



SITES ET SOLS POLLUES

Définitions et acteurs
Contexte réglementaire et démarche
Evaluation des risques sanitaires

Sébastien KASKASSIAN
BURGEAP
s.kassian@burgeap.fr



Définitions et acteurs

Qu'est-ce qu'un site pollué ?

- **Site pollué** : Site où les activités humaines qui s'y sont succédées ont introduit dans le sous-sol (sol et/ou nappe phréatique) des substances indésirables et/ou toxiques.
- **Problème** : Les polluants présents dans le sol peuvent être mobilisés et induire des **risques sanitaires** ou des **nuisances** pour les usagers, les riverains du site, ou pour les ressources naturelles et l'environnement.

SOURCE de pollution



VECTEUR



CIBLE



- **Dépôt de déchets**
- **Sols pollués en surface**
- **Terrains pollués dans l'aquifère**
- **Produits liquides**
- **Rejets aqueux**
- **Rejets atmosphériques**
- **Envol de poussières**

- **Percolation des pluies**
- **Ruissellement de surface**
- **Nappes : migration horizontale.**
- **Rivières / inondations**
- **Le vent**

- **Ressource (valeur "patrimoniale")**
- **Captages d'eau potable**
- **Captages d'eau industrielle ou agricoles**
- **Ingestion, inhalation : santé publique**



Où rencontre-t-on le plus souvent des sites pollués ?

Sites industriels anciens, encore exploités ou non :

- **Anciennes usines à gaz,**
- **Sites chimiques et pharmaceutiques**
- **Ateliers de mécanique, casses automobiles,**
- **Traitement de surface, fonderies de métaux**
- **Lavage à sec,**
- **Dépôts d'hydrocarbures, stations services**
- **Décharges, dépositaires, carrières et gravières remblayées**
- **Mines...**

- **Friches (industrielles) ou espaces remblayés avec des matériaux contaminés (gravières, besoins construction ...)**

Site ayant subi une pollution accidentelle (incendie, déversement accidentel...).



Recensement des sites pollués ?

BASIAS

- Inventaire d'anciens site industriels et activités de services
- <http://basias.brgm.fr/>

The screenshot shows the BASIAS website interface. At the top, there is a header with the BRGM logo and the text 'Inventaire des anciens sites industriels et activités de services'. Below this, there is a navigation menu with options like 'Accueil', 'Recherche', 'Méthodologie', 'Bases de données', and 'A propos'. The main content area displays a search results table with columns for 'Nom du site', 'Adresse', 'Date de création', 'Statut', 'Type de site', 'Superficie (m²)', 'Date de mise à jour', 'Statut de l'opération', 'Statut de l'opération', 'Statut de l'opération', and 'Statut de l'opération'. The table contains several rows of data, including site names like 'SIAV 10000' and 'SIAV 10001'.

BASOL

- sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
- <http://basol.environment.gouv.fr/>

The screenshot shows the BASOL website search interface. It features a search bar with the text 'AN BASOL' and a 'Rechercher' button. Below the search bar, there are several filters and options, including 'Méthodologie', 'Approche nationale', 'FAQ', 'Glossaire', 'Liens', and 'Contactez-nous'. The interface is designed to help users find information about polluted sites and soils.

The screenshot shows the BASOL website search results page. It features a header with the text 'Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable' and 'Lutte contre les pollutions | Sites et Sols Pollués | Basol | Recherche'. The main content area displays a search results table with columns for 'Nom du site', 'Adresse', 'Date de création', 'Statut', 'Type de site', 'Superficie (m²)', 'Date de mise à jour', 'Statut de l'opération', 'Statut de l'opération', 'Statut de l'opération', and 'Statut de l'opération'. The table contains several rows of data, including site names like '69 - VAULX EN VELIN - Centres Commercial le Grand Vire'.



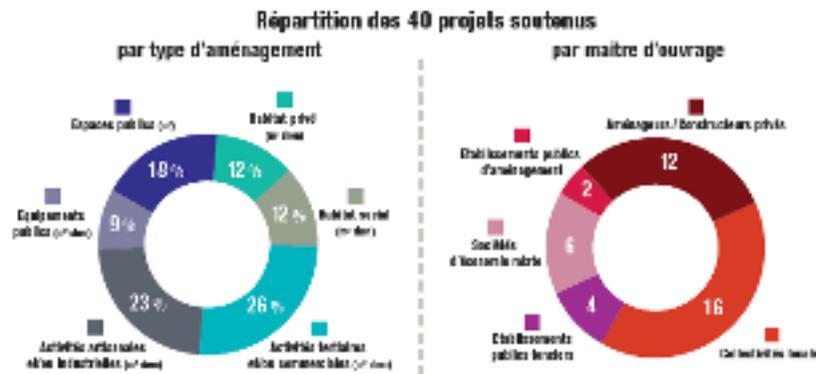
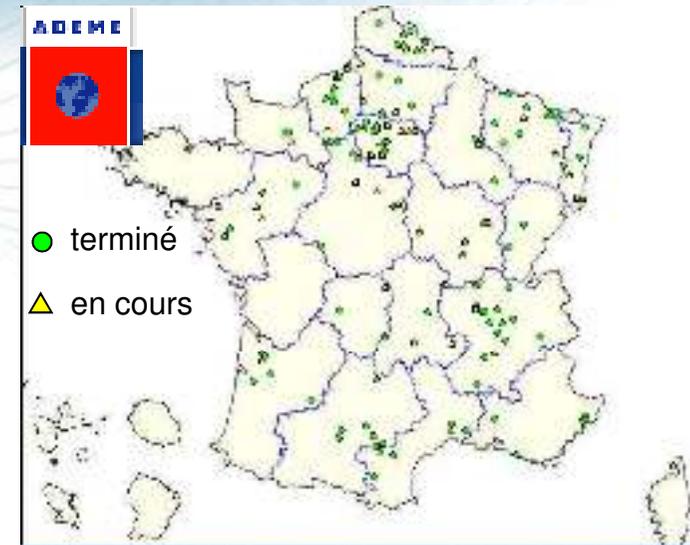
Recensement des sites pollués ?

ADEME

- <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12620>
- gestion des sites orphelins
- friches industrielles – plan de relance en 2009 :

Une aide qui produit un important effet de levier.

- Montant total des travaux de reconversion aidés : 80 millions d'euros (dont 20 M€ plan de relance)
- Investissement total d'aménagement : 1,2 milliard d'euros (logements, services, commerces, ...)



+ cadastre, administrations, archives (communes, industries ...), photos aériennes ...





Acteurs des sites pollués ?

Administrations (ou assimilé)

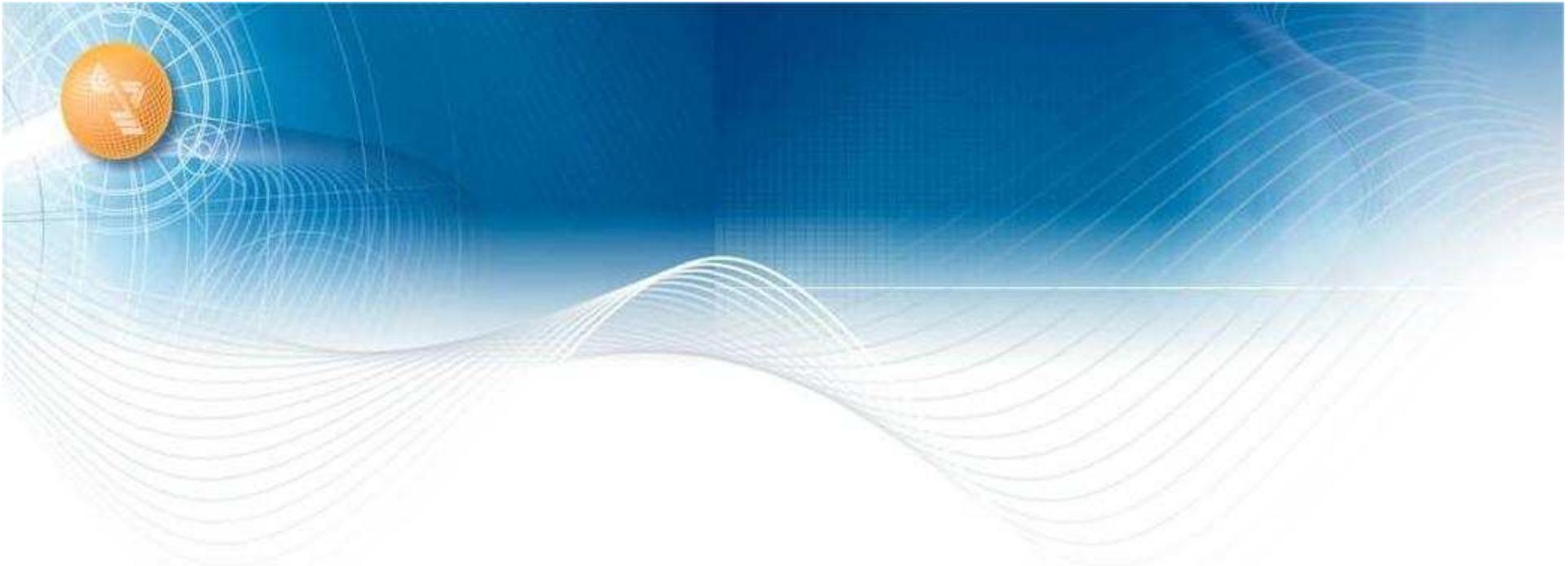
- **DREAL (ex. DRIRE, DDE ...), DDASS**
- **Collectivités (communes, département, régions ...)**
- **Agences de l'Eau**
- **ADEME**

Gestionnaires de sites pollués

- **Industriels (exploitants, propriétaires ...)**
- **Aménageurs privés (promoteurs) ou publics (établissements fonciers)**
- **Particuliers**
- **Collectivités (communes, département, régions ...)**

Professionnels

- **Bureau d'études ou conseil, hydrogéologues agréés**
- **Entreprises de dépollution, centres de traitement ou de stockage**
- **Foreurs, terrassiers, laboratoires d'analyse ou d'essais**
- **Universitaires, chercheurs, EPIC**



Contexte réglementaire et démarche



Contexte réglementaire

- **Directive Cadre Européenne**
- **Réglementation française**
 - **Loi ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement - de 1976**
 - **Ancienne démarche : 1995 puis 2000**
 - **Démarche actuelle : depuis 8 fév. 2007**

+

- **Pression foncière**



Directive Cadre Européenne

Directive du 23 octobre 2000 + directives filles par pays pour les nappes

- **objectif de « bon état »** des milieux aquatiques pour 2015
 - critères écologiques / milieux permettant le maximum d'usages possibles
 - substances dangereuses doivent être réduites ou supprimées
- **principe d'unicité de la ressource** en eau
 - Interdépendance nappes / rivières / littoral
 - TOUS les milieux doivent être en « bon état »
- **possibilités de dérogations (si état trop éloigné)**
 - Raisons économiques, techniques, naturelles ou d'usage
- **obligation de résultats, de méthode, de calendrier et d'évaluation périodique (tous les 6 ans) des actions prises pour atteindre l'objectif**
- **évaluation socio-économique des usages de l'eau** avec prise en compte de l'évolution dans le futur (ressources en eau / aménagement du territoire)
 - loisirs, AEP, irrigation, industrie ...
- **les dommages du pollueur sont-ils couverts par le tribut des payeurs ?**
- **référentiel commun** pour évaluer la qualité des milieux
 - Définition des **masses d'eau** (2003-2006) et attribution de valeur de référence (2007)
« un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères »

<http://www.ecologie.gouv.fr/La-directive-cadre-sur-l-eau.html>



Les Sites Pollués : un enjeu du développement durable

**CONSTRUIRE SUR UN TERRAIN POLLUE EST PLUS COUTEUX QUE
SUR UN TERRAIN « PROPRE »**

MAIS

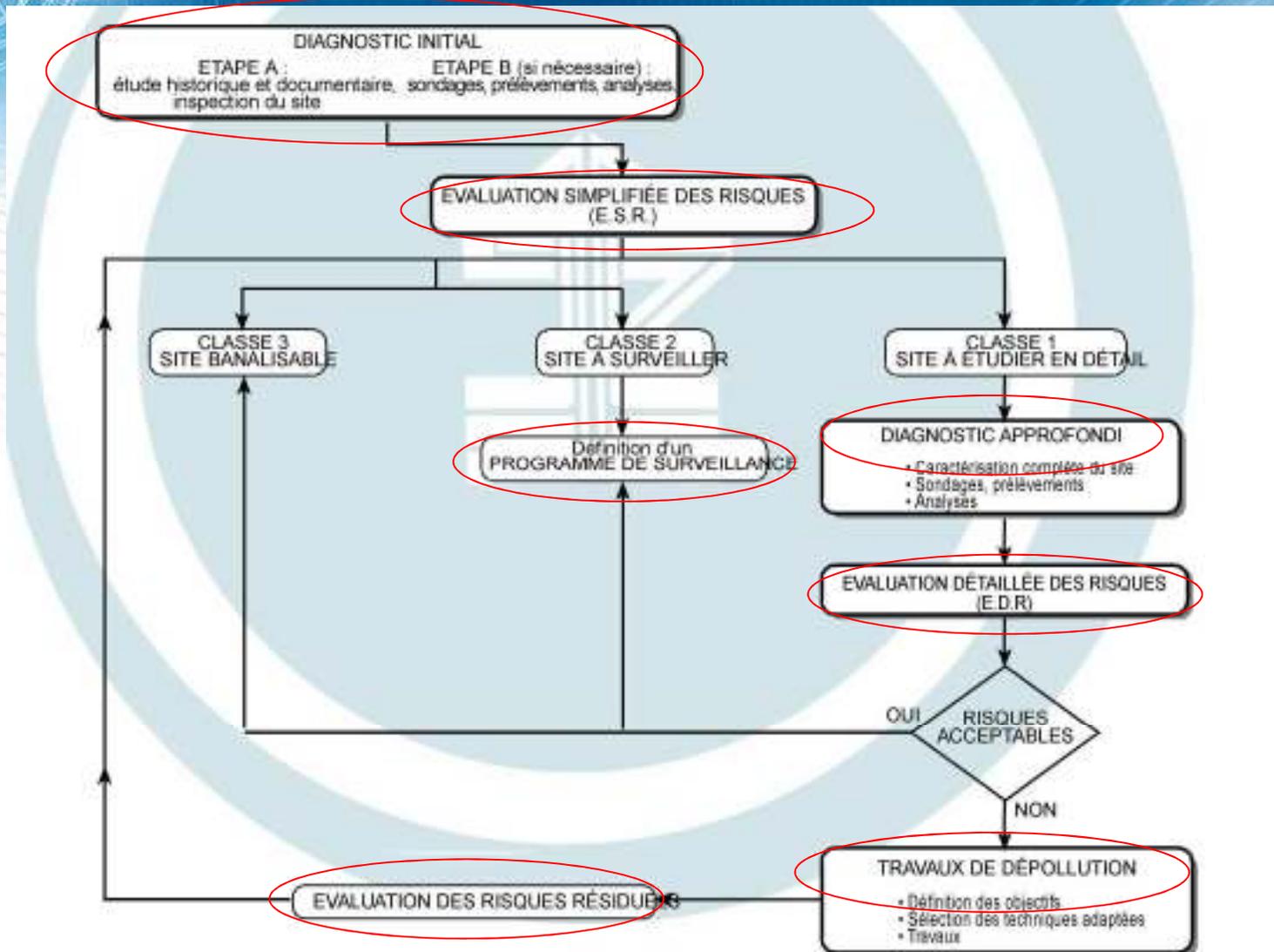
- Les terrains «propres » sont loin du centre : l'étalement des villes induit un mode de développement coûteux : déplacements en voiture individuelle, coût des accès routiers, des réseaux d'eau potable et usées, électricité, téléphone.
- Le « mitage » des campagnes réduit les espaces naturels et récréatifs.
- Et la collectivité finira toujours par devoir payer la dépollution : pour préserver les ressources en eau par exemple.

UNE SOLUTION INTELLIGENTE :

Justifier et financer la dépollution par la requalification
d'espaces dégradés



L'ancienne démarche (1995-2007)





Nouveaux textes et outils de gestion des SSP

Les nouveaux textes concernant les études de gestion des sites et sols pollués, datés du **8 février 2007**, sont parus :

<http://www.ecologie.gouv.fr/-Sites-et-sol-pollues-.html>

<http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/>

Associés à ces textes réglementaires, les « guides » sont édités au fur et à mesure.



Nouveaux outils de gestion des SSP

Note ministérielle. Sites et sols pollués Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués

Annexe 1

La politique et la gestion des sites pollués en France. Historique, bilan et nouvelles démarches de gestion proposées
-> *Rappel et présentation globale*

Annexe 2

Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Comment identifier un site (potentiellement) pollué. Comment gérer un problème de site pollué
-> ***Il s'agit du guide méthodologique à proprement parlé***

Annexe 3

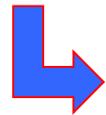
Les outils en appui aux démarches de gestion. Les documents utiles pour la gestion des sites pollués
-> *liste des outils actuels et futurs et fiches de synthèse*
Guides Techniques MACAOH, CIDISIR



Nouveaux outils de gestion des SSP

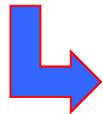
Circulaires relatives aux Installations Classées

- Prévention de la pollution des sols. Gestion des sols pollués
- Chaînes de responsabilité – défaillance des responsables
- Modalité d'application de la procédure de consignation



Référence au décret du 21 sept. 1977

Circulaire relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles



Cas particuliers des établissements sensibles

La démarche actuelle

- Étude historique et documentaire
- Étude de vulnérabilité
- Visite de site (et environs)
- Diagnostics (hydrogéologie et pollution) et mesure des impacts
- Schéma conceptuel
- Interprétations
 - Selon le problème (sources, impacts, travaux ...) et contexte
 - Sur site / hors site
- Plan de gestion (+ travaux, le cas échéant) et / ou surveillance (ou ne rien faire si tout va bien !)

Que faire?

LE PRINCIPE DE L'APPROCHE REGLEMENTAIRE FRANCAISE actuelle :

- pas d'obligation générale de dépollution systématique
- **gestion pragmatique**, au cas par cas, en fonction de l'usage des terrains et des risques

DONC

- adopter une démarche pragmatique et progressive
- intervenir très en amont de la réflexion
(avant l'achat des sites ou la conception du projet)
- réaliser des études précises et ciblées par rapport au projet
- adapter les moyens mis en œuvre au projet



A quel stade intervenir ?

- **PENDANT L'EXPLOITATION INDUSTRIELLE :**
démarche proactive (ISO 14000) ou exigence de l'administration, sur la base des résultats de la surveillance environnementale réglementaire, etc...
- **AU MOMENT DE LA CESSATION D'ACTIVITE :**
l'exploitant remet en état le site pour un usage à définir (industriel, ou plus « sensible »)
- **AU MOMENT DE LA TRANSACTION FONCIERE :**
le vendeur doit informer l'acheteur de l'état du site
- **AU MOMENT DE LA CONSTRUCTION :**
Pour la gestion des terres excavées



Quels objectifs pour l'étude ?

- **EVALUER L'IMPACT D'UN SITE A PASSIF SUR SON ENVIRONNEMENT :**

Site reconnu comme potentiellement polluant, évaluation de

- impact sur l'environnement : qualité des sols, nappes, rivières, air, écosystèmes, plantes ...

- impact sanitaire : transfert de la contamination vers l'homme (sol, poussières, eau, air, aliments) et risques d'exposition

- **IDENTIFIER L'ORIGINE D'UNE POLLUTION OU D'UNE NUISANCE AVEREE :**

Odeur, goût ou contamination détectée dans l'environnement ...

recherche de l'origine (via les voies de transferts) pour déterminer l'activité responsable et traiter ou limiter le problème (traiter les sources ou couper les vecteurs)

- **EVALUER L'ETAT DE CONTAMINATION DES SOLS ET DU SOUS-SOL:**

Avant chantiers de construction / aménagement, vérification de la qualité des sols (géotech, terres excavées, réutilisation ...) et de la compatibilité avec les usages futurs du site (résidences ...)

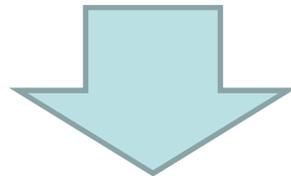


Les évaluations de risques sanitaires en sites et sols pollués

Contexte des évaluations de risque sanitaires

Pour faire une évaluation de risque sanitaire, il faut savoir :

- quelle substance prendre en compte,
- quelles concentrations d'exposition,
- Quels usages considérer
- Etc.



Ainsi, une connaissance préalable du contexte, du site est impérative

Etude réalisée par étapes

Etapes nécessaires à une évaluation des risques

- la caractérisation du site,
- l'élaboration du schéma conceptuel,
- le choix des composés à retenir,
- l'évaluation de la toxicité,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation du risque,
- les incertitudes et la sensibilité de l'étude,
- la conclusion de l'étude.



Les principes des évaluations de risque sanitaire

- le **principe de précaution**, selon lequel l'absence de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable,
- le **principe de proportionnalité**, qui veille à la cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de l'incidence prévisible de la pollution,
- le **principe de spécificité**, qui veille à la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement,
- le **principe de transparence**, qui exige une justification des choix et une bonne lisibilité de l'étude.

Définition du risque

- L'existence de risques correspond à la probabilité de survenue d'un danger
- Une situation à risque est une situation où sont présents le danger (pollution et exposition) et les cibles potentielles
- Le danger est un évènement conduisant à une altération de l'état de santé

Diagnostic historique et environnemental

- **L'étude historique :**

- o Recensement des activités antérieures
- o Description de l'évolution du (des) process ;
- o Visite du site et interview des personnes ;
- o Étude des photographies aériennes et archives ;
- o Localisation des activités sensibles ;
- o Identification des propriétaires successifs (responsabilité juridique)...

- **L'étude documentaire et
environnementale :**

- o Étude contexte géologique ;
- o Contexte hydrogéologique (vecteur, sensibilité) ;
- o Contexte hydraulique (vecteur, sensibilité) ;
- o Étude de la vulnérabilité des milieux (recensement des usages actuels et possibles aux environs du site...).

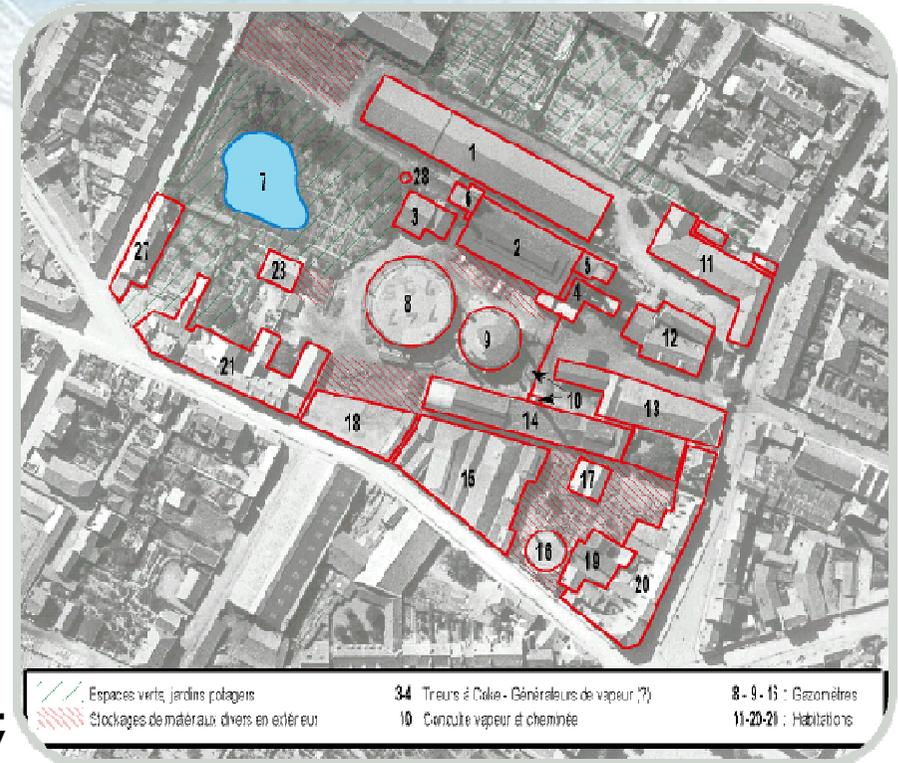
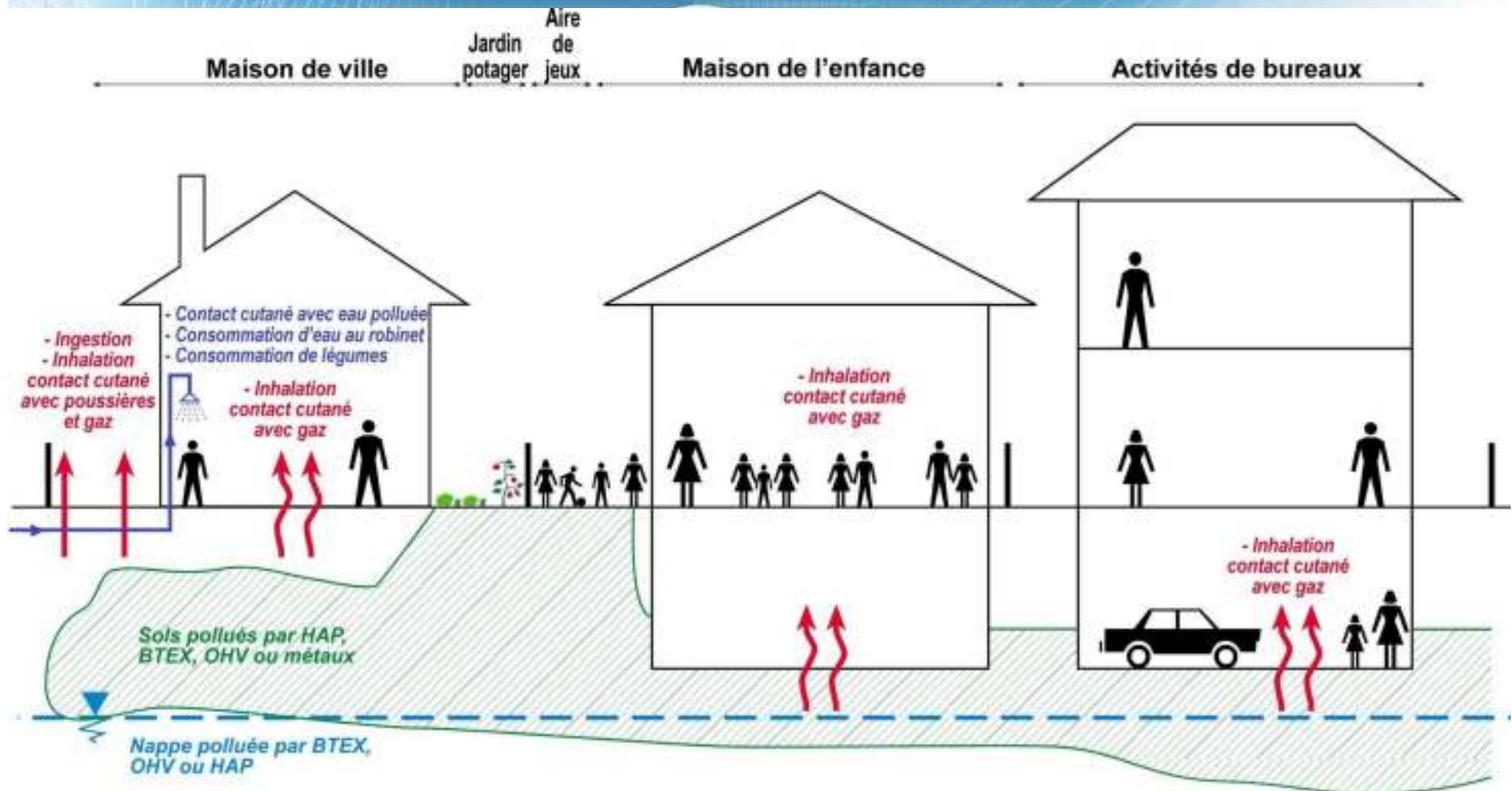
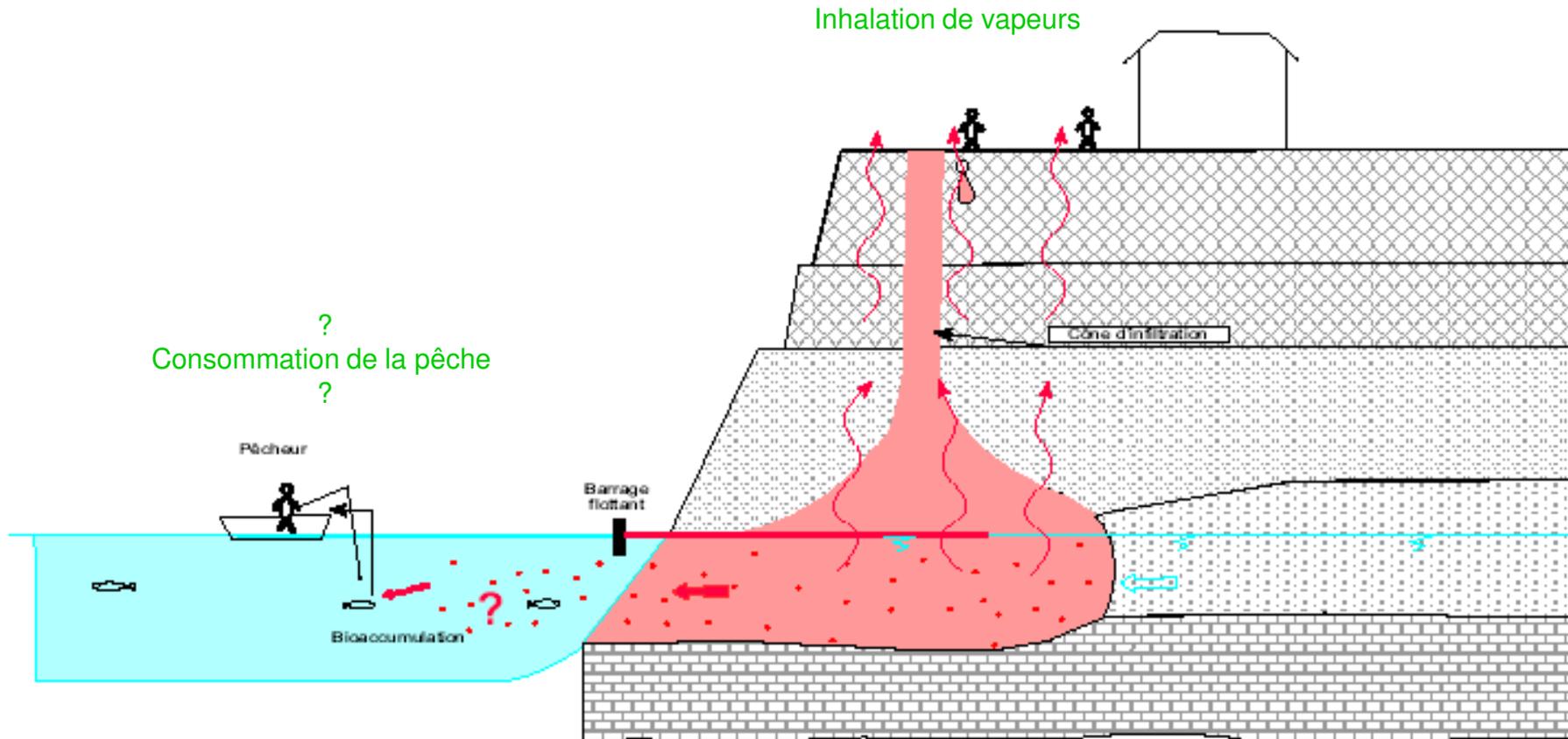


Schéma Conceptuel sur site...



... ET hors site



Les voies d'expositions pour le schéma conceptuel

voies d'expositions théoriques

Inhalation

-de vapeurs

Volatilisation depuis les sols ou la nappe

Volatilisation depuis les eaux utilisées (jets)

-de poussières

Envol depuis les sols de surface

Ingestion

-de sols et de poussières

Contact direct avec des sols

-d'eaux

Usage des eaux de nappe, eaux de surface ou eaux de robinet

-de faune ou flore autoproduite

Végétaux, poissons, œufs, etc.

Contact cutané

Idem mais Relations dose - réponse (et VTR) non connues



Le(s) diagnostic(s) de terrain

Le(s) diagnostic(s) permettent :

- **de localiser les zones polluées et de caractériser la pollution (nature et extension) ;**
- **de comprendre les mécanismes de propagation des pollutions ;**
- **d'apprécier la qualité des différents milieux et vecteurs (sol, eaux, air) ;**
- **d'apprécier les impacts (sols, eaux, air, faune, flore, etc.) ;**
- **de dimensionner d'éventuelles opérations de dépollution**



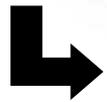
Implantation des reconnaissances du sol et sous sol



Interprétation des diagnostics

1- Mise en évidence de sources de pollution

2- Mise à jour du schéma conceptuel (précisé)



Suppression de certaines cibles (ou certains vecteurs) qui après vérification ne sont pas exposées (ou pas activés)

3- Interprétation au regard des usages  **Fonction des usages et des actions possibles**



Interprétation des diagnostics

Distinction forte de l'interprétation de l'état des milieux
(concentrations)

sur site (**usages modifiables**)

et hors site (**non modifiables - fixés**)

Deux types de situation bien distincts deux démarches de gestion distinctes

Hors site : les usages des milieux sont fixés

Enjeux :

S'assurer de la compatibilité entre l'état des milieux et de leurs usages constatés

La démarche d'interprétation de l'état des milieux - **IEM**

compatible

Absence de nécessité de mesure de gestion

mesures simples ?

NON

Rétablir la compatibilité usage / état des milieux

OUI

Le plan de gestion

Mise en œuvre
+ si besoin surveillance (bilan quadriennal)

Sur site : les usages peuvent être choisis, maîtrise des moyens

Enjeux :

- projet de réhabilitation : construire des logements **sains**
- Rétablir la compatibilité usage / état des milieux

Maîtrise des sources et des impacts
Définition des solutions de gestion
dépollution
restrictions d'usage
servitudes
surveillance
Bilan coûts / avantages
Risques résiduels acceptables (ARR)



Nouveaux outils de gestion des SSP

2 démarches mais un même objectif :

**garantir la compatibilité
entre l'état des milieux
et leurs usages**



Usages fixés – Hors site IEM

- Interprétation de l'Etat des Milieux-

S'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages fixés (pas de surexposition non tolérable des populations par rapport à la population générale)

Usages fixés : « effectivement constatés, programmés ou potentiels à préserver »

Démarche progressive :

- Des milieux sources de pollution vers les milieux susceptibles d'être pollués
- Si le milieu source ne présente pas de risques pour la santé, le milieu potentiellement impacté peut difficilement en présenter



Le plan de Gestion

L'objectif du plan de gestion est
d'atteindre le meilleur niveau
de protection de l'environnement, humain et naturel,

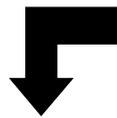
à un coût raisonnable,

tout en évitant de mobiliser
des ressources inutilement démesurées
au regard des intérêts à protéger.

Le choix des mesures de gestion : utilisation de l'EQRS

Pour différents scénarios d'aménagement futur (PLU ou projets)

Appréciation de la compatibilité entre les usages et les pollutions mises en évidence



Réalisation de calculs d'EQRS
pour différentes concentrations

**E.Q.R.S. comme
Outil d'aide à la décision**

**!!!
Choix des mesures de
Gestion
Ne nécessite pas toujours la
réalisation d'une E.Q.R.S.**



Justification des mesures de gestion

- Si exposition résiduelles :  **ARR**
- Si pollutions résiduelles, confinement, atténuation naturelle :
 **Restrictions et précautions d'usage, surveillance**



Quand fait on une analyse des risques résiduels ? ARR

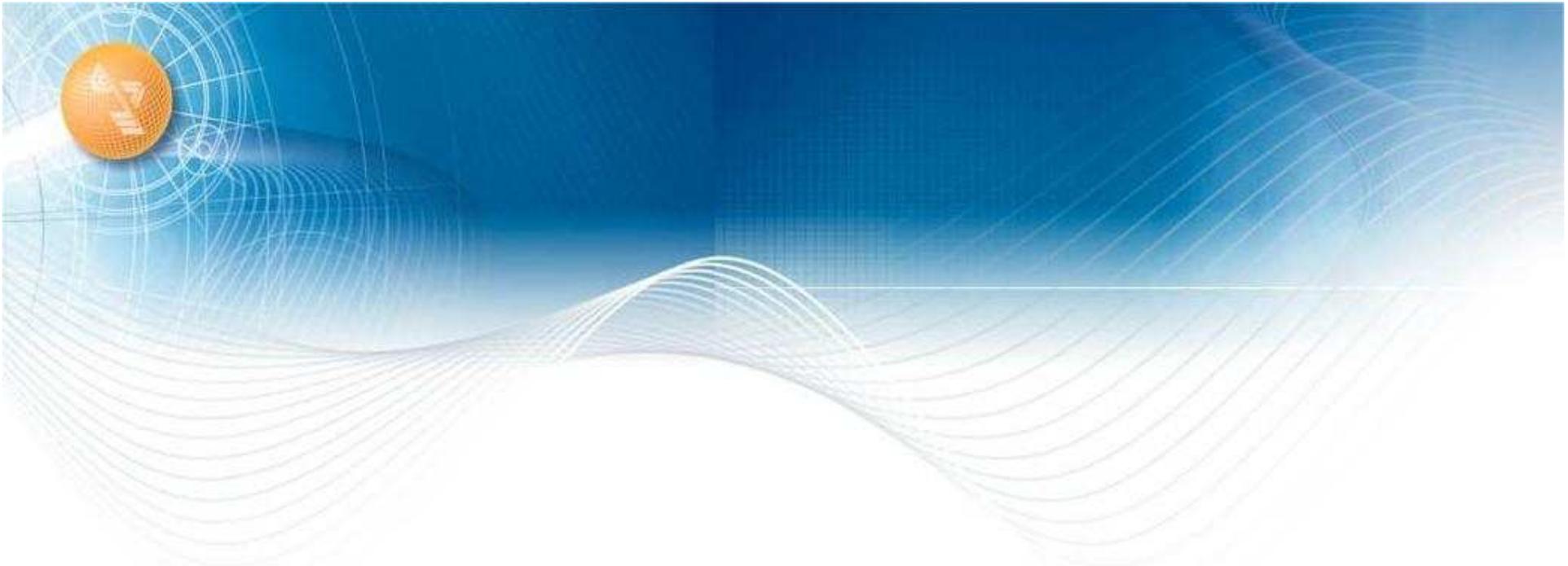
Il s'agit de démontrer que les expositions résiduelles conduisent à des niveaux de risques acceptables

Non nécessaire :

- En cas d'absence d'exposition résiduelles (schéma conceptuel)
- Si les objectifs de dépollution sont des valeurs réglementaires

Peut être réalisée :

- En prédictif (avec des objectifs définis), il faudra alors vérifier à l'issue de la mise en œuvre des mesures de gestion
- En constat à l'issue des opérations de dépollution



POUR ALLER PLUS LOIN...



Identification des dangers (vis-à-vis d'une substance)

Etapes nécessaires à une évaluation des risques

- la caractérisation du site,
- l'élaboration du schéma conceptuel,
- le choix des composés à retenir,
- l'évaluation de la toxicité,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation du risque,
- les incertitudes et la sensibilité de l'étude,
- la conclusion de l'étude.



Identification des dangers

- Dans le cadre de l'évaluation des risques on nomme "**danger**" un événement de santé indésirable tel qu'une maladie, un traumatisme, un handicap, un décès.
- Par extension, le **danger** désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique, lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique.

(source : Institut de Veille Sanitaire. Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact. Février 2000).

Le danger = Propriété ou capacité intrinsèque d'une substance de causer un dommage pour la santé



Estimation du potentiel de dangerosité

Jugement qualitatif à partir des données disponibles

- > type d'effet pouvant être provoqué par une substance
- > degré de certitude sur le type d'effet (certain, probable, possible)
- > existence de données quantitatives
toxicologie expérimentale (animaux, in vitro) ou épidémiologie

Portant sur des voies d'exposition pertinentes

- > mobilité de la substance (physico-chimie & conditionnement)
- > voies de pénétration dans l'organisme
- > Schéma conceptuel

Portant sur différents type d'effets

- > aiguë, sub-chronique (intermédiaire), chronique
- > effets à seuil ou sans seuil



Identification des dangers : durées d'exposition

- Durée courte + des effets à court terme : **toxicité aiguë**
- Expositions répétées sur une durée longue + effets à long terme : **toxicité chronique**
- **L'effet critique est :**
 - le premier effet adverse qui survient lorsqu'on accroît la dose,
 - et jugé pertinent chez l'homme pour l'élaboration de la Valeur toxicologique de référence.



Identification des dangers : effets cancérigènes

- Un **cancérogène** :
 - est un agent physique, chimique ou biologique,
 - qui seul ou en association,
 - est capable chez une espèce donnée :
 - d'induire des tumeurs, non spontanément présentes chez les témoins de l'expérience
 - et/ou d'augmenter la fréquence d'apparition de certains types de tumeurs spontanément présentes chez les témoins de l'expérience
 - et/ou de raccourcir significativement le temps de latence des tumeurs spontanées

Identification des dangers : effets cancérigènes

UE	US-EPA	CIRC
c.1 : Substance que l'on sait être cancérigène pour l'homme. (R45 ou R49)	A : Preuves suffisantes chez l'homme	1 : Preuves suffisantes chez l'homme
2 : Substance devant être assimilée à substances cancérogènes pour l'homme. (R45 ou R49)	B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	2A : Preuves limitées chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal
3 : Substance devant être assimilée à substances cancérogènes pour l'homme.	C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	2B : Preuves limitées chez l'homme et absence de preuves suffisantes chez l'animal
4 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal	3 : Preuves insuffisantes chez l'homme et insuffisantes ou limitées chez l'animal
	E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	4 : Probablement non cancérogène chez l'homme - Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal



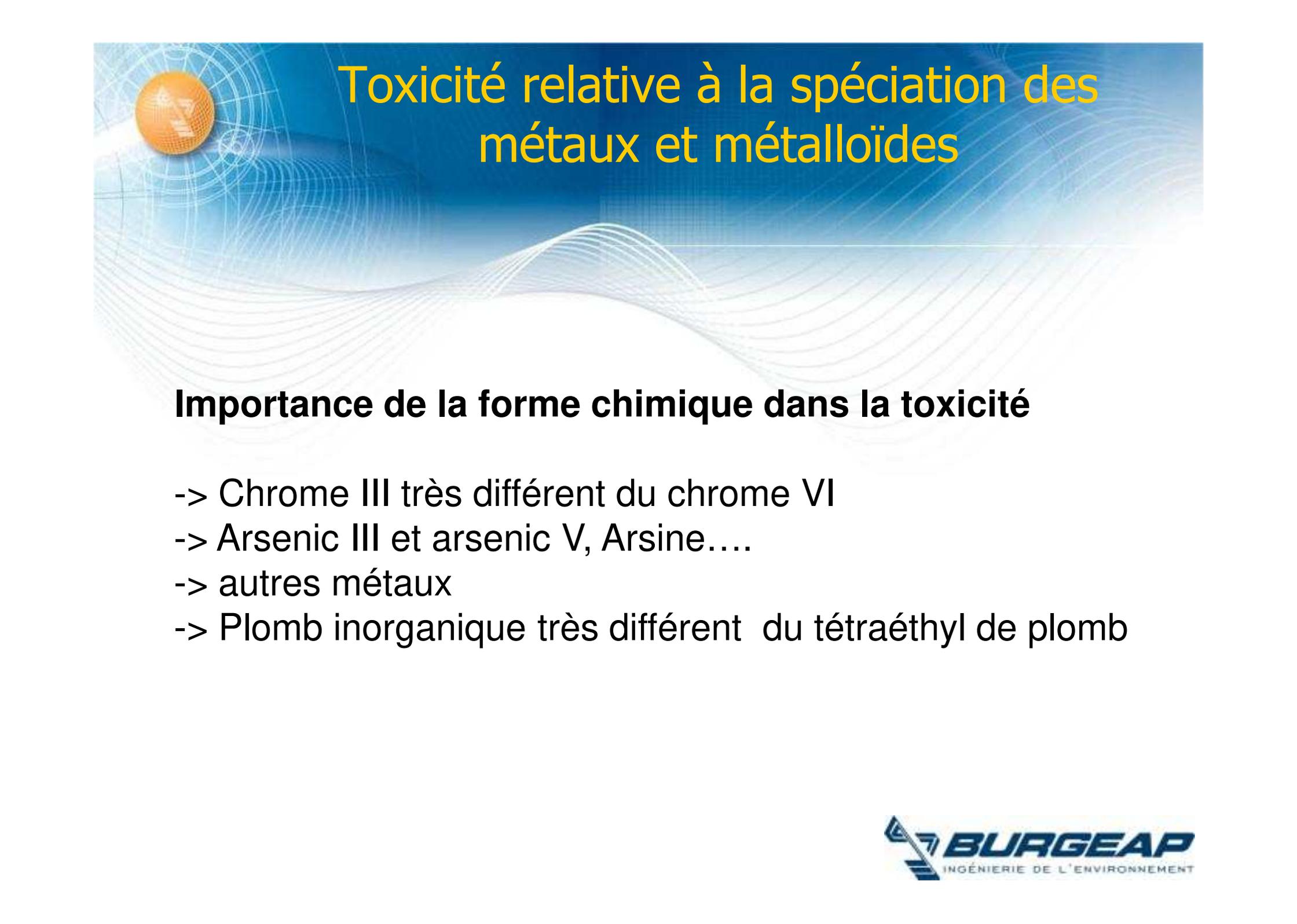
Identification des dangers : effets cancérigènes

Introduction progressive dans les classements d'éléments complémentaires

- EPA : la voie d'exposition est précisée par rapport au caractère cancérigène de la substance
- UE : classement en outre reprotoxique (fertilité et développement) et génotoxique



	Volatilité	solubilité	Phrase de risque	classement cancérogénicité		
				UE	CIRC (IARC)	EPA
Acenaphtène	+	+	-	-	-	-
Acenaphtylène	+	+	-	-	-	D
Anthracène	-	-	-	-	3	D
Benzo(a)anthracène	--	-	R45 -	-	2A	B2
Benzo(a)pyrène	--	--	R45, R46, R60, R61 -	*	2A	B2
benzo(b)fluoranthène	-	--	R45	Cat 2	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	--	--	R45	Cat 2	2B	B2
benzo(g,h,i) pérylène	--	--	-	-	3	D
Chrysène	--	-	R45	Cat 2	3	B2
Dibenzo(a,h)anthracène	--	--	R45	Cat 2	2A	B2
Fluoranthène	-	-	-	-	3	D
Fluorène	+	+	-	-	3	D
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	--	-	-	Cat 2	2B	B2
Naphtalène	++	+	R22	-	2B	C
Phénanthrène	+	+	-	-	3	D
Pyrène	+	-	-	-	3	D



Toxicité relative à la spéciation des métaux et métalloïdes

Importance de la forme chimique dans la toxicité

- > Chrome III très différent du chrome VI
- > Arsenic III et arsenic V, Arsine....
- > autres métaux
- > Plomb inorganique très différent du tétraéthyl de plomb



Relation dose réponse

Déterminer pour chaque niveau d'exposition la probabilité de survenue d'un effet adverse

MOYEN

Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Deux cas

Existence d'un seuil d'effet

La gravité de l'effet est proportionnelle à la dose

Dépassement des capacités de détoxification, de réparation, de compensation de l'organisme

(abus de langage toxique non cancérigène)

Absence de seuil d'effet

La fréquence, mais non la gravité est proportionnelle à la dose

(abus de langage toxique cancérigène)

Synthèse explicite des éléments toxicologiques

	CAS n°R	Volatilité	solubilité	Classement symboles	Phrase de risque	classement cancérogénéicité		
		Pv	S			UE	CIRC (IARC)	EPA
benzène	71-43-2	++	++	F, T,	R45 . R46 ; R11 R48/23/24/25 ;	car. Cat (1)	1	A
1,2 dichloroéthane	107-06-2	++	++	F, T, Xn, Xi	R11 R22 R36/37/38 R45	Carc. Cat (2)	2B	B2
Anthracène	120-12-7	--	-	-	-	-	3	D

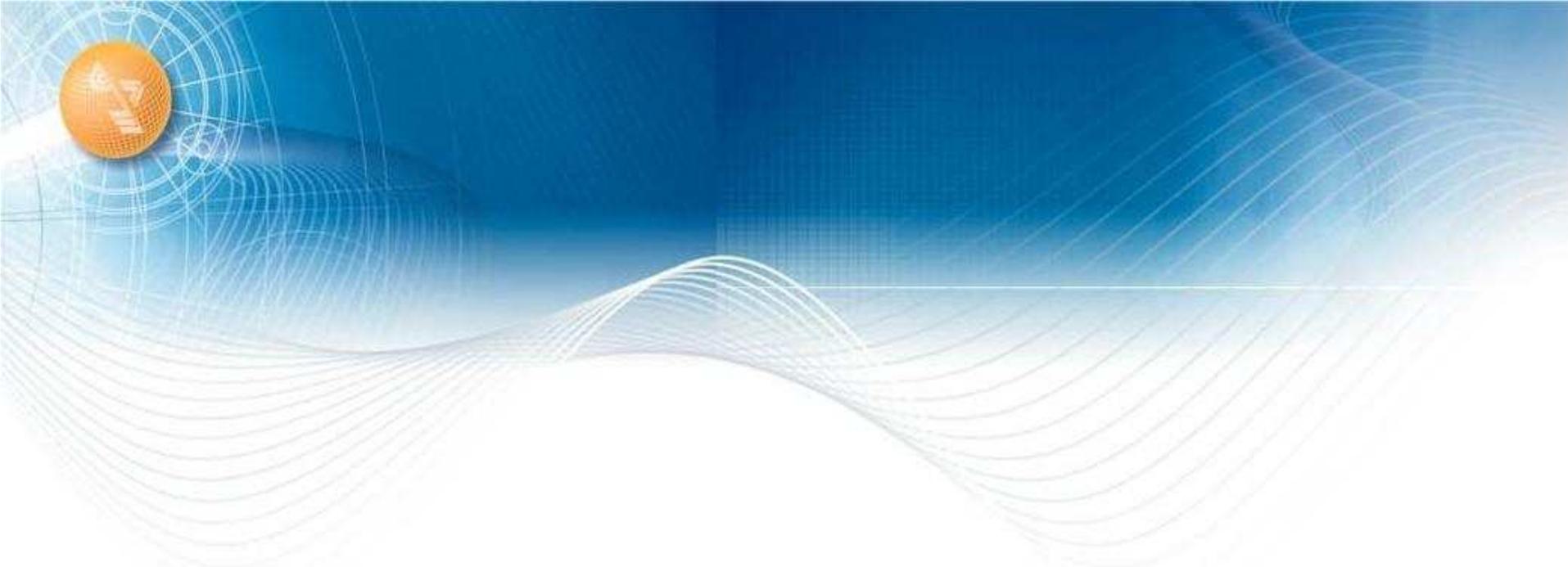
Synthèse explicite des éléments toxicologiques

	CAS n°R	EFFETS TOXIQUES SANS SEUIL				Source
		ERUo (mg/kg/j) -1	<i>type de cancer voie orale</i>	<i>Source</i>	ERUi (µg/m3)- 1	
benzène	71-43-2	5,50E-02	leucémie	US-EPA, 2000	7,80E-06	leucémie US-EPA, 2000
1,2 dichloroéthane	107-06-2	9,10E-02	<i>système sanguin</i>	<i>US-EPA, 1991</i>	2,60E-05	<i>système sanguin</i> <i>US-EPA, 1991</i>

Synthèse explicite des éléments toxicologiques

	CAS n°R
benzène	71-43-2
1,2 dichloroéthane	107-06-2

EFFETS TOXIQUES A SEUIL							
RfD (oral) (mg/kg /j)	Organe cible (oral)	Source	Facteur de sécurité (oral)	RfC (inh°) (µg/m3)	Organe cible (inh°)	Source	Facteur de sécurité (inh°)
0,004	<i>sang</i>	<i>US-EPA, 2003</i>	<i>300</i>	30	<i>sang</i>	<i>US-EPA, 2003</i>	<i>300</i>
-	-	-	-	3000	<i>hépatique</i>	<i>ATSDR, 2001</i>	90



Evaluation des expositions

Etapes nécessaires à une évaluation des risques

- la caractérisation du site,
- l'élaboration du schéma conceptuel,
- le choix des composés à retenir,
- l'évaluation de la toxicité,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation du risque,
- les incertitudes et la sensibilité de l'étude,
- la conclusion de l'étude.



Expositions

Garder en mémoire que les mesures sont préférables à de
la modélisation



Données nécessaires

Connaissance du budget espace –temps de cibles humaines

- Durée d'exposition,
- Quantité de sol, d'eau, de végétaux ... ingérés
- Surface de peau au contact avec des sols, poussières, eaux

Connaissance des concentrations dans les milieux d'exposition

- Dans les sols
- Dans les eaux souterraines, superficielles, canalisations AEP
- Dans l'air (vapeurs et poussières)
- Dans les végétaux (arrosage, dépôt de poussière, sols)
- Dans les animaux

-> mesures ou modélisation

(nécessitant connaissances des paramètres de transfert)

Calcul des concentrations inhalées

Concentration inhalée moyenne : l'équation générique suivante

$$C_{ij} = [C_j \times T \times F / T_m]$$

C_{ij} : concentration moyenne inhalée du composé i (en mg/m^3).

C_j : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m^3).

T : durée d'exposition (années).

F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an).

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

Calcul des doses d'exposition par voie orale

Dose par ingestion : l'équation générique suivante

$$DJE_{i,s} = Q_{sol} \cdot C_{i,s} \cdot T \cdot F / (P \cdot T_m)$$

dose journalière du composé *i* liée à l'ingestion de sols
(en mg/kg/j)

$C_{i,s}$: concentration du composé *i* dans les sols (mg/kg)

Q_{sol} : taux d'ingestion de sols (kg/j)

T : durée d'exposition (années)

F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),

P : poids corporel de la cible (kg)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Etc.



Outils de modélisation

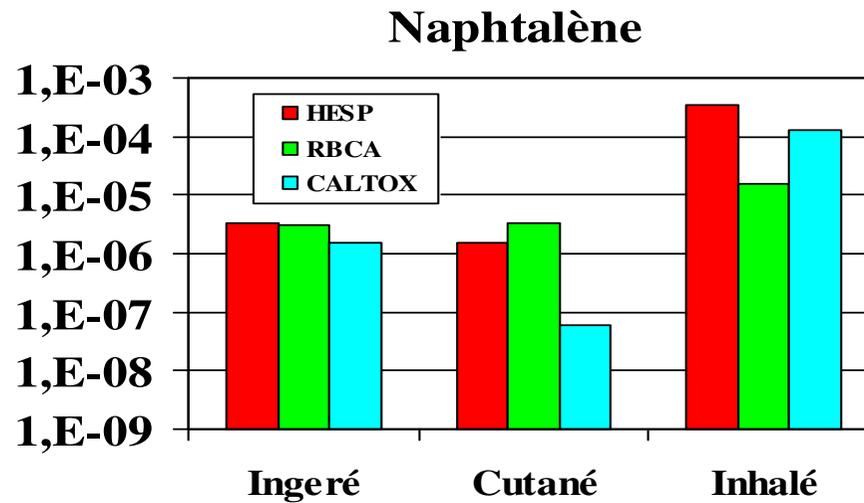
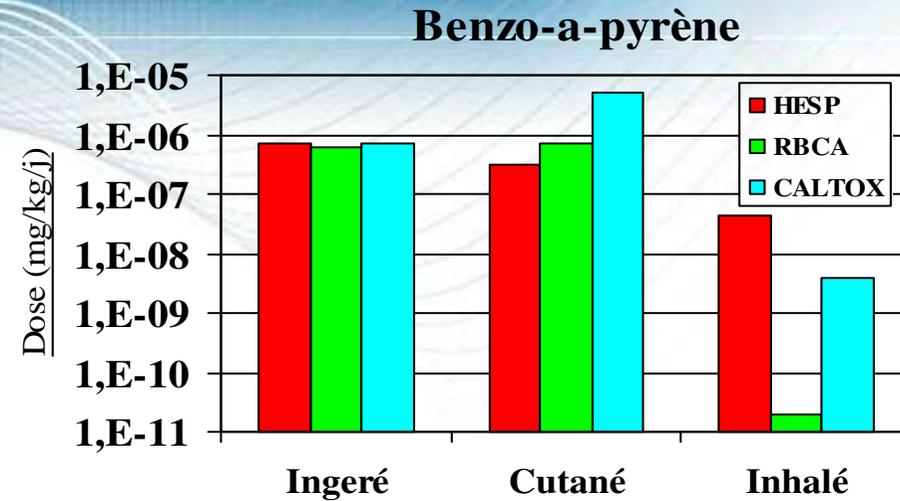
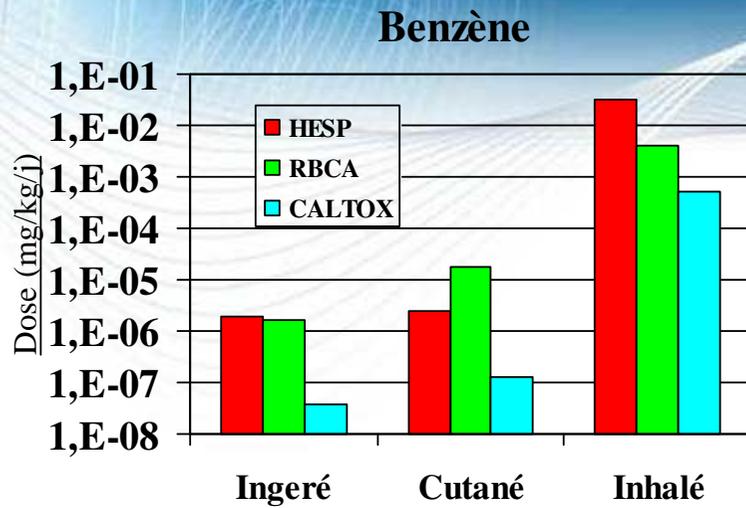
Utilisation de modèles +/- simples d'estimation
des doses d'exposition

Modèles intégrés (RISC, RBCA, VOLASOIL, Caltox, etc.)

Exemple de disparités d'hypothèses

	Johnson et Ettinger	VOLASOIL	HESP
Milieux	Sol/dalle béton/bâtiment	Sol/vide sanitaire/dalle béton/bâtiment	Sol/dalle béton/bâtiment
Flux vers l'air intérieur	Diffusion et convection	Sol vers le vide sanitaire :diffusion et convection Dalle béton: convection	Diffusion
Dispersion air extérieur	Modèle boîte simple (sur source) RBCA: calcul en dehors de la source (Pasquill)	Modèle boîte(sur source)	Modèle boîte (sur source)

Exemple de disparité de résultats





Facteurs d'incertitudes majeures

- Outil de modélisation (phénomènes à considérer)
- Taux d'ingestion de sols
- Facteur de bioconcentration dans la chaîne alimentaire
- Etc...

Excès de risque individuel (ERI)

Pour **les effets toxiques sans seuil** et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

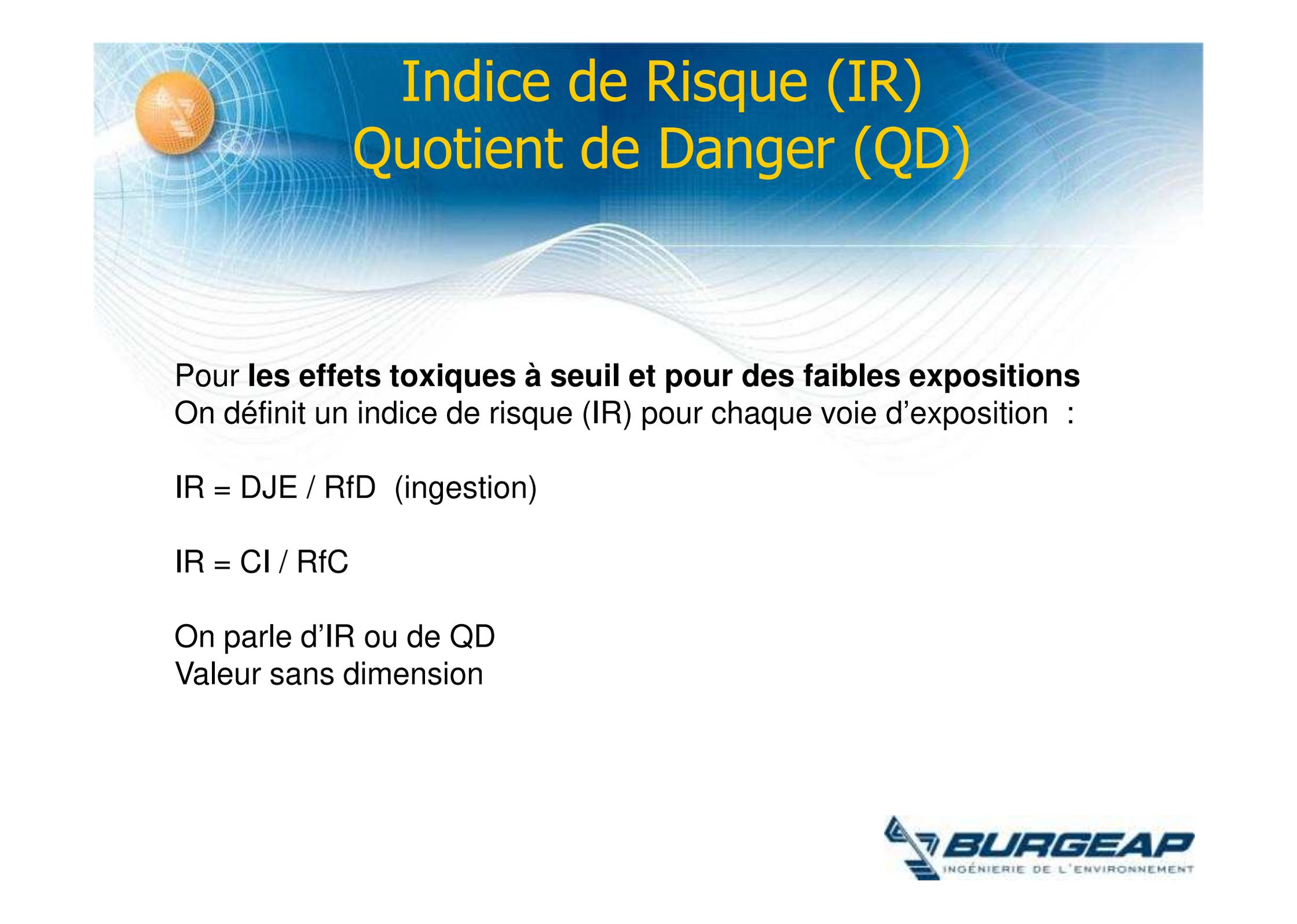
$$\text{ERI (inh}^\circ) = \text{CI} \times \text{ERUi}$$

$$\text{ERI (ing}^\circ) = \text{DJE (ing}^\circ) \times \text{ERUo}$$

Valeur sans dimension

Pour chaque scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- pour chaque substance, la somme des risques liés aux voies d'exposition
- la somme des risques liés à chacune des substances cancérogènes



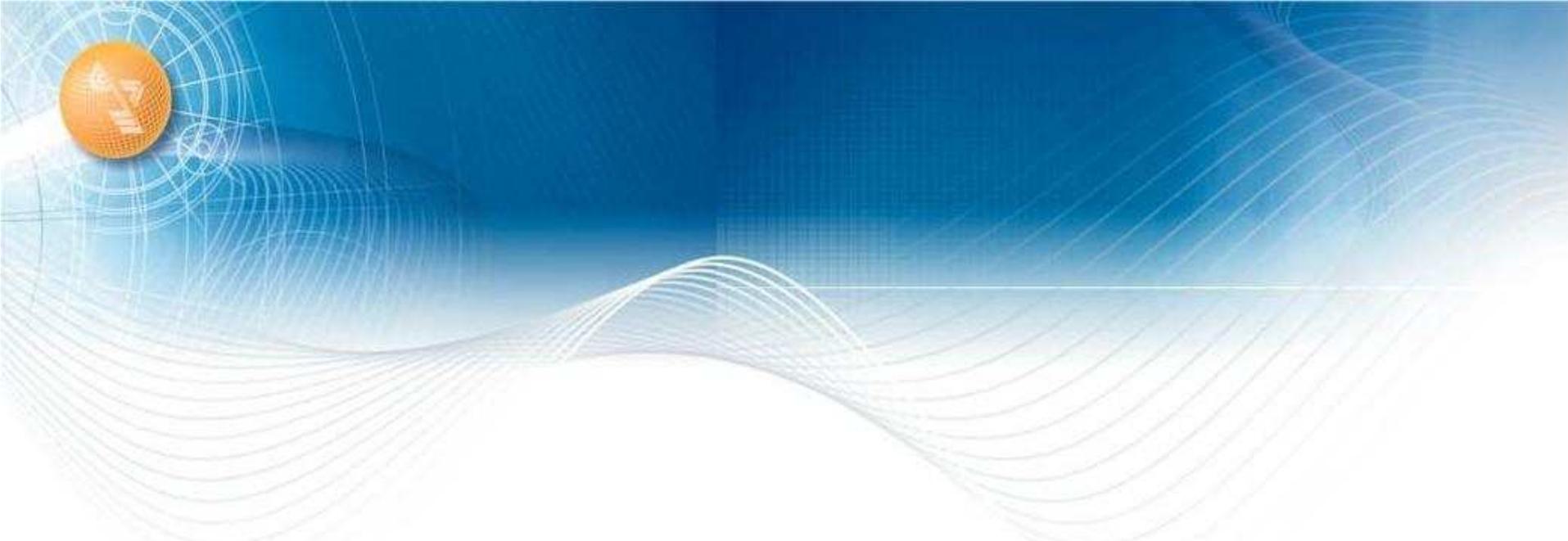
Indice de Risque (IR) Quotient de Danger (QD)

Pour **les effets toxiques à seuil et pour des faibles expositions**
On définit un indice de risque (IR) pour chaque voie d'exposition :

$$IR = DJE / RfD \text{ (ingestion)}$$

$$IR = CI / RfC$$

On parle d'IR ou de QD
Valeur sans dimension



Quels niveaux d'exposition sont jugés
« acceptables »

Etapes nécessaires à une évaluation des risques

- la caractérisation du site,
- l'élaboration du schéma conceptuel,
- le choix des composés à retenir,
- l'évaluation de la toxicité,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation du risque,
- les incertitudes et la sensibilité de l'étude,
- la conclusion de l'étude.



Qui définit le niveau « Acceptable » et donc implicitement ce qui est « inacceptable » ?

Etat français
Union européenne

Sachant que:

- l'OMS prend en compte des seuils pour ses valeurs guide pour l'eau potable, pour l'air atmosphérique
- Les DDASS en France n'ont pas toutes la même position

...

Valeurs repères en terme d'acceptabilité

Ces valeurs repères sont différentes pour les estimations théoriques associées à des expositions futures (ARR et outil EQRS) et pour de la gestion de situations actuelles de surexposition (IEM)

Quelques notions nécessaires

On distingue les effets à seuil (effets non cancérigène) et les effets sans seuil de dose (cancérigène)

*Pour les effets à seuil, les valeurs repères concernent
-> le Quotient de Danger (QD) ou l'Indice de Risque (IR)*

*Pour les effets sans seuil, les valeurs repères concernent
-> l'excès de risque individuel (ERI)*

Valeurs repères EQRS & ARR

Pour ces études, les valeurs repères sont :

Pour les effets à seuil **$\Sigma QD < 1$**

La dose d'exposition doit rester inférieure à la dose admissible

La somme étant réalisée pour les substances agissant sur les mêmes organes cibles (avec les mêmes mécanismes d'action)

Pour les effets sans seuil, **$\Sigma ERI < 10^{-5}$**

La probabilité supplémentaire de développer un cancer associée aux expositions ne doit pas être supérieure à 1 cas sur 100000 personnes exposées

La somme étant réalisée pour toutes les substances cancérigènes, considérant que la probabilité de développer un cancer est à gérer au global.

NB : inchangé par rapport à l'ancienne circulaire du 10 décembre 1999

Présentation (exemple)

scénario 1 - friche non clôturée (cas d'intrus)

	En extérieur dans la partie nord du site				En extérieur dans la partie sud du site			
	IR	composé tirant l'IR	ERI	composé tirant l'ERI	IR	composé tirant l'IR	ERI	composé tirant l'ERI
Inhalation de gaz	0.2	aro nC5-10	1 E-07	benzène, 12DCA	0.2	aro nC5-10	1 E-07	benzène, 12DCA
Inhalation de poussières	0.002	plomb, cadmium, Arsenic	3 E-06	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A	8 E-05	arsenic, plomb	6 E-08	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A
Ingestion de sols	0.2	arsenic, plomb	3 E-05	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A	3 E-03	arsenic, plomb	4 E-07	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A
Contact cutané avec les sols	0.04	arsenic, plomb	7 E-06	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A	1 E-03	arsenic, plomb	2 E-07	arsenic, B(a)P, Dibenz(ah)A
TOTAL	0.4	HCT As, Pb	4 E-05	As, B(a)P, Dibenz(ah)A	0.2	benzène	8 E-07	As, HAP, benzène

Valeurs repères IEM (1)

l'IEM est avant tout une discussion des mesures au regard de valeurs caractéristiques d'un environnement témoin ou de valeurs guides ou réglementaires

A priori il n'y aura pas de calcul de risque à faire dans l'IEM, cependant si cela doit être fait, les valeurs repères sont les suivantes

Elles sont établies par substance (pas de sommation)

Valeurs repères IEM (2)

**QD < 0,2 et
ERI < 10⁻⁶**

Etat des milieux compatible avec les usages

- s'assurer que la source est maîtrisée,
- s'assurer que la mémorisation des usages est réelle

**QD > 5 ou
ERI > 10⁻⁴**

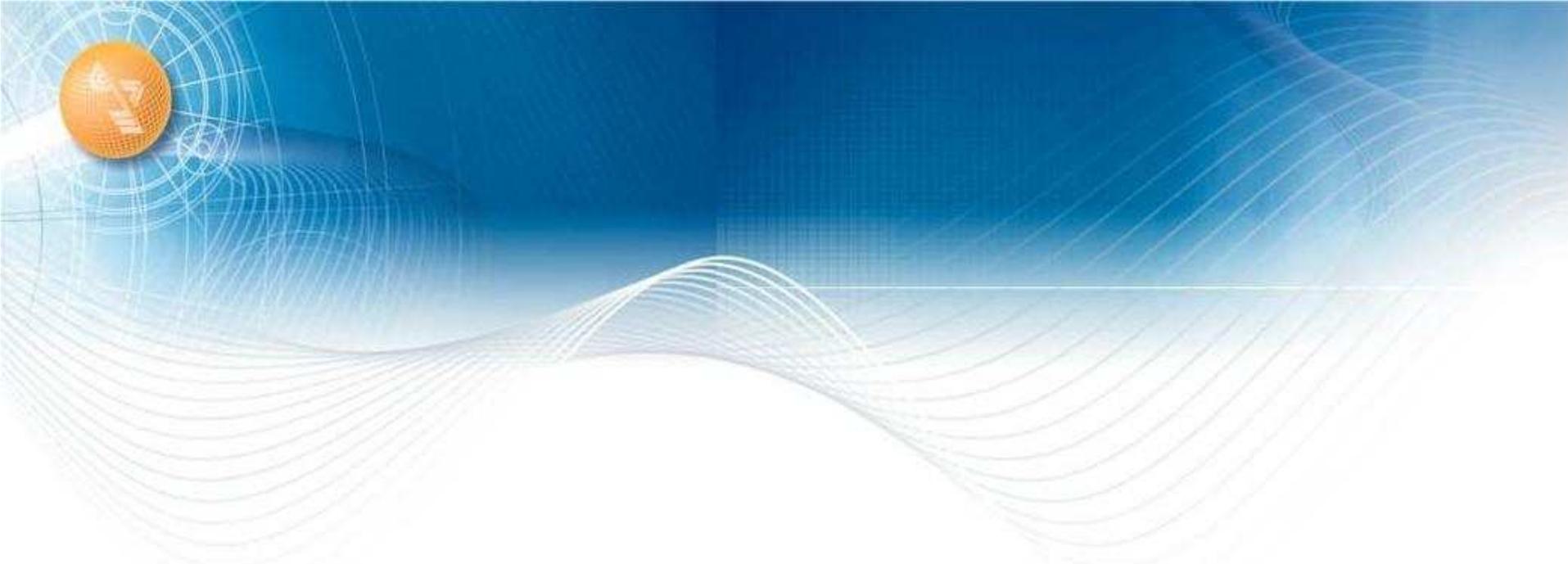
Etat des milieux non compatible avec les usages

- mise ne œuvre d'un plan de gestion

**0,2 < QD < 5 et
10⁻⁶ < ERI < 10⁻⁴**

Zone d'incertitude nécessitant une réflexion plus approfondie

- REX
- mesures de gestion simples possibles ?
- EQRS plus réfléchie ?

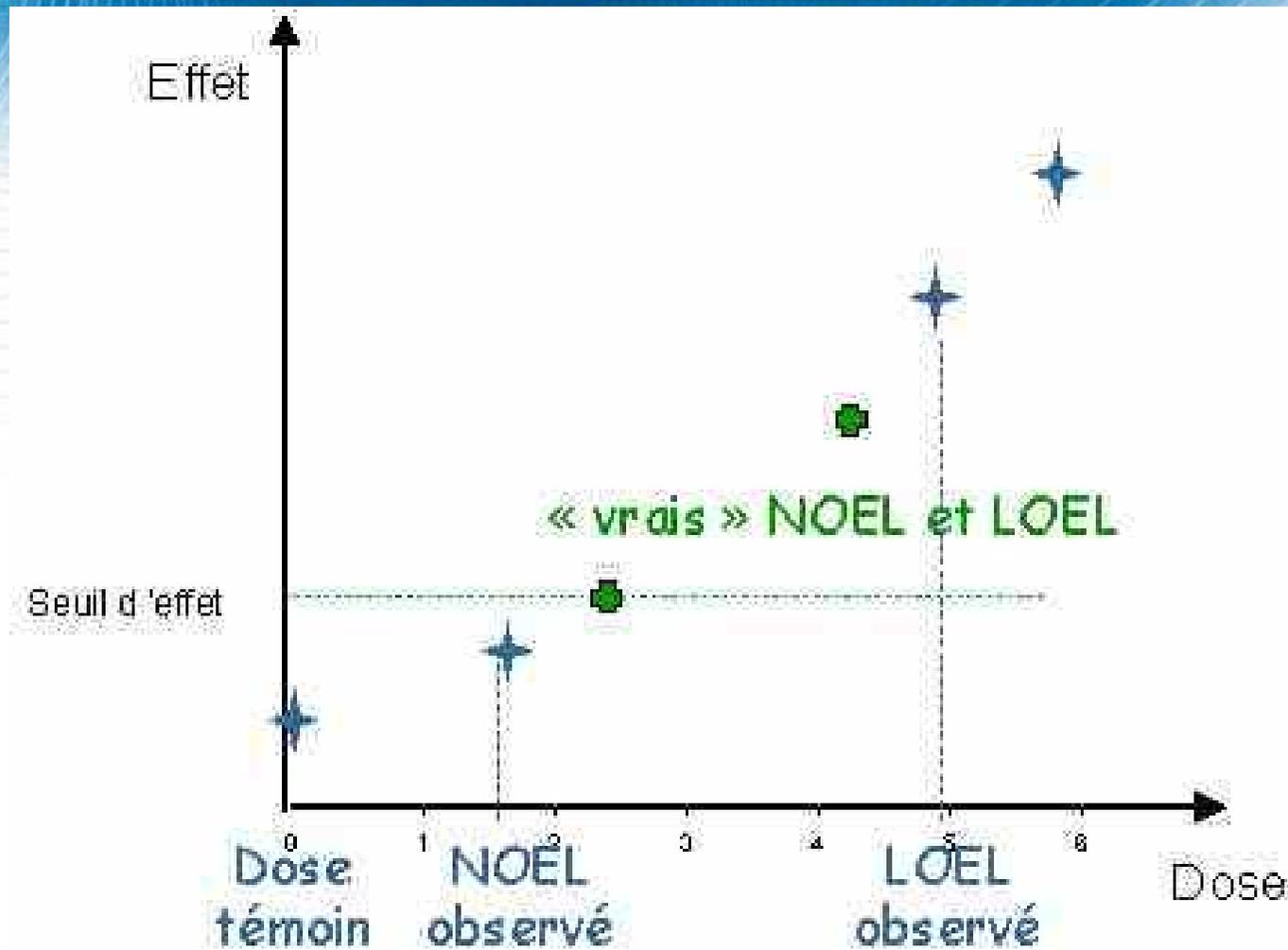


Relations dose-réponse / dose-effet

Caractérisation des relations dose-effet

- la **NOAEL** (no observed adverse effect level) ou DSENO (dose sans effet nocif observé) :
 - la dose ou la concentration la plus élevée n'ayant pas provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique.
- la **LOAEL** (lowest observed adverse effect level) ou DMENO (dose minimale pour un effet nocif observé) :
 - la dose ou la concentration la plus faible ayant provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique.
- **L'effet critique est :**
 - le premier effet adverse qui survient lorsqu'on accroît la dose,
 - et jugé pertinent chez l'homme pour l'élaboration de la VTR.

Caractérisation des relations dose-effet



Caractérisation des relations dose-effet

$$RfD = \frac{NOAEL}{UF1 \times UF2 \times UF3 \times UF4 \times MF}$$

- **UF1** : variation inter-espèce
- **UF2** : variation intra-espèces
- **UF3** : lorsqu'il est nécessaire d'utiliser un LOAEL (= DMENO) au lieu d'un NOAEL dans l'élaboration de la VTR
- **UF4** : lorsque la durée de l'étude pivot est inadéquate
- **MF** (modifying factor) : permet de prendre en compte une éventuelle pauvreté de la base de données (par ex : absence ou insuffisance d'informations sur les effets sur la reproduction et le développement)



Effet toxique à seuil

Valeurs toxicologiques de référence

VTR

- Effets à seuil par inhalation (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Effets à seuil par ingestion (mg/kg/j)
 - » DJT (dose journalière tolérable - France)
 - » RfC (Reference Concentration – US-EPA)
 - » RfD ((Reference Dose – US-EPA)
 - » MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)
 - » REL (Reference Exposure Level – OEHHA)
 - » TCA (Tolerable Concentration in Air – RIVM)
 - » TDI (Tolerable Daily Intake – RIVM)

Effet toxique sans seuil extrapolation aux faibles doses

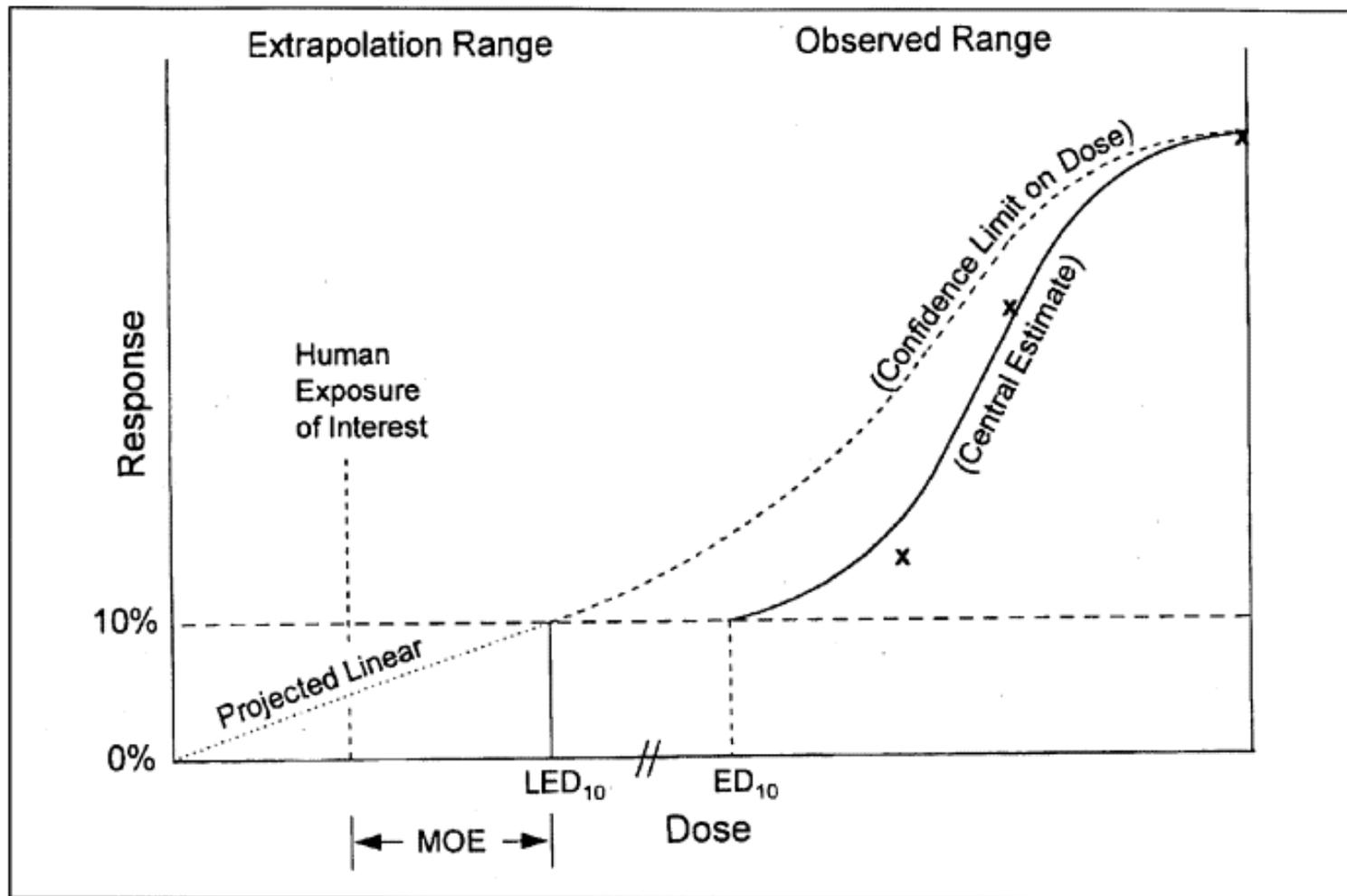


Figure 3-1. Graphical presentation of data and extrapolation.



Effet toxique sans seuil

Valeurs toxicologiques de référence

VTR

- L'**ERU** correspondent à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance cancérigène. Cet indice est l'inverse de la dose et s'exprime en **(mg/kg/j)⁻¹ ou (µg/Kg/j)⁻¹**.
- La **TDo5** (ou **TCo5**) est la dose totale (ou concentration) qui induit une augmentation de **5%** de l'incidence des tumeurs attribuables à l'exposition, ou des décès dus à ces tumeurs.

Effet toxique sans seuil

Valeurs toxicologiques de référence

VTR

	Voie orale	Voie respiratoire	Quelle que soit la voie d'exposition
US EPA	Sfo oral slope factor	Inhalation Unit Risk	
RIVM			CR
Health Canada			TDo5 TCo5
France	ERUo	ERUi	

Méthodologie dans le choix des VTR

- **Application partielle de la Circulaire DGS/SD. 7B no 2006-234 du 30 mai 2006** relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact
- Valeurs issues d'études chez l'homme/chez l'animal,
- Qualité de l'étude pivot,
- Modes de calcul et facteurs de sécurité
(degré de transparence dans l'établissement de la VTR)
- Valeurs issues d'organismes reconnus,
 - US-EPA (IRIS), RIVM,
 - ATSDR , OEHHA,
 - OMS, Santé Canada,
- A critères équivalents, valeur numérique la plus conservatoire pour la santé retenue.