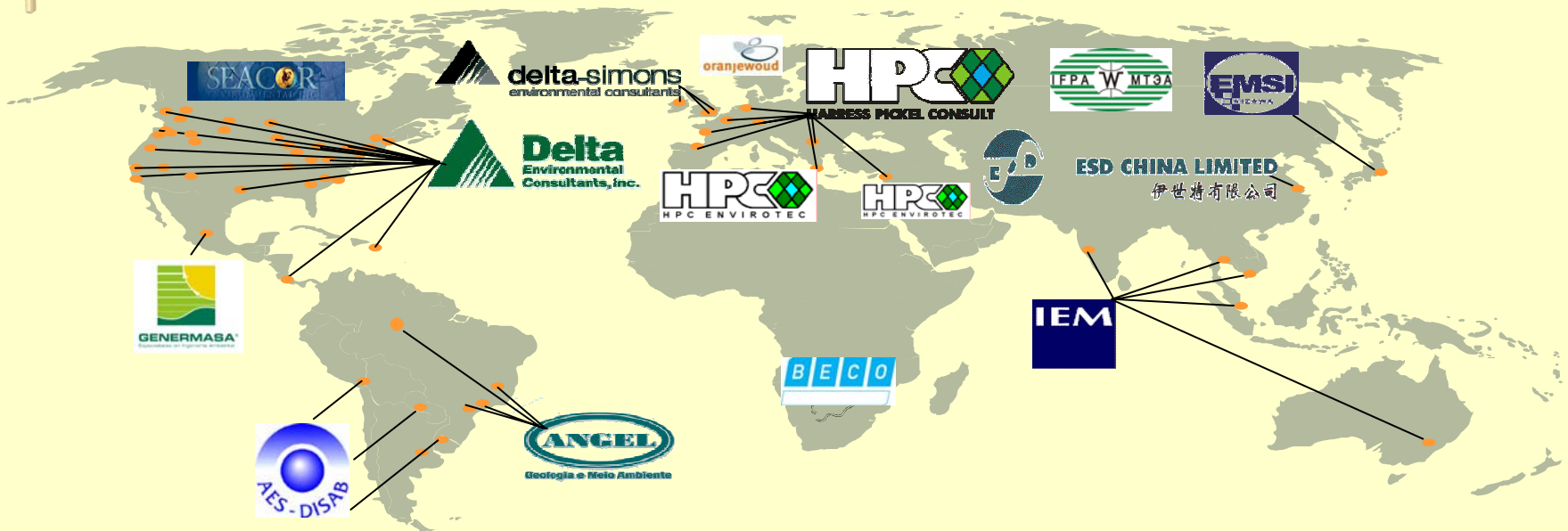




global thinking



local delivery

Dr. Frank KARG

PDG de HPC Envirotec S.A.

Directeur scientifique du Groupe HPC

Expert judiciaire près la Cour d'Appel Tribunal de Grande Instance de Rennes

Expert auprès de l'AFSSET :

Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

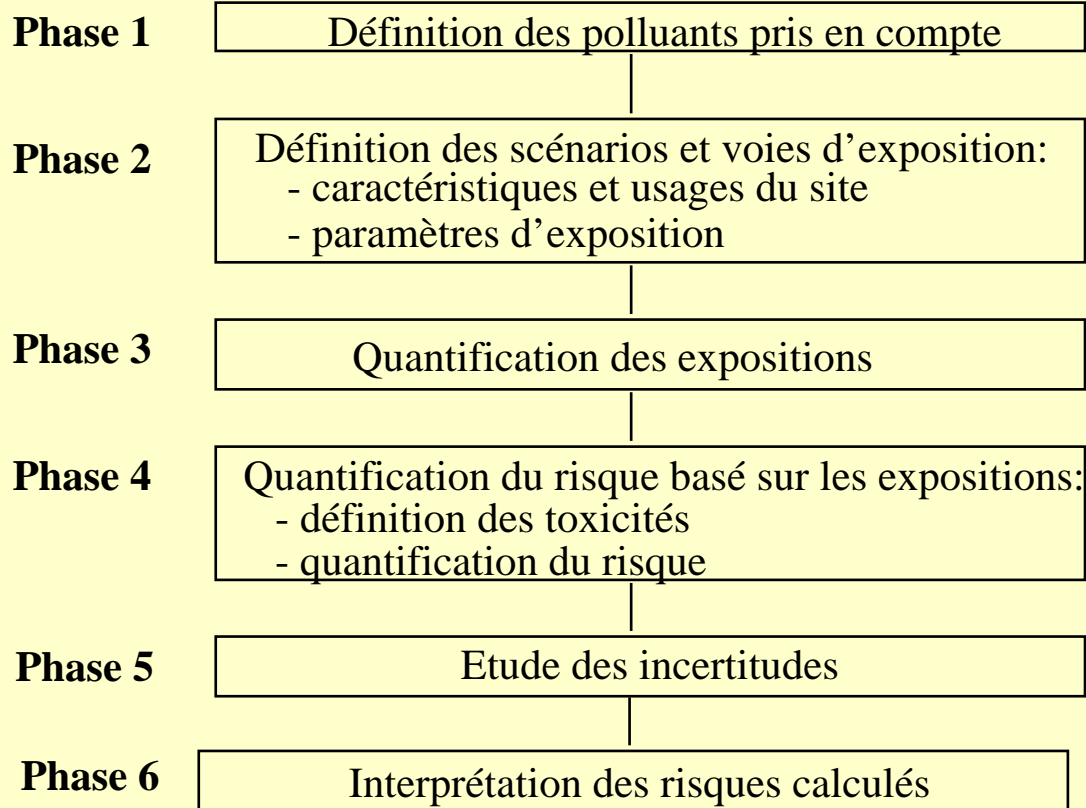
Gestion immobilière et EQRS & ARR

Besoins en cas des opérations Immobilières:

- **Sécurité d'investissement,**
- **Sécurité financière et budgétaire,**
- **Sécurité juridique,**
- **Sécurité sanitaire et environnementale,**
- **Transparence concernant les risques résiduels acceptables pour le responsable du site, l'administration et les futurs usagers du site et création de la confiance.**

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Les étapes de l'évaluation détaillée des risques sanitaires sont les suivantes :



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Circulaires du MATE du 10/12/1999 et du MEDD du 08/02/2007: Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués (Annexe 2): Valeurs maximales telles que :

⇒ **Risques sanitaires acceptables provoqués par des substances avec des effets toxiques à seuil :**

$$\text{IR (Indice de Risque)} \leq 1$$

⇒ **Risques sanitaires acceptables provoqués par des substances avec des effets toxiques sans seuil (par exemple risque cancérigène) :**

$$\text{ERI (Excès de risque individuel)} \leq 10^{-5}$$

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Risque sanitaire =

f (source de pollution, transfert des polluants, cible (santé publique))

$$R = f(D, T, C)$$



DANGER



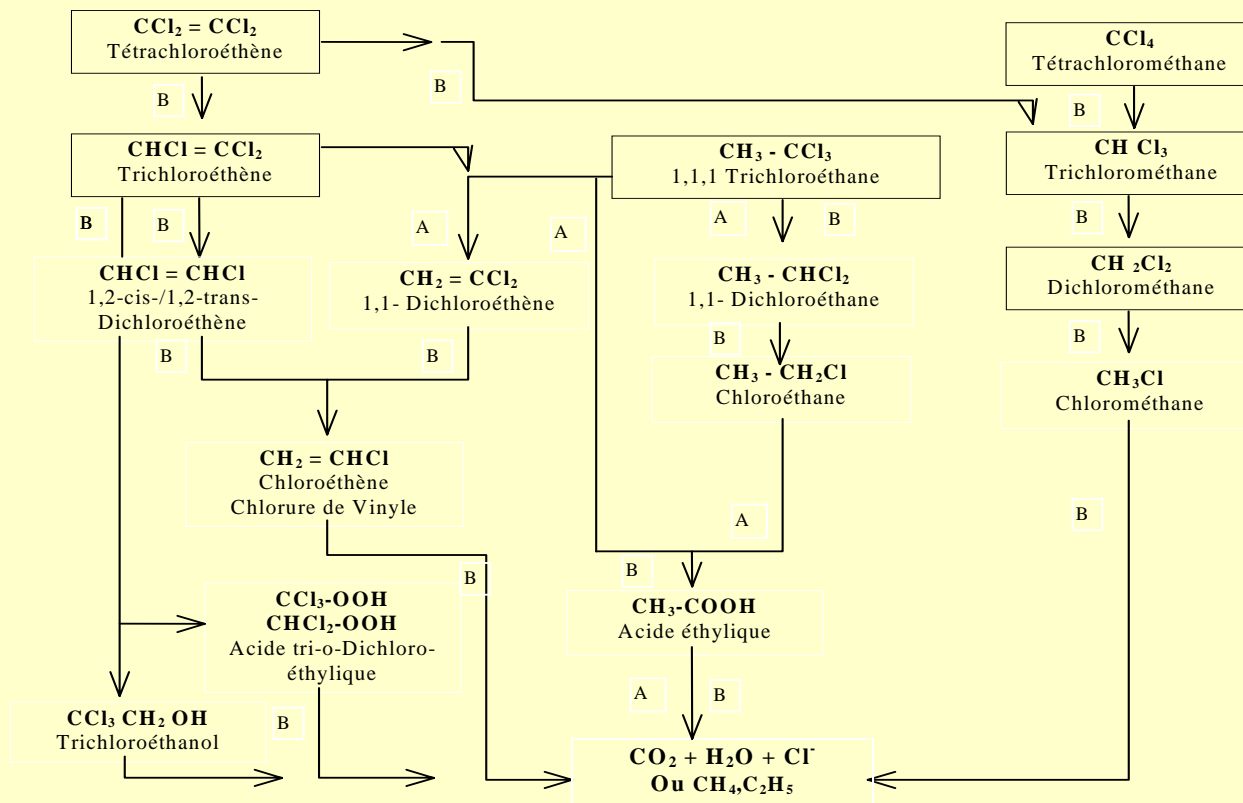
TRANSFERT



CIBLE

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Phase 1 : Exemple : Polluants et métabolites à prendre en compte



A = Dégradation abiotique

B = Dégradation biotique

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Scenarii et voies d'exposition :

Dans le cas présent, la cible est la santé humaine qui peut être touchée par des cibles intermédiaires = Milieux d'expositions comme :

- l'air (et poussières),
- l'eau (de distribution, souterraines, superficielles),
- les aliments et,
- les matériaux contaminés tels que le sol en cas de contact cutané.

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Quantification de l'exposition

En cas de présence d'une pollution d'un de ces milieux d'exposition, il faut donc déterminer le niveau d'exposition exprimé en :

$$\begin{array}{c} DJE \left[mg / kg / j \right] \\ = \\ Dose \quad Journalière \quad d'Exposition \end{array}$$

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Phase 2 : Définition des scénarii d'exposition

Une des premières démarches à effectuer au cours d'une EQRS relative aux risques sanitaires est la quantification des DJE. celle-ci nécessite :

- A. **L'élaboration d'un schéma conceptuel** décrivant :
 - les sources de pollution,
 - les voies de transfert des polluants,
 - les cibles potentiellement atteintes par les polluants.
- B. Une **définition du ou des scénarios d'exposition** et des **voies d'exposition** retenues pour l'EQRS (santé publique).
- C. La **détermination des concentrations** en polluants dans les milieux d'exposition (par mesure ou par modélisation).
- D. **L'application de tous les paramètres** retenus pour calculer les DJE par voie d'exposition et la DJE totale par polluant.

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Les **voies d'expositions** suivantes peuvent exister sur un site :

A. Inhalation :

- inhalation des polluants sous forme gazeuse
- inhalation des poussières sur lesquelles est adsorbé le polluant
- inhalation de vapeur d'eau de distribution contaminée lors de la prise d'une douche ou d'un bain

B. Ingestion :

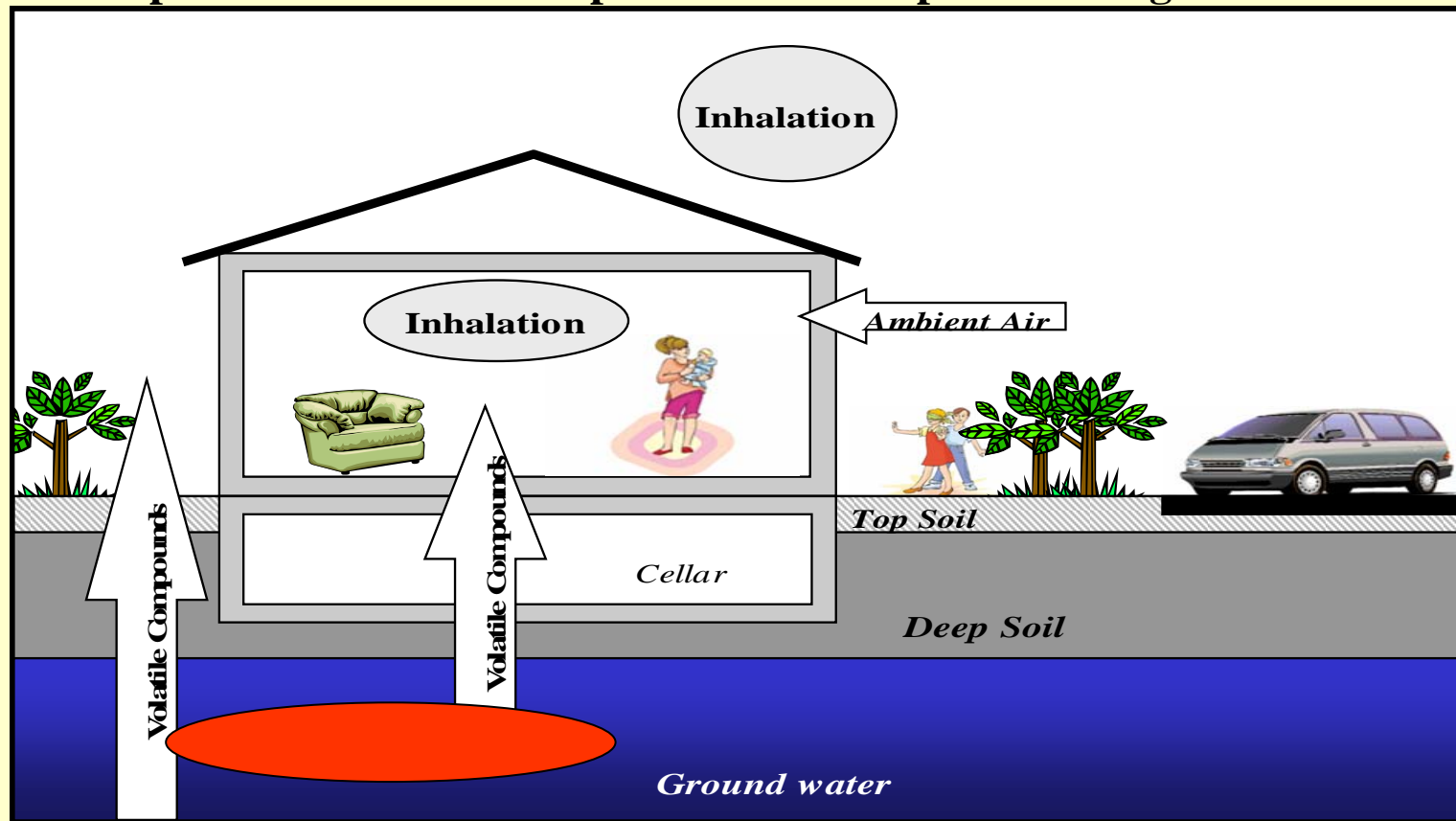
- ingestion directe du sol
- ingestion des aliments auto-produits (fruits, légumes, etc.)
- ingestion d'eau de distribution contaminée

C. Absorption cutanée :

- absorption cutanée de sol et de poussières
- absorption cutanée de polluant par l'eau de distribution contaminée lors de la prise d'une douche ou d'un bain
- absorption cutanée lors de la prise d'un bain dans les eaux superficielles (étang, rivière, etc.).

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Exemple d'un schéma conceptuel sur un site pollué à usage d'habitation



EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Deux grandes démarches sont possibles pour **déterminer les concentrations** en polluants dans les **médias d'exposition** :

A. Mesures directes (prélèvements et analyses)

B. Modélisation par simulation des transferts de polluants
vers les médias d'exposition.

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Mesures directes : Exemple : Air ambiant :

Des analyses d'air ambiant sont représentatives en cas de prélèvement pendant une période ayant :

- une température atmosphérique \geq à la moyenne annuelle,
- une humidité atmosphérique \leq à la moyenne annuelle
- une vitesse du vent \leq à la moyenne annuelle
- une pression atmosphérique : stable ou décroissante

Cette démarche garantie une situation légèrement majorante (de ce fait protecteur en ce qui concerne la présence des émanations en polluants et des poussières).

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Phase 3 : Quantification des expositions

La quantification des expositions se fait par voie d'exposition :

$$DJE_{tot} = DJE_{ing.} + DJE_{inh.} + DJE_{cont.}$$

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Ingestion de sols, d'eaux ou d'aliments

$$DJE_{ing} = C_m \cdot \frac{Q_{ing}}{P} \cdot F_a \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot F_{exa} \cdot F_{exj}$$

- DJE_{ing} = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
 C_m = Concentration du polluants dans le médium d'exposition : C_{sol} [mg/kg],
 C_{eau} [mg/l], C_{aliment} [mg/kg]
 Q_i = Quantité ingérée de sol et/ou aliment [kg/j] et/ou d'eau [l/j], distincte entre les adultes
 (Q_{ing(a)}) et les enfants (Q_{ing(e)})
 P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
 P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
 F_a = Facteur d'absorption du polluant (à défaut : 100 % = [1])
 Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
 Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux
 substances avec seuil : Ve = Ex [a]
 F_{exa} = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
 F_{exj} = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Inhalation

$$DJE_{inh} = Ca \cdot \frac{Qinh}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot Fexa \cdot Fexj$$

- DJE_{inh} = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
 Ca = Concentration en polluant dans l'air [mg/m³]
 Q_{inh} = Quantité inhalée d'air [m³/j], distincte entre adultes (Q_{inh}(a)) et enfants (Q_{inh}(e)).
 P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
 P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
 Fa = Facteur d'absorption d'un polluant (à défaut : 100 % = [1])
 Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
 Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux substances avec seuil : Ve = Ex [a]
 Fexa = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
 Fexj = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Contact cutané (sol, poussières)

$$DJE_{cut} = Cs \cdot F_{sp} \cdot \frac{Spex \cdot Q_{sp}}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot F_{exa}$$

- DJEcut = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
 Cs = Concentration en polluant dans le sol [mg/kg]
 Fsp = Fraction de sol dans la poussière (à défaut : 100 % = [1])
 Spex = Surface de peau exposée, distincte entre les adultes et des enfants [m²]
 Qsp = Quantité du sol (ou poussières) sur la peau [kg/m²]
 P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
 P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
 Fa = Facteur d'absorption d'un polluant (à défaut : 100 % = [1]) ou vitesse d'absorption [m/h]
 Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
 Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux substances avec seuil : Ve = Ex [a]
 Fexa = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
 Fexj = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Les VTR: Valeurs Toxicologiques de Référence (relation de dose à effet)

A priori, deux groupes de valeurs de relation de dose et effet peuvent être différenciés :

- **Effets avec seuils toxicologiques :**
 - ***DJT = Doses journalières tolérables***
- **Effets sans seuils toxicologiques : cancérigènes, mutagènes, teratogènes :**
 - ***ERU = Excès du risque unitaire***

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Selon les Circulaires du MATE du 10/12/1999 et du MEDD du 08/02/2007: Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués (Annexe 2), les risques acceptables sont :

$$\cdot IR = DJE / DJT \leq 1$$

$$\cdot ERI = DJE \cdot ERU \leq 10^{-5}$$

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Le bon choix des valeurs toxicologiques nécessite l'application de critères scientifiques pertinents comme cela est indiqué dans :

- **la Circulaire DGS/SD.7B n°2006-234 du 30/05/2006 (BO Santé 15/07/2006).**
- **le Guide EDR du Ministère de l'Environnement**
- **le Guide Qualité EDR Santé de l'UPDS**

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Les valeurs toxicologiques de relation dose et effet existent en sous-groupe selon leur application par voie d'exposition :

- **ingestion** : DJT = RfD (U.S.-EPA), TRD (UBA)
- **inhalation** : DJT = RfC (U.S.-EPA), TRD (UBA)

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

En ce qui concerne les toxines à **effet sans seuil d'exposition**, les valeurs toxicologiques de relation dose et effet sont exprimées deux de façons :

- ERU = SF [mg/kg/j] ⁻¹ = Slope factor (U.S.-EPA)
- ERU = Unit Risk 10⁻⁵/(µg/l) ou (µg/m³) ou (µg/kg)

(Unit Risk = Risque unitaire: U.S.-EPA, UBA)

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

L'application des DJT et ERU demande une **réactualisation des valeurs toxicologiques en permanence**, ce qui nécessite l'interrogation de banques de données par Internet comme par exemple « IRIS » de l'US - EPA.

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Substance	Valeur toxicologique				Cible toxicologique	Etudes
	Risque non cancérigène		Risque Cancérigène			
	DJT [mg/kg/j]	CT [mg/m ³]	ERU [mg/kg/j] ⁻¹	ERUI [mg/m ³] ⁻¹		
Arsenic	RfD 3.10 ⁻⁴	-	SF 1,5	UR 4,3 10 ⁻³	Cutanée, système vasculaire Cancer (foie, rein, poumons, vessie)	IRIS, 1998
Benzo[a]pyrène	-	-	SF 7,3	UR (OMS) 1,15.10 ⁻⁷	Cancer des poumons, de la peau et de la vessie	U.S. EPA, 1996

DJT : Dose Journalière Tolérable (RfD : USA, TRD : RFA)

CT : Concentration Tolérable (RfC : USA) / 20m³/j

ERU : Excès de risque unitaire (SF : USA, UR : RFA)

ERUI : Excès de risque unitaire par inhalation (UR : USA, RFA et OMS) / 20m³/j

L'UR (OMS) est indiqué en $8,7.10^{-5}/\text{ng}/\text{m}^3 = 1,15.10^{-7} \text{ mg}/\text{m}^3$ par ERI de 10⁻⁵

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

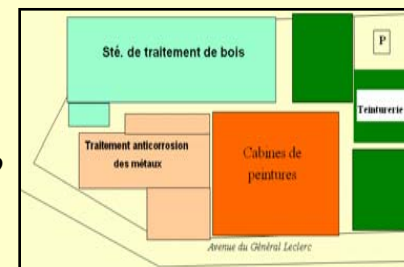
Exemple de réhabilitation d'une friche industrielle pour un projet immobilier dans le cadre de l'urbanisation :

Polluants présents :

- PCP Penta Chloro phénol (traitement bois),
- TCE et ses métabolites anaérobies (cis-1, 2-DCE, CV),
- BTEX (solvants de peintures base d'hydrocarbures),
- Métaux lourds (surtout le plomb et le cadmium dans les peintures anti-corrosives et l'arsenic)
- Aniline et toluidines (pigments d'une ancienne tannerie et teinturerie de textiles)

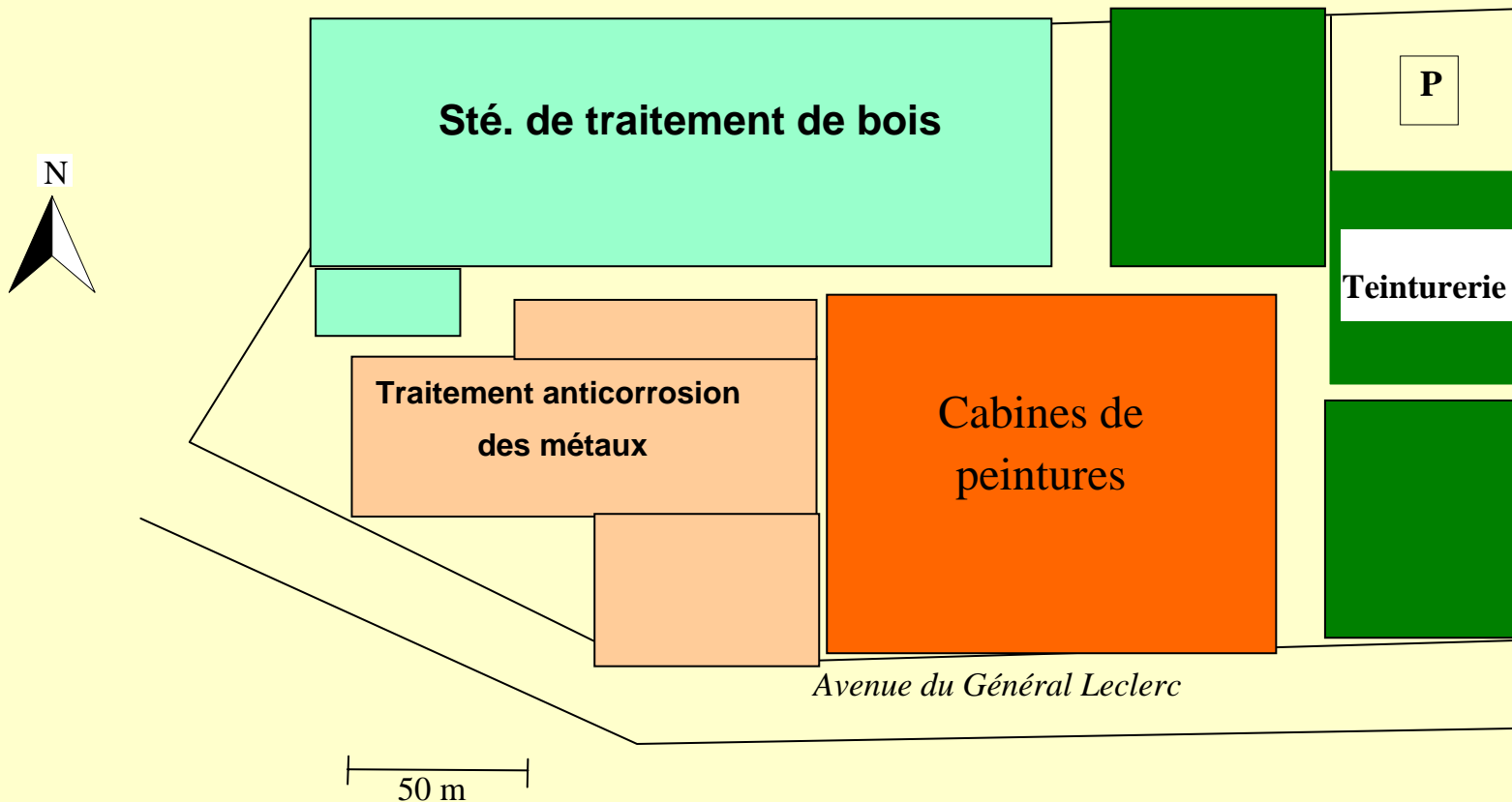


- Pollution des sols : PCP, métaux lourds,
- Pollution de l'air du sol : TCE, CV, BTEX, Aniline, Toluidines,
- Pollution de la nappe phréatique : TCE, Cis-1, 2-DCE, CV



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

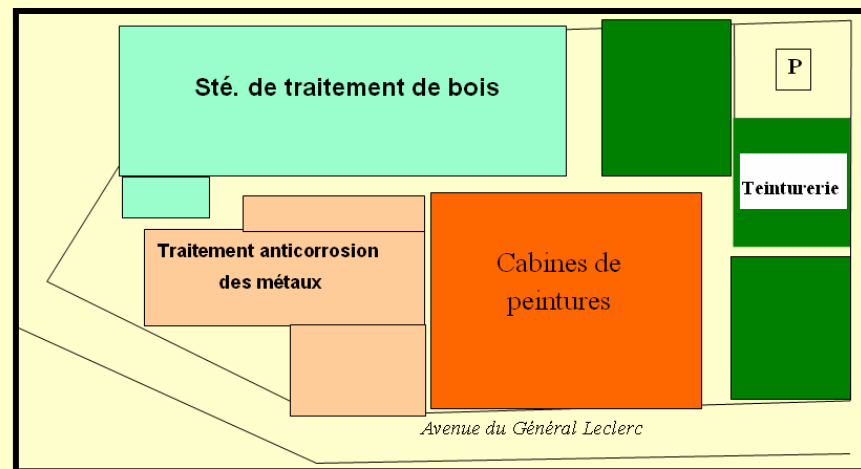
Site poly-industriel



EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation

Scénarii d'aménagement retenus :

- Résidentiel individuel (avec jardin potager),
- Résidentiel collectif (sans jardin potager),
- Espace vert de loisirs,
- Centre commercial.



EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation



Risques quantifiés : Scenario résidentiel individuel

POLLUANTS	ADULTES		ENFANTS	
	Cancérigène	Non cancérigène	Cancérigène	Non cancérigène
• PCP (Pentachlorophénol)	$2,5 \bullet 10^{-4}$	0,41	$2,8 \bullet 10^{-4}$	0,61
• TCE	$0,4 \bullet 10^{-6}$	0,06	$0,3 \bullet 10^{-6}$	0,08
• DCE	-	0,03	-	0,05
• CV	$3,1 \bullet 10^{-5}$	0,83	$2,8 \bullet 10^{-5}$	1,12
• Benzène	$0,8 \bullet 10^{-5}$	0,08	$0,5 \bullet 10^{-5}$	0,12
• Toluène	-	0,38	-	0,42
• Arsenic	$0,7 \bullet 10^{-4}$	0,11	$0,5 \bullet 10^{-4}$	0,15
• Plomb	-	0,02	-	0,03
• Cadmium	-	0,62	-	0,70
• Aniline	$1,1 \bullet 10^{-5}$	0,034	$0,8 \bullet 10^{-5}$	0,055
• Toluidines	$0,9 \bullet 10^{-4}$	0,018	$0,7 \bullet 10^{-4}$	0,023
• Dermatotoxique		0,092		0,11
• Hépatotoxique		1,12		1,34
• Néphrotoxique		0,84		0,96
• Neurotoxique		0,90		1,41
• Toxique pour le système circulatoire du sang		0,022		0,031
• Dérégulations endocrinologiques		0,033		0,046
• Risque Risque cancérogène total	$4,60 \bullet 10^{-4}$		$4,41 \bullet 10^{-4}$	

EQRS et ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation



Risques quantifiés : Scénario espace vert - loisirs

POLLUANTS	ADULTES		ENFANTS	
	Cancérogène	Non cancérogène	Cancérogène	Non cancérogène
• PCP (Pentachlorophénol)	$0,81 \bullet 10^{-5}$	0,032	$0,728 \bullet 10^{-5}$	0,041
• TCE	$0,02 \bullet 10^{-6}$	0,041	$0,01 \bullet 10^{-6}$	0,058
• DCE	-	0,0022	-	0,0016
• CV	$0,42 \bullet 10^{-5}$	0,061	$0,31 \bullet 10^{-5}$	0,082
• Benzène	$0,03 \bullet 10^{-6}$	0,0071	$0,027 \bullet 10^{-6}$	0,011
• Toluène	-	0,022	-	0,034
• Arsenic	$0,21 \bullet 10^{-5}$	0,0097	$0,13 \bullet 10^{-5}$	0,014
• Plomb	-	0,0082	-	0,015
• Cadmium	-	0,051	-	0,073
• Aniline	$0,21 \bullet 10^{-5}$	0,0022	$0,12 \bullet 10^{-5}$	0,0041
• Toluidines	$0,93 \bullet 10^{-6}$	0,0087	$0,78 \bullet 10^{-6}$	0,012
• Dermatotoxique		0,041		0,052
• Hépatotoxique		0,46		0,71
• Néphrotoxique		0,36		0,46
• Neurotoxique		0,42		0,56
• Toxique pour le système circulatoire du sang		0,010		0,017
• Dérégulations endocrinologiques		0,0014		0,0021
• Risque cancérogène total	$1,75 \bullet 10^{-5}$		$1,37 \bullet 10^{-5}$	

ARR : Application comme outil de gestion immobilière et d'urbanisation



ARR (préventive)

Analyse des risques résiduels sanitaires

avec prise en compte de l'additivité des risques : **CMA**

- **Calcul des risques sanitaires pour le scénario de réhabilitation et d'aménagement retenu** (total et bruit de fond chimique),
- **Assurance des risques acceptables** ($IR < 1$ et $ERI < 10E-5$) pour le scénario de réhabilitation (mesures correctives) et d'aménagement retenu.

CMA : Concentrations maximales acceptables (objectifs de réhabilitation) :

⇒ Calcule des CMA à l'envers pour des risques
acceptables

Atténuation Naturelle et Concentrations des Milieux

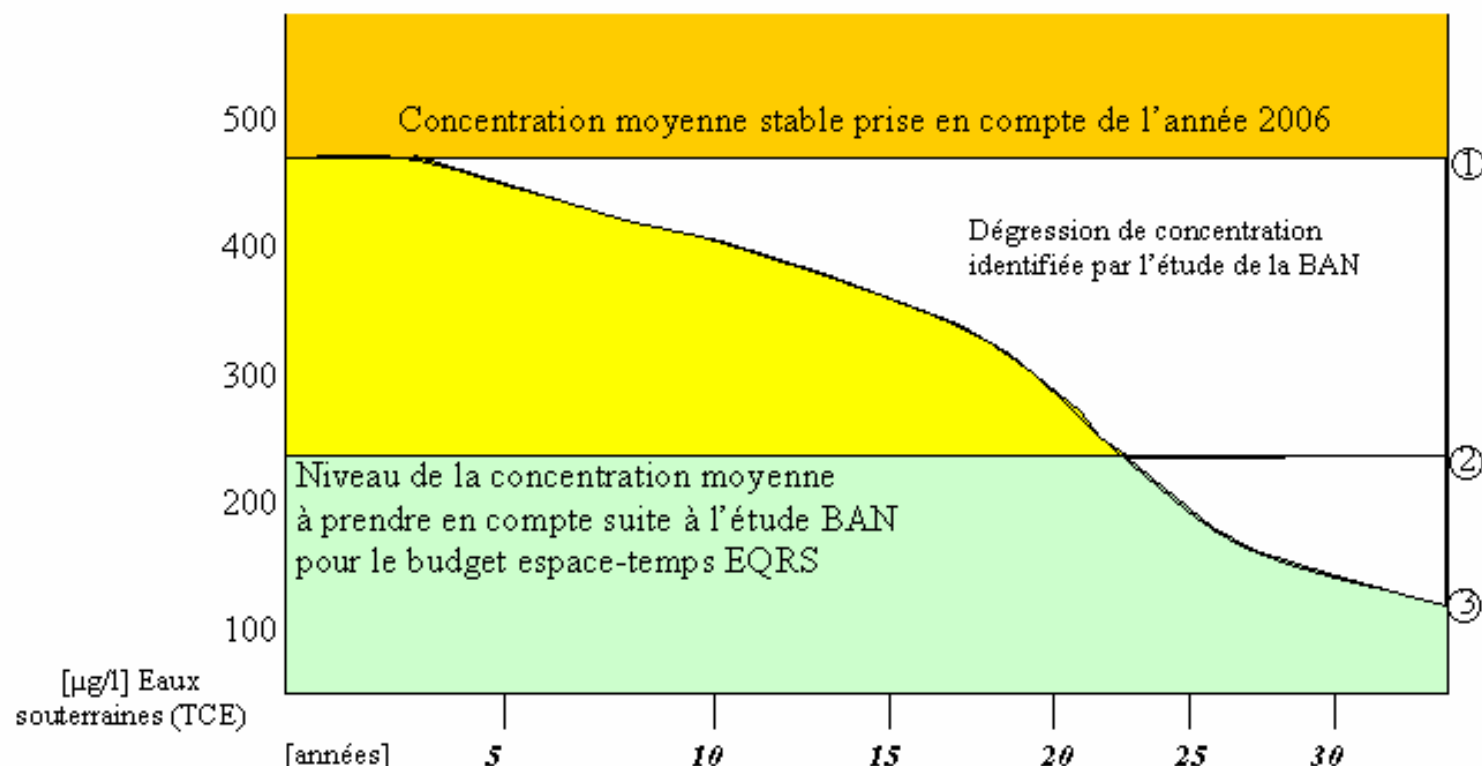
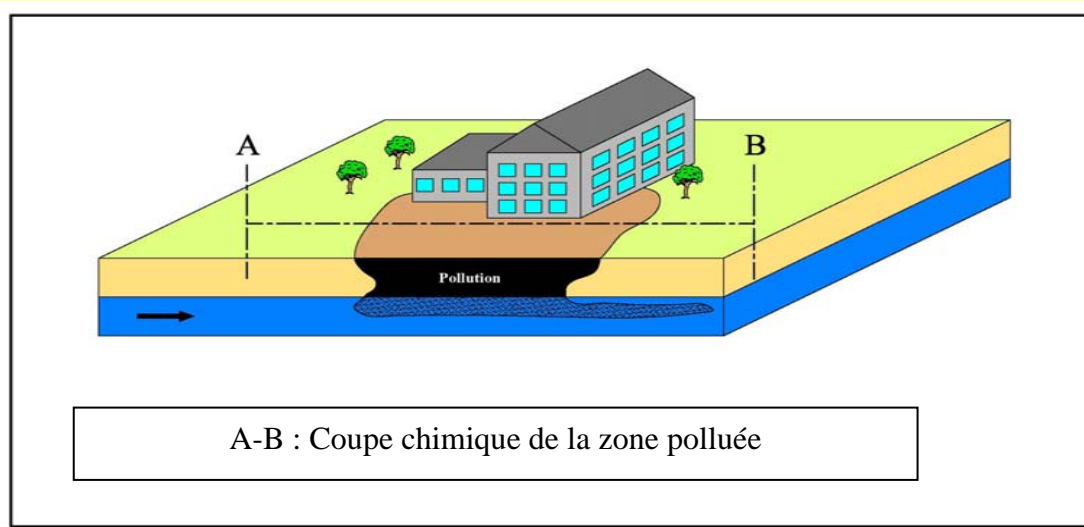
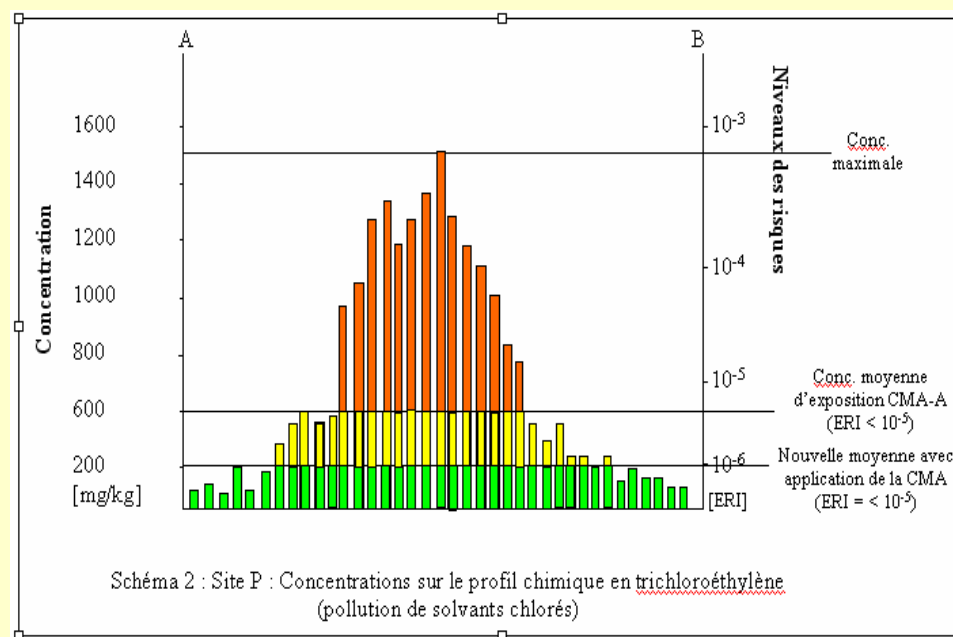


Schéma 3 : Concentrations en polluants (par ex. : le trichloréthylène) dans les eaux souterraines et la quantification des expositions par l'EQRS et l'ARR concernant l'inhalation des vapeurs d'émanations et l'usage des eaux en cas :

- ① Concentration stable (niveau 2006)
- ②+③ Concentration dégressive avec une pente déterminée par une étude détaillée de BAN



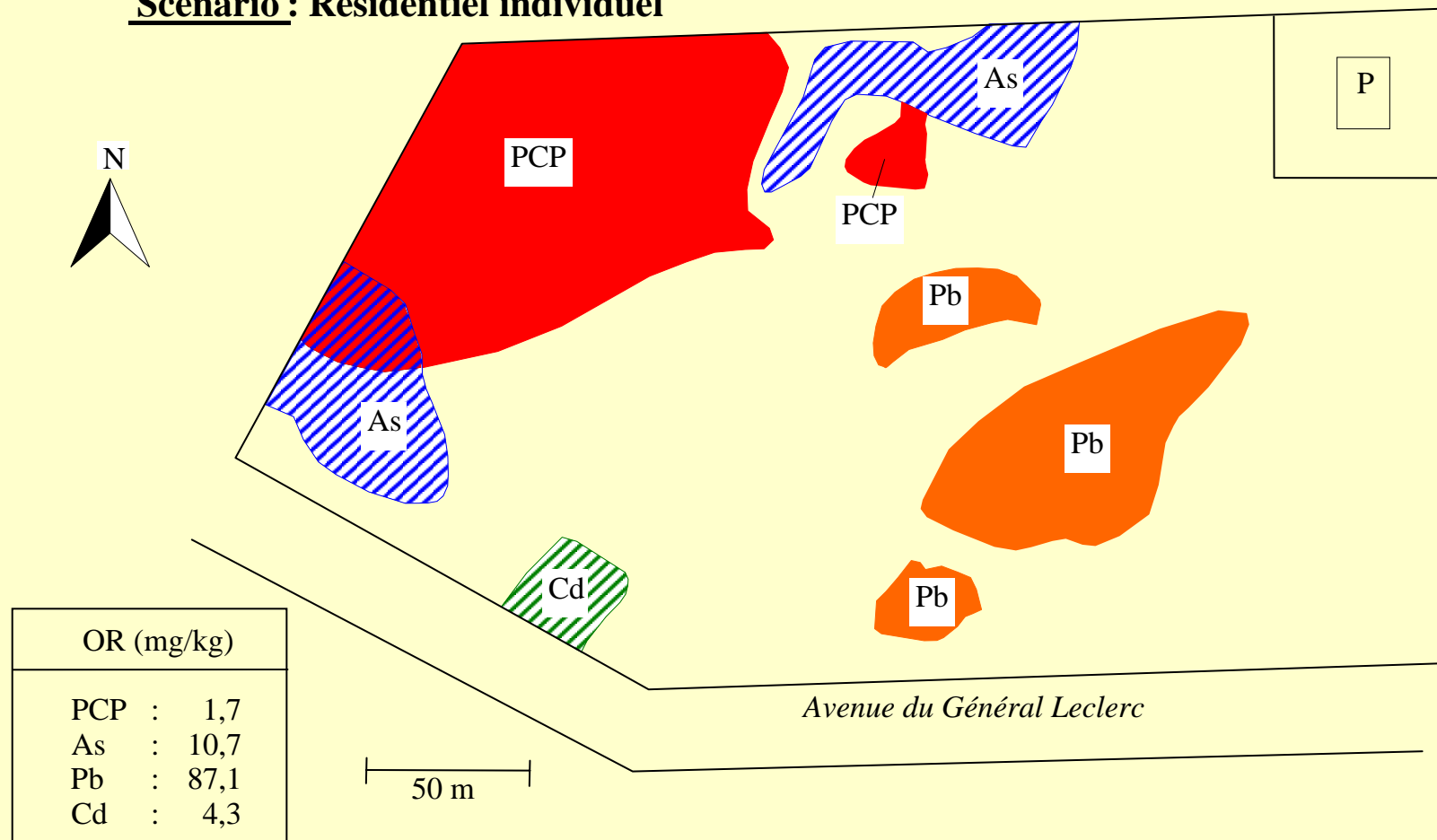
**Profil chimique
dans la zone
d'exposition**



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Sol : 0 - 0,3 m : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

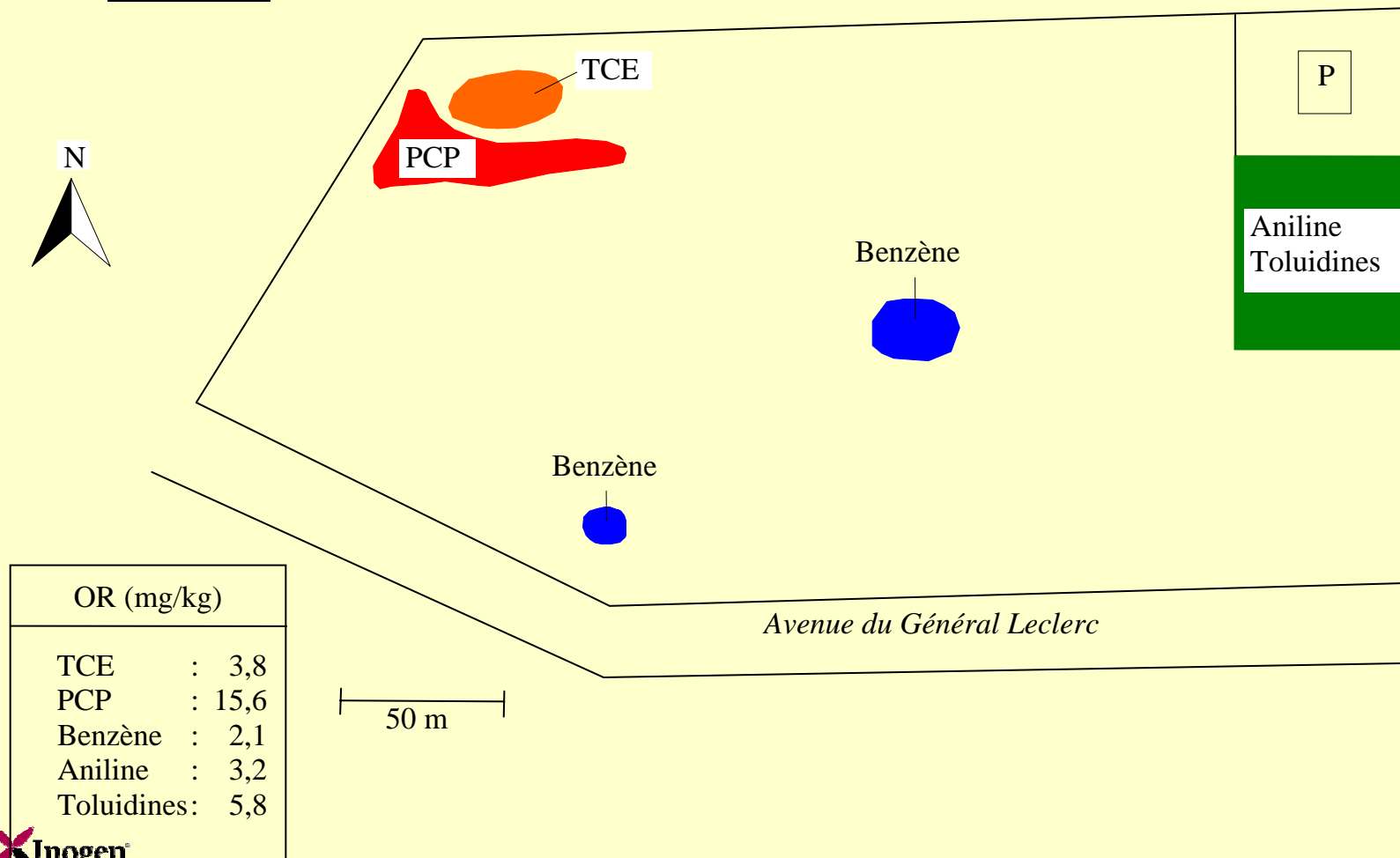
Scénario : Résidentiel individuel



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Sol : > 0,3 m : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

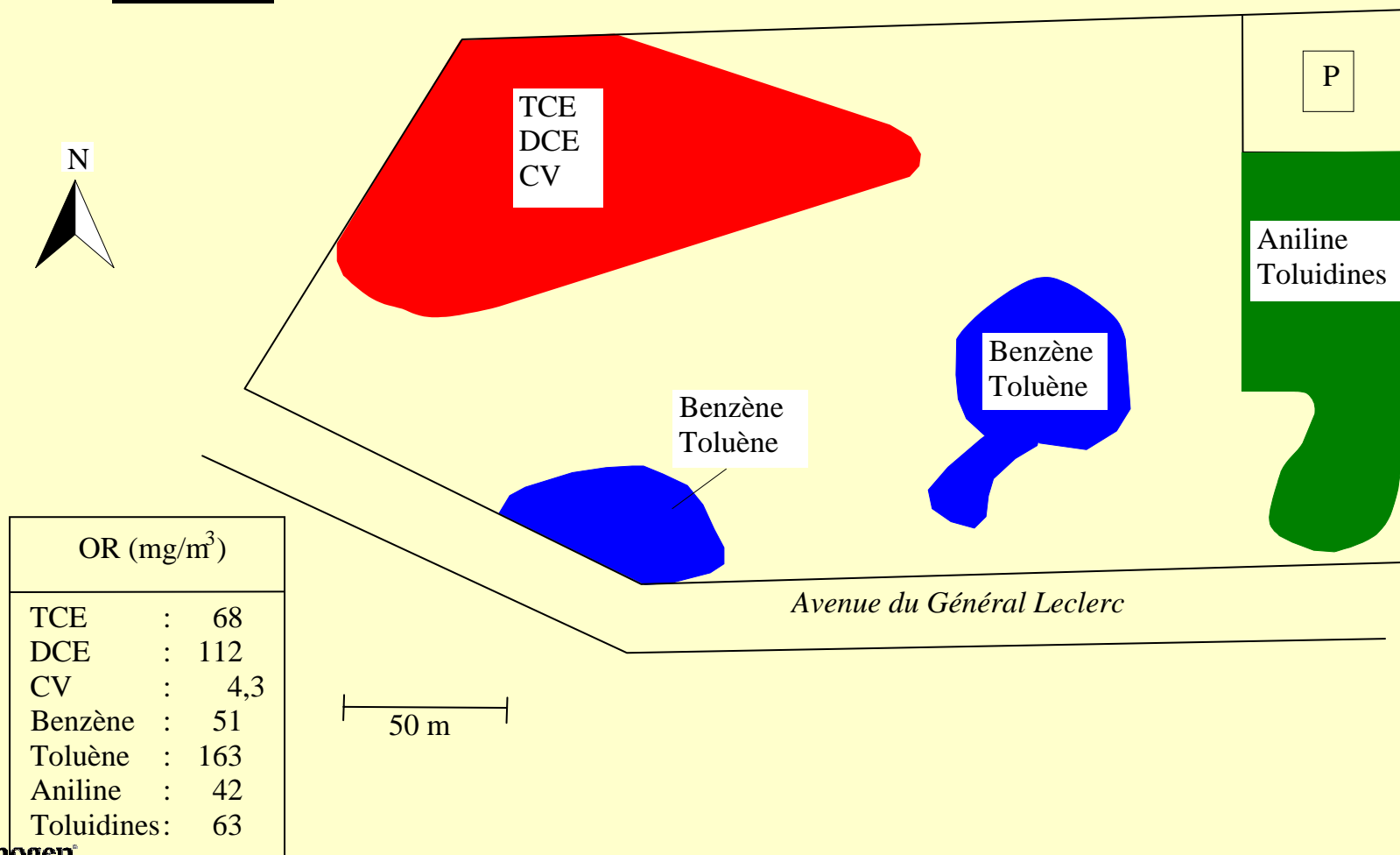
Scénario : Résidentiel individuel



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Air du sol : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

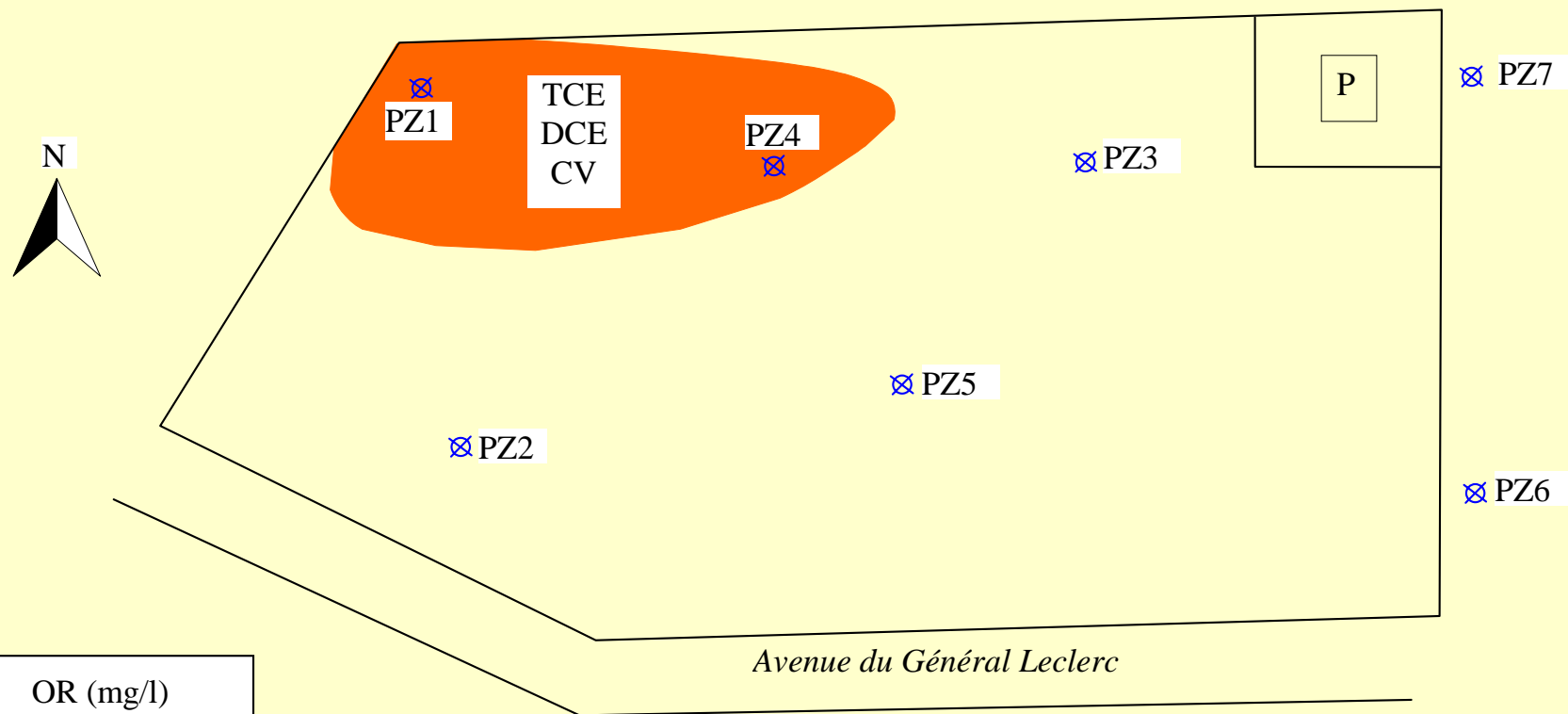
Scénario : Résidentiel individuel



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Eaux souterraines (-2,6 m↓) : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

Scénario : Résidentiel individuel



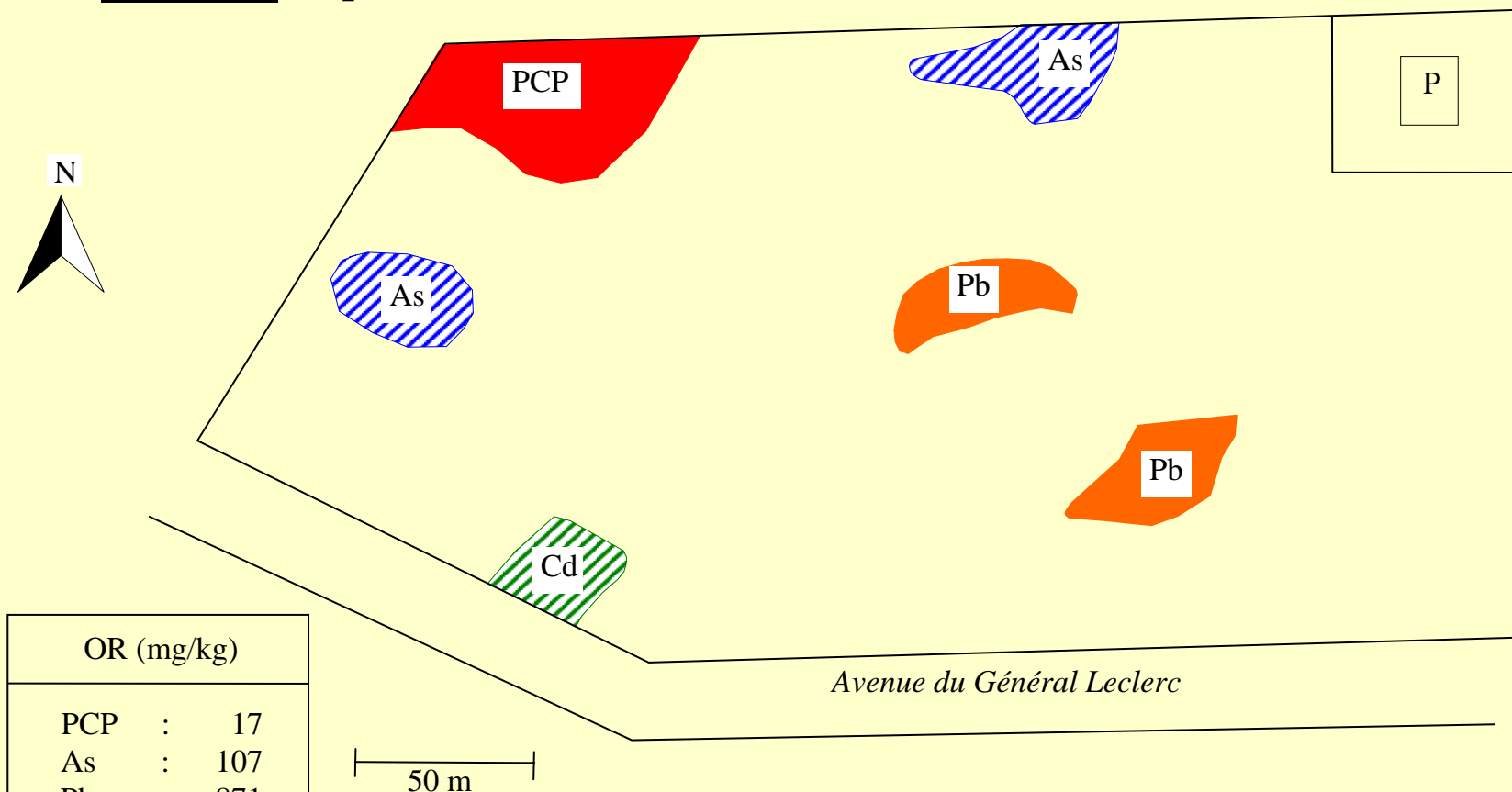
OR (mg/l)	
TCE	: 0,056
DCE	: 0,098
CV	: 0,019

50 m

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Sol : 0,0 - 0,3 m : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

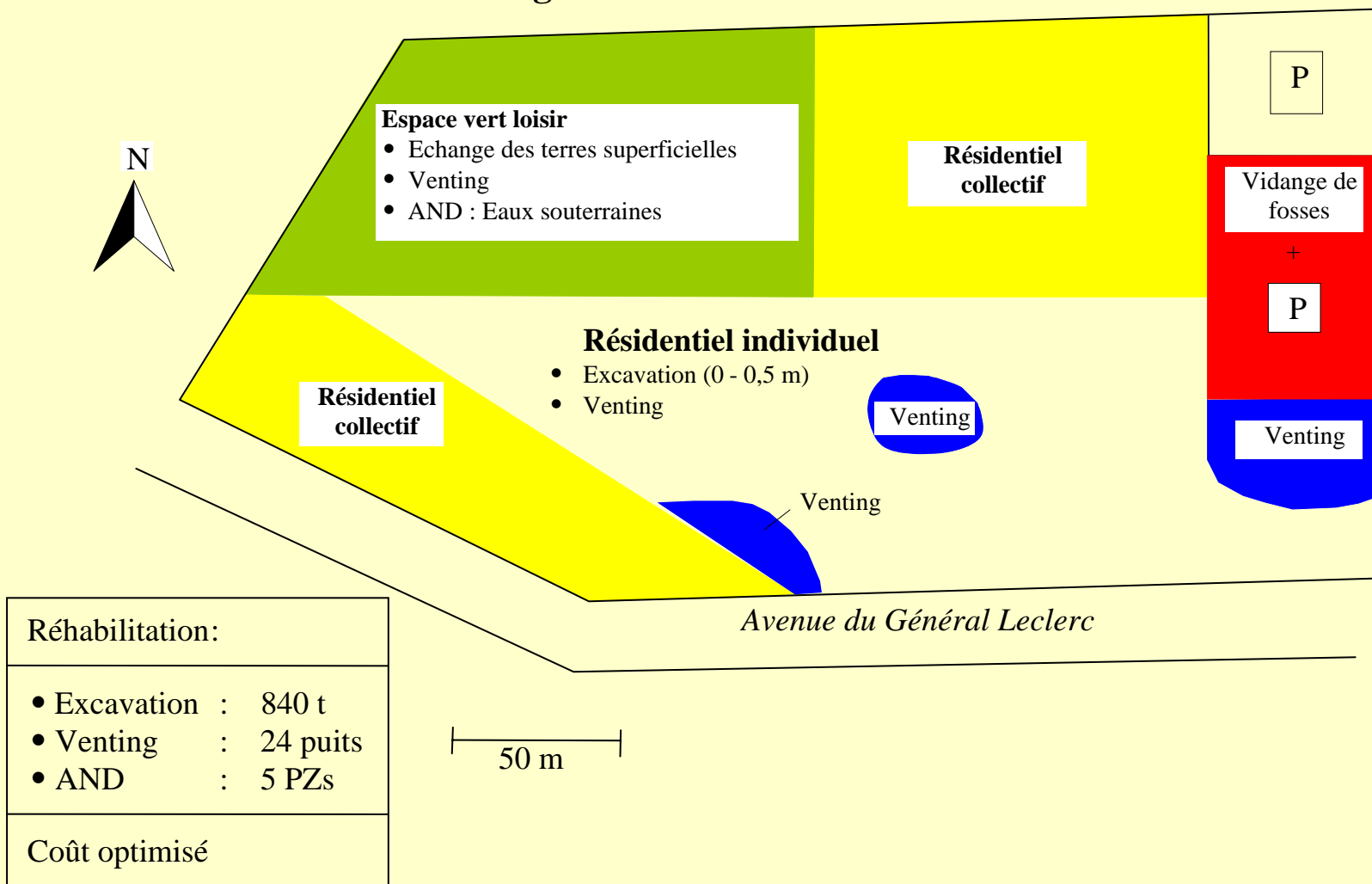
Scénario : Espace vert - loisirs



OR (mg/kg)	
PCP	: 17
As	: 107
Pb	: 871
Cd	: 43

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

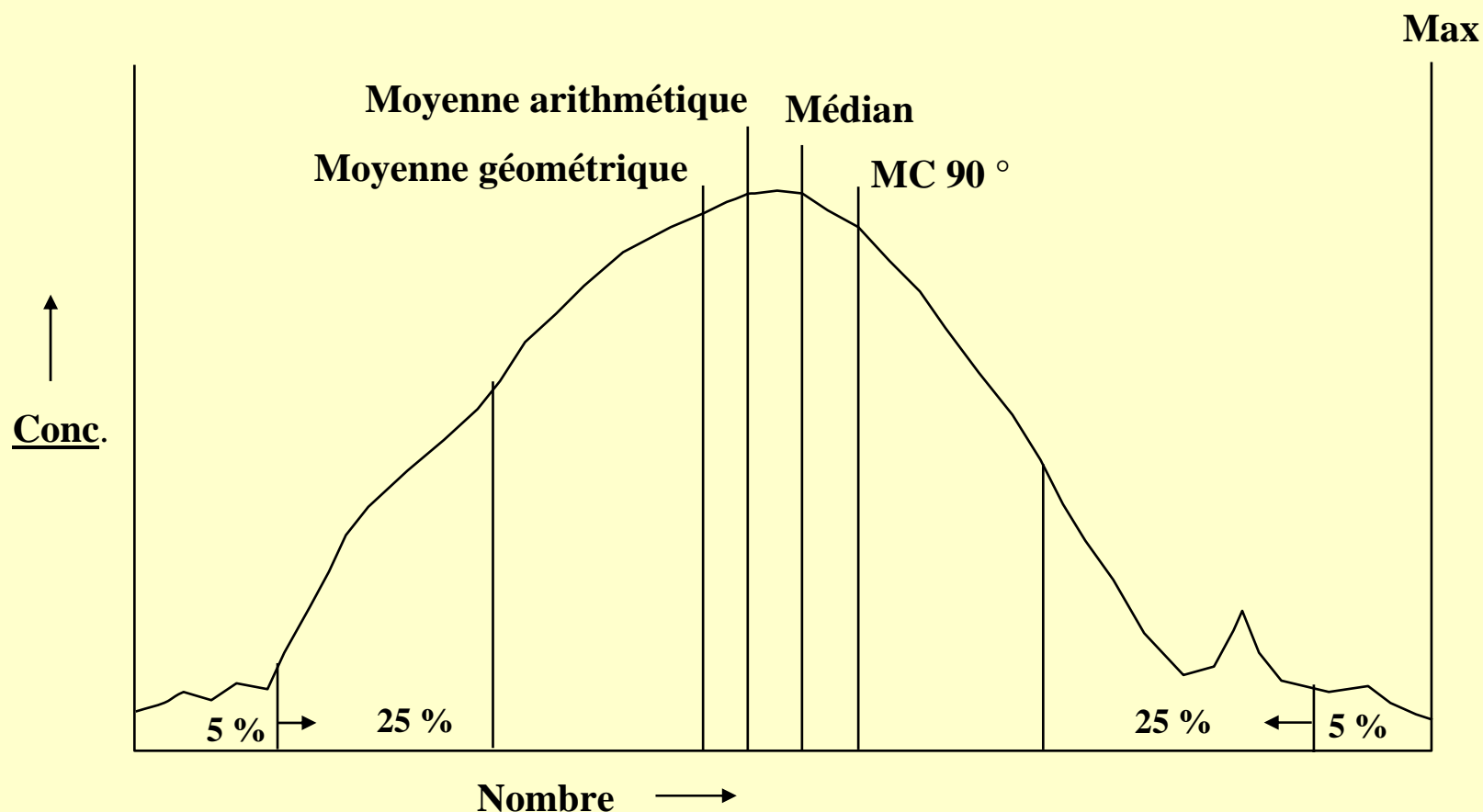
Réhabilitation et aménagement retenus



Etude des incertitudes

- **Concentrations en polluants,**
- **Valeurs toxicologiques,**
- **Précision chimie analytique,**
- **Quantités des milieux ingérés, inhalés, etc.,**
- **Variation des paramètres physiologiques,**
- **Variation des budgets espace-temps.**

Traitements statistiques des données



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Comparaison entre des taux d'inhalation mesurés et généralisés par des européens et U.S.-Américains

Cible	Activité							
	Relaxation		Légère		Moyenne		Intensive	
	MES	MOD	MES	MOD	MES	MOD	MES	MOD
Enfant (6 ans)	9,6	20	19	20	48	20	58	20
Enfant (10 ans)	9,6	20	24	20	77	20	101	20
Adulte (m)	7,2	20	12	20	38	20	70	20
Adulte (f)	17	20	19	20	60	20	115	20

MES : Volumes mesurés [m^3/j] : AMBL (D)

MOD : Volumes généralisés [m^3/j] : U.S.A.

Plan de gestion

Bilan Coût/Avantages

Étude de faisabilité technico-économique par Comparaison des technologies : Coût/efficacité

- **Coût de réhabilitation selon les nécessités de l'EQR-S (et ARR),**
- **Coût de réhabilitation selon le projet d'aménagement** (gestion des terres à évacuées selon les besoins d'excavations pour les fondations, réseaux, sous-sols, etc.)

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Surveillance

- **Surveillance du respect des servitudes,**
- **Surveillance des eaux souterraines,**
- **Surveillance des gaz du sol et de l'air ambiant, etc.**

Préserver l'environnement, la santé et la qualité de vie

