

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Produits chimiques et radionucléides : l'évaluation du risque écologique, de l'épreuve en solitaire au défi en double

Session tutoriale

12^{ème} congrès national de la SFRP

La Rochelle, 19 juin 2019



Pôle Santé Environnement
SRTE/LECO
Karine BEAUGELIN-SEILLER
© IRSN

MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

Du latin *pollutio* (salissure, souillure, tâche)

Directive Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000

Introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes [...], qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier.

Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

■ 4000 ans avant JC : « début » de l'urbanisation (Mésopotamie)



Etymologie: du latin pollutio, salissure, souillure, tâche

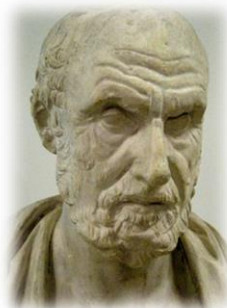
Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

- 4000 ans avant JC - Mésopotamie



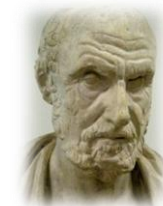
- 400 avant JC : 1^{ère} maladie professionnelle (colique chez les mineurs de plomb, Hippocrate)



Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

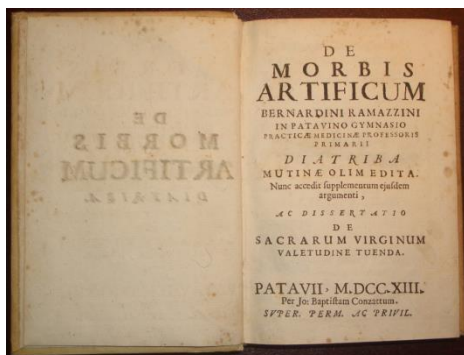
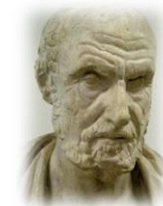
- 4000 ans avant JC - Mésopotamie
- 400 avant JC - Hippocrate
- 1566 : premières obligations réglementaires en matière de sécurité au travail (couvreurs, Charles IX)



Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

- 4000 ans avant JC - Mésopotamie
- 400 avant JC - Hippocrate
- 1566 - Charles IX
- 1700 : traité sur les maladies professionnelles des artisans (nocivité des produits et positions gênantes , Ramazzini)



Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

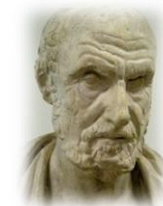
- 4000 ans avant JC - Mésopotamie

- 400 avant JC - Hippocrate

- 1566 - Charles IX

- 1700 - Ramazzini

- 1789 : suppression de la réglementation existante (France)



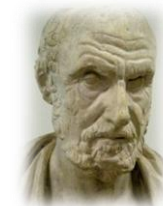
Au commencement...

➤ Une brève histoire des pollutions

- 4000 ans avant JC - Mésopotamie



- 400 avant JC - Hippocrate



- 1566 - Charles IX

- 1700 - Ramazzini



- 1789 : suppression de la réglementation existante (France)

➤ Depuis qu'il y a des hommes...ou presque !

Vous avez dit pollution(s) ?

La gestion du risque associé,
une histoire récente

La gestion du risque, un produit de la révolution industrielle

■ Une renaissance timide

- 1810 décret sur les établissements insalubres

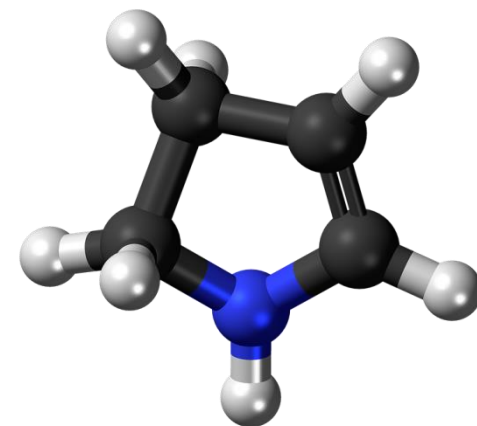
■ Mutation industrielle acier/charbon = amplification des pollutions anthropiques

- Extraction et usage accrus de ressources
- Rejets sans contrôle dans l'air, l'eau et sur les sols

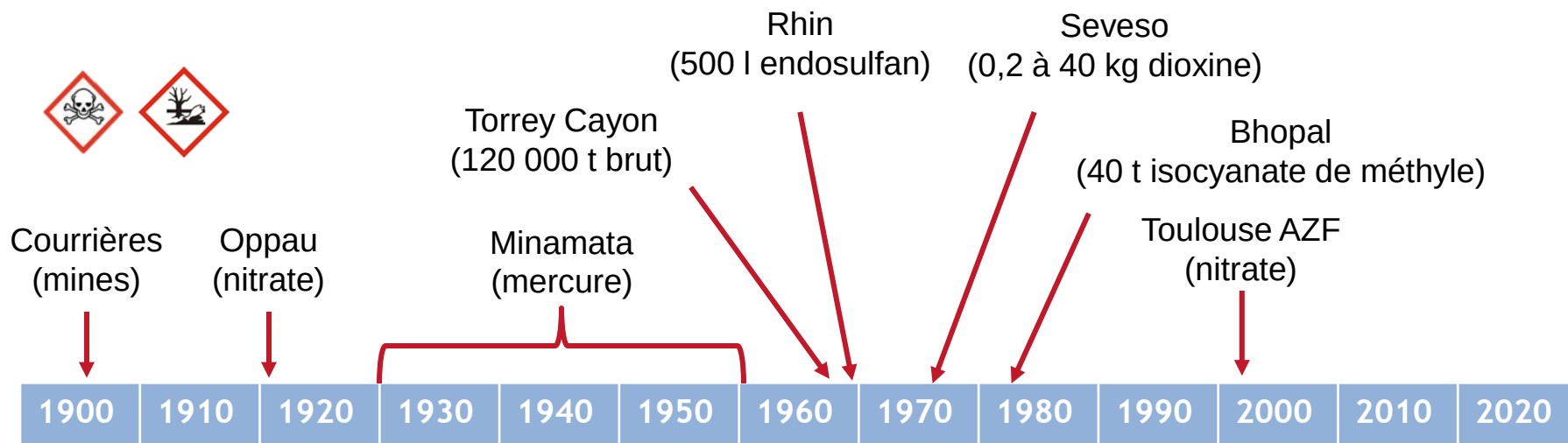


La gestion du risque, un produit de la révolution industrielle

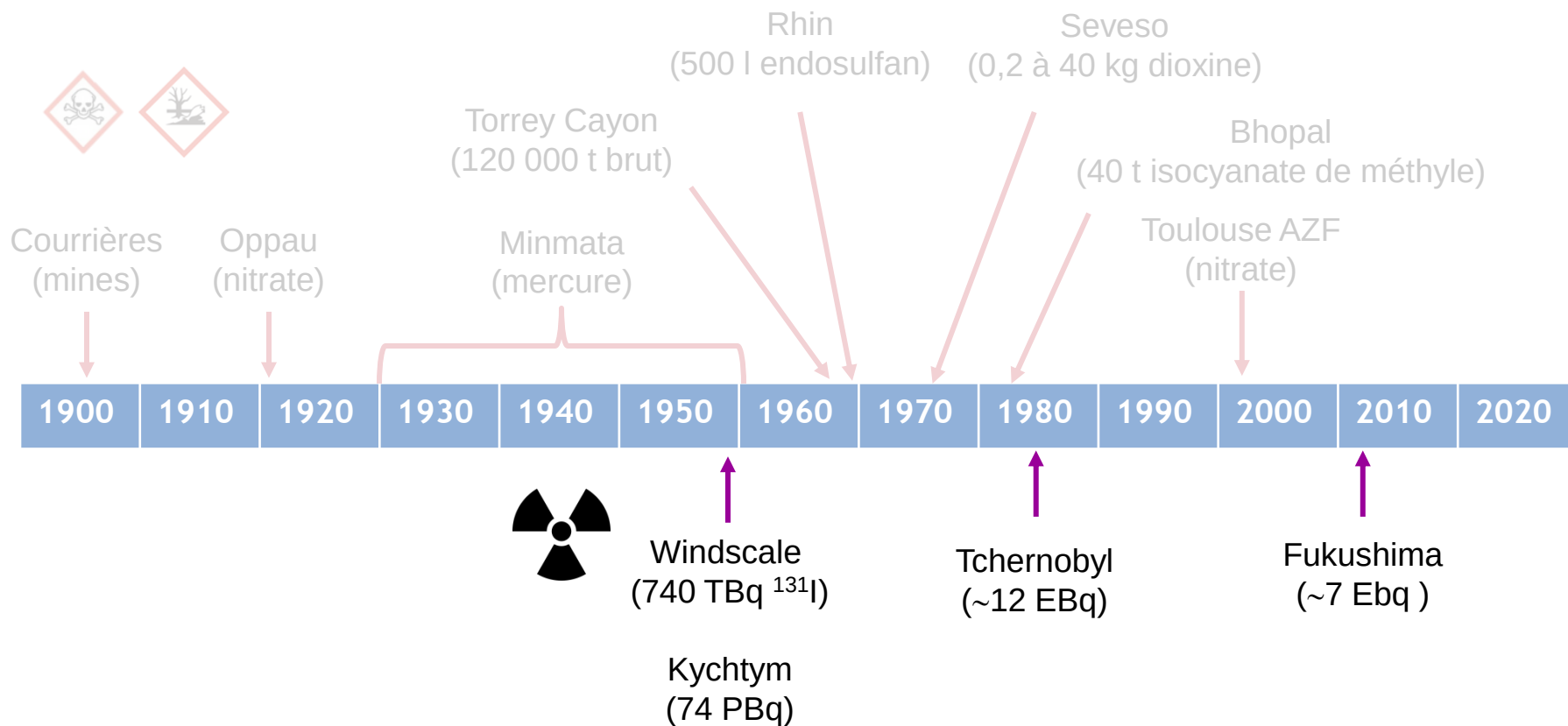
- Une renaissance timide
 - 1810 décret sur les établissements insalubres
- Mutation industrielle acier/charbon = amplification des pollutions anthropiques
 - Extraction et usage accrus de ressources
 - Rejets sans contrôle dans l'air, l'eau et sur les sols
- Essor de la chimie organique de synthèse
- Diversification et « accélération » des pollutions



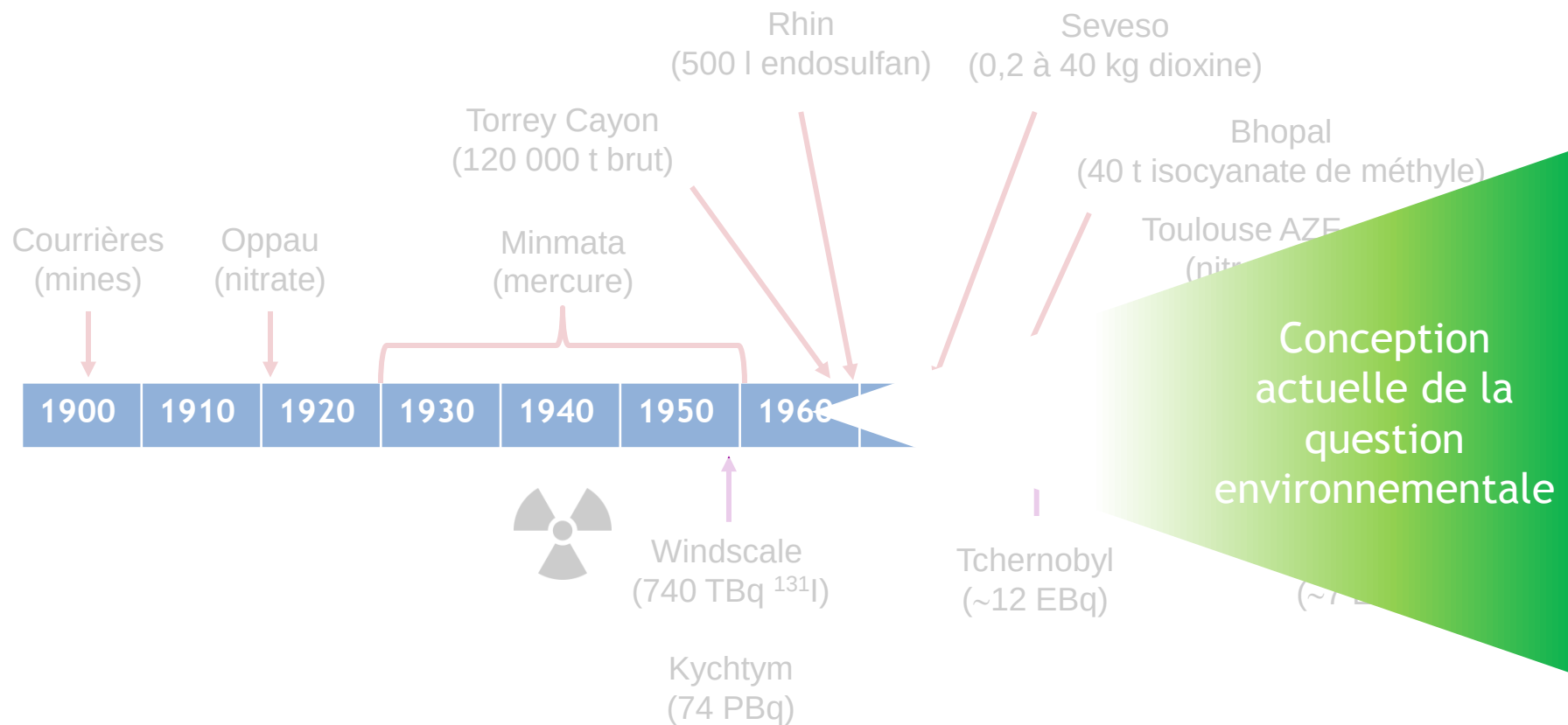
La gestion du risque, un produit de la révolution industrielle



La gestion du risque, un produit de la révolution industrielle



La gestion du risque, un produit de la révolution industrielle



Une nouvelle vision de l'environnement

■ 1962, USA : *Printemps silencieux* (R. Carson)

- Effets des pesticides (DDT) sur les oiseaux

L'utilisation non contrôlée de pesticides peut entraîner une mortalité non seulement chez les animaux, en particulier les oiseaux, mais aussi chez les humains

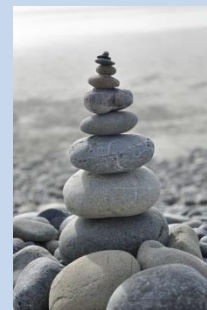
- Extraits dans 4 n° du *New Yorker*
- Soutien d'un juge de la cour suprême

■ Des répercussions très significantes

- Prise de conscience du public
- Création de l'agence US pour la protection de l'environnement (1970)
- Interdiction du DDT aux USA en 1972
- Impulsion du mouvement écologiste

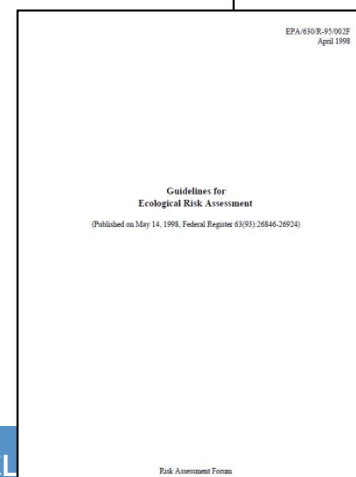
Une base stable

...à plusieurs titres

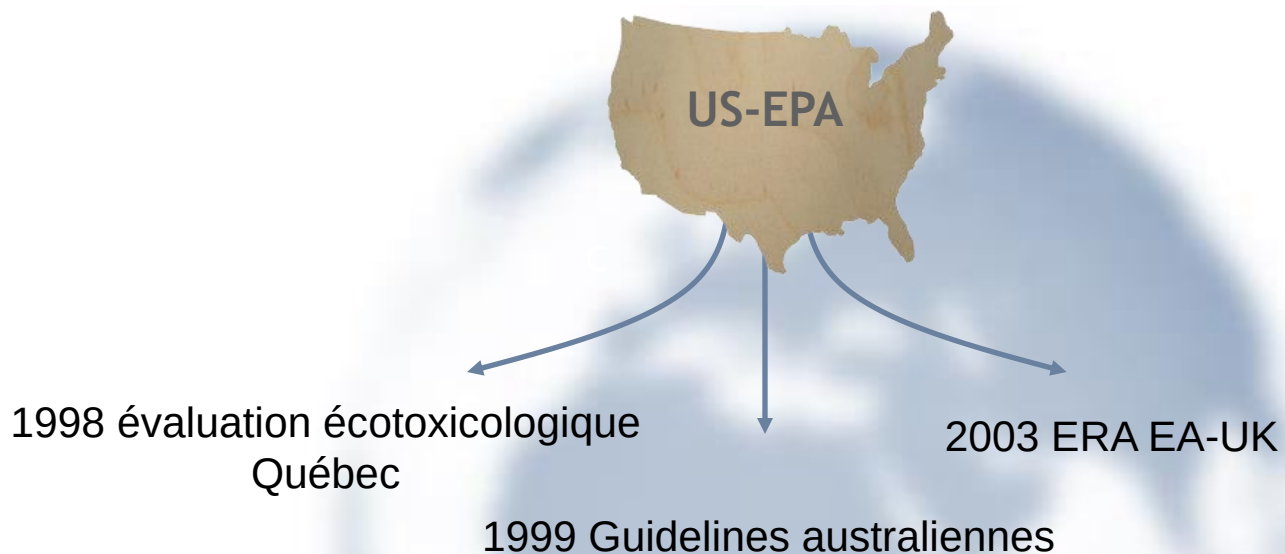


Évaluer le risque écologique pour les produits chimiques ?

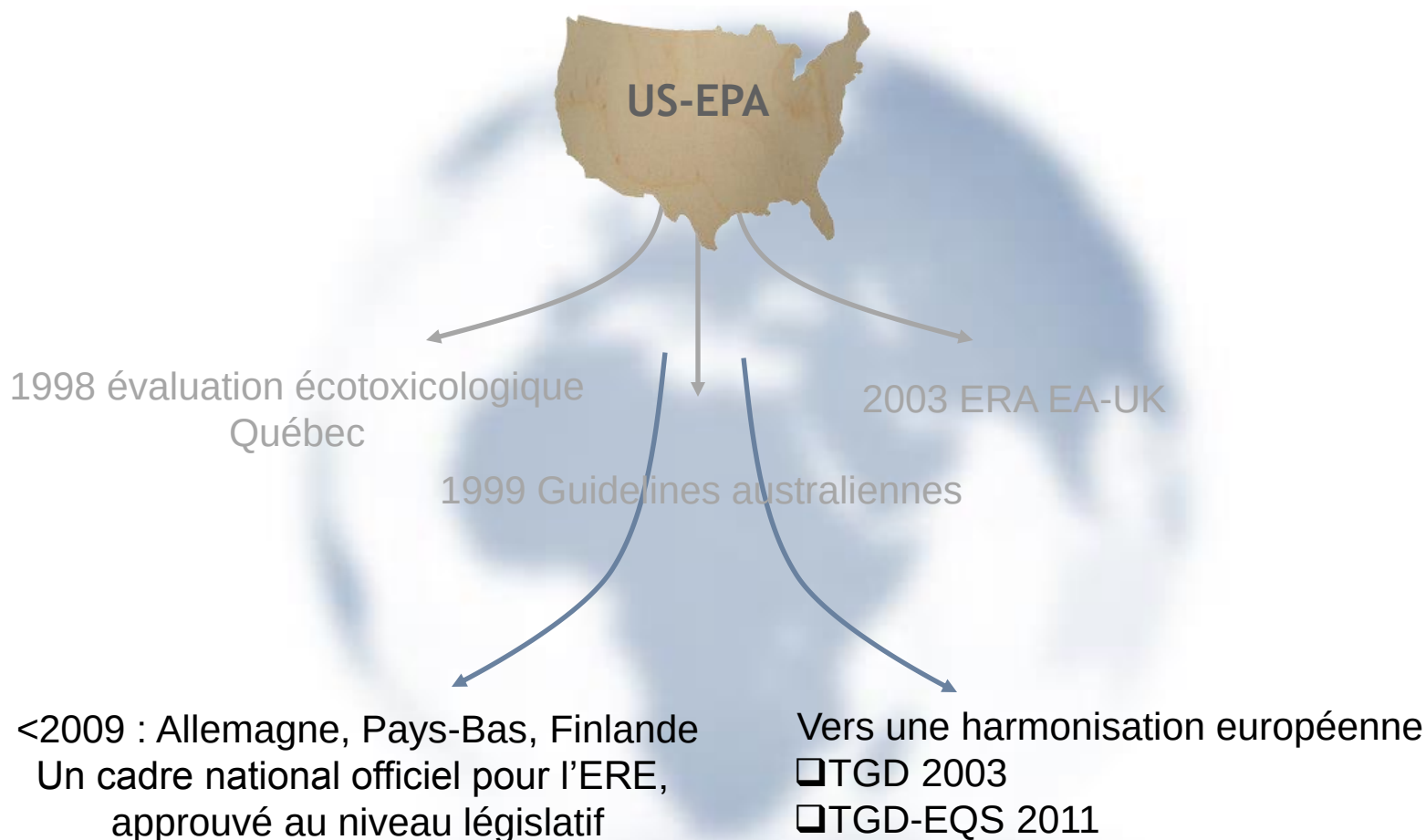
- 1981 US-EPA => ORNL : développement de la méthode
- 1983 National Research Council : standardisation du modèle (*Red Book*)
- 1992 US-EPA document cadre
- 1998 US-EPA méthodologie officielle



Une diffusion mondiale



Une diffusion mondiale



Qu'est-ce que l'ERE ?

I Démarche scientifique qui

- Organise et analyse
 - Les données, écotoxicologiques et écologiques
 - Les hypothèses
 - Les incertitudes
- Pour évaluer la probabilité d'apparition d'effets écologiques néfastes

Qu'est-ce que l'ERE ?

I Démarche scientifique qui

- Organise et analyse
 - Les données, écotoxicologiques et écologiques
 - Les hypothèses
 - Les incertitudes
- Pour évaluer la probabilité d'apparition d'effets écologiques néfastes

I Effets causés par agents de stress :

- **Chimique** (toxiques et composés dangereux **STABLES** i.e. non radioactifs)
- Physique (destruction d'habitats)
- Biologique (introduction d'espèces invasives)

Qu'est-ce que l'ERE ?

Approche substance

Source de perturbation = substance

Ex.: TGD

Approche matrice

Source de perturbation = matrice (sédiment, déchet...)

Ex caractérisation biologique des sédiments

Approche milieu

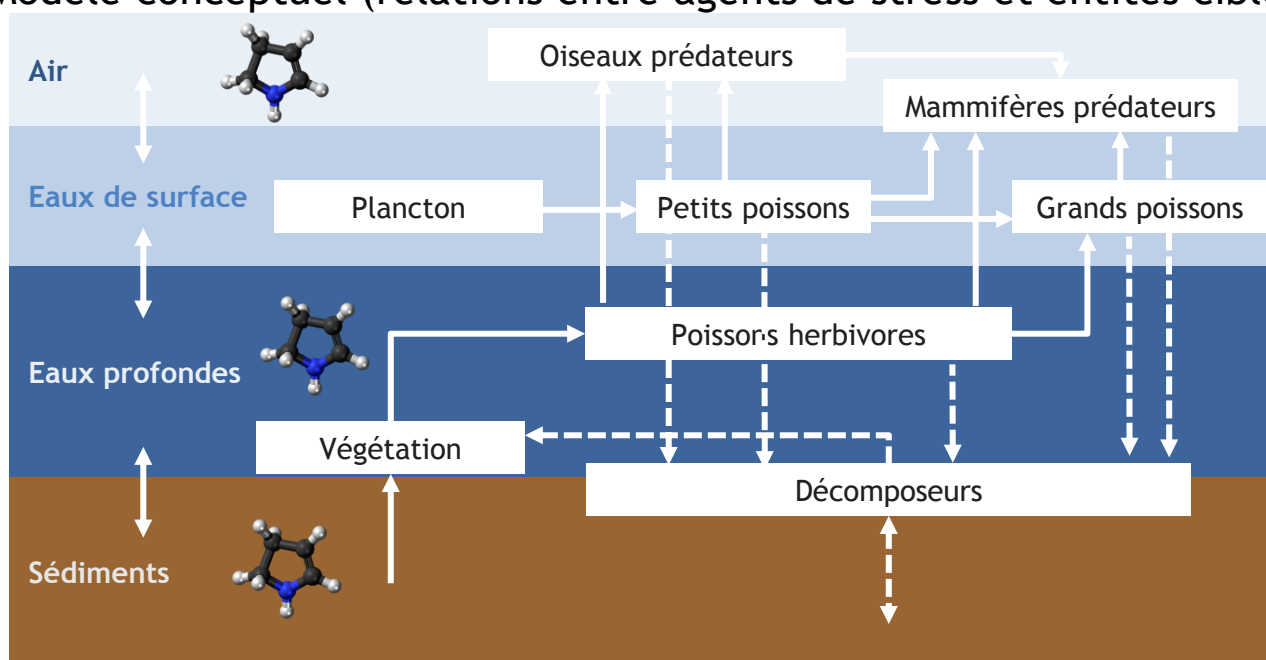
Source de perturbation = milieu (terrain contaminé...)

Plusieurs agents de stress, plusieurs vecteurs, plusieurs cibles

Une structure commune

Trois (4) composantes essentielles

- Première composante = *formulation du problème* (contexte)
 - Objectifs de l'évaluation vs. objectifs de gestion
 - Premières hypothèses
- Modèle conceptuel (relations entre agents de stress et entités cibles)



Une structure commune

I Trois (4) composantes essentielles

- Première composante = *formulation du problème* (contexte)
 - Objectifs de l'évaluation vs. objectifs de gestion
 - Premières hypothèses
 - Modèle conceptuel (relations entre agents de stress et entités cibles)
 - Stratégie méthodologique et analytique

Une structure commune

■ Trois (4) composantes essentielles

- Première composante = *formulation du problème* (contexte)
- Deuxième (+3^{ème}) composante = *analyse de l'exposition et des effets*
 - Exposition directe = voies d'exposition préférentielle
 - Exposition indirecte = fonctionnement écologique de l'écosystème
 - Données d'effet (Tests écotoxicologiques + extrapolations dont labo -> terrain)

Une structure commune

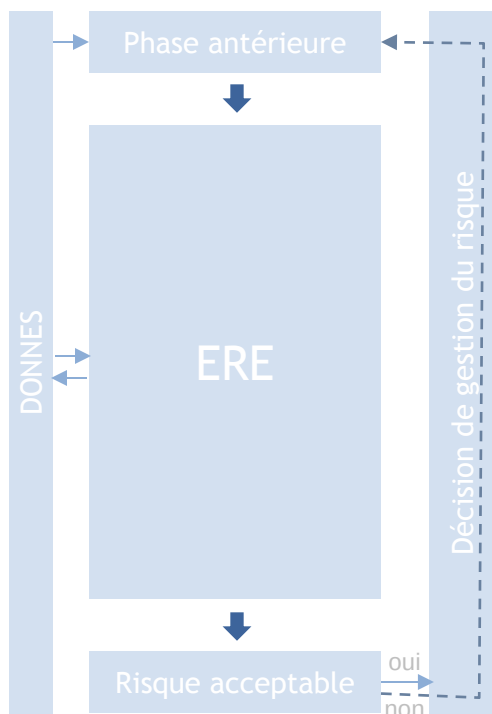
I Trois (4) composantes essentielles

- Première composante = *formulation du problème* (contexte)
- Deuxième (+3^{ème}) composante = *analyse de l'exposition et des effets*
- Troisième (4^{ème}) composante = *caractérisation du risque*
 - Intégrer les données sur exposition et effets
 - Méthode empirique (analyse directe ou statistique des résultats)
 - Méthode mécaniste (modélisation de la réponse écologique)
 - Méthode expérimentale (mesures in situ ou mésocosme)
- Le plus fréquent : méthode « empirique » du quotient de risque type PEC / PNEC

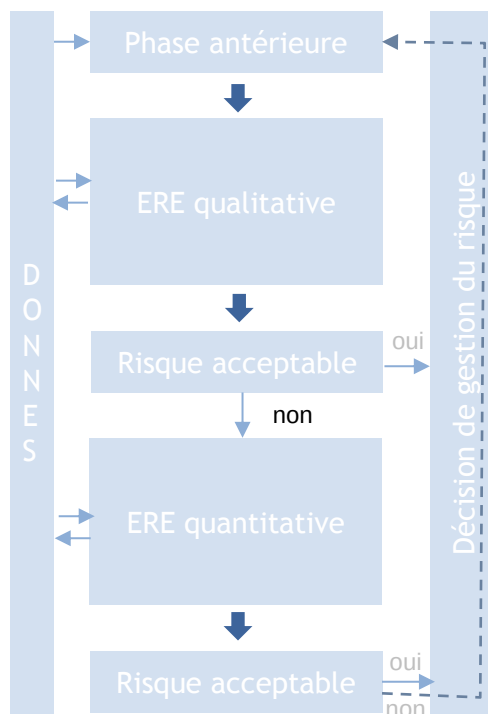
Une structure commune

- Trois (4) composantes essentielles
- Plusieurs architectures méthodologiques

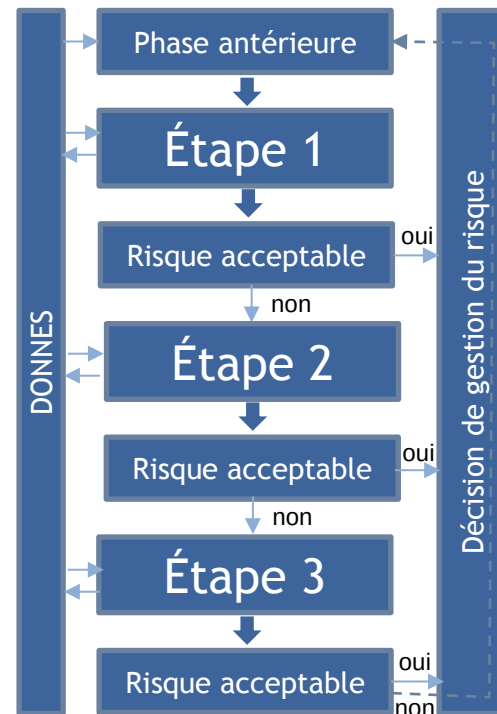
Architecture progressive



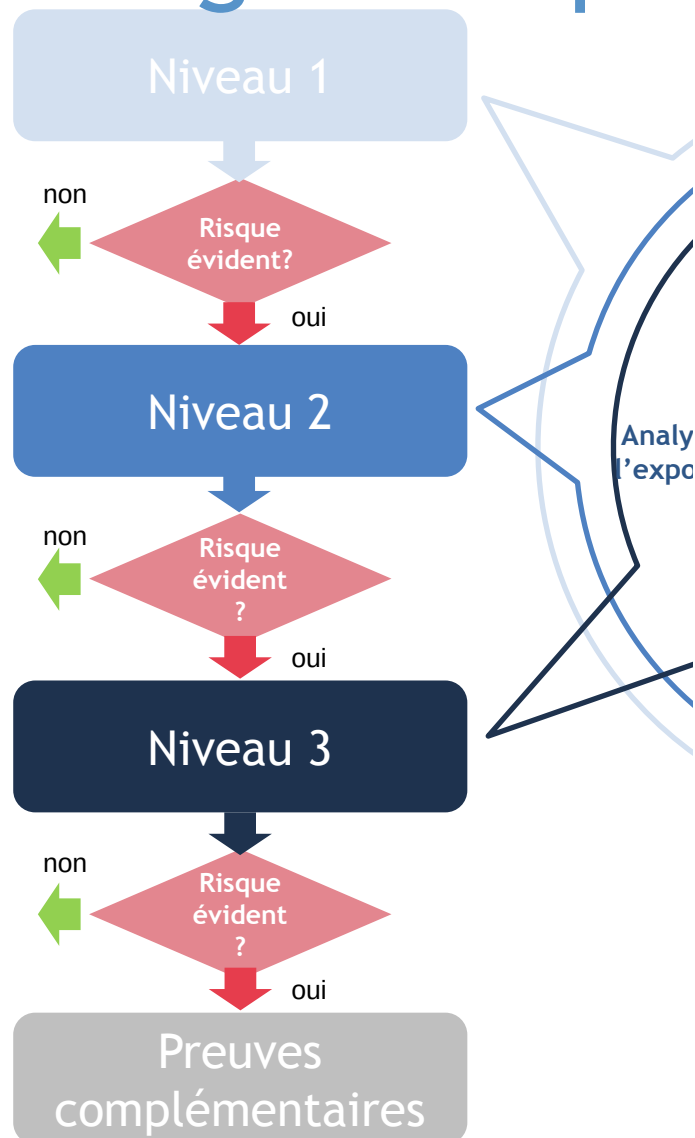
Architecture semi-progressive



Architecture par étape (graduée)



Vingt ans après...



■ Opérationnel et largement appliqué

■ Monosubstance, addition en dernier recours

■ « Si peu » de substances (données écotox !!!)

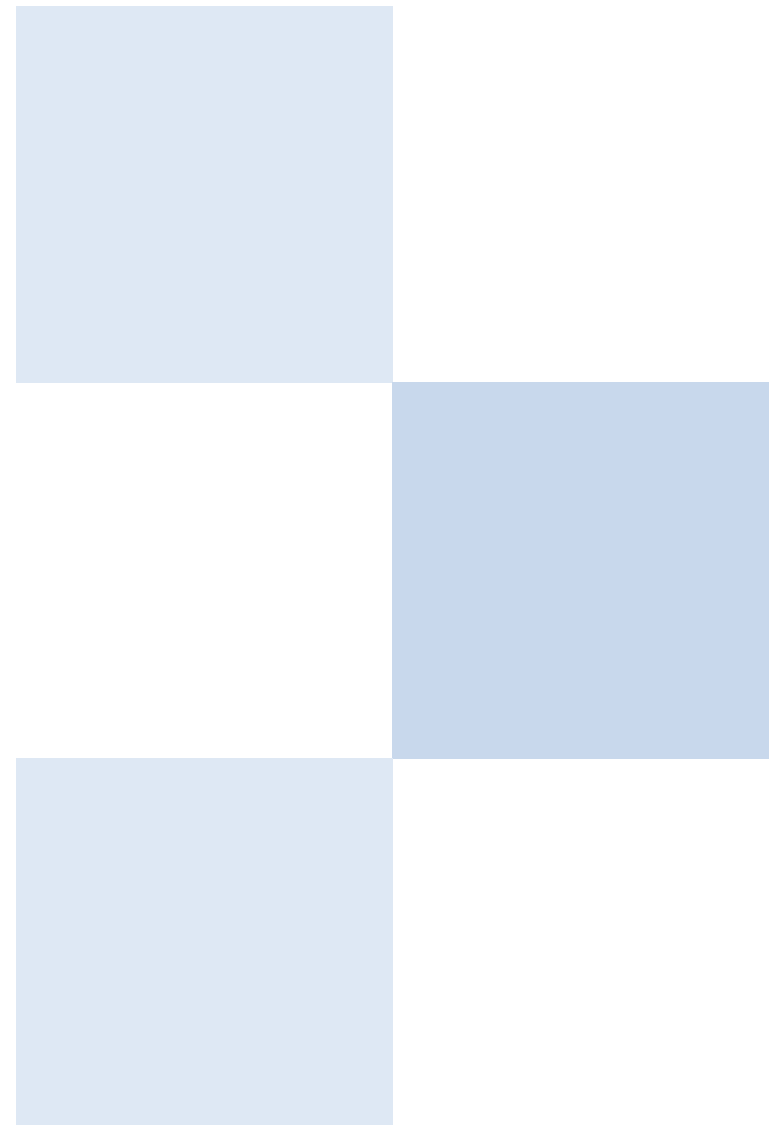
■ Extrapolations

- Aigu $\Rightarrow$ chronique
- Stade de vie $\Rightarrow$ vie entière
- Individu $\Rightarrow$ population
- Espèce x $\Rightarrow$ espèces y et z
- Écosystème x $\Rightarrow$ écosystème y
- Voie d'exposition x $\Rightarrow$ voie d'exposition y
- Effets directs $\Rightarrow$ effets indirects
- Échelles de temps et d'espace $\neq$



L'ERRE, copie « inspirée »

Déclinaison radiologique de l'ERE



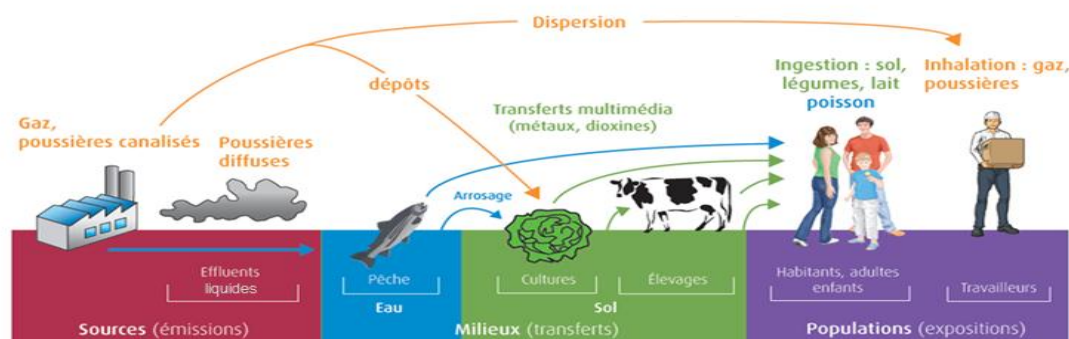
Évaluer le risque écologique pour les substances radioactives ?

- ⇒ 1991 credo CIPR : homme protégé = tous organismes protégés
- 1992 déclaration de Rio, convention sur la biodiversité
 - 1992 US-EPA document cadre ERE



Évaluer le risque écologique pour les substances radioactives ?

- ⇒ 1991 credo CIPR : homme protégé = tous organismes protégés
- 1992 déclaration de Rio, convention sur la biodiversité
- Protection radiologique de l'humain inadaptée : focus sur travailleur / individu le + exposé où environnement = voie de transfert vers l'homme



Évaluer le risque écologique pour les substances radioactives ?

- $\Rightarrow$ 1991 credo CIPR : homme protégé = tous organismes protégés
- 1992 déclaration de Rio, convention sur la biodiversité
- Protection radiologique de l'humain inadaptée
- Une approche insatisfaisante
 - Considération trop implicite de l'environnement pour lui-même et des objectifs de protection écologique
 - Absence de démonstration de protection effective de l'environnement
 - Mais $\exists$ exigence réglementaire (USA, Suède, UK, Canada...)
 - Compatibilité avec la gestion des autres stressors chimiques ?

Une volonté de cohérence

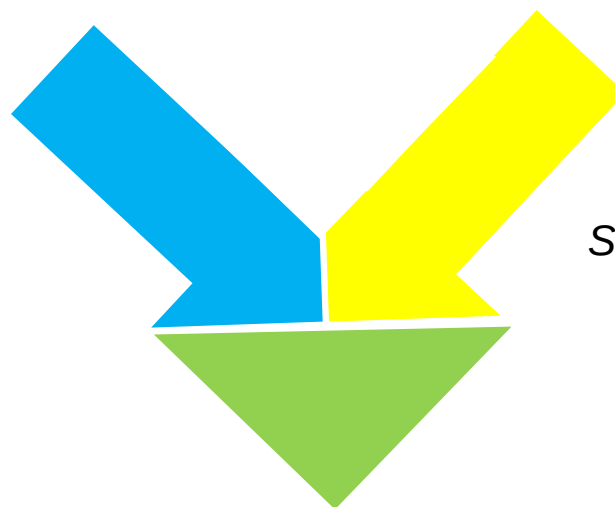
➤ Bâtir sur l'existant

Radioprotection
de l'homme

ERE

*Concepts
Unités*

Structure méthodologique

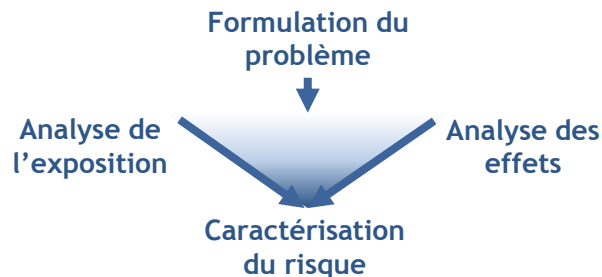


ERRE

Approche graduée d'évaluation de la dose absorbée par des organismes de référence

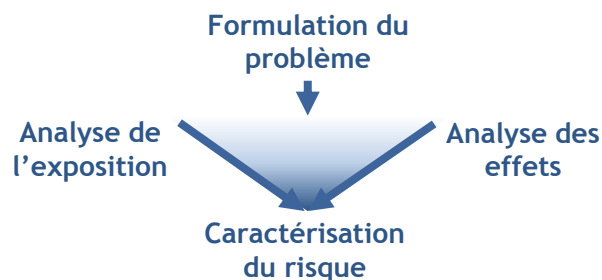
Une volonté de cohérence

➤ Bâtir sur l'existant, en adaptant



Une volonté de cohérence

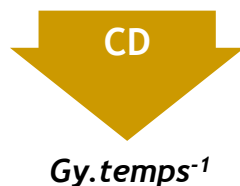
➤ Bâtir sur l'existant, en adaptant



1/ transferts

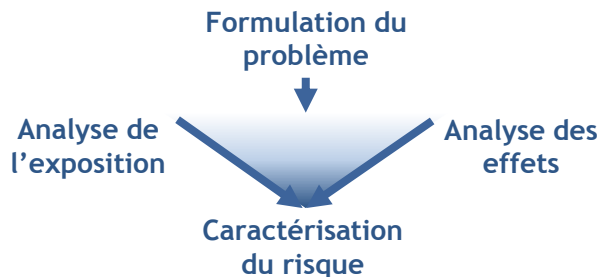


2/ dosimétrie



Une volonté de cohérence

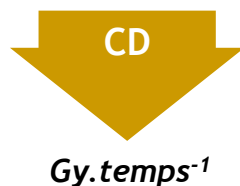
➤ Bâtir sur l'existant, en adaptant



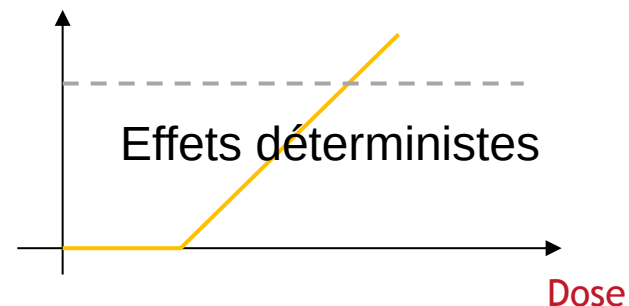
1/ transferts



2/ dosimétrie



Intensité de l'effet



Mortalité précoce

Mort prématurée de l'organisme

Morbidité

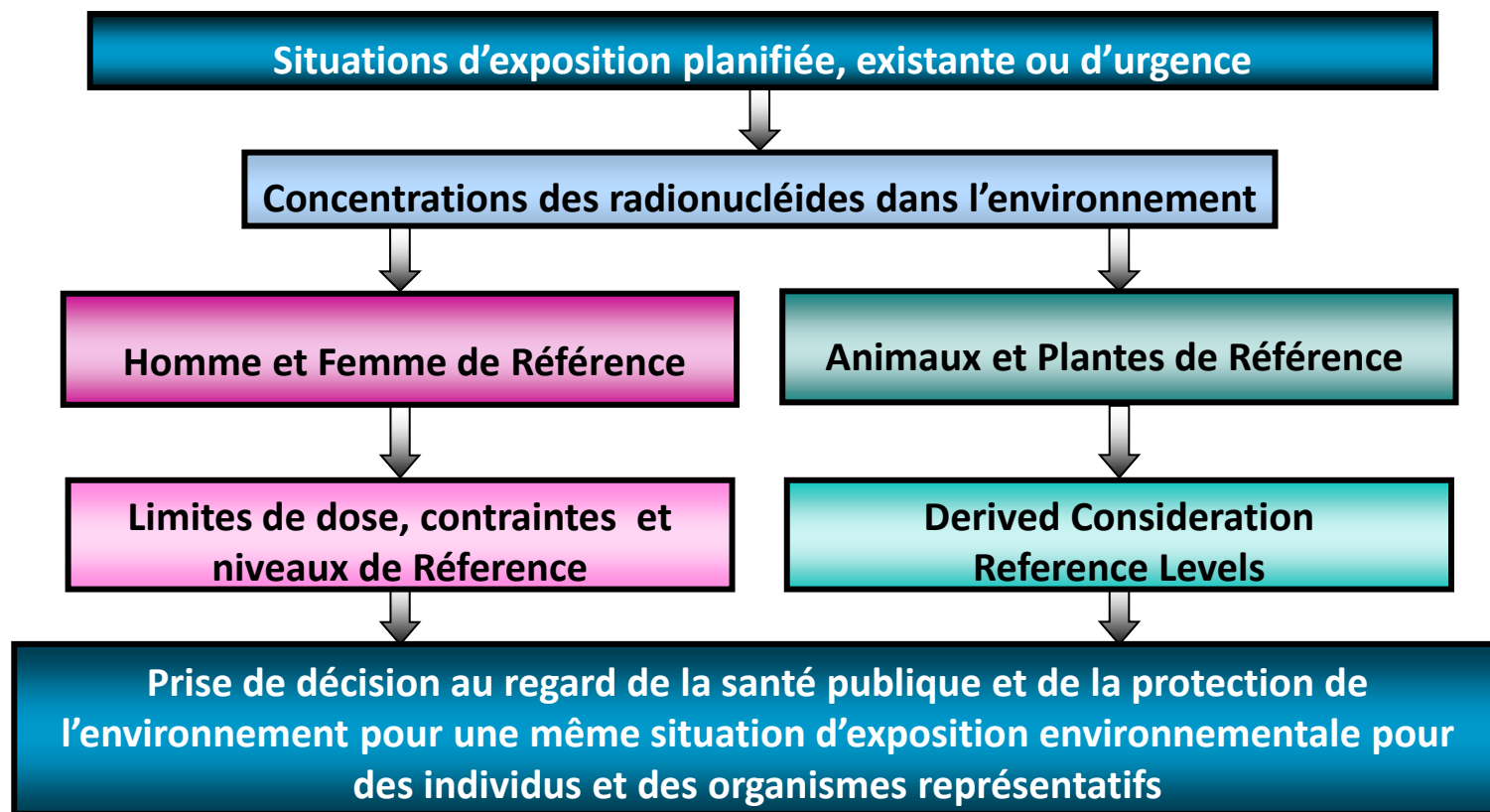
Réduction du bien-être physique, incluant les effets sur croissance et comportement

Succès reproductif

Fertilité et fécondité réduites

Une volonté de cohérence

➤ Bâtir sur l'existant, en adaptant



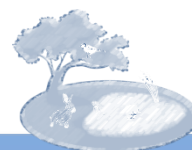
Une volonté de cohérence

➤ Bâtir sur l'existant, en adaptant

Homme



Faune et flore



Chaque individu

Cible à protéger

Espèce / communauté / écosystème

1 (sexuée, différents âges)

Organisme de référence

12 (stades de vie)

Cinétique, dose

Exposition

Équilibre, débit de dose

Dose efficace (Sv) pondérée
(W_R , W_T)

Dosimétrie

Dose absorbée (Gy) pondérée
(EBR)

Stochastiques
(cancers>> et héréditaires)

Effets

Déterministes
(dynamique de population>>>)

LNT

Relation dose-effet

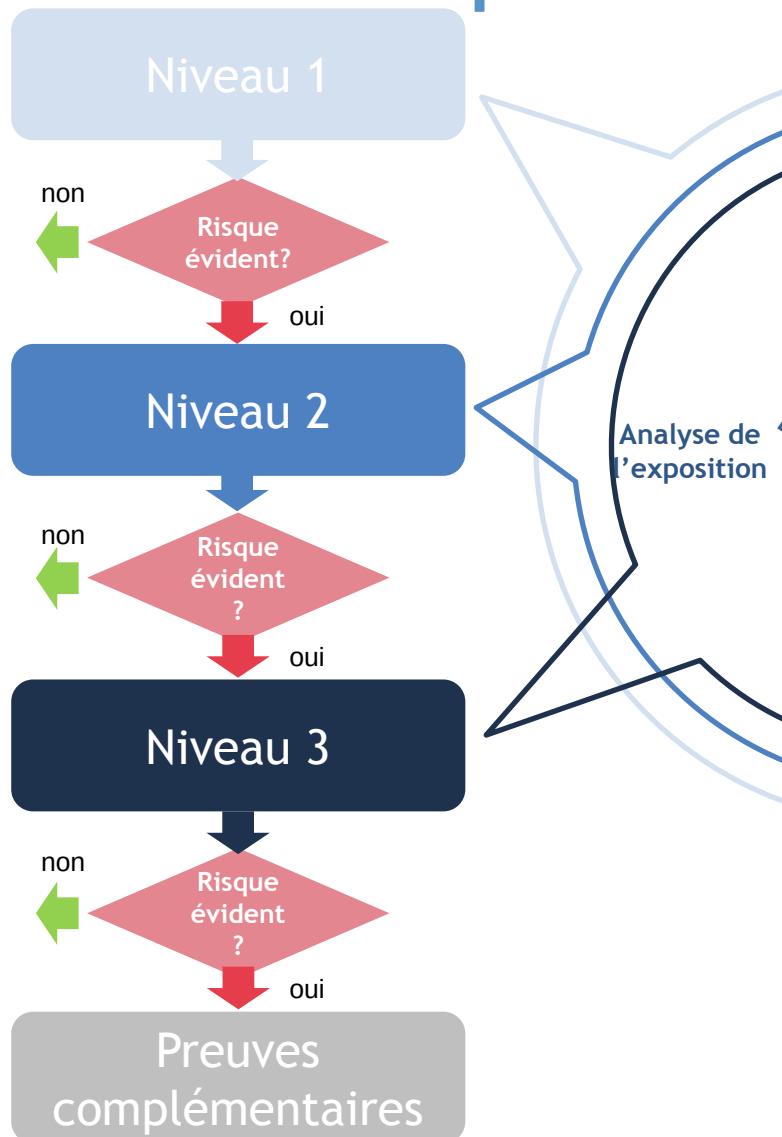
A seuil

Limitation des effets
Acceptabilité du risque

Mode de gestion

Prévention des effets
Conservatisme

Dix ans après...



- Opérationnel et largement appliqué
- Plurisubstances, addition de principe
- « tous » radionucléides (transfert ?!)

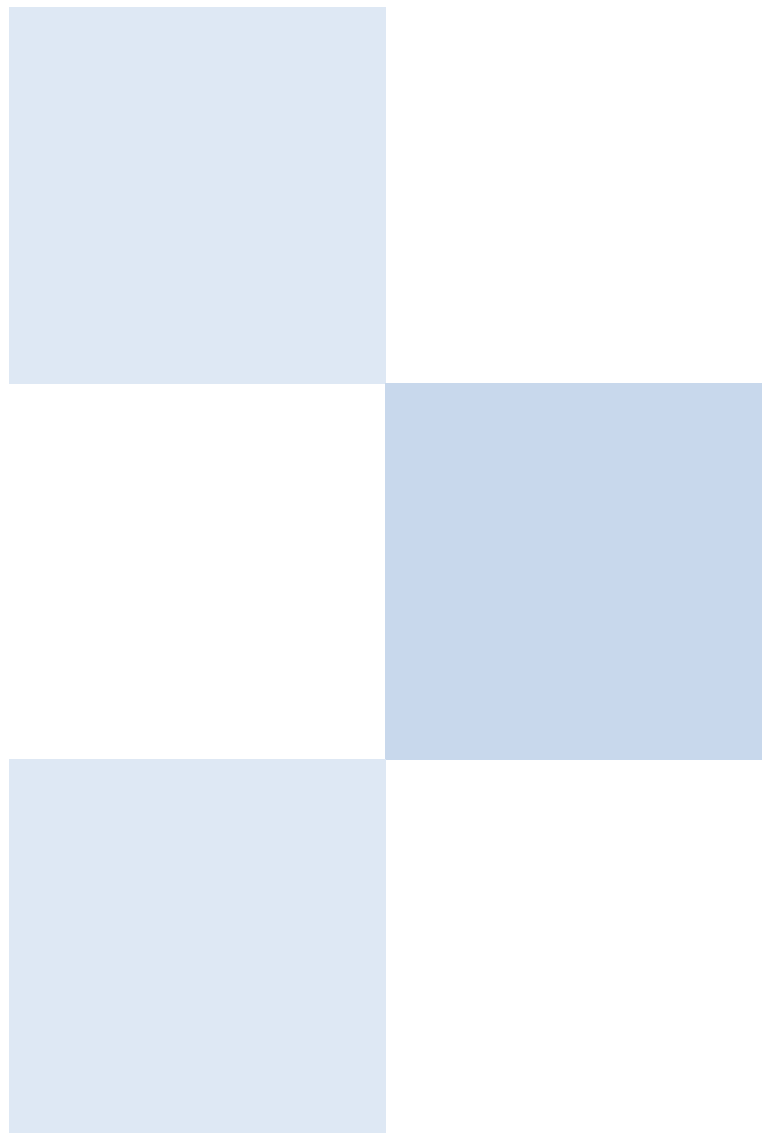
■ Extrapolations

- Aigu $\Rightarrow$ chronique
- Stade de vie $\Rightarrow$ vie entière
- Individu $\Rightarrow$ population
- Espèce $x \Rightarrow$ espèces y et z
- Écosystème $x \Rightarrow$ écosystème y
- Voie d'exposition $x \Rightarrow$ voie d'exposition y
- Effets directs $\Rightarrow$ effets indirects
- Échelles de temps et d'espace $\neq$



Le défi de l'intégration

La fusion, une solution d'avenir ?



Quel besoin d'intégrer ?

➤ La multi-pollution, réalité des expositions

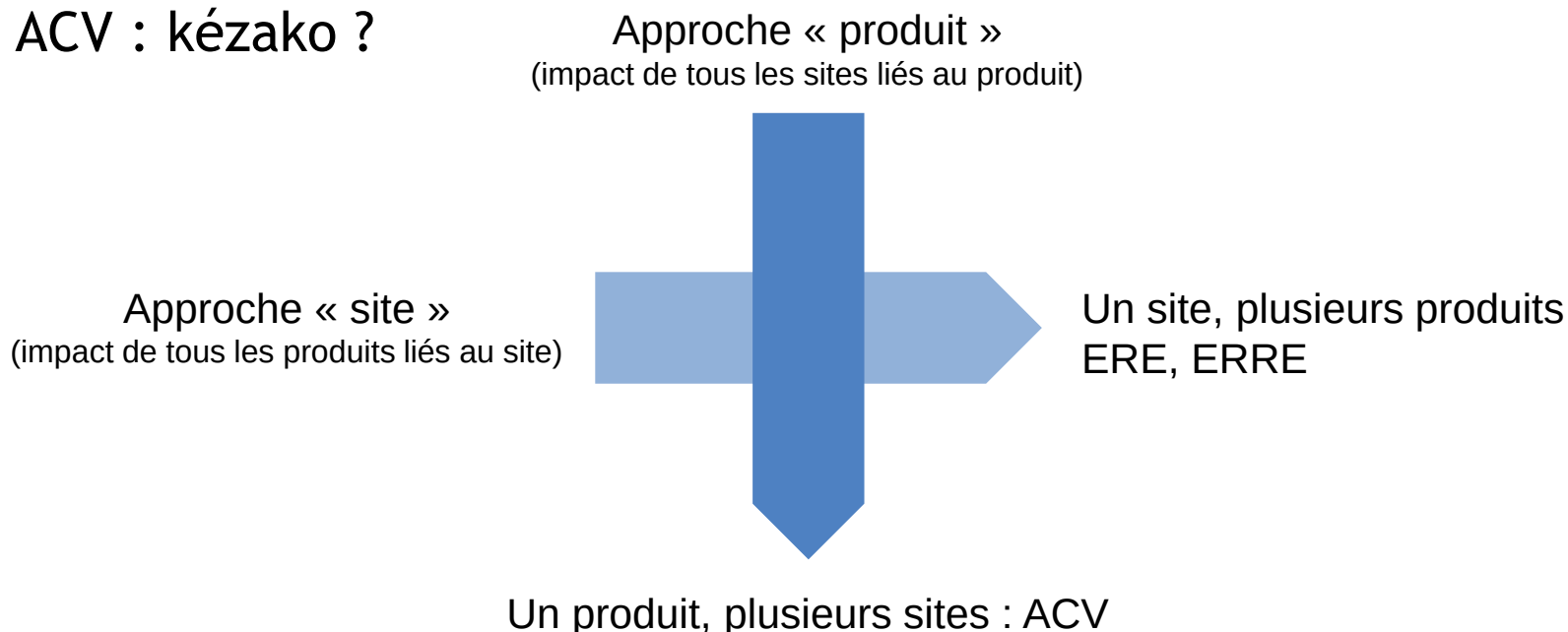
- Séparation « historique » chimiotoxicité/radiotoxicité
- Mais liens méthodologiques évidents et voulus
- Exposition environnementale : cocktail !
- Questionnement récurrent : comment faire ?

Mélanger des torchons et des serviettes !

➤ Une problématique partagée

- Bâtir sur l'existant - encore !

- ACV : kézako ?

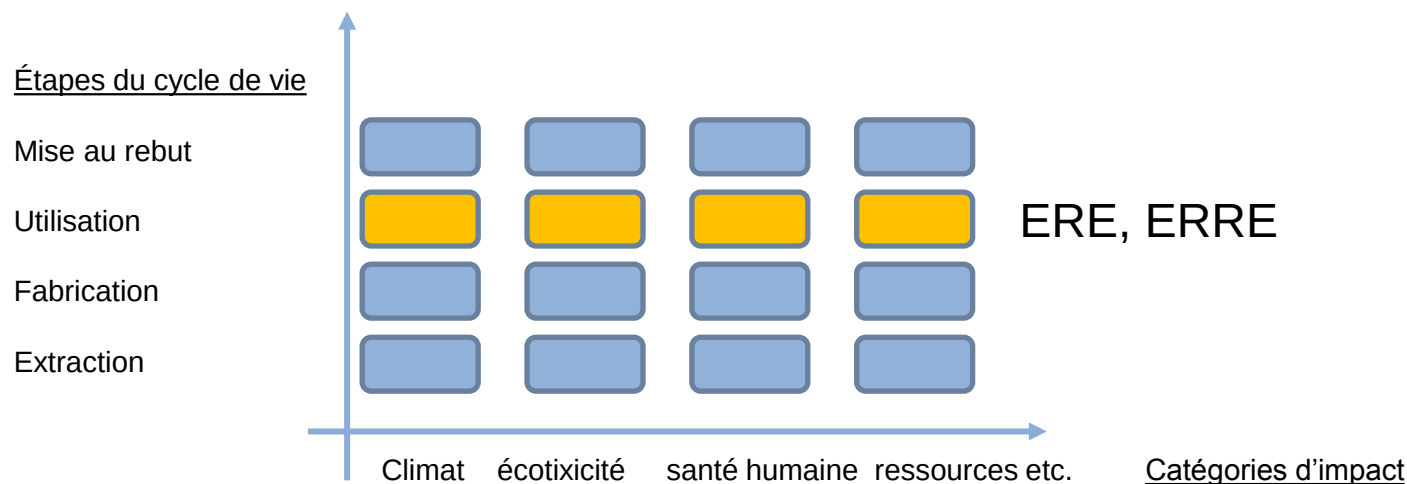


Mélanger des torchons et des serviettes !

➤ Une problématique partagée

■ Mode de pensée ACV : éviter les transferts d'impact

- D'une région à une autre
- D'un écosystème à un autre
- D'une étape du cycle de vie à une autre
- D'une catégorie d'impact à l'autre

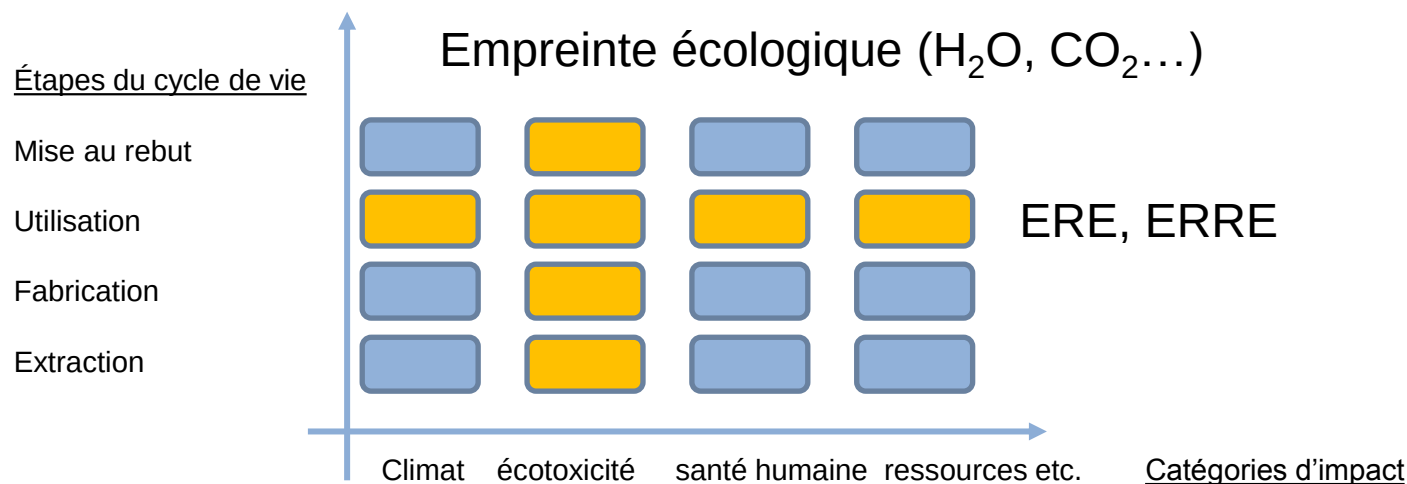


Mélanger des torchons et des serviettes !

➤ Une problématique partagée

■ Mode de pensée ACV : éviter les transferts d'impact

- D'une région à une autre
- D'un écosystème à un autre
- D'une étape du cycle de vie à une autre
- D'une catégorie d'impact à l'autre

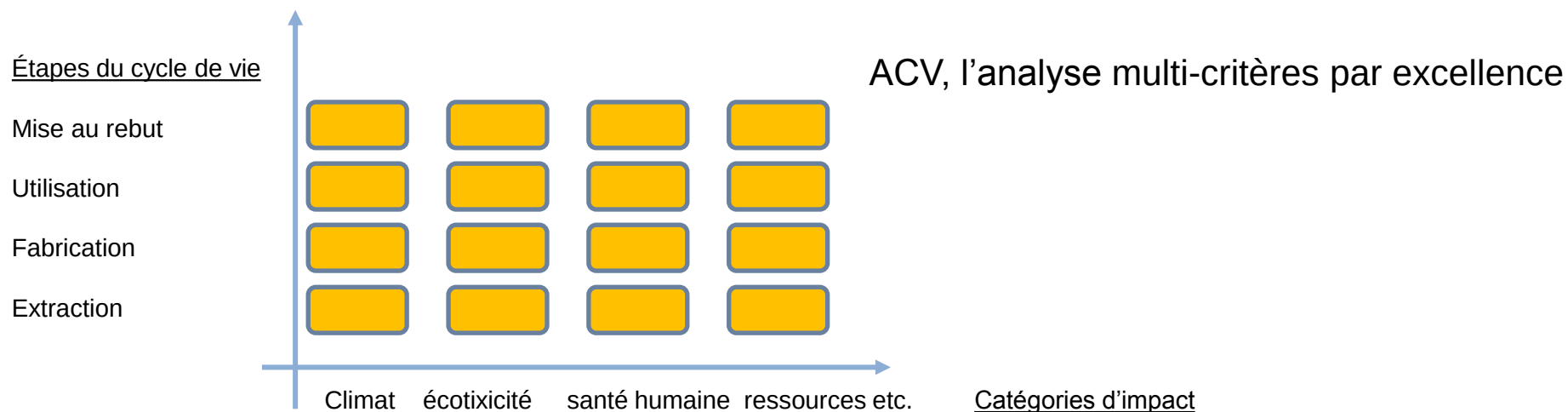


Mélanger des torchons et des serviettes !

➤ Une problématique partagée

■ Mode de pensée ACV : éviter les transferts d'impact

- D'une région à une autre
- D'un écosystème à un autre
- D'une étape du cycle de vie à une autre
- D'une catégorie d'impact à l'autre



Des approches inspirantes

➤ Trouver une expression commune des effets

■ Une méthode normalisée en 4 étapes (!)

Contexte

Inventaire du
cycle de vie

Analyse d'impact
du cycle de vie

Interprétation

quantifier, en les groupant dans un nombre limité de catégories d'impact, les effets induits par le cycle de vie d'un produit, éventuellement pondérés en fonction de leur importance.
Life Cycle Initiative, PNUE

Des approches inspirantes

➤ Trouver une expression commune des effets

■ Une méthode normalisée en 4 étapes (!)

Contexte

Inventaire du
cycle de vie

Analyse d'impact
du cycle de vie

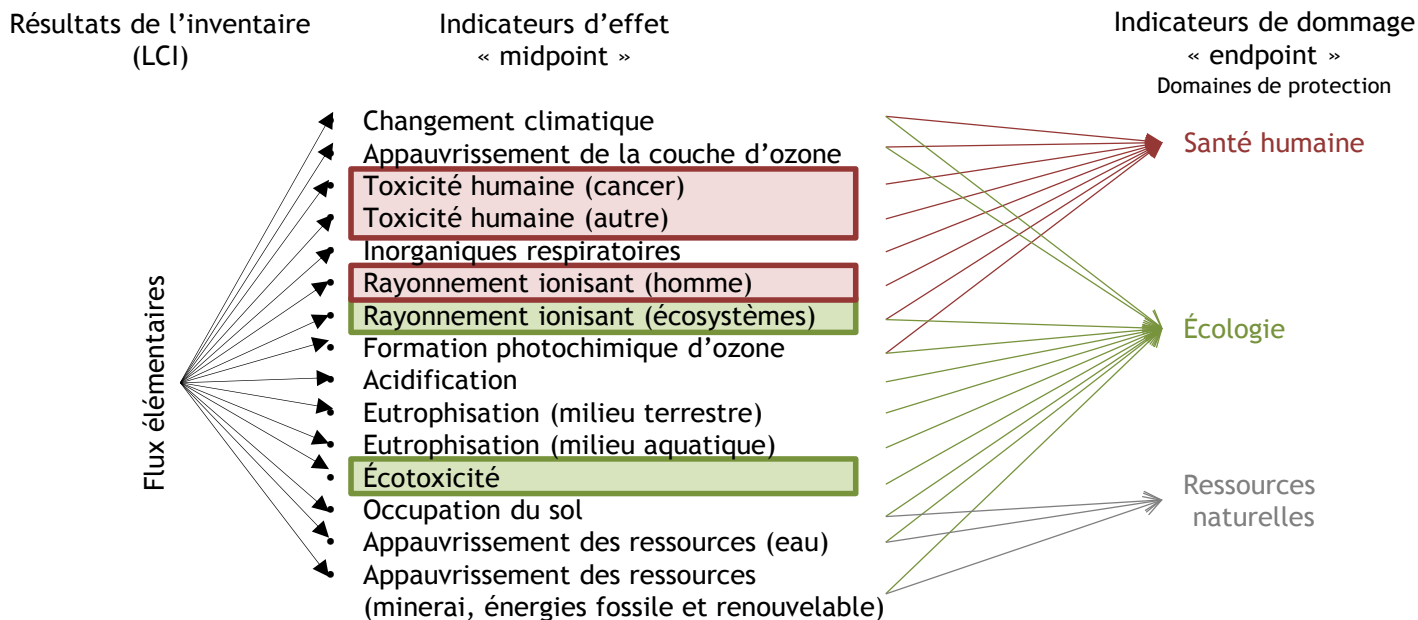
Interprétation

- ❑ définition des catégories d'impact à traiter et sélection des indicateurs et des modèles de caractérisation associés
- ❑ classification (affectation qualitative des stressors à une ou plusieurs des catégories d'impact sélectionnées ; ex: benzène ➔ toxicité humaine, écotoxicité et formation d'ozone)
- ❑ caractérisation (**quantification** du score d'impact pour chaque catégorie)

Des approches inspirantes

➤ Trouver une expression commune des effets

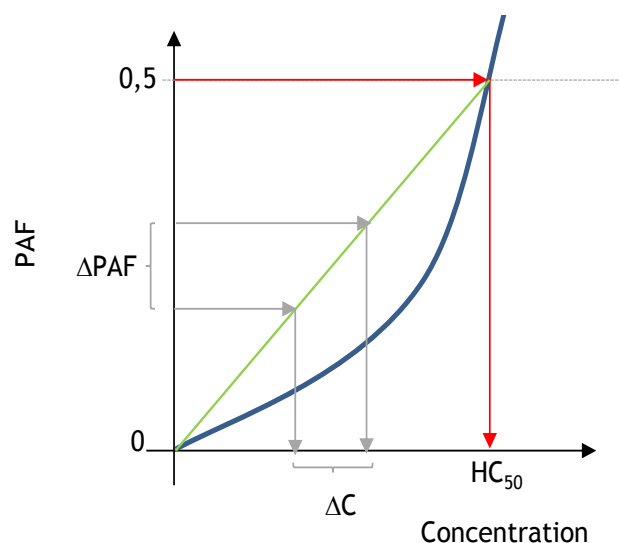
■ Caractérisation et catégories d'impact



Des approches inspirantes

➤ Trouver une expression commune des effets

■ Écotoxicité : la variation de PAF (% d'espèces affectées)

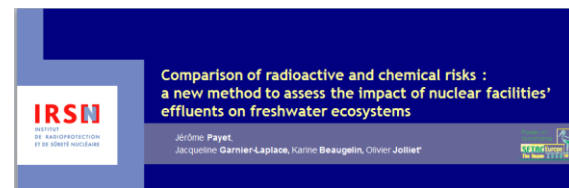
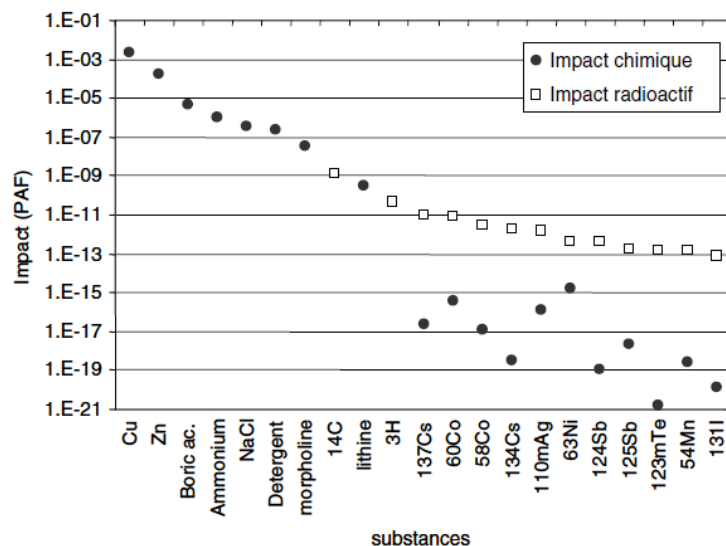


$$EF_s = \frac{0,5}{HC_{50s}} \quad \text{l.mol}^{-1}$$

Des essais probants

➤ Application aux effluents de CNPE

■ Substances stables et radioactives, sur le même plan !



Radioprotection 2007
Vol. 42, n° 4, pages 535 à 550

DOI: 10.1051/radiopro/2007042

Article

Évaluation comparée du risque chimique et du risque radiologique pour l'environnement

K. BEAUGELIN-SEILLER¹, J. GARNIER-LAPLACE²

Radioprotection, vol. 44, n° 5 (2009) 903–908
© EDP Sciences, 2009
DOI: 10.1051/radiopro/20095161

**A Screening Level Ecological Risk Assessment and ranking
method for liquid radioactive and chemical mixtures released
by nuclear facilities under normal operating conditions**

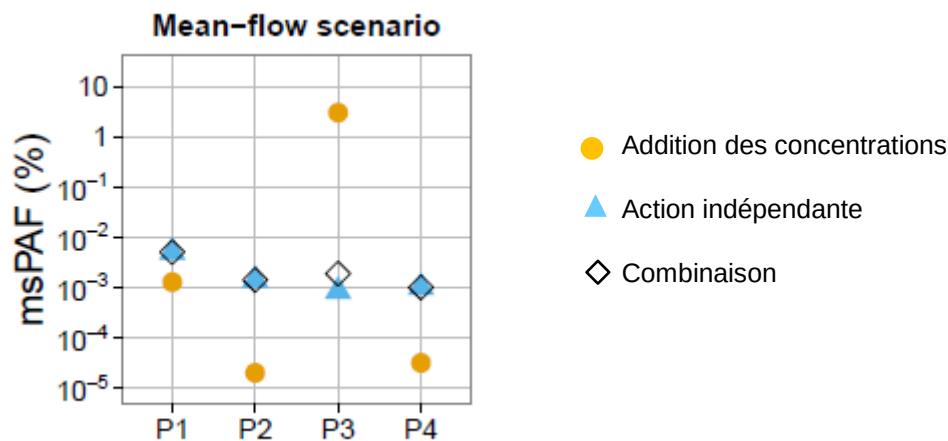
J. Garnier-Laplace¹, K. Beaugelin-Seiller², R. Gilbin³, C. Della-Vedova⁴,
O. Jolliet⁵ and J. Payet⁶

Des essais probants

➤ Application aux effluents de CNPE

■ Substances stables et radioactives, sur le même plan !

■ Plusieurs approches possibles



Ecological risk assessment of mixtures of radiological and chemical stressors: Methodology to implement an msPAF approach[☆]

Léa Beaumelle, Claire Della Vedova, Karine Beaugelin-Seiller, Jacqueline Garnier-Laplace, Rodolphe Gilbin^{*}

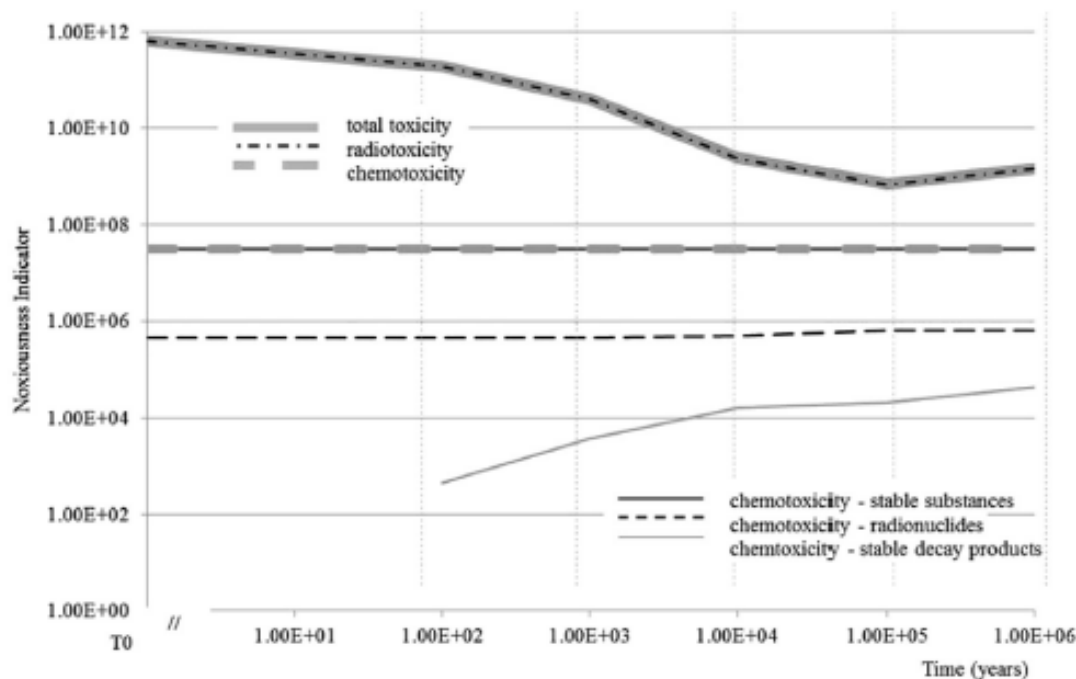
Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN), PRP-ENV/SERIS/LRTE, Cadarache, Bât. 159, BP 3, 13115 St Paul-lez-Durance, France



Un pas supplémentaire

➤ Un indice unique de « nocivité » ?

■ Cohérent et accessible pour l'écotoxicité



Un pas supplémentaire

➤ Un indice unique de « nocivité » ?

- Cohérent et accessible pour l'écotoxicité

- Plausiblement extensible à l'homme

- Mais des investigations complémentaires **INDISPENSABLES**



A single indicator of noxiousness for people and ecosystems exposed to stable and radioactive substances[☆]

Karine Beaugelin-Seiller ^{a, *}, Rodolphe Gilbin ^b, Sophie Reygrobellet ^c,
Jacqueline Garnier-Laplace ^d



L'intégration, mythe ou réalité ?

➤ Transformer l'essai

■ Méthodologie disponible et séduisante

■ **Mais encore expérimentale**

- Lacunes de données
- Manque d'homogénéité
 - dans les données de base disponibles
 - dans les méthodes d'obtention des métadonnées qui en découlent
- Prise en compte de la spéciation qui conditionne la toxicité
- Gestion des incertitudes
- Normalisation et pondération ???



Bienvenue à bord à ceux qui sont tentés !

