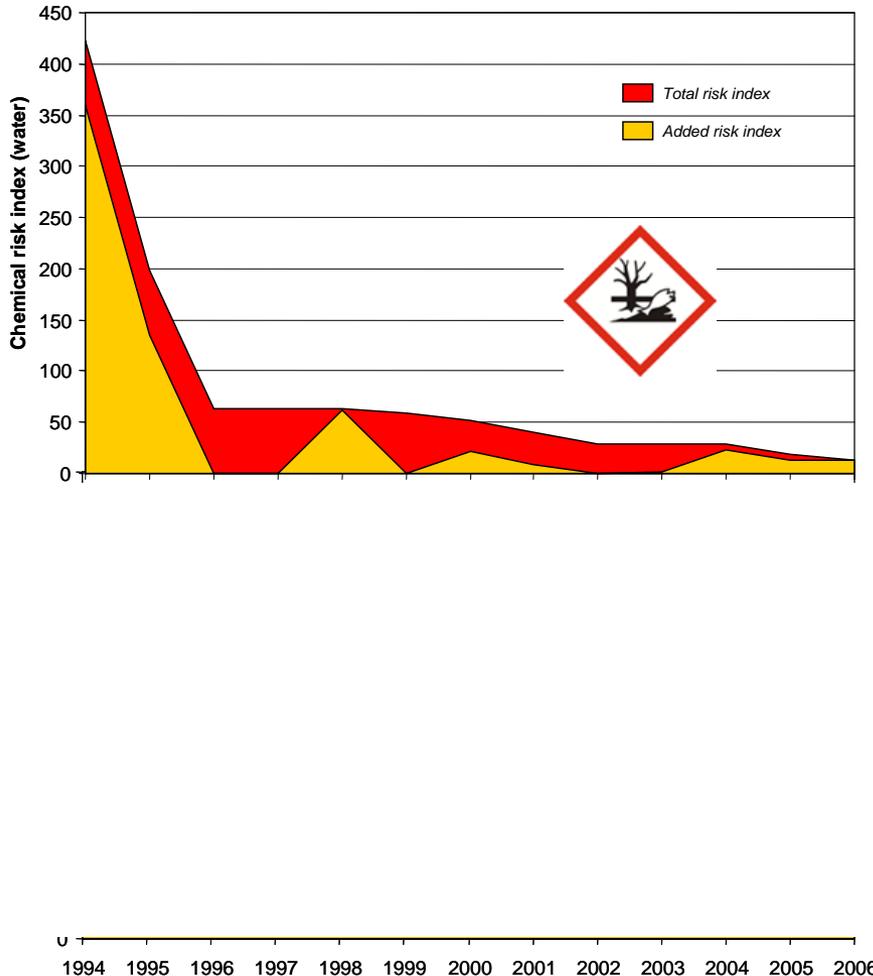
- EAU : mesures (valeurs maximales annuelles)
 - Données absentes : équilibre séculaire filiations
- SEDIMENT et ORGANISMES : modélisation
 - Transferts à l'équilibre (K_d , CFs)





Caractérisation déterministe du risque

➔ Indice de risque (PEC/PNEC, PEDR/PNEDR)





Caractérisation déterministe du risque

➔ Indice de risque (PEC/PNEC, PEDR/PNEDR)

EP

IR < 1

E1

non

IR < 1

oui

E2

non

IR < 1

oui

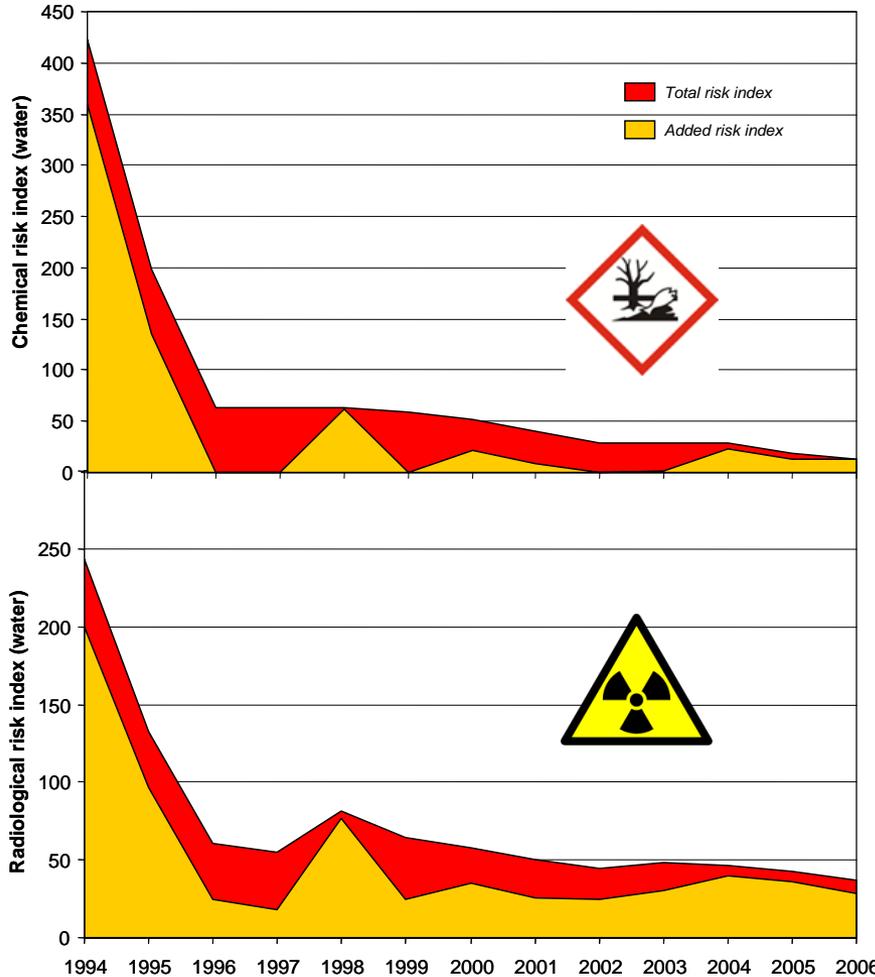
E3

non

IR < 1

oui

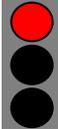
Conclusions

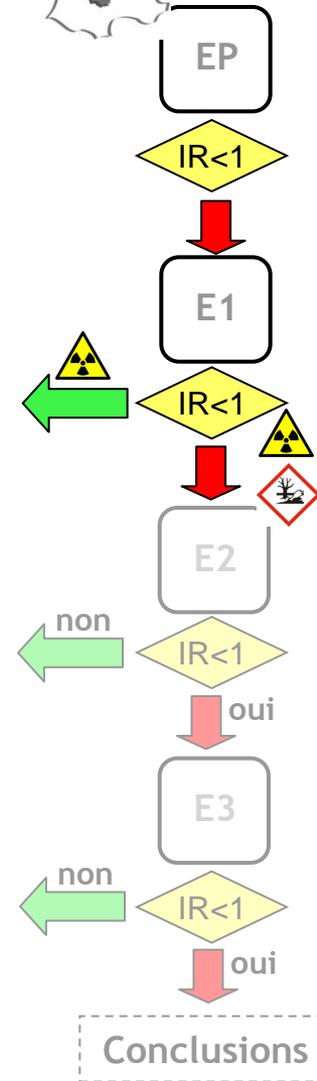




Conclusions

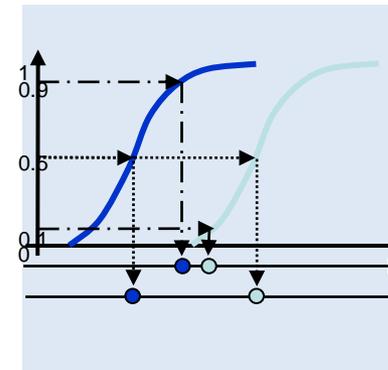
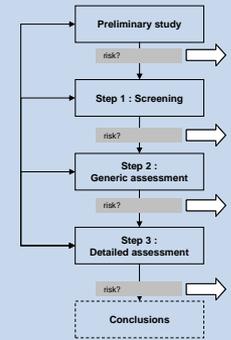
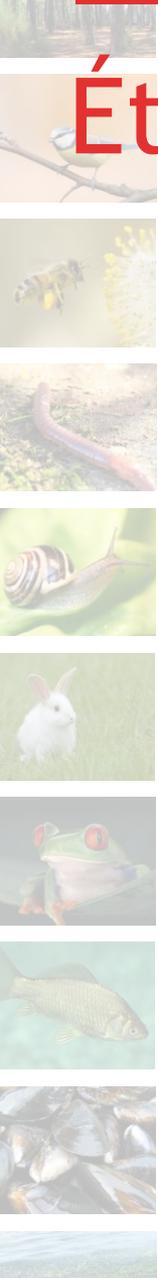
➔ **Contraste en fonction du milieu et de la toxicité**

	Eau	Sédiment
		n.a
		





Étape générique



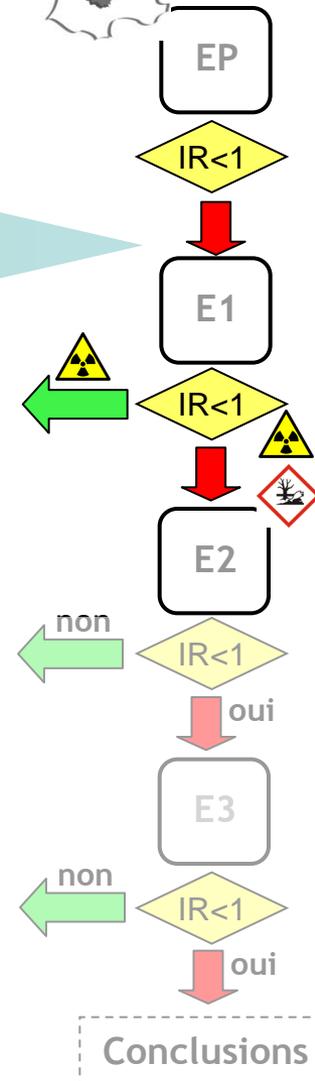


Raffinements mis en oeuvre

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Des méthodes déterministes vers les méthodes probabilistes

- Concentration de l'élément total
- Concentration de l'élément dissous (spéciation physique)
- Fraction labile de l'élément (spéciation chimique)
- Fraction biodisponible de l'élément (spéciation biologique)



ANALYSE DES EFFETS / DES EXPOSITIONS
Élément total : élément biodisponible

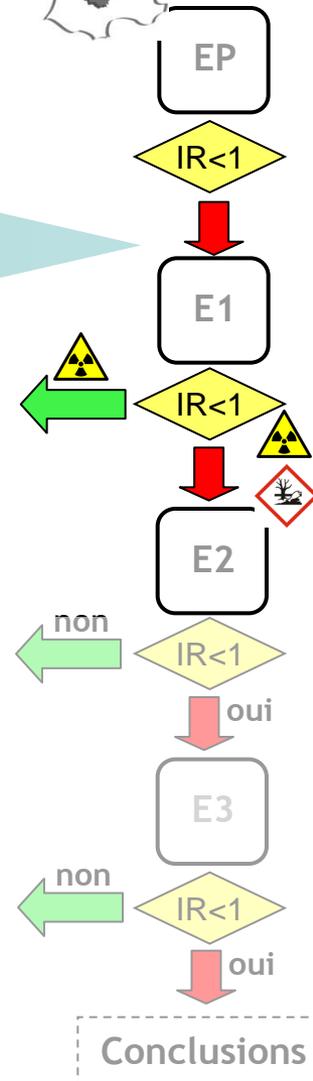


Raffinements mis en oeuvre

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Des méthodes déterministes vers les méthodes probabilistes

- Concentration de l'élément total
- Concentration de l'élément dissous (spéciation physique)
- Fraction labile de l'élément (spéciation chimique)
- Fraction biodisponible de l'élément (spéciation biologique)

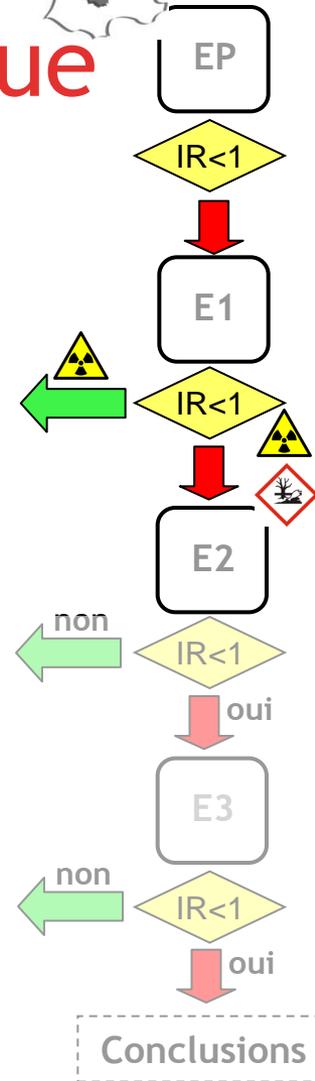
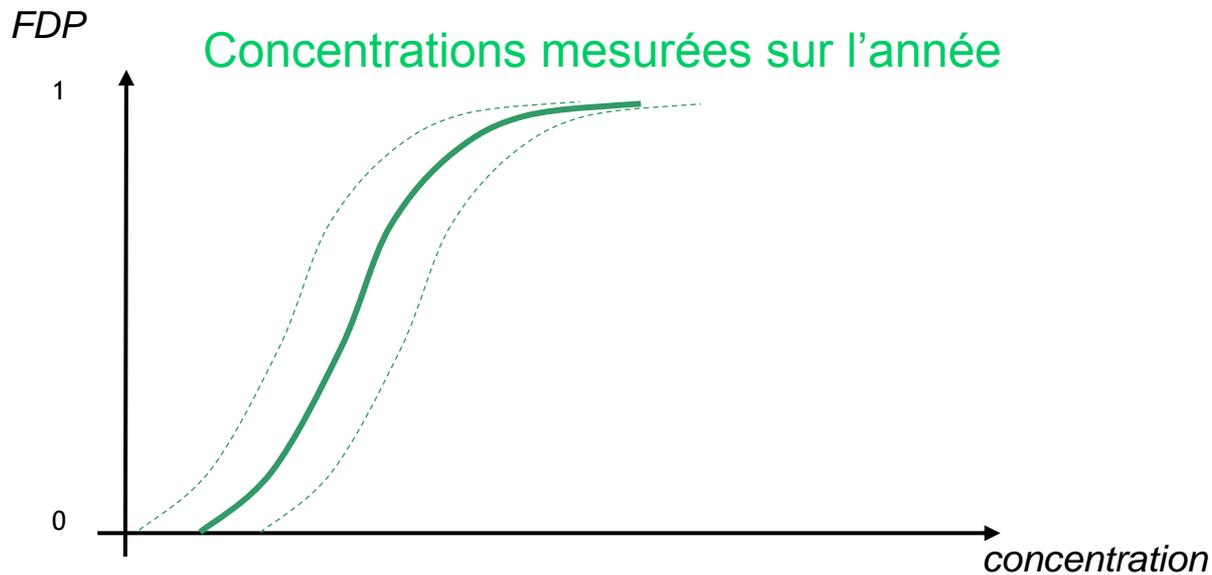


ANALYSE DES EFFETS / DES EXPOSITIONS
Élément total : élément biodisponible



Caractérisation probabiliste du risque

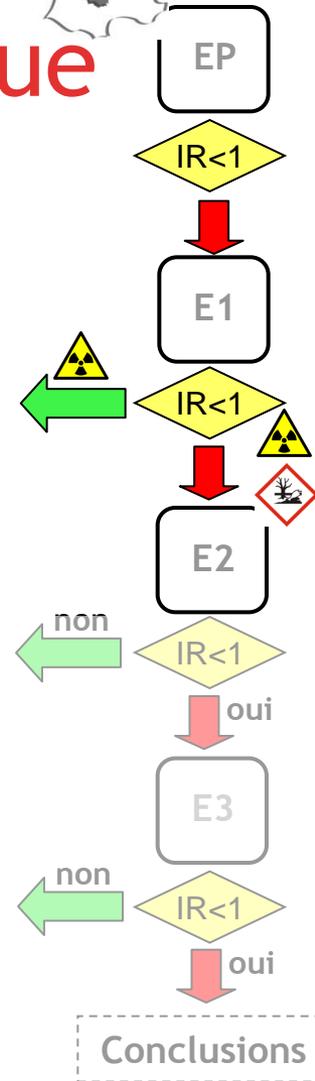
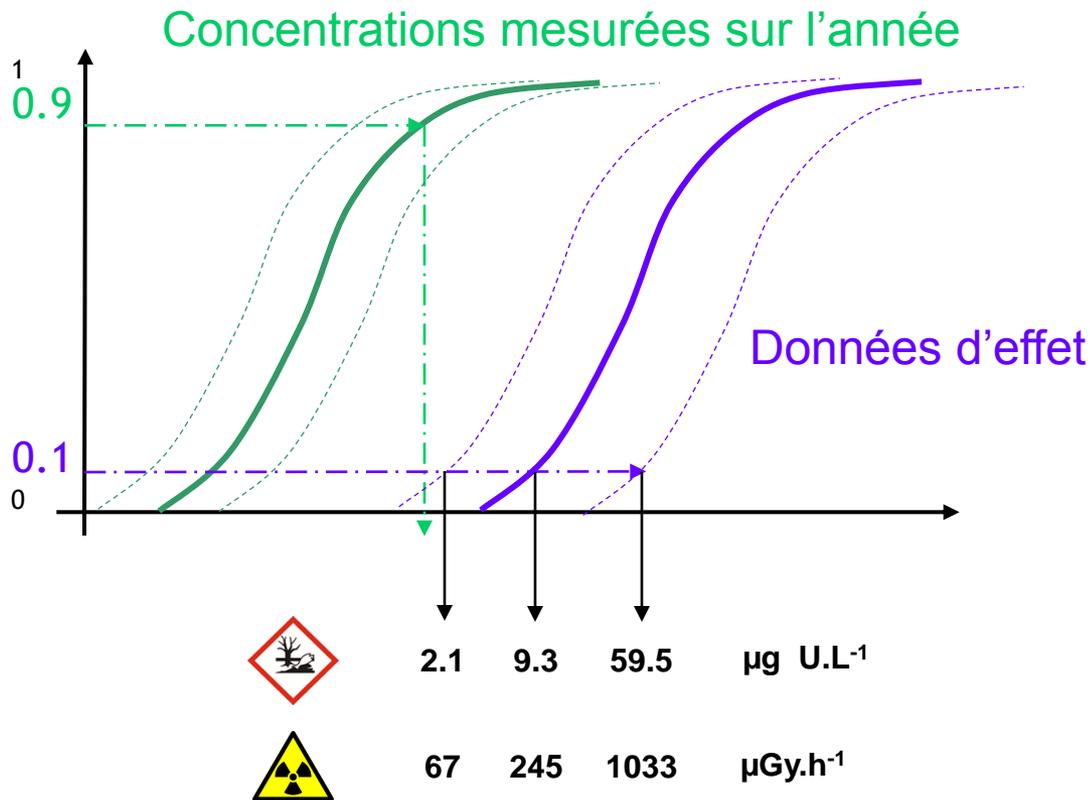
➔ Utilisation de toute l'information disponible





Caractérisation probabiliste du risque

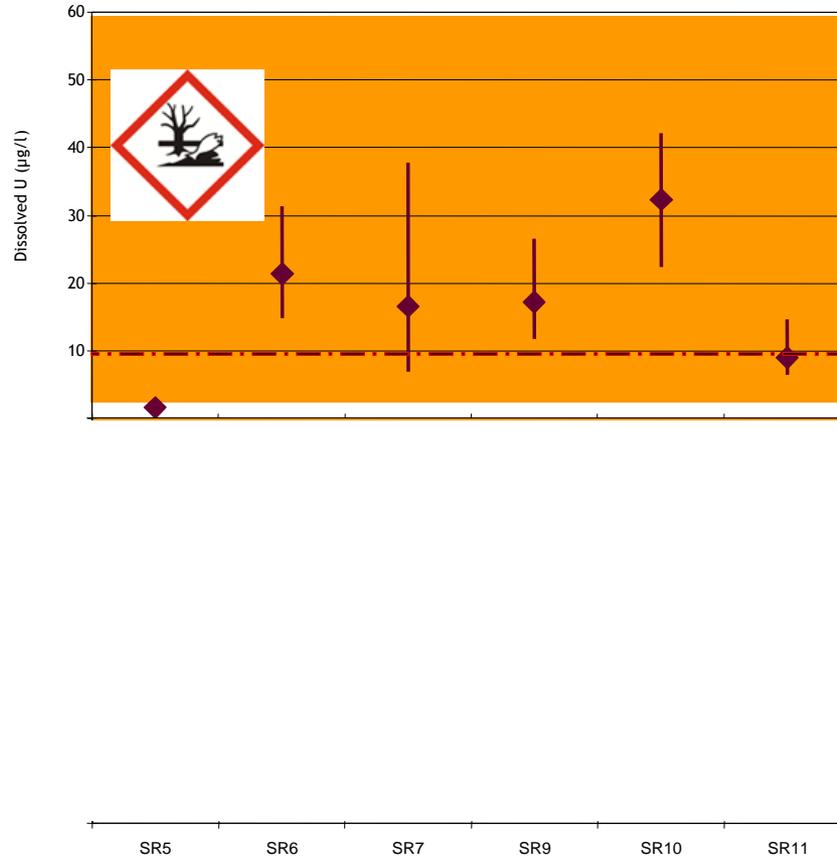
➔ Utilisation de toute l'information disponible



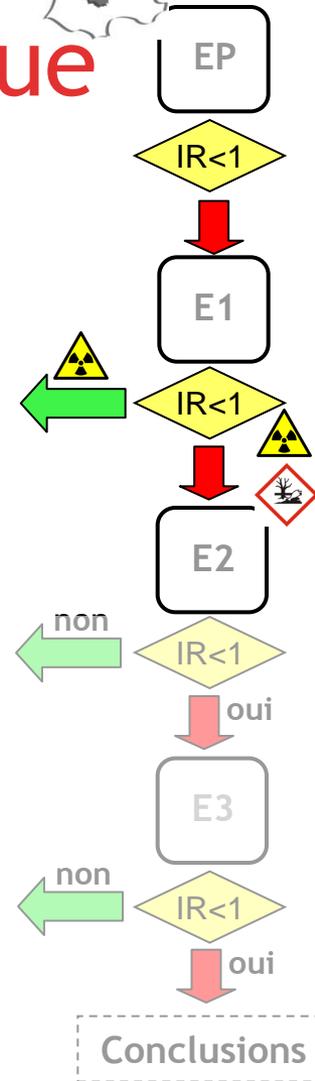


Caractérisation probabiliste du risque

➔ Sur l'eau en 2006



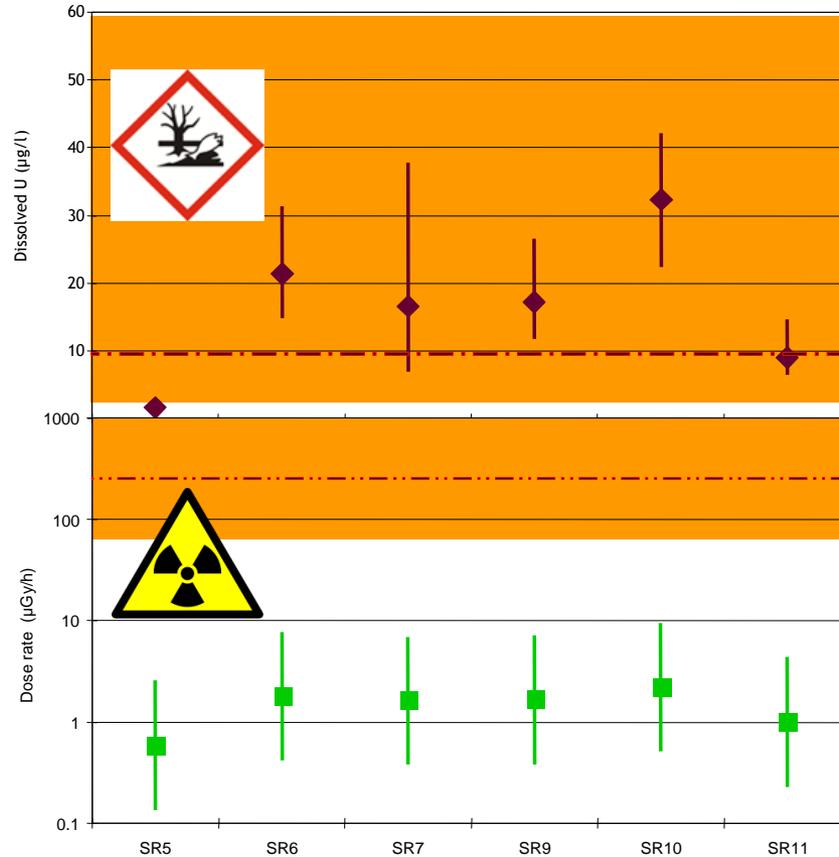
Effect data : 10th percentile (concentration - - - ; dose rate - . .)
 95% confidence interval
 Exposure data : symbol (◆■) 90th percentile
 bar 95% confidence interval



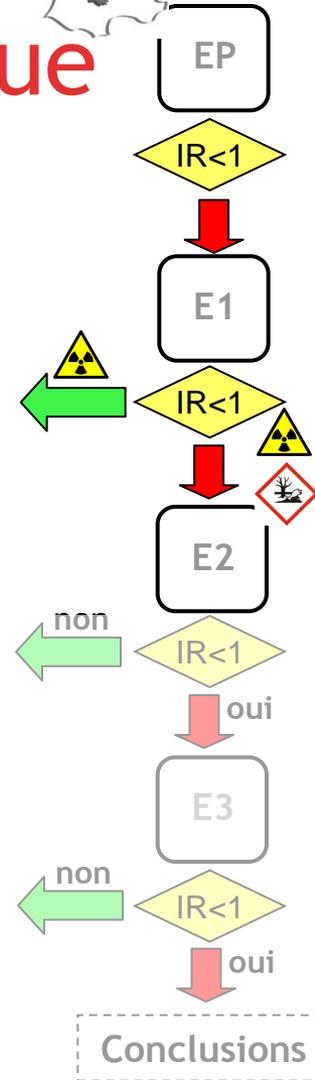


Caractérisation probabiliste du risque

➔ Sur l'eau en 2006



Effect data : 10th percentile (concentration - - - ; dose rate - . . .)
 95% confidence interval [orange bar]
 Exposure data : symbol (◆■) 90th percentile
 bar 95% confidence interval

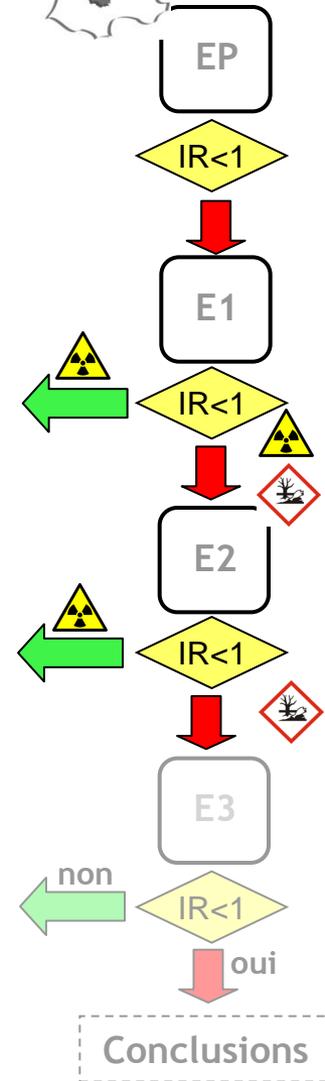
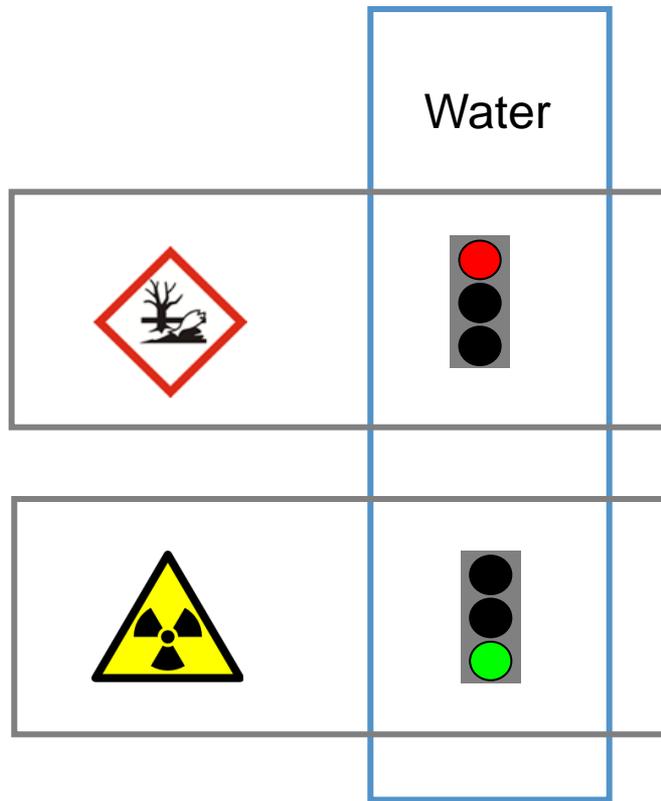


Conclusions



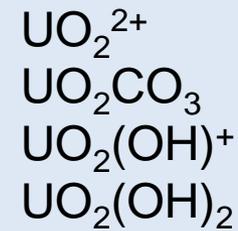
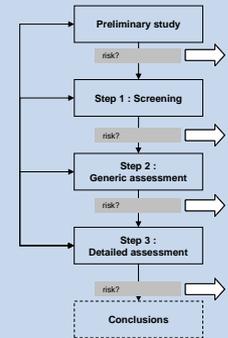
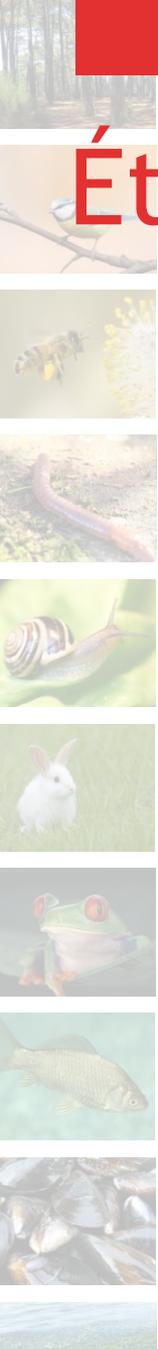
Conclusions

➔ Fonction de la nature de la toxicité





Étape site-spécifique



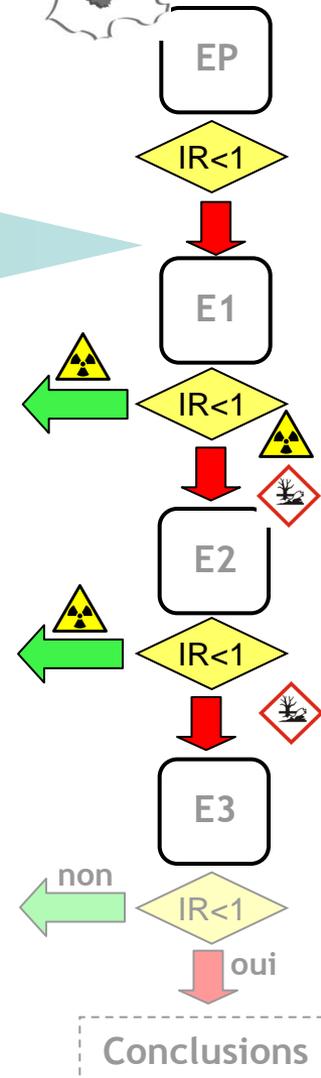


Raffinements mis en oeuvre

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Des méthodes déterministes vers les méthodes probabilistes

- Concentration de l'élément total
- Concentration de l'élément dissous (spéciation physique)
- Fraction labile de l'élément (spéciation chimique)
- Fraction biodisponible de l'élément (spéciation biologique)



ANALYSE DES EFFETS / DES EXPOSITIONS
Élément total : élément biodisponible

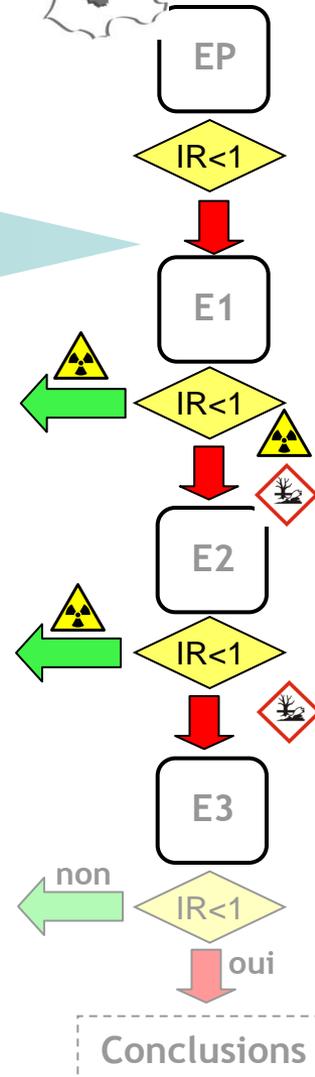


Raffinements mis en oeuvre

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Des méthodes déterministes vers les méthodes probabilistes

- Concentration de l'élément total
- Concentration de l'élément dissous (spéciation physique)
- Fraction labile de l'élément (spéciation chimique)
- Fraction biodisponible de l'élément (spéciation biologique)



ANALYSE DES EFFETS / DES EXPOSITIONS
Élément total : élément biodisponible



Spéciation chimique

➔ Modélisation thermodynamique (CHESS)

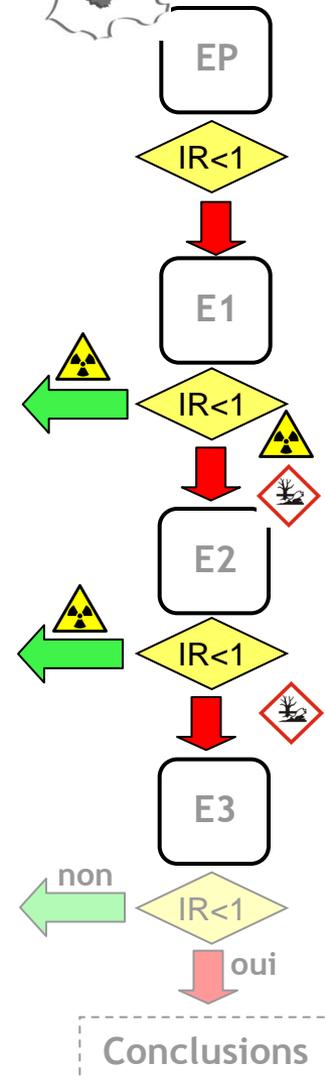
Données disponibles et manques

- Mesurées : température et pH
- Supposées : dureté, alcalinité, balance ionique, MO, ...

Espèces chimiques biodisponibles

- UO_2^{2+} , UO_2CO_3 (PNEC : 0,15 $\mu g.L^{-1}$)
- UO_2^{2+} , $UO_2(OH)^+$, $UO_2(OH)_2$ and UO_2CO_3 (PNEC : 0,22 $\mu g.L^{-1}$)

Même approche pour les données d'exposition





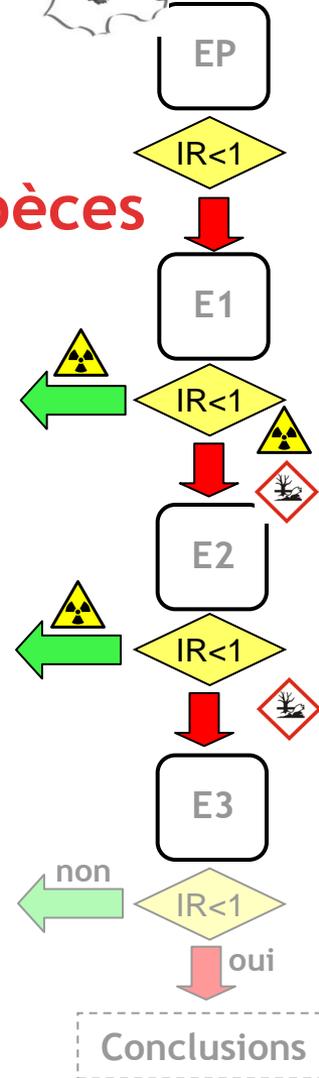
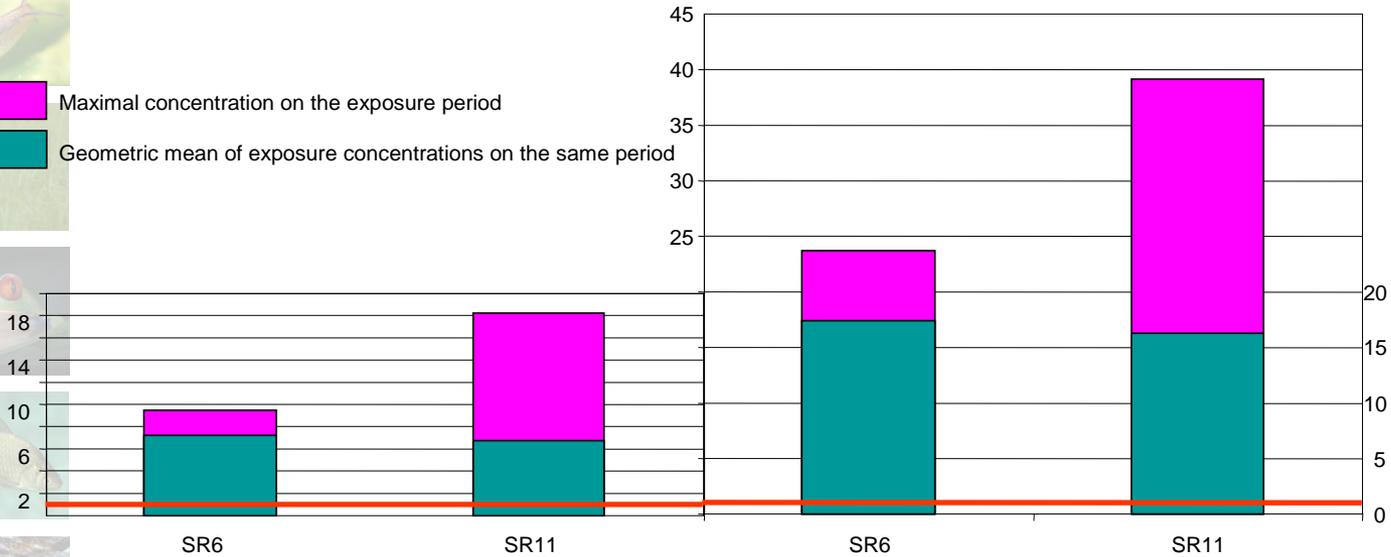
Caractérisation du risque

➔ Même résultat pour les deux combinaisons d'espèces



Maximal concentration on the exposure period
 Geometric mean of exposure concentrations on the same period

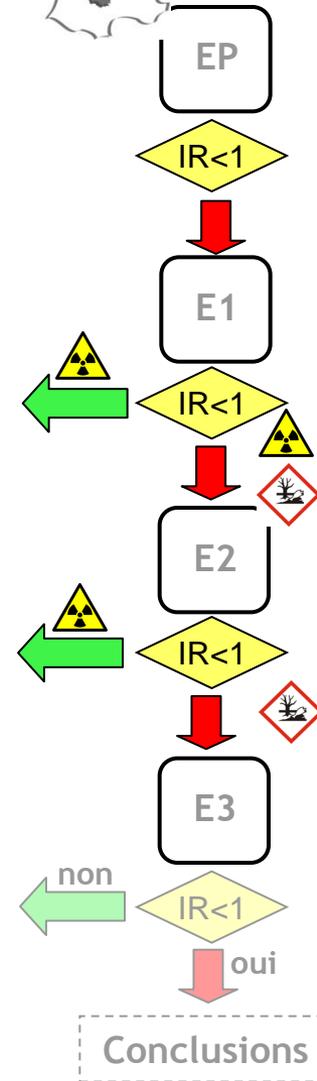
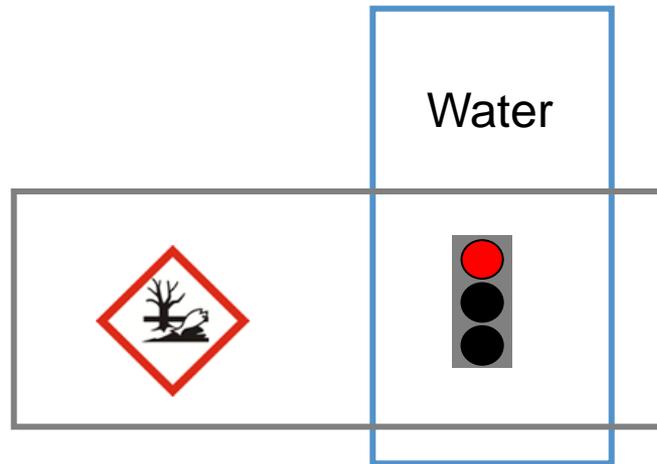
Added risk index





Conclusion

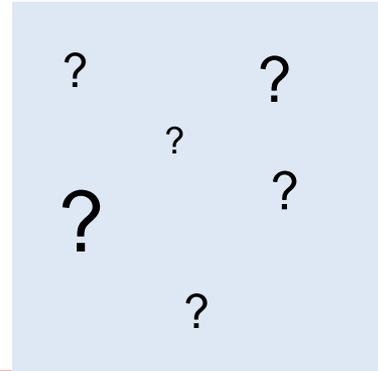
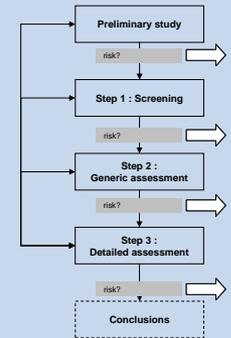
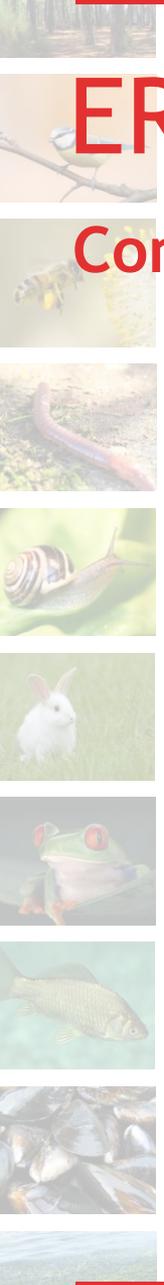
↗ Un risque persistant





ERE pour les sites miniers

Conclusions et perspectives

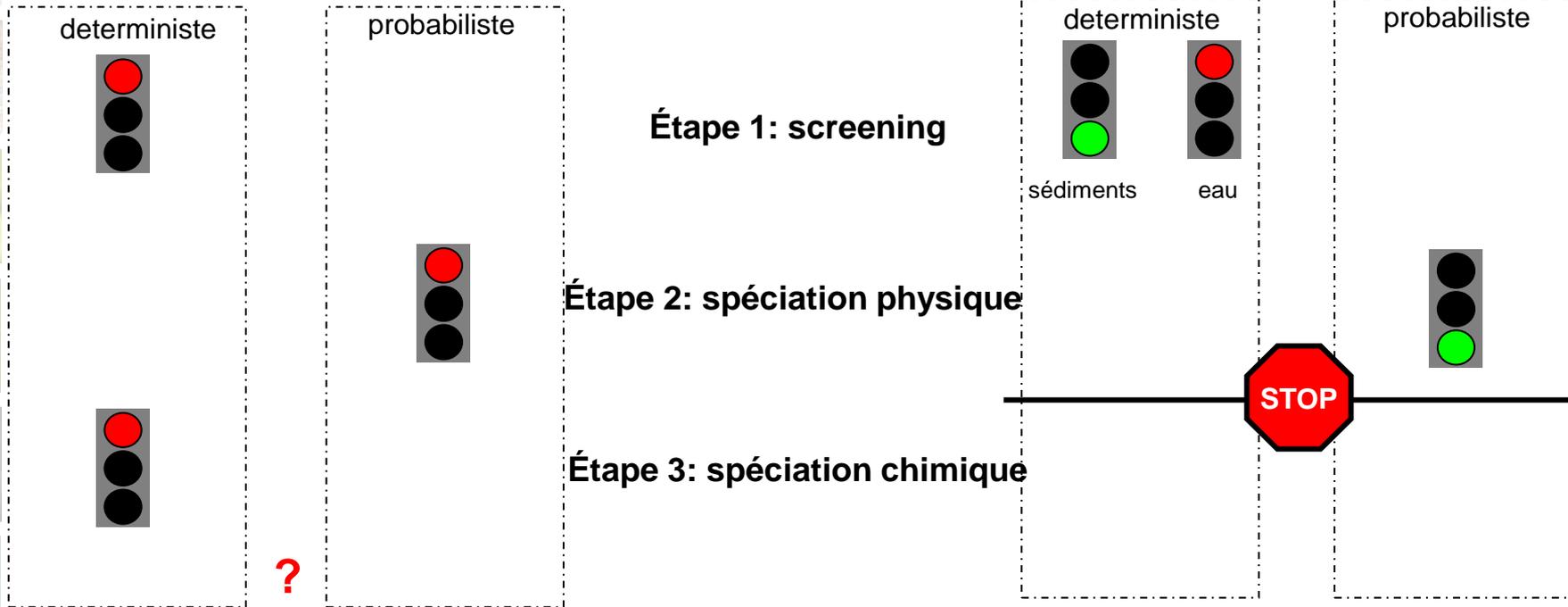
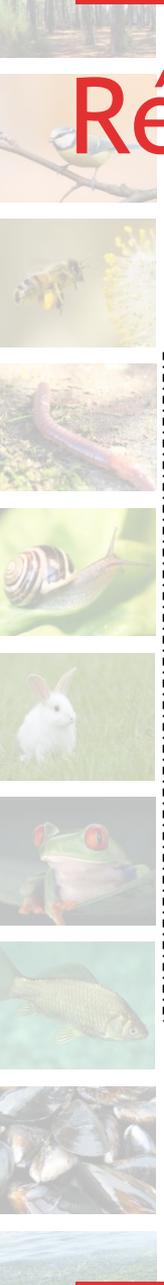




Récapitulatif

Chimiotoxicité

Radiotoxicité





Conclusions

➤ Recommandations du groupe

- Application de la méthode : inventaire exhaustif
 - Stresseurs (substances chimiques stables/radionucléides, autres)
 - Milieux d'exposition (eau ET sédiments pour tous les stresseurs)
 - Voies d'exposition (interne, externe - contact, distance)

- Acquisition de données complémentaires
 - Pour la caractérisation du bruit de fond
 - Pour la caractérisation de l'état d'équilibre des chaînes de filiation
 - Pour la caractérisation des écosystèmes locaux (espèces d'intérêt)
 - Pour la détermination de la spéciation de l'uranium (physico-chimie)

- Recherche et développement
 - Quantifier les formes labiles de l'uranium
 - Établir les relations entre formes labiles et écotoxicité du métal
 - Travailler sur l'écotoxicité de l'uranium dans les sédiments